



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MASTER

MOVILIDAD AL TRABAJO DESDE UNA PERSPECTIVA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Autor: Carmen González Halcón

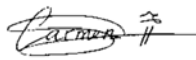
Directores: Yolanda González Arechavala

Carlos Martín Sastre

Madrid

Agosto de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título MOVILIDAD AL TRABAJO DESDE UNA PERSPECTIVA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2019/2020 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.



Fdo.: Carmen González Halcón

Fecha: 28/ 08/ 2020

Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO



Fdo.: Yolanda González Arechavala

Fecha: 28/ 08/ 2020



Fdo.: Carlos Martín Sastre

Fecha: 28/ 08/ 2020



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MASTER

MOVILIDAD AL TRABAJO DESDE UNA PERSPECTIVA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Autor: Carmen González Halcón
Directores: Yolanda González Arechavala
Carlos Martín Sastre

Madrid
Agosto de 2020

MOVILIDAD AL TRABAJO DESDE UNA PERSPECTIVA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Autor: González Halcón, Carmen

Director: González Arechavala, Yolanda

Director: Martín Sastre, Carlos

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

La preocupación por el entorno en el que la humanidad se desarrolla ha derivado en la creación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Uno de los grandes desafíos es el cambio del clima provocado entre otros por el aumento de la temperatura media del planeta, que a su vez es consecuencia directa del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La emisión de estos gases contaminantes muestra una tendencia creciente desde hace tiempo, poniendo en riesgo la salud de la población y el medioambiente. Uno de los sectores que genera gran parte de dichas emisiones es el transporte, debido a su fuerte dependencia de los combustibles derivados del petróleo.

Dichas emisiones procedentes del transporte tienen lugar especialmente en los núcleos urbanos, donde se concentra gran parte de la población debido a la localización de la actividad económica.

El sector del transporte en las ciudades y sus áreas adyacentes está dedicado principalmente a la movilidad de las personas, facilitando entre otros el acceso a un puesto de trabajo. En relación con esto último, se sabe que los desplazamientos al trabajo representan un porcentaje considerable de la movilidad diaria en las ciudades, aproximadamente un 30% [1].

Es importante tener en cuenta que la movilidad actual al trabajo, dominada por el uso de los turismos, no solo genera impactos relacionados con la contaminación del aire, también

provoca contaminación acústica, accidentes de tráfico, congestiones de tráfico y exclusión laboral entre otros.

Por ello, conocer los medios utilizados para ir al trabajo, la cantidad y forma en la que se utilizan y el impacto que generan, puede colaborar en la toma de decisiones orientando la movilidad al trabajo hacia la sostenibilidad.

Se considera que la mejor opción para conocer los impactos generados, de forma global y específica de cada medio de transporte, es el Análisis de Ciclo de vida (ACV). Esta herramienta evalúa los impactos producidos por todas las etapas de un producto, desde su producción hasta su disposición final.

Es preciso contextualizar el análisis y para ello se selecciona la Comunidad Autónoma de Madrid. Así, el propósito de este proyecto es conocer el impacto causado por la movilidad al trabajo en dicha autonomía, y la forma en la que evoluciona teniendo en cuenta las tendencias y las estimaciones futuras.

Estado del arte

Se realiza una revisión bibliográfica de las publicaciones y estudios sobre Análisis de Ciclo de Vida de los medios de transporte. También se lleva a cabo un estudio de los tipos de medios de transporte existentes en la CCAA de Madrid, así como una revisión de las tendencias sobre trabajo y movilidad.

Es importante indicar que este proyecto se desarrolla bajo las directrices de la normativa ISO sobre ACV (ISO-14040 e ISO-14044). Además se elabora una revisión de las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la calidad del aire, así como un análisis de la normativa europea de contaminantes sobre los vehículos ligeros. También se repasan las diferentes estrategias adoptadas por la CCAA de Madrid y el ayuntamiento de la capital para mitigar la alta contaminación.

Caso de estudio

A continuación, se desarrollan las cuatro fases del ACV definidas por la normativa ISO correspondiente, a través de la herramienta SimaPro. El alcance de este proyecto incluye la definición de dos escenarios, el actual corresponde al 2017 y el futuro al 2030. Los

medios de transporte considerados son: turismos (diésel, gasolina, eléctrico y gas natural); motocicletas (gasolina y eléctrica); autobuses urbanos (gas natural, biodiésel, híbrido y eléctrico); autobuses metropolitanos (diésel, gas natural, híbrido y eléctrico); metro y metro ligero; cercanías y bicicletas (convencional y eléctrica).

La clasificación de los medios de transporte según los sistemas de propulsión utilizados ha sido posible gracias a la información obtenida de la Dirección General de Tráfico (DGT) y del informe anual del Consorcio Regional de Transportes de Madrid [2].

Las categorías de impacto evaluadas están asociadas a la metodología empleada, en este caso “*CML-IA baseline*”, y son: agotamiento abiótico, agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global (GWP 100a), agotamiento de la capa de ozono, toxicidad en humanos, ecotoxicidad acuática de agua dulce, ecotoxicidad acuática marina, ecotoxicidad terrestre, oxidación fotoquímica, acidificación y eutrofización.

Posteriormente, se realiza un estudio sobre los procesos disponibles en Simapro para modelar los diferentes medios de transporte. Algunos procesos han sido modificados, para adaptarlos al contexto del proyecto (escenario 2017 y 2030) y ha sido necesario el modelado de otros no existentes.

Para realizar el análisis de inventario del escenario 2017 se recogen datos sobre: los desplazamientos realizados en un día laborable; el reparto modal asociado a la movilidad al trabajo; el reparto modal del transporte público asociado a los desplazamientos por motivos laborales; niveles de ocupación y distancias medias recorridas por los diferentes medios de transporte; e información sobre el parque móvil.

En el caso del escenario 2030 es preciso considerar las tendencias y estimaciones futuras obtenidas de estudios realizados por PwC o KPMG entre otros. Además, en cuanto a las tendencias sobre teletrabajo, se tiene en cuenta la situación actual provocada por la enfermedad Covid-19, a través de la cual el trabajo desde casa ha alcanzado un valor del 34% de la población ocupada [3].

Las medidas que enfocan la movilidad al trabajo desde la sostenibilidad, como el aumento de los niveles de ocupación de los medios de transporte, el impulso de los vehículos eléctricos o el aumento del teletrabajo, conforman el escenario futuro permitiendo una reducción de los desplazamientos y un cambio en el reparto modal.

Los datos calculados obtenidos de cada escenario se muestran de forma conjunta en la tabla mostrada a continuación (tabla 1). En ella se observa como los millones de pkm disminuyen entre 2017 y 2030, debido entre otros a la disminución de la movilidad al trabajo gracias al aumento del nivel de teletrabajo.

Movilidad anual al trabajo - CCAA Madrid										
Medio de transporte			2017				2030			
			Millones de pkm	Millones de km	pkm/hab. ocupado	km/hab. ocupado	Millones de pkm	Millones de km	pkm/hab. ocupado	km/hab. ocupado
Turismos	Diésel	EURO 1	89,943	74,952	30,729	25,607	-	-	-	-
		EURO 2	276,376	230,314	94,423	78,686	-	-	-	-
		EURO 3	1.030,377	858,647	352,025	293,354	-	-	-	-
		EURO 4	1.612,785	1.343,988	551,003	459,169	902,386	557,028	256,640	158,420
		EURO 5	619,686	516,405	211,714	176,428	346,727	214,029	98,610	60,870
		EURO 6	632,200	526,834	215,989	179,991	685,462	423,125	194,946	120,337
	Gasolina	EURO 1	161,557	134,631	55,196	45,996	-	-	-	-
		EURO 2	245,803	204,836	83,978	69,982	-	-	-	-
		EURO 3	621,164	517,636	212,219	176,849	-	-	-	-
		EURO 4	623,287	519,406	212,944	177,453	348,742	215,273	99,183	61,224
		EURO 5	247,417	206,181	84,529	70,441	138,435	85,454	39,371	24,303
		EURO 6	430,292	358,577	147,008	122,507	456,975	282,083	129,964	80,225
		Gas natural	12,584	10,486	4,299	3,583	409,973	253,070	116,597	71,973
		Eléctrico	12,584	10,486	4,299	3,583	1.229,918	759,209	349,790	215,920
Motocicletas	Gasolina	575,115	522,832	196,486	178,624	173,626	157,842	49,379	44,890	
	Eléctrica	2,655	2,414	0,907	0,825	260,439	236,763	74,069	67,336	
Autobuses urbanos	Gas natural	76,717	4,956	26,210	1,693	81,158	4,993	23,082	1,420	
	Biodiésel	69,661	4,500	23,799	1,537	19,237	1,184	5,471	0,337	
	Híbridos	3,903	0,252	1,334	0,086	4,129	0,254	1,174	0,072	
	Eléctricos	1,727	0,112	0,590	0,038	56,283	3,463	16,007	0,985	
	Diésel	612,101	28,818	209,122	9,846	225,747	10,122	64,203	2,879	
Autobuses metropolitanos	Gas natural	96,362	4,537	32,922	1,550	305,535	13,700	86,895	3,896	
	Híbridos	116,720	5,495	39,877	1,877	123,436	5,535	35,105	1,574	
	Eléctricos	-	-	-	-	218,239	9,786	62,068	2,783	
Metro		1.050,480	38,849	358,893	13,273	1.111,297	39,141	316,054	11,132	
Metro ligero		19,389	2,606	6,624	0,890	20,511	2,626	5,833	0,747	
Cercanías Renfe		1.744,208	9,209	595,903	3,146	1.845,189	9,459	524,774	2,690	
Bicicletas	Convencionales	19,593	19,593	6,694	6,694	9,276	9,276	2,638	2,638	
	Eléctricas	0,816	0,816	0,279	0,279	11,337	11,337	3,224	3,224	
Total		11.005,503	6.158,369	3.759,994	2.103,987	8.984,058	3.304,749	2.555,077	939,875	

Tabla 1. Movilidad anual al trabajo, ambos escenarios

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

Después se realiza la evaluación de impacto. Previo al análisis de ambos escenarios se realiza un estudio de los impactos de los medios de transporte (resultados en kg/pkm, MJ/pkm y kg/km, MJ/km) permitiendo un proceso iterativo fundamental para el modelado de los procesos no disponibles en SimaPro.

Posteriormente se exponen los resultados de los escenarios. Los impactos generados en el escenario actual están dominados por los turismos, seguidos del transporte público, que en proporción presentan un impacto menor (figura 1). Esto se debe principalmente a una mayor presencia de transportes eléctricos en el transporte público y a una nivel de ocupación mayor en los mismos. En la figura 1, se representan de forma proporcional los medios de transporte que mayor impacto generan en 2017, en las diferentes categorías de impacto consideradas.

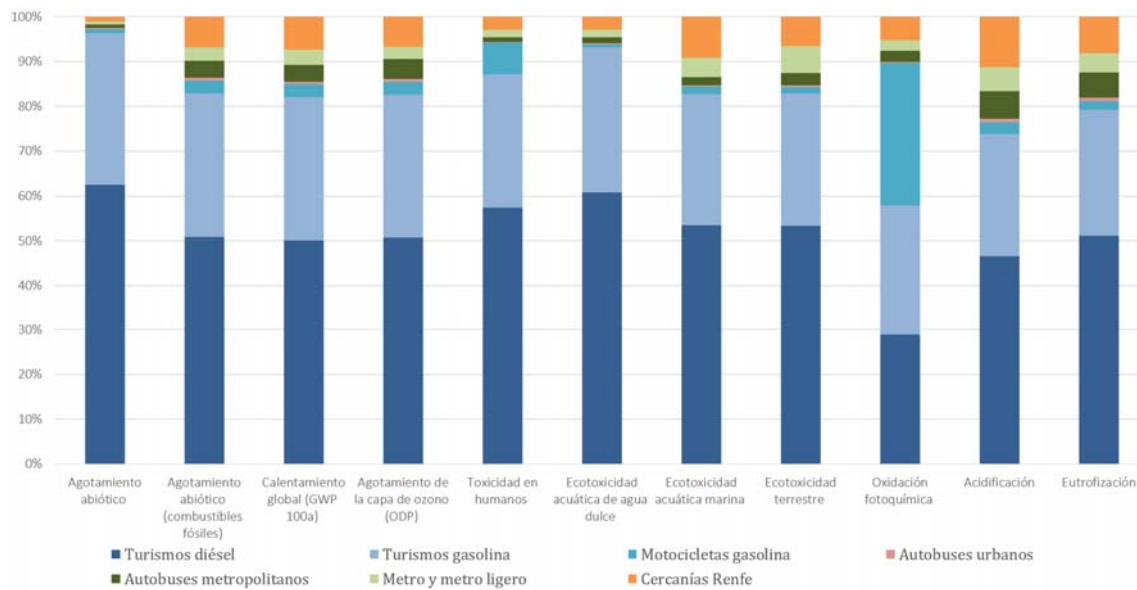


Figura 1. Resultados de los transportes que más impacto generan en 2017

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

Los resultados del escenario de 2030 siguen dominados por los turismos pero en menos medida ya que el transporte público aumenta su representación en los impactos globales. Esto se puede observar en la siguiente imagen (figura 2), donde se muestran de forma proporcional los medios de transporte que mayor impacto generan en 2030, en las diferentes categorías de impacto consideradas.

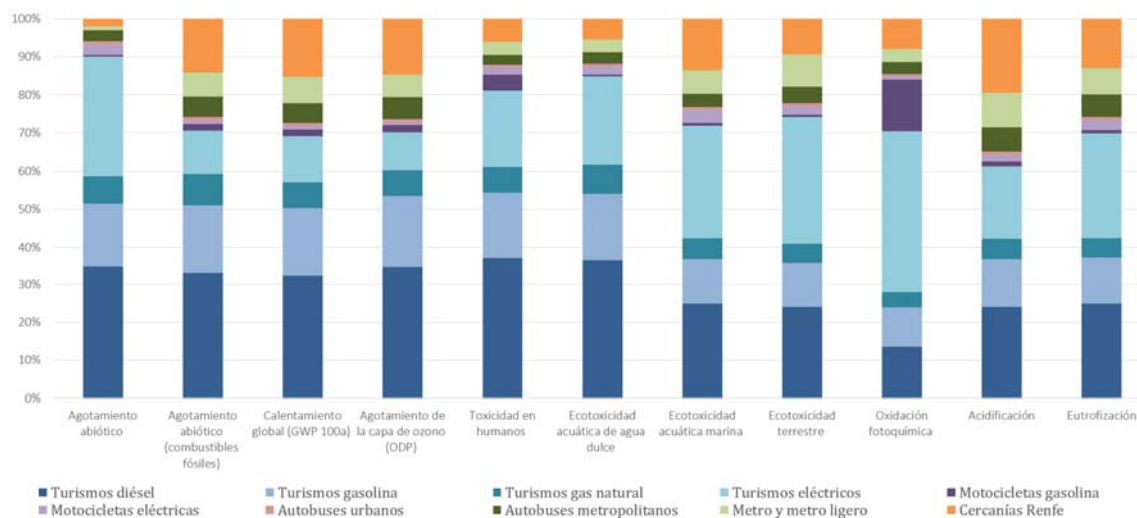


Figura 1. Resultados de los transportes que más impacto generan en 2030

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

Además, como se puede observar en la siguiente imagen (figura 3), se consigue una reducción en todas las categorías de impacto gracias a las medidas estimadas. En la imagen (figura 3) los valores de 2017 se representan como el 100% y los de 2030 de forma proporcional.

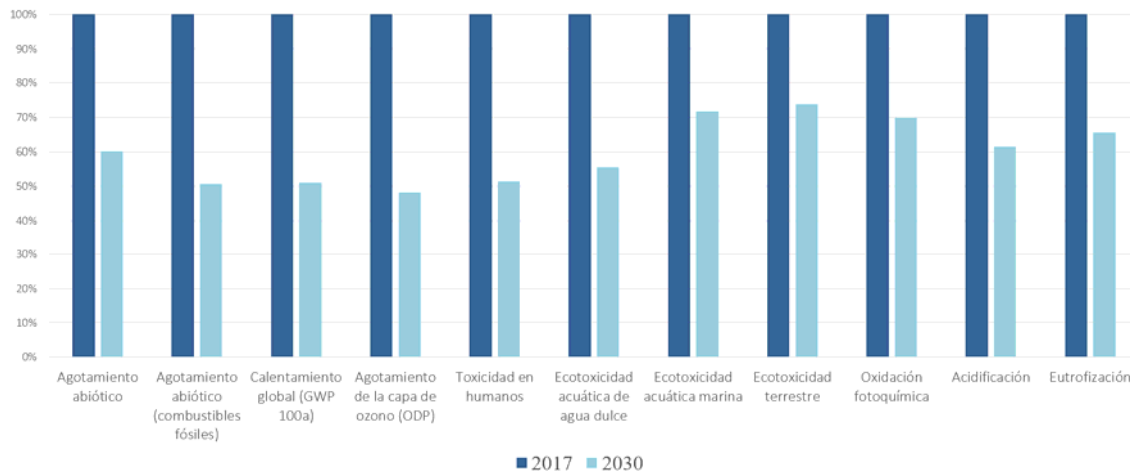


Figura 3. Variación de las categorías de impacto entre 2017 y 2030

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

Conclusiones

Ante los resultados obtenidos se puede concluir que el efecto conjunto de las medidas adoptadas entre ambos escenarios presenta resultados positivos, permitiendo una reducción de la dependencia de los derivados del petróleo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no solo es relevante el calentamiento global pues el resto de las categorías de impacto afectan también de forma directa a la vida de las personas y al ecosistema. Por ejemplo, los transportes eléctricos disminuyen el calentamiento global y el agotamiento abiótico (combustibles fósiles) pero provocan el aumento de otras categorías, como las relacionadas con la toxicidad.

Por ello, es importante conseguir una movilidad al trabajo de tal forma que exista un balance en las categorías, es decir, alcanzar la reducción de unas sin que los valores de las demás se disparen. Esto incluye la mejora de la tecnología empleada por los medios de transporte así como la aplicación de medidas relacionadas con la forma de trabajar, como el teletrabajo.

Referencias

[1] M. Ferri and A. París, “LA MOVILIDAD AL TRABAJO : UN RETO PENDIENTE,” 2019.

[2] Consorcio Regional de Transportes de Madrid, “Informe Anual 2017,” 2017.

[3] “La incidencia del teletrabajo en España pasa del 5% al 34% durante la pandemia | Economía | Cinco Días.” [Online]. Available: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/05/05/economia/1588694657_002760.html. [Accessed: 13-Jul-2020].

MOBILITY TO WORK FROM A LIFE CYCLE ASSESSMENT PERSPECTIVE

Author: González Halcón, Carmen

Director: González Arechavala, Yolanda

Director: Martín Sastre, Carlos

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

PROJECT'S ABSTRACT

Introduction

Concern for the environment in which humanity develops has led to the creation of the Sustainable Development Goals. One of the great challenges is the change in climate caused, among others, by the increase in the average temperature of the planet, which in turn is a direct consequence of the increase in greenhouse gas (GHG) emissions.

The polluting gases emission has shown a growing trend for some time, putting the health of the population and the environment at risk. Transport is one of the sectors that generates a large part of these emissions, due to its heavy dependence on petroleum-derived fuels. These emissions from transport emissions take place especially in urban areas, where a large part of the population is concentrated due to the location of economic activity.

The transport sector in cities and their adjacent areas is mainly dedicated to the people mobility, facilitating, among other things, access to a job. In relation to the latter, it is known that commuting to work represents a considerable percentage of daily mobility in cities, approximately 30% [1].

It is important to bear in mind that the current mobility to work, dominated by the use of passenger cars, not only generates impacts related to air pollution, it also causes noise pollution, traffic accidents, traffic congestion and exclusion from work, among others.

For this reason, knowing the means used to go to work, the amount and way in which they are used and the impact they generate, can collaborate in decision-making, orienting mobility to work towards sustainability.

It is considered that the best option to know the impacts generated, globally and specifically for each transport means, is the Life Cycle Analysis (LCA). This tool assesses the impacts produced by all stages of a product, from its production to its final disposal.

It is necessary to contextualize the analysis and for this the Autonomous Community of Madrid is selected. Thus, the purpose of this project is to know the impact caused by mobility to work on said autonomy, and the way in which it evolves, taking into account future trends and estimates.

State of the art

A bibliographic review of the publications and studies on life cycle analysis of transport means is carried out. A study is also carried out on the types of means of transport that exist in the Madrid Autonomous Community, as well as a review of trends about work and mobility.

It is important to indicate that this project is developed under the guidelines of the ISO standard on LCA (ISO-14040 and ISO-14044). In addition, a review of the recommendations of the World Health Organization (WHO) on air quality is prepared, as well as an analysis of the European regulations on pollutants on light vehicles. The different strategies of the CCAA of Madrid and the city council of the capital to mitigate high pollution are also reviewed.

Case study

Next, the four phases of the LCA defined by the corresponding ISO regulations are developed, through the SimaPro tool. The scope of this project includes the definition of two scenarios, the current one corresponding to 2017 and the future one to 2030. The means of transport considered are: passenger cars (diesel, gasoline, electric and natural gas); motorcycles (gasoline and electric); urban buses (natural gas, biodiesel, hybrid and

electric); metropolitan buses (diesel, natural gas, hybrid and electric); metro and light rail; commuter train and bicycles (conventional and electric).

The classification of means of transport according to the propulsion systems used has been possible thanks to the information obtained from the Dirección General de Tráfico (DGT) and the annual report of the Consorcio Regional de Transportes de Madrid [2].

The impact categories evaluated are associated with the methodology used, in this case "CML-IA baseline", and are: abiotic depletion, abiotic depletion (fossil fuels), global warming (GWP 100a), depletion of the ozone layer, toxicity in humans, freshwater aquatic ecotoxicity, marine aquatic ecotoxicity, terrestrial ecotoxicity, photochemical oxidation, acidification and eutrophication.

Subsequently, a study about the processes available in Simapro to model the different means of transport is carried out. Some processes have been modified to adapt them to the context of the project (2017 and 2030 scenarios) and it has been necessary to model others that do not exist.

To carry out the inventory analysis of the 2017 scenario, data is collected on: trips made in one business day; the modal split associated with mobility to work; the modal distribution of public transport associated with travel for work reasons; occupancy levels and average distances traveled by different transport means; and information about the fleet.

In the case of the 2030 scenario, it is necessary to consider trends and future trends obtained from studies carried out by PwC or KPMG, among others. In addition, regarding telework trends, the real situation caused by the Covid-19 disease is taken into account, it's known that working from home has reached a value of 34% of the employed population [3].

Measures that motivate sustainable mobility to work, such as the increase in the occupancy levels of the means of transport, the promotion of the electric vehicle or the increase in telework, configure the future scenario allowing a reduction of the displacements and a change in modal split.

The calculated data obtained from each scenario are shown together in the table below (table 1). It shows how the million pkm decrease between 2017 and 2030, due, among

others, to the decrease in mobility to work thanks to the increase in the level of teleworking.

Mobility to work - CCAA Madrid										
Mean of transport		2017				2030				
		pkm (million)	km (million)	pkm/hab. employed	km/hab. employed	pkm (million)	km (million)	pkm/hab. employed	km/hab. employed	
Passenger car	Diesel	EURO 1	89,943	74,952	30,729	25,607	-	-	-	-
		EURO 2	276,376	230,314	94,423	78,686	-	-	-	-
		EURO 3	1,030,377	858,647	352,025	293,354	-	-	-	-
		EURO 4	1,612,785	1,343,988	551,003	459,169	902,386	557,028	256,640	158,420
		EURO 5	619,686	516,405	211,714	176,428	346,727	214,029	98,610	60,870
		EURO 6	632,200	526,834	215,989	179,991	685,462	423,125	194,946	120,337
	Petrol	EURO 1	161,557	134,631	55,196	45,996	-	-	-	-
		EURO 2	245,803	204,836	83,978	69,982	-	-	-	-
		EURO 3	621,164	517,636	212,219	176,849	-	-	-	-
		EURO 4	623,287	519,406	212,944	177,453	348,742	215,273	99,183	61,224
		EURO 5	247,417	206,181	84,529	70,441	138,435	85,454	39,371	24,303
		EURO 6	430,292	358,577	147,008	122,507	456,975	282,083	129,964	80,225
		Natural gas	12,584	10,486	4,299	3,583	409,973	253,070	116,597	71,973
		Electric	12,584	10,486	4,299	3,583	1,229,918	759,209	349,790	215,920
Motorcycle	Petrol	575,115	522,832	196,486	178,624	173,626	157,842	49,379	44,890	
	Electric	2,655	2,414	0,907	0,825	260,439	236,763	74,069	67,336	
Urban bus	Natural gas	76,717	4,956	26,210	1,693	81,158	4,993	23,082	1,420	
	Biodiesel	69,661	4,500	23,799	1,537	19,237	1,184	5,471	0,337	
	Hybrid	3,903	0,252	1,334	0,086	4,129	0,254	1,174	0,072	
	Electric	1,727	0,112	0,590	0,038	56,283	3,463	16,007	0,985	
Metropolitan bus	Diesel	612,101	28,818	209,122	9,846	225,747	10,122	64,203	2,879	
	Natural gas	96,362	4,537	32,922	1,550	305,535	13,700	86,895	3,896	
	Hybrid	116,720	5,495	39,877	1,877	123,436	5,535	35,105	1,574	
	Electric	-	-	-	-	218,239	9,786	62,068	2,783	
Metro	1,050,480	38,849	358,893	13,273	1,111,297	39,141	316,054	11,132		
Light metro	19,389	2,606	6,624	0,890	20,511	2,626	5,833	0,747		
Commuter train	1,744,208	9,209	595,903	3,146	1,845,189	9,459	524,774	2,690		
Bicycle	Traditional	19,593	19,593	6,694	6,694	9,276	9,276	2,638	2,638	
	Electric	0,816	0,816	0,279	0,279	11,337	11,337	3,224	3,224	
Total		11,005,503	6,158,369	3,759,994	2,103,987	8,984,058	3,304,749	2,555,077	939,875	

Table 1. Annual mobility to work, both scenarios

Source: Own elaboration from calculated data

Then the impact assessment is carried out. Prior to the analysis of both scenarios, a study of the impacts of the means of the means of (results in kg / pkm, MJ / pkm and kg / km, MJ / km) is carried out, that allows a fundamental iterative process for the modeling of the processes not available in SimaPro.

Subsequently, the results of the scenarios are presented. The impacts generated in the current scenario are dominated by passenger cars, followed by public transport, which in proportion have a lower impact (figure 1). This is mainly due to a greater presence of electric transports in public transport and a higher level of occupancy in them. In figure 1, the means of transport that generated the greatest impact in 2017 are proportionally represented, in the different impact categories considered.

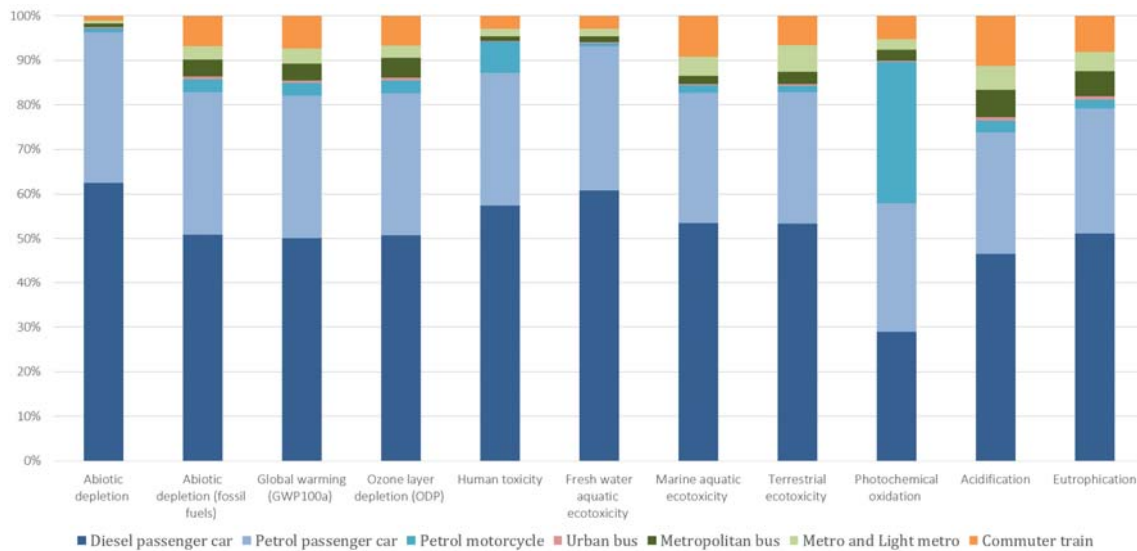


Figure 1. Results of the transports that generate the most impact, 2017

Source: own elaboration from the results obtained from SimaPro

The results of the 2030 scenario continue to be dominated by passenger cars but to a lesser extent as public transport increases its representation in global impacts. The following image shows in a proportional way the means of transport that generate the greatest impact in 2030, in the different impact categories considered (figure 2).

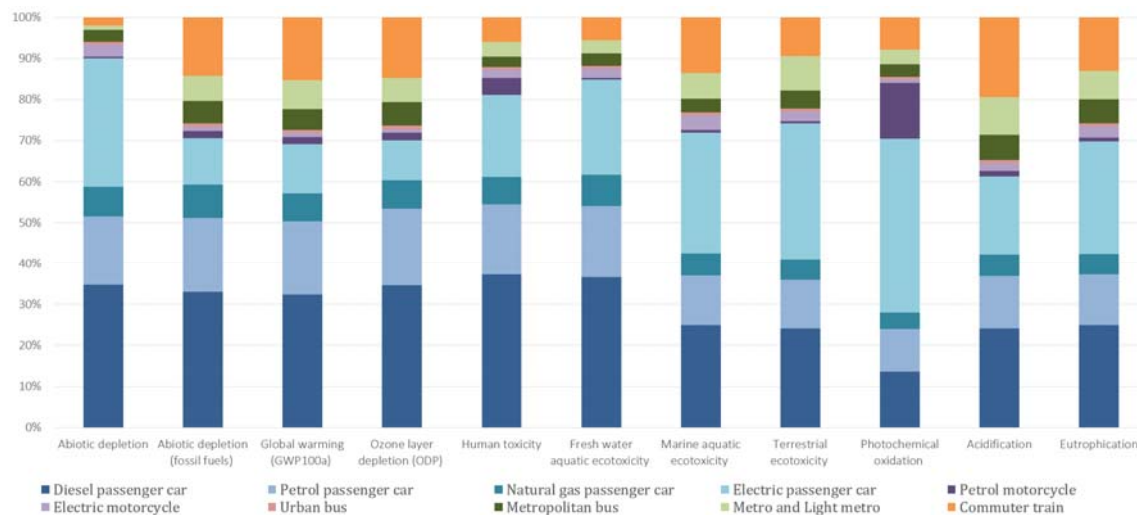


Figure 2. Results of the transports that generate the most impact, 2030

Source: own elaboration from the results obtained from SimaPro

Furthermore, as can be seen in the following image (figure 3), a reduction is achieved in all impact categories thanks to the estimated measures. In the image (figure 3) the values for 2017 are represented as 100% and those for 2030 as proportional.

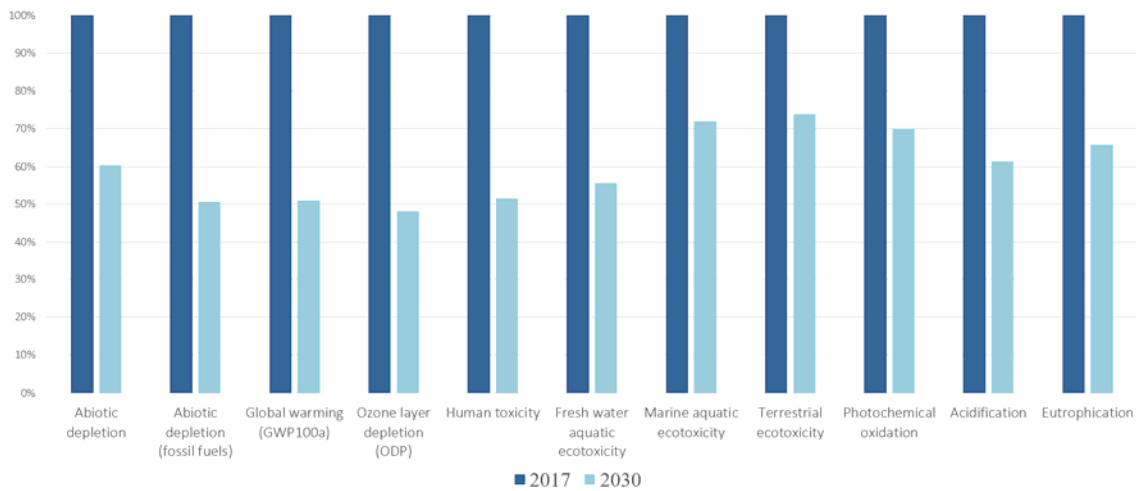


Figure 3. Impact categories variation between 2017 and 2030

Source: own elaboration from the results obtained from SimaPro

Conclusions

Given the results obtained, it can be concluded that the joint effect of the measures adopted between both scenarios presents positive results, allowing a reduction in dependence on oil derivatives. However, it is important to bear in mind that not only is global warming relevant, the rest of the impact categories also directly affect people's lives and the ecosystem. For example, electric transport reduces global warming and abiotic depletion (fossil fuels) but causes an increase in other categories, such as those related to toxicity.

For this reason, it is important to achieve mobility to work in such a way that there is a balance in the categories, that is, to achieve the reduction of some without causing the values of the others to skyrocket. This includes the improvement of the technology used by transport means as well as the application of measures related to the way of working, such as teleworking.

References

[1] M. Ferri and A. París, “LA MOVILIDAD AL TRABAJO : UN RETO PENDIENTE,” 2019.

[2] Consorcio Regional de Transportes de Madrid, “Informe Anual 2017,” 2017.

[3] “La incidencia del teletrabajo en España pasa del 5% al 34% durante la pandemia | Economía | Cinco Días.” [Online]. Available: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/05/05/economia/1588694657_002760.html. [Accessed: 13-Jul-2020].



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MASTER

MOVILIDAD AL TRABAJO DESDE UNA PERSPECTIVA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Autor: Carmen González Halcón
Directores: Yolanda González Arechavala
Carlos Martín Sastre

Madrid
Agosto de 2020

*“Sabed también vosotros, queridos amigos, que esta misión
no es fácil. Y que puede convertirse en imposible,
si solo contáis con vosotros mismos.
Pero lo que es imposible para los hombres,
es posible para Dios.”*

San Juan Pablo II

*“No te apures, al futuro déjalo venir,
déjalo llegar.”*

José Ignacio Halcón Moreno

ÍNDICE

MEMORIA	1
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	3
1.1 MOTIVACIÓN	3
1.1.1 El objetivo 13, el Acuerdo de París y las emisiones	6
1.1.1.1 Emisiones a nivel global y europeo	7
1.1.1.2 Emisiones en España	9
1.1.2 El objetivo 11, las ciudades y el transporte	11
1.1.2.1 El transporte en España.....	11
1.2 LA MOVILIDAD AL TRABAJO	14
1.3 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	17
CAPÍTULO II: ESTADO DE LA CUESTIÓN	19
2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	19
2.1.1 Publicaciones y estudios.....	20
2.1.2 SimaPro.....	23
2.2 EL TRANSPORTE EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID.....	24
2.3 TENDENCIAS SOBRE TRABAJO Y MOVILIDAD EN LAS CIUDADES	25
2.4 NORMATIVA Y RECOMENDACIONES	28
2.4.1 Recomendaciones de la OMS.....	28
2.4.2 Normativa sobre contaminantes	29
CAPÍTULO III: CASO DE ESTUDIO.....	35
3.1 OBJETO Y ALCANCE	35
3.1.1 Medios de transporte.....	35
3.1.2 Categorías de impacto.....	36
3.2 PROCESOS PARA MODELAR LOS MEDIOS DE TRANSPORTE.....	38

3.2.1 Vehículo privado.....	38
3.2.2 Transporte público	40
3.2.3 Bicicletas	41
3.2.4 Procesos del escenario futuro.....	42
3.3 ANÁLISIS DE INVENTARIO.....	42
3.3.1 Escenario actual.....	42
3.3.1.1 Movilidad al trabajo.....	42
3.3.1.2 Desplazamientos por modo	46
3.3.1.3 Datos en la unidad funcional	47
3.3.1.4 Datos normalizados	53
3.3.2 Escenario Futuro.....	53
3.3.2.1 Población ocupada y teletrabajo.....	54
3.3.2.2 Desplazamientos totales por motivos de trabajo	54
3.3.2.3 Reparto modal de la movilidad al trabajo	55
3.3.2.4 Desplazamientos por modo	56
3.3.2.5 Datos en la unidad funcional.....	57
3.3.2.6 Datos normalizados	62
3.3.3 Datos conjuntos.....	63
3.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO	65
3.4.1 Evaluación de impacto del escenario actual.....	75
3.4.1.1 Vehículo privado	79
3.4.1.2 Transporte público y bicicletas.....	82
3.4.2 Evaluación de impacto del escenario futuro	84
3.4.3 Comparativa de ambos escenarios	88
3.4.3.1 Valores globales.....	88
3.4.3.2 Vehículo privado	91

3.4.3.3 Transporte público y bicicletas.....	94
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES	97
REFERENCIAS.....	101
ANEXO ODS.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferentes medios de transporte utilizados entre 1955 y 1975.....	3
Figura 2. Variación de los principales GEI con respecto al año 1984, en %	5
Figura 3. Emisiones atmosféricas mundiales por contaminante en 2017.....	8
Figura 4. Principales contribuyentes a las emisiones de CO ₂ en EU28, 2018	9
Figura 5. Contribución con las emisiones de GEI por sector, España 2018.....	10
Figura 6. Relación entre las etapa de un ACV	20
Figura 7. Medios de transportes considerados en el ACV	36
Figura 8. Reparto por modos de la movilidad al trabajo de la CCAA de Madrid	45
Figura 9. Reparto modal del transporte público	45
Figura 10. Desplazamientos anuales (millones) por modo, 2017.....	47
Figura 11. Desplazamientos anuales (millones) por modo, 2030.....	57
Figura 12. Comparativa de las motocicletas (2017).....	70
Figura 13. Comparativa del impacto de los autobuses, calentamiento global (GWP 100a)	71
Figura 14. Comparativa de los autobuses por categoría de impacto (2017)	72
Figura 15. Comparativa de los impactos de las bicicletas y el transporte público, por categoría de impacto (2017)	73
Figura 16. Impactos de la bicicleta convencional por fases.....	74
Figura 17. Impactos de la bicicleta eléctrica por fases	74
Figura 18. Calentamiento global (GWP 100a) por fase y tipo de bicicleta	75
Figura 19. Impactos globales del escenario 2017	77
Figura 20. Resultados de los transportes que más impacto generan, 2017	78
Figura 21. Resultados de los turismos con mayor impacto, 2017	81

Figura 22. Resultados del transporte público con mayor impacto, 2017.....	83
Figura 23. Impactos globales del escenario 2030	84
Figura 24. Resultados de los transportes que mayor impacto generan, 2030.....	87
Figura 25. Comparativa de los impactos de los turismos	92
Figura 26. Comparativa de los impactos de las motocicletas	93
Figura 27. Comparativa de los impactos del transporte público	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variación de las emisiones (%) indicadas por sector.....	8
Tabla 2. Variación de las emisiones (%) por sector, Andorra y España	10
Tabla 3. Recomendaciones sobre contaminantes, OMS	28
Tabla 4. Normas EURO para los vehículos ligeros.....	29
Tabla 5. Escenarios posibles por contaminación de NO ₂ en la ciudad de Madrid	31
Tabla 6. Procesos iniciales seleccionados para turismos diésel.....	38
Tabla 7. Procesos iniciales seleccionados para turismos de gasolina.....	39
Tabla 8. Procesos iniciales seleccionados para turismos de gas natural y eléctricos.....	39
Tabla 9. Procesos iniciales seleccionados para motocicletas diésel y eléctricas.....	40
Tabla 10. Procesos iniciales seleccionados para el transporte público	40
Tabla 11. Procesos iniciales seleccionados para las bicicletas.....	42
Tabla 12. Reparto modal de la movilidad al trabajo en la CCAA de Madrid.....	44
Tabla 13. Movilidad anual de turismos y motocicletas, 2017.....	48
Tabla 14. Reparto porcentual de turismos según normativa y combustible	49
Tabla 15. Movilidad anual al trabajo, vehículo privado, 2017	50
Tabla 16. Distancia media por desplazamiento, ocupación media general y ocupación media en los viajes al trabajo, 2017	51
Tabla 17. Movilidad anual al trabajo, transporte público, 2017.....	52
Tabla 18. Movilidad anual al trabajo, bicicletas, 2017	52
Tabla 19. Movilidad anual al trabajo, datos normalizados, 2017	53
Tabla 20. Resumen del cálculo de los desplazamientos anuales por modo.....	55
Tabla 21. Movilidad anual al trabajo 2030 por modo	58
Tabla 22. Cuota de los autobuses con respecto al parque total de cada grupo	60

Tabla 23. Movilidad anual al trabajo 2030, CCAA de Madrid	61
Tabla 24. Movilidad anual al trabajo, datos normalizados, 2030	62
Tabla 25. Movilidad anual al trabajo, ambos escenarios	64
Tabla 26. Resultados del ACV de los medios de transporte considerados, kg/km y MJ/km (2017).....	66
Tabla 27. Resultados de ACV de los medios de transporte considerados, kg/pkm y MJ/pkm (2017)	67
Tabla 28. Resultados de los turismos suponiendo una ocupación de 1,62 personas en kg/pkm y MJ/pkm (2017).....	69
Tabla 29. Variación de los impactos debido al cambio de ocupación (2017)	69
Tabla 30. Resultados del ACV de los autobuses por categoría de impacto, kg/km y MJ/km (2017)	72
Tabla 31. Resultados del ACV del escenario actual 2017	76
Tabla 32. Resultados del ACV del escenario futuro, 2030	85
Tabla 33. Variación entre 2017 y 2030 considerando la población ocupada.....	90
Tabla 34. Variación entre 2017 y 2030 considerando la población ocupada que no teletrabaja.....	90
Tabla 35. Variación de los valores totales de impacto entre 2017 y 2030.....	90



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

MEMORIA

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN

Cuando en España se mencionan, la Santa María, la Pinta y la Niña, todo apasionado de la historia reconocería las tres naves que llevaron a Cristóbal Colón desde Palos de la Frontera (Huelva) hasta La Española. Esta última es una isla del caribe donde se cobijan dos estados, Republica Dominicana y Haití.

En este caso, el interés no reside en si fue Colón el primer europeo en llegar a América, más bien el tiempo que empleó en ello. Zarparon la nao y las dos carabelas el tres de agosto de 1492 y, tras hacer escala en Canarias, el 6 de septiembre del mismo año marcharon hacia el oeste. La Isla de Guanahani (actualmente, integrante del archipiélago de las Bahamas), también conocida como San Salvador o Isla Watling, recibió a los españoles el 12 de octubre, después de más de un mes de travesía [1].

Pues bien, actualmente, cualquier compañía aérea es capaz de dar con precisión el tiempo estimado entre Madrid y Bahamas. Con escala y sin considerar pernocta en el país donde se realiza la misma, la duración media del viaje es de 15 horas. Una diferencia considerable comparado con el tiempo que empleó Colón. Evidencia clara de la evolución del mundo, de la humanidad, del conocimiento y de la forma de vivir.



Figura 1. Diferentes medios de transporte utilizados entre 1955 y 1975

Fuente: Cesión privada

En el conjunto de imágenes de la figura 1, se identifican diferentes medios de transporte. Las fotografías comprenden un margen de 20 años, todas ellas realizadas de forma analógica, donde los cambios no solo tendrían lugar en la técnica del color. Desde luego, si se comparan estos medios con el transporte actual hay muchas diferencias, entre ellas: su frecuencia de uso, el sistema de propulsión, la autonomía, la capacidad de transporte tanto en kilogramos de mercancía como en el número de pasajeros y, por supuesto, la tecnología empleada en su fabricación y uso.

Todo desarrollo tiene un impacto y toda acción humana conlleva consecuencias a todos los niveles, incluido el medioambiental. De ahí, la preocupación por la naturaleza que habita en el planeta Tierra. Fue así como nació en 1983 la Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, creada por Naciones Unidas y la cual publicó en 1987, “Nuestro futuro común” o “Informe Brundtland”, documento pionero en la definición de desarrollo sostenible: “aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”[2].

El interés por el globo terráqueo invita a la observación de todos los parámetros medibles desde diferentes lugares. Uno de los grandes observatorios es la estación espacial internacional, centro de investigación y laboratorio donde participan diferentes países y agencias espaciales. Tripulada desde el año 2000, desde ella se puede apreciar la meteorología y características de la atmósfera, así como el impacto de la actividad humana sobre ella.

Al igual que desde el espacio, la medición también se realiza desde los observatorios terrestres. Entre los parámetros observados se encuentra la temperatura del planeta, cuya media ha aumentado en las últimas décadas. Esto se debe al crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Los GEI existentes en la atmósfera son: el vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4), ozono (O_3), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6) [3].

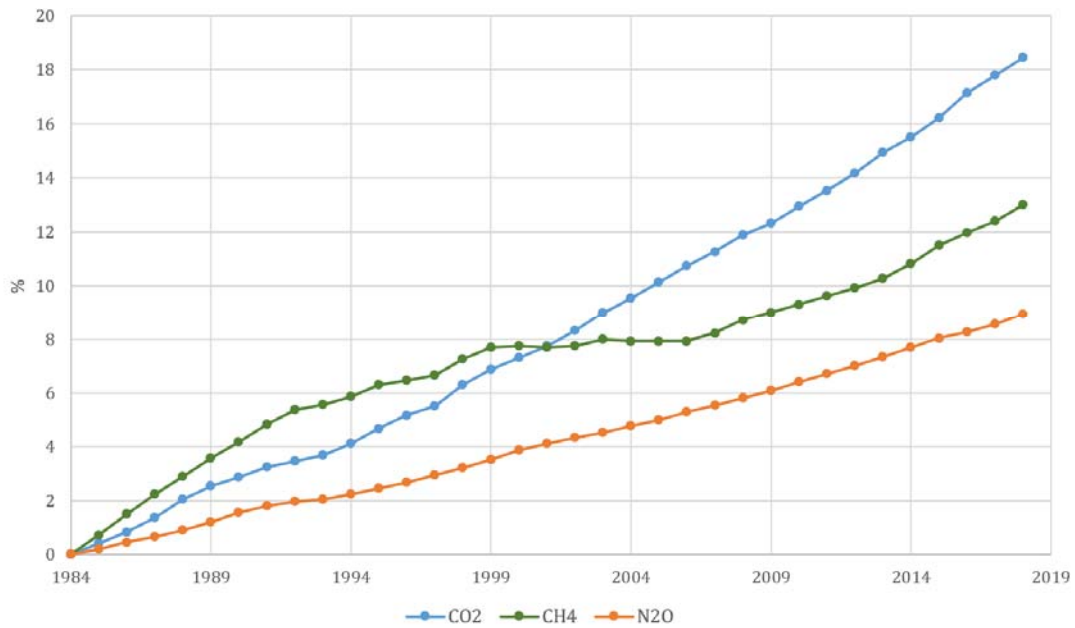


Figura 2. Variación de los principales GEI con respecto al año 1984, en %

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recogidos de "El cambio climático, en datos y gráficos", epdata [4]

Dichos gases favorecen la habitabilidad en la Tierra, pues son responsables de que parte de la radiación solar no atraviese la atmósfera. Su generación es natural, pero también encuentran su origen en la actividad humana. En la figura 2, se observa la evolución, en tanto por ciento, de los tres principales GEI con respecto al año 1984. El crecimiento de las emisiones está dando lugar a un cambio en el clima de forma rápida, y dicho ritmo puede condicionar la adaptación del ecosistema y de los humanos a las nuevas condiciones climáticas.

Este cambio no es algo etéreo y se pueden advertir sus consecuencias, teniendo en cuenta que son diferentes en cada zona del planeta. A nivel global se observa un aumento de la temperatura media, del nivel del mar, y de los eventos extremos, así como el deshielo. En España se han detectado veranos más largos, ríos con un caudal medio inferior al habitual, expansión del clima semiárido y una mayor frecuencia e intensidad de las olas de calor [5].

Ante esta situación, la respuesta debe ser conjunta para ser efectiva. Desde 1995, se celebran casi de forma anual las Conferencias de las Partes, también conocidas como COPs, donde se realizan negociaciones y acuerdos para mitigar el cambio climático [5].

Objetivos de Desarrollo Sostenible

En septiembre del año 2000, los líderes mundiales acogieron la Declaración del Milenio de las Naciones Unidas. Esto suponía un compromiso y adhesión a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), que abogaban principalmente por eliminar la pobreza extrema. Los ODM tenían como plazo hasta 2015 y eran: erradicar la pobreza extrema y el hambre; lograr la enseñanza primaria universal; promover la igualdad de género y la autonomía de la mujer; reducir la mortalidad infantil; mejorar la salud materna, combatir VIH, paludismo y otras enfermedades; garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y fomentar una asociación mundial para el desarrollo [6].

Estos 8 objetivos sentaron las bases para la creación, en septiembre de 2015, de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estos forman parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, donde se define una guía para alcanzarlos. Son 17 objetivos centrados de forma simultánea en la lucha contra la pobreza, el cuidado del planeta y la disminución de las desigualdades. Esto supone una alianza internacional para afrontar los retos planteados.

Los 17 ODS son [7]: fin de la pobreza; hambre cero; salud y bienestar; educación de calidad; igualdad de género; agua limpia y saneamiento; energía asequible y no contaminante; trabajo decente y crecimiento económico; industria, innovación e infraestructuras; reducción de las desigualdades; ciudades y comunidades sostenibles; producción y consumo responsables; acción por el clima; vida submarina; vida de ecosistemas terrestres; paz, justicia e instituciones sólidas y alianzas para lograr los objetivos.

1.1.1 El objetivo 13, el Acuerdo de París y las emisiones

Tras la creación de los ODS, durante la celebración de la COP21 en diciembre de 2015, se alcanzó un acuerdo histórico sin precedentes, conocido como el Acuerdo de París. Dicha alianza trata de reforzar el compromiso adquirido con el objetivo número 13 de los ODS, es decir, consolidar una respuesta global contra el cambio del clima. Cumplir con el Acuerdo se considera paso fundamental para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se establece un marco de transparencia para

todos los países que se adhieran a él y establece un vínculo jurídico con los mismos. A partir de abril de 2016, se puede ratificar y en la actualidad hay 184 países que ya lo han firmado [8][9].

El objetivo principal del Acuerdo de París es evitar que la temperatura media del planeta sea superior, en 2°C, a valores preindustriales y conseguir que el calentamiento global no sobrepase los 1,5°C. Para conseguir esto, es necesario prestar especial atención a las generación de Gases de efecto invernadero, procurando alcanzar un equilibrio entre las emisiones y la capacidad de absorción de la atmósfera [10].

1.1.1.1 Emisiones a nivel global y europeo

En el año 2018, de todos los países del mundo, China fue el que generó más emisiones de CO₂ con un 29,7% del total global, seguido de Estados Unidos (13,9%) y de la Unión Europea (9,1%, U28). Los países que contribuyen con más de un 2%, además de los mencionados, son: India, Rusia y Japón. De todos ellos, solo Japón (3,2%) y la UE consiguieron reducir sus emisiones, entre 2017 y 2018, en 1,7% y 1,9% respectivamente [11].

Según EDGAR (*Emissions Database for Global Atmospheric Research*) los principales sectores que contribuyen en la emisión de GEI son: el sector eléctrico, otras industrias de combustión (fabricación industrial y fabricación de combustible), combustión estacionaria no industrial a pequeña escala (edificios) y el transporte.

En su informe de 2019, se indica que las emisiones globales, entre 1990 y 2015, aumentaron en todos los sectores considerados excepto en combustión estacionaria no industrial a pequeña escala, que disminuye muy poco. El sector que experimenta mayor crecimiento es el sector eléctrico con un 78%, y le sigue el transporte con un aumento del 67% (Tabla 1). Además, los sectores que experimentan un mayor crecimiento de sus emisiones, también son los que presentan una mayor participación de las mismas.

En cuanto a la unión europea, entre 1990 y 2015, las emisiones disminuyen en todos los sectores excepto en el transporte que advierte un incremento del 16%. De la

misma forma ocurre con las emisiones de dióxido de carbono (1990-2018), solo crece el sector del transporte con un 21%.

En cuanto a la participación de cada sector en las emisiones, a nivel europeo se mantiene la tendencia global. La contribución principal la realizan el sector eléctrico y el transporte. En la tabla que aparece a continuación (tabla 1), se muestra, en tanto por ciento, la evolución de las emisiones por sector a nivel europeo y global. UE28 incluye únicamente los estados miembros.

	Global		UE28	
	CO2 1990-2018	GEI 1990-2015	CO2 1990-2018	GEI 1990-2015
Sector eléctrico	82%	78%	-30%	-24%
Otras industrias de combustión	60%	56%	-40%	-39%
Combustión estacionaria no industrial a pequeña escala	6%	-2%	-24%	-26%
Transporte	77%	67%	21%	16%
Otros sectores	110%	39%	-20%	-25%

Tabla 1. Variación de las emisiones (%) indicadas por sector

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recogidos en "Fossil CO₂ and GHG Emissions of all world countries", Joint Research Center [11]

EDGAR no solo analiza los gases de efecto invernadero, también estudia de forma individual las emisiones de CO₂ (1990-2018), pues es el GEI que realiza mayor contribución y su procedencia se atribuye especialmente a la quema de combustibles fósiles (figura 3).

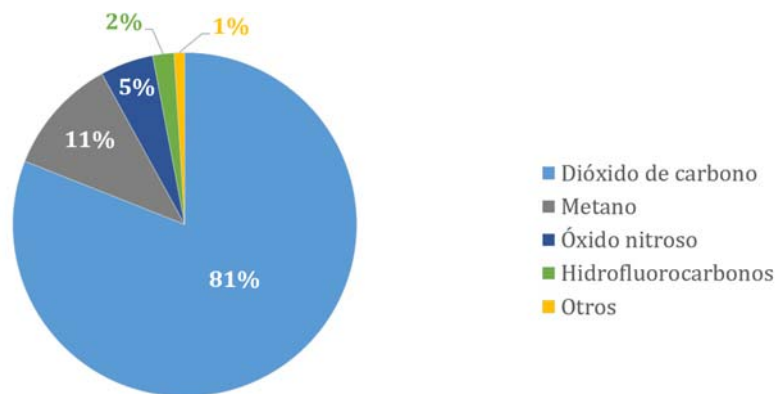


Figura 3. Emisiones atmosféricas mundiales por contaminante en 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de "Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector", noticias del Parlamento Europeo [12]

1.1.1.2 Emisiones en España

Si se considera el top 30 de los países que aportan emisiones de CO₂ a nivel global como el total de las mismas, España representó aproximadamente un 1% de dichas emisiones en 2018 [4].

En cuanto al ámbito europeo, España se encuentra entre los países que generan más emisiones. Como se indica en la siguiente imagen (figura 4), en 2018 ocupó la sexta posición con una contribución del 8% del total de la emisiones de CO₂ de la UE28.

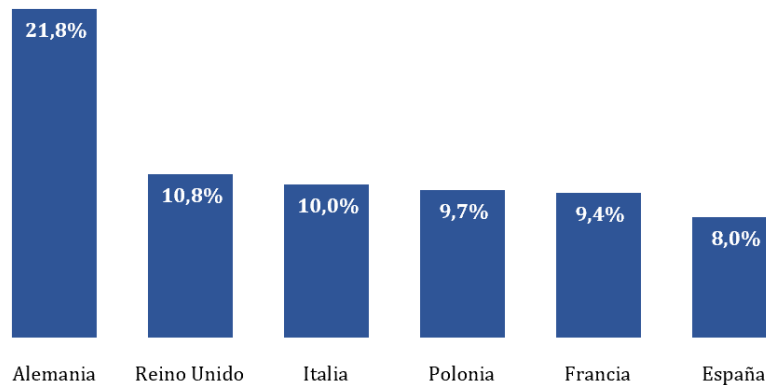


Figura 4. Principales contribuyentes a las emisiones de CO₂ en EU28, 2018

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recogidos de "Fossil CO₂ and GHG Emissions of all world countries", Joint Research Center [11]

EDGAR, en su informe de 2019, muestra resultados de España y Andorra de forma conjunta (tabla 2). Las emisiones de GEI, entre 1990 y 2015, aumentaron en todos los sectores excepto en otras industrias de combustión. Sin embargo, si se analiza la tendencia entre 2005 y 2015, se observa que existe una variación decreciente en todos los sectores. En cuanto a las emisiones de CO₂ entre 1990 y 2018, aumentaron un 45% en el sector del transporte, precedidas únicamente por la combustión estacionaria no industrial a pequeña escala con un incremento del 77%.

	CO2 1990-2018	GEI 1990-2015	GEI 2005-2015
Sector eléctrico	7%	23%	-30%
Otras industrias de combustión	-3%	-10%	-32%
Combustión estacionaria no industrial a pequeña escala	77%	56%	-13%
Transporte	45%	35%	-22%
Otros sectores	-16%	6%	-12%

Tabla 2. Variación de las emisiones (%) por sector, Andorra y España

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de "Fossil CO₂ and GHG Emissions of all world countries", Joint Research Center [11]

En 2018, el sector que realiza mayor contribución en las emisiones de gases de efecto invernadero es el transporte, supuso un 27% del total (figura 5). Además, el transporte por carretera fue el principal participante con un 25% de las emisiones totales de GEI. Esto fue debido al incremento en el consumo de gasóleo y gasolina. Las estimaciones indican que un tercio de las emisiones debidas al tráfico rodado tienen lugar en aglomeraciones urbanas.

Datos sobre el transporte aéreo indican un aumento de sus emisiones con respecto a 2017, pero aun así solo implican un 0,9% del total. Al transporte le siguen la industria con una representación del 20% y la generación de electricidad con un 18% [13][14]. RCI hace referencia a Residencial, Comercial e Institucional.

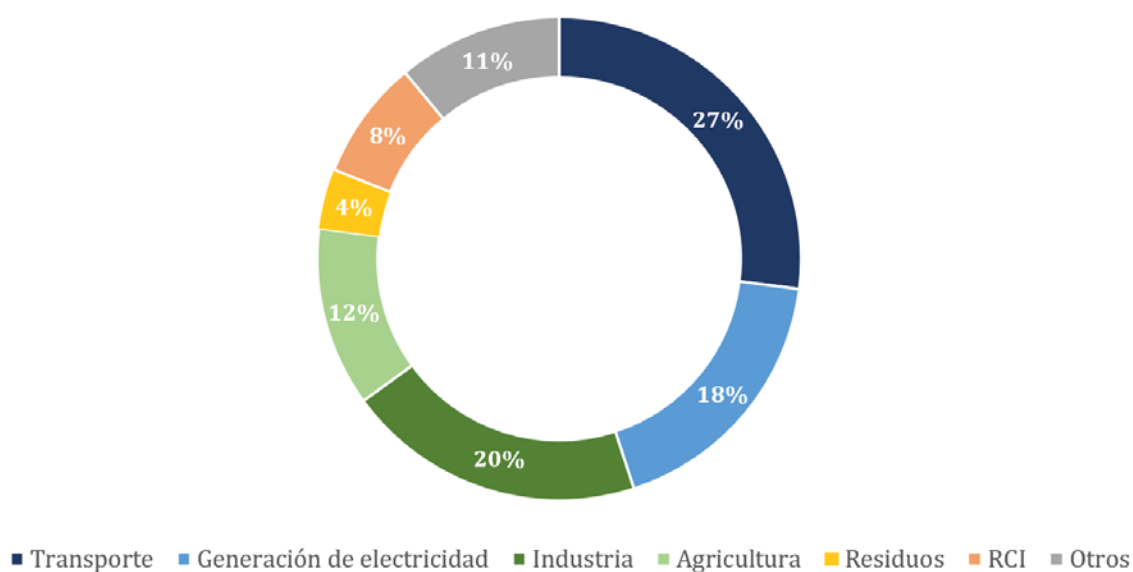


Figura 5. Contribución con las emisiones de GEI por sector, España 2018

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recogidos de "Emisiones de gases de efecto invernadero", Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [14]

1.1.2 El objetivo 11, las ciudades y el transporte

Las ciudades de todo el planeta representan únicamente el 3% de la superficie terrestre, sin embargo el impacto que generan es elevado. Concretamente los núcleos urbanos representan entre un 60% y un 80% del gasto energético, así como un 75% de las emisiones de carbono. Además, desde 2016, más del 50% de los habitantes de las ciudades estuvieron expuestos a niveles de contaminación superiores a los estándares de seguridad [7].

Por ello, el objetivo 11 de los ODS hace hincapié en el desarrollo de estrategias que permitan el crecimiento y evolución de los núcleos urbanos de forma sostenible, siendo necesaria una planificación de todos los sectores que intervienen en una ciudad, entre ellos el transporte.

El interés por este sector reside en su alto impacto dentro de una sociedad. Una población aglutinada en zonas urbanas precisa medios para desplazarse a otras ciudades pero también para moverse dentro de las mismas. Permite aproximar físicamente a las personas pero también acerca el conocimiento, la educación, las oportunidades y por supuesto facilita el acceso a un puesto de trabajo.

Es un sector que favorece el desarrollo económico y, como indica el Banco Mundial, *“es crucial para reducir la pobreza e impulsar la prosperidad”*. Además, dicha entidad, señala que el transporte es parte sustancial de los grandes desafíos abordados por los ODS como: *“cambio climático, urbanización y motorización rápidas, accesibilidad y asequibilidad, seguridad vial y contaminación atmosférica”* [15].

1.1.2.1 El transporte en España

La movilidad de las personas y de las mercancías es importante dentro de la economía española. El transporte se ha consolidado como sector estratégico básico en la industria y el comercio, así como cobra especial alcance en el turismo nacional e internacional.

En términos de sostenibilidad, es importante el número de desplazamientos realizados, cuya tendencia es creciente. Pero también es relevante la forma en la que

se realiza dicha movilidad, es decir, el medio de transporte utilizado ya que no todos ocasionan el mismo impacto.

El reparto modal de la movilidad de personas está dominado por el transporte por carretera, concretamente la utilización del vehículo privado y de autobuses supuso el 86,3% de los millones de viajeros-kilómetro en 2017. Le siguen el transporte aéreo y ferroviario con una participación similar y, por último, el transporte marítimo con un 0,2% [16].

Transporte ferroviario

El sistema ferroviario español cuenta con una amplia red de referencia internacional, especialmente la red de alta velocidad que es la tercera más larga del mundo. Es un medio de transporte eficiente y ofrece a los viajeros diferentes servicios. Según la distancia recorrida se pueden clasificar en [17]: Internacional; Larga distancia, que se divide en dos grupos según la velocidad que puede alcanzar el tren (alta velocidad o larga distancia convencional); media distancia o regional; cercanías y metro.

De todos ellos, el metro y los trenes de cercanías cobran relevancia en el transporte de viajeros en núcleos urbanos. A nivel nacional, los servicios de alta velocidad y cercanías son los que tienen mayor número de viajeros por kilómetro, 10,76 y 8,35 millones de pkm respectivamente en 2019 [18].

Transporte aéreo

España cuenta con 49 aeropuertos repartidos por todo el territorio nacional. Están gestionados por AENA y por ellos transitan miles de personas, concretamente 275 millones de personas en 2019 [19]. Además, actúan como la puerta de entrada del turismo internacional, situando a España como el segundo país del mundo en la recepción de los mismos, específicamente 83,7 millones de personas [20].

Los aeropuertos con mayor movimiento de pasajeros son Adolfo Suarez Madrid-Barajas, Barcelona-El Prat, Palma de Mallorca y Málaga-Costa del Sol. En ellos, las

conexiones con mayor número de viajeros son internacionales y principalmente con países de la Unión Europea [21].

Transporte marítimo

El litoral español posee un tamaño considerable que, junto con la situación geográfica del país, otorgan a los puertos españoles una posición relevante en el tráfico marítimo. España es una de las principales potencias pesqueras dentro de la Unión Europea, siendo ésta una actividad fundamental en los territorios de costa.

La utilización de este medio de transporte cobra especial importancia en el transporte de mercancías, con un tráfico de 545 millones de toneladas en 2018. Por otro lado, el transporte de pasajeros presenta un menor peso dentro de la actividad con un tráfico de 36 millones de personas en 2018 [22].

Transporte por carretera

Estos medios de transporte dominan tanto el transporte de mercancías como el transporte de pasajeros. Sin embargo, en los núcleos urbanos destacan por la movilidad de las personas. Para ello la Dirección General de Tráfico (DGT) distingue entre turismos, autobuses y motocicletas, los cuales representan el 81,8% del total de vehículos registrados y donde los turismos presentan la cuota más alta.

Además la DGT clasifica estos medios de transporte según el combustible o tecnología empleados. Concretamente distingue entre diésel, gasolina y otros, donde este último puede hacer referencia a gas natural, gas licuado de petróleo, eléctricos e híbridos. Si bien el sector está dominado por los combustibles derivados del petróleo, cada vez más cobran fuerza otras alternativas.

También, en muchas ciudades españolas, se fomenta el uso de la bicicleta a través de la creación de carriles específicos y la puesta en marcha de plataformas de alquiler de bicicletas eléctricas.

1.2 LA MOVILIDAD AL TRABAJO

Como se indica anteriormente, la población se concentra allí donde tienen lugar las actividades económicas. En el caso de las grandes urbes, los centros o lugares de trabajo pueden estar ubicados en el interior de la ciudad. Igualmente, se pueden encontrar en la periferia, en polígonos industriales o en áreas donde se han desarrollado, entre otros, parques empresariales o campus universitarios.

Además, se ha incrementado la creación de zonas residenciales y en muchas ocasiones los ciudadanos desenvuelven su actividad laboral en una localidad diferente a su lugar de residencia. Todo ello, genera a diario miles de desplazamientos cuyo único objetivo es acceder a un puesto de trabajo, en definitiva una movilidad ineludible. Si bien las circunstancias actuales en las que se encuentra el mundo, debido a la Covid-19, lleva a pensar que dicha movilidad que muchos casos no es indispensable.

Antes de la pandemia, gran parte de los viajes efectuados por motivos laborales se realizaban mediante vehículo privado, turismos o motocicletas. Esto puede deberse a diferentes motivos y uno de ellos es la falta de planificación, ya que en muchas ocasiones el transporte público no llega hasta los lugares de trabajo. Asimismo, la amplia disponibilidad de aparcamiento en áreas industriales y empresariales, el buen estado y extensión de la red de carreteras, y la flexibilidad que ofrecen los turismos fomentan el uso de los mismos.

Esta configuración de la movilidad al trabajo, la cual representa cerca del 30% de los desplazamientos [23], genera diferentes impactos. Posiblemente, en primer lugar se identifica el impacto medioambiental, concretamente en las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, también se registran otros impactos de alcance considerable como [23][24]:

- Salud. Las emisiones de contaminantes no solo afectan al clima sino que también provocan la contaminación del aire, siendo ésta perjudicial para la salud de la personas. Entre ellos se identifican, como nocivos para la salud, los siguientes contaminantes: los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos volátiles, el monóxido de carbono, las partículas sólidas y el dióxido de

azufre. La calidad del aire se debilita principalmente en núcleos urbanos donde hay una mayor concentración de vehículos.

También se pone en riesgo la salud de la población a través de los accidentes de tráfico, que tienen lugar durante los desplazamientos al trabajo. De hecho, son una de las principales causas de muerte por accidente laboral. La accidentalidad varía según el medio de transporte utilizado, en el transporte público es considerablemente menor que en motocicletas y turismos.

Asimismo, la contaminación acústica producida por el tráfico afecta a la salud de los ciudadanos, así como a su calidad de vida. A esto se suma la falta de actividad física al utilizar medios de transporte que no fomentan el ejercicio. Se considera que los desplazamientos a pie, en bicicleta o en transporte público favorecen una mejora de la salud de la población.

- Exclusión laboral. Como se indica anteriormente, muchos centros o áreas laborales no cuentan con acceso a través del transporte público, obligando a la utilización del vehículo privado. Por ello, la obtención del permiso de conducir o tener opción al uso de motocicleta o coche propios, se convierten en requisitos fundamentales para poder alcanzar un puesto de trabajo. Así se genera exclusión hacia las personas que no cumplen dichas condiciones.
- Pérdida de tiempo. Los horarios laborales son similares, de tal forma que los desplazamientos tienen lugar durante franjas horarias determinadas. Esto provoca congestiones de tráfico, lo que supone una pérdida de tiempo. En España, las ciudades con un mayor número y duración de los atascos son Barcelona y Madrid.
- Falta de eficiencia. El transporte por carretera utiliza, en su mayoría, motores de explosión o de combustión interna donde el aprovechamiento energético de combustible ronda el 20%. A esto se suma un uso ineficiente de la capacidad de ocupación, especialmente en los turismos. Además, se sabe que el consumo medio de energía por viajero es casi tres y siete veces más en turismos que en autobuses y transportes ferroviarios respectivamente.

- Costes económicos. La utilización del turismo para los desplazamientos al trabajo genera una fuerte dependencia de los combustibles derivados de petróleo y un coste económico considerable. Éste no sería tal si se utilizara transporte público o si existiera una planificación de las infraestructuras y medios, junto a un mejor aprovechamiento de los mismos.

Decididamente, la transformación de la movilidad al trabajo en una dirección sostenible trae consigo numerosos beneficios en todos los ámbitos. Para ello es necesaria la participación de todas las personas implicadas, es decir, han de poner de su parte las administraciones e instituciones correspondientes, los trabajadores y las propias empresas.

Este compromiso, adquirido por parte de todos, se puede materializar a través de la adopción de diferentes medidas como [23] [24]:

- Proporcionar información a los usuarios, así como la realización de campañas de concienciación ya que, para conseguir el cambio, es necesaria una modificación de los hábitos.
- Fomentar los desplazamientos andando o, al menos, una parte de los mismos cuando exista la posibilidad. También, el uso de la bicicleta y el transporte público.
- Uso de transporte colectivo proporcionado por la empresa. Este tipo de servicios están recomendados cuando el centro de trabajo se encuentra en la periferia de las ciudades, no existe acceso a través del transporte público o la oferta del mismo es reducida.
- Fomentar el uso de coche compartido, de manera que se aumente la ocupación de los mismos.
- Fomentar el teletrabajo. Esta medida no es aplicable a todos los puestos de trabajo de todos los sectores pero su aplicación es posible en muchas ocasiones. Cierto es que requiere un cambio cultural y un esfuerzo por parte

de la empresa, dotando a sus trabajadores de los medios necesarios. Sin embargo, el teletrabajo aporta beneficios como un aumento de la productividad y una reducción de los desplazamientos.

Además, esta medida permite continuar con toda actividad que no requiere presencialidad durante circunstancias excepcionales, como las actuales provocadas por la enfermedad Covid-19.

- Los horarios flexibles permiten a los trabajadores evitar las congestiones de tráfico y por lo tanto se reduce la pérdida de tiempo. Además, favorece la conciliación familiar.

Cuando el conjunto de medidas se enmarca en las competencias de la empresa o del centro de trabajo, puede formar parte de lo que se conoce como un plan de transporte al trabajo (PTT) y dichas medidas se definen a partir de un estudio previo de la situación concreta correspondiente.

Asimismo, instituciones nacionales e internacionales hacen uso de sus competencias para reducir los impactos negativos de la movilidad. Para ello emplean instrumentos concretos a través de políticas, legislación y ayudas.

1.3 JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

La información expuesta anteriormente actúa como motivación para realizar un análisis de los desplazamientos por motivos de trabajo, si bien es preciso definir un contexto más específico. Las estimaciones que apuntan a un crecimiento de la población en los núcleos urbanos son determinantes para seleccionar la Comunidad Autónoma de Madrid como ubicación del estudio. Además, dicha autonomía cuenta con una amplia variedad de medios de transporte y en numerosas ocasiones ha sido el lugar elegido para estudiar, incorporar y desarrollar nuevas formas de movilidad.

Por ello se propone la realización de un Análisis de Ciclo de Vida de la movilidad al trabajo en la CCAA de Madrid, mediante la utilización del software SimaPro. El objetivo principal de este proyecto reside en conocer el impacto que supone la

movilidad al trabajo, debido a la cantidad de desplazamientos realizados y el modo en que se llevan a cabo, de tal forma que se pueda contribuir en las decisiones orientadas a una movilidad sostenible. A continuación, se definen objetivos específicos:

1. Análisis de los medios de transporte de la Comunidad Autónoma de Madrid utilizados para ir al trabajo, en cuanto a número de desplazamientos, reparto modal y nivel de ocupación de los mismos.
2. Estudio de los procesos que definen los medios de transporte disponibles en Simapro y la definición de aquellos que no existan, para conseguir una adaptación al escenario lo más realista posible.
3. Análisis de tendencias y estimaciones sobre los medios de transporte y el trabajo, de tal forma que permitan definir un escenario futuro.
 - 3.1 Definir las medidas que favorezcan una movilidad sostenible e incorporarlas en los diferentes medios de transporte.
4. Conocer los impactos generados por cada medio de transporte a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de ambos escenarios.
5. Comparativa del ACV de ambos escenarios que permita conocer la variación de los impactos y cuantificar la efectividad de las medidas adoptadas.

CAPÍTULO II: ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

La inquietud de *Coca-Cola Company* por saber cuál era el mejor envase para sus productos, tuvo como resultado un estudio realizado por *Midwest Research Institute* (MRI) en 1969. Dicho estudio se desarrolló teniendo en cuenta todas las etapas del ciclo de vida del producto y su objetivo principal era conocer el impacto de cada tipo de envase.

Dicho estudio fue pionero y fomentó de algún modo el avance y uso del Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Sin embargo, no fue lo único que motivó el desarrollo del mismo pues, aproximadamente 10 años después, se fundó *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) [25].

SETAC es una de las principales organizaciones que colaboró con el progreso del ACV y actualmente su actividad continúa siendo líder. Como resultado de su primer taller (1990), se acogió la denominación “*Life Cycle Assessment*” dentro de la comunidad estadounidense y más tarde sería asumida a nivel internacional [26].

Hubo que esperar hasta 1993 para la puesta en marcha de una normativa correspondiente a la gestión ambiental, por parte de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Se desarrolló la serie ISO 14040, pero actualmente están vigentes la ISO-14040 (2006) y a la ISO-14044 (2006).

La norma ISO 14040 define el concepto de ACV de la siguiente forma: “es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilando un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio” [27].

Dicha norma establece las cuatro fases del ACV [28]: definición del objetivo y del alcance, análisis de inventario, evaluación del impacto ambiental e interpretación. Es preciso saber que el Análisis de Ciclo de Vida se desarrolla como un proceso iterativo, del tal forma que cada etapa puede utilizar resultados de las otras consiguiendo así mayor precisión (figura 6).

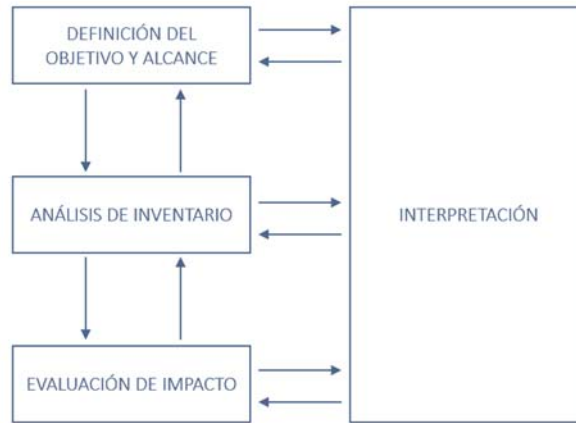


Figura 6. Relación entre las etapas de un ACV

Fuente: Elaboración a partir de la norma ISO 14040 [28]

El campo de aplicación de la técnica de ACV es extenso. Anne-Marie Tillman y Henrikke Baumann, en su libro *The Hitch Hiker's Guide to LCA* [29], muestran diferentes aplicaciones como en el desarrollo de productos y el marketing. La aportación del ACV no se reduce al sector industrial o a la administración, también, a través de su filosofía, colabora con el desarrollo de legislaciones.

2.1.1 Publicaciones y estudios

Al igual que su campo de aplicación, las publicaciones y estudios relacionados con el ACV presentan una diversidad muy amplia. En este caso, el objetivo se centra en mostrar aquello relacionado con los medios de transporte.

En 1996 se publicó "*Life Cycle Assessment as an Engineering Tool in the Automotive Industry*" [30], cuyo objetivo estaba enfocado en comparar cuatro modelos de guardabarros y así poder seleccionar la mejor opción.

Independientemente del producto evaluado, dicho estudio defiende la selección de productos a través de una toma de decisiones, teniendo en cuenta el impacto que genera el producto escogido como un aspecto más. Además, en su conclusión se indica que, en cuanto a las emisiones, es muy importante considerar todas las etapas del ciclo de vida del producto. Para finalizar, puntualiza la importancia de los datos para obtener resultados fiables.

En septiembre de 2003, se publicó un artículo sobre el impacto que genera un vehículo de pasajeros en Países Bajos [31]. Para ello, se definió un vehículo y su peso promedio, y se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida (de la cuna a la tumba) del mismo.

El análisis recogido en dicho artículo se presenta como una forma de evaluar y comparar diferentes alternativas de diseño y así conseguir mayor sostenibilidad en este tipo de vehículos. Además, hace hincapié en la importancia del reciclaje de éstos una vez finaliza su uso.

En este estudio se consideraron categorías de impacto como carcinogenicidad, sustancia orgánica respiratoria, sustancia inorgánica respiratoria, cambio climático, radiación, ecotoxicidad, acidificación, eutrofización, agotamiento de la capa de ozono, uso del suelo, minerales y combustibles fósiles.

En sus conclusiones se indica que el impacto dominante proviene del uso de combustibles fósiles, predominando durante la fase de uso, suponiendo más del 90% del impacto generado durante todo su ciclo de vida.

A este mismo resultado ya había se había llegado en el año 2000, cuando se publicó "*Experiences and thoughts about life cycle assessment in the automotive industry in Japan*" [32]. Que el mayor impacto se generaba durante el uso del vehículo se obtuvo también para camiones de cuatro toneladas.

En 2003, también se publicó un artículo relacionado con el transporte, en esta ocasión, sobre el ferrocarril de alta velocidad para el transporte de pasajeros en Alemania [33]. A través de la colaboración entre la Universidad Martin-Luther Halle-Wittenberg y el principal operador ferroviario alemán, el Deutsche Bahn, se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida de una de las principales líneas de alta velocidad.

La ruta seleccionada que une Hannover y Wurzburgoy es recorrida por el buque insignia de la alta velocidad alemana, Inter City Express, a una velocidad de hasta 300 km/h cuando la vía está en condiciones adecuadas. Como resultado, se puede destacar que, la demanda de energía está dominada en gran medida por el proceso de tracción.

En 2005, a través de “*Scenario Modelling in Prospective LCA of Transport Systems*” [34] se indica cómo construir escenarios futuros sobre los que poder aplicar el análisis de ciclo de vida. Cuando se habla de futuro, es imposible no atender a la incertidumbre. Se diferencian tres tipos: incertidumbres técnicas (relacionadas con la calidad de los datos que describen el sistema), incertidumbres metodológicas (relacionadas con la estructura y el diseño del modelo utilizado) e incertidumbres epistemológicas (a que nivel el modelo representa el sistema bajo estudio y de qué forma lo hace).

Este estudio se centra en la incertidumbre epistemológica, sabiendo que la clave en este tipo de ACV es que escenarios posibles hay en el futuro para que colaboren en la toma de decisiones estratégicas. Su principal objetivo es comparar las diferentes tecnologías ferroviarias con las demás alternativas.

En 2012, se realizó a través del ACV, una comparación del impacto causado por el vehículo tradicional y el eléctrico [35]. Entre los resultados obtenidos es necesario destacar que el vehículo tradicional genera mayor impacto durante la fase de uso. Sin embargo, durante la etapa de producción el impacto ocasionado por los eléctricos es superior.

En enero de 2018, se publicó “*Evaluation of Alternatives for the Passenger Road Transport Sector in Europe: A Life-Cycle Assessment Approach*” [36]. En él se muestra un ACV del transporte de pasajeros por carretera de la Unión Europea en 2010, donde solo se tienen en cuenta los países miembros. Además hace una comparativa de los resultados obtenidos al aplicar diferentes políticas, entre ellas el uso de sistemas de propulsión con fuentes de energía alternativas. Se concluye que los resultados positivos, al aplicar las políticas seleccionadas, son casi el doble que los no tan favorables.

En julio de 2019, The International Journal of Life Cycle Assessment, publicó un artículo llamado “*Current trends and limitations of life cycle assessment applied to the urban scale: critical analysis and review of selected literature*” [37]. Sus autores defienden que las ciudades deben liderar modelos de sostenibilidad completos en todos los ámbitos del núcleo urbano, como el transporte, los residuos, los sistemas relacionados con el agua o aquellos relacionados con la energía. Para ello proponen

la realización de un Análisis de Ciclo de Vida de forma global sobre todos los subsectores urbanos. Realizan una revisión bibliográfica obteniendo que no se ha desarrollado mucho la línea de investigación que proponen.

También publicó, en junio de 2019, "*Prospective cost and environmental impact assessment of battery and fuel cell electric vehicles in Germany*"[38]. Se presenta como un estudio global, mediante ACV, para proporcionar una comparativa entre vehículos eléctricos con batería (BEV) y vehículos eléctricos de celda de combustible (FCV) teniendo en cuenta los impactos ambientales y los costes durante todo su ciclo de vida.

2.1.2 SimaPro

Existen diferentes herramientas para realizar un Análisis de Ciclo de Vida. En 1973 se desarrolló el primer software en Estados Unidos, y desde entonces se han creado nuevas herramientas evolucionando para facilitar de algún modo los cálculos.

Algunas de estas herramientas son: Gabi, SimaPro, Umberto o TEAM. Especialmente, SimaPro es una de las más utilizadas, permite elaborar el ACV bajo las directrices de la normativa vigente de gestión ambiental (ISO 14040 e ISO 14044) e incluye un entorno que permite trabajar con importantes bases de datos como Ecoinvent, ILCD o Agri-footprint.

Ecoinvent

Las bases de datos están siempre actualizándose para ofrecer la calidad adecuada de los datos y una amplia diversidad de disciplinas. Concretamente Ecoinvent en su tercera versión introduce un modelo de sistema nuevo además de los ya existentes, "*Allocation, default*" y "*Consequential*". Este nuevo modelo de sistema se denomina "*Allocation, recycled content*" y su modelado se asemeja al realizado en la versión anterior, Ecoinvent 2 [39].

2.2 EL TRANSPORTE EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

La Dirección General de Tráfico (DGT) identifica [40], en la Comunidad Autónoma de Madrid, un parque de turismos que representa aproximadamente el 15% del nacional. En 2017, dicho parque estaba formado por 1.470.878 turismos de gasolina y 2.138.118 diésel. Además, contaba con 13.093 turismos cuyo sistema de propulsión utiliza fuentes de energía alternativas, dicho grupo es denominado *otros* por la DGT.

En cuanto a la evolución del parque de turismos, se observa un incremento considerable de *otros* en los últimos años, sin embargo su cuota en el conjunto es solo un 0,36% aproximadamente.

Los turismos diésel y gasolina presentan una tendencia creciente y desde 2007 el número de turismos diésel es superior a los de gasolina. Acerca de la evolución de conjunto total de turismos, la tendencia también es ascendente.

Las motocicletas de la CCAA de Madrid suponen un 10% del parque nacional. En sus tablas estadísticas [40], la DGT refleja la existencia de 345.911 motocicletas de gasolina en 2017. Este mismo año, también registra 1.599 motos que utilizan fuentes de energía alternativas (*otros*) y por último, 433 motocicletas diésel.

Con respecto al transporte público, su gestión y regulación es realizada por el Consorcio Regional de Transportes de Madrid exceptuando Renfe cercanías que depende del Ministerio de Fomento.

Dentro del transporte público se puede distinguir entre (2017) [41]:

- Metro, cuya red está formada por 12 líneas con un total de 307 trenes en hora punta y con una velocidad que oscila entre los 21,8 km/h y los 40,9km/h según la línea, siendo la más rápida la que une Nuevos Ministerios con las terminales del aeropuerto Adolfo Suarez Madrid-Barajas (línea 8).
- Autobuses urbanos de Madrid. Se ubican dentro las competencias de la Empresa Municipal de Transportes de Madrid (EMT). Cuenta con 209 líneas y una flota constituida por 2.025 vehículos. Éstos utilizan diferentes

tecnologías, concretamente 1.019 son de gas natural, 928 emplean biodiésel, 52 son híbridos, 23 eléctricos y 3 de gas-diésel.

- Concesiones por carretera, incluye los autobuses urbanos de otros municipios y los autobuses interurbanos. El parque móvil está formado por 1.824 autobuses, donde 1.353 son diésel, 213 emplean gas natural y 258 son híbridos. Este grupo también recibe el nombre de autobuses metropolitanos [42].
- Metro ligero y otras concesiones ferroviarias. El primero cuenta con una red formada por 4 líneas y 35 trenes en hora punta. El segundo es un tramo de la línea 9 del metro, que une las estaciones de Arganda del Rey y Puerta de Arganda.
- Renfe-Cercanías, cuenta con 9 líneas que unen Madrid con su área metropolitana, con las demás principales ciudades de la comunidad autónoma y con Guadalajara. Se encuentra bajo las competencias de Renfe Viajeros.

Acerca de las bicicletas eléctricas, en la ciudad de Madrid existe una plataforma de alquiler de las mismas, BiciMAD, gestionada por la Empresa Municipal de Transportes de Madrid. En 2017 se realizaron más de 10 millones de desplazamientos con este servicio [43] y las distancias medias recorridas se sitúan entre 1km y 4km.

2.3 TENDENCIAS SOBRE TRABAJO Y MOVILIDAD EN LAS CIUDADES

Pensar en cómo será y cuánto habrá cambiado la forma de trabajar en un futuro, muestra un escenario plagado de incertidumbre. Por ello, se recurre a las estimaciones realizadas por diferentes estudios y a las tendencias en las que se trabaja actualmente.

No se trata de definir qué sectores presentarán mayores tasas de empleabilidad o que perfiles serán más demandados, si no de especificar las características propias del trabajo en su relación con la movilidad que genera.

Cabe destacar que la población mundial continúa creciendo, sin embargo la tasa de natalidad en España es baja y el conjunto de la población envejece. De hecho, para dicho país, se estima una reducción del 4% de la población activa junto a una población ocupada de 21.976.000 habitantes, en 2033 [44].

A esto se suma la previsión, para 2050, en cuanto a los núcleos urbanos, aproximadamente el 66% de la población mundial vivirá en las ciudades [45]. Esto implica un aumento de los desplazamientos, por ello es importante el desarrollo de una estrategia que permita dicha movilidad de acuerdo con la sostenibilidad.

Por otro lado, una de las principales tendencias sobre el trabajo, que aún no está desarrollada por completo, es la flexibilidad. Existen diversos motivos para incorporarla a la estrategia empresarial. Entre ellos están [46]:

- Conciliación de la vida profesional y personal. La flexibilidad fomenta la igualdad de género y la inserción de personas que no viven en núcleos urbanos o no tienen facilidad para desplazarse.
- Reduce el impacto ambiental, tanto la flexibilidad de horarios que permite evitar las aglomeraciones como el teletrabajo que permite evitar los desplazamientos.
- Menos bajas por enfermedad. La posibilidad de trabajar desde casa permite continuar con la actividad laboral aunque no se esté al 100% de salud.
- Productividad. No todos los empleados rinden igual ni a las mismas horas, por ello establecer objetivos y permitir una organización flexible, en muchas ocasiones, da lugar a mejores resultados.

Una de las grandes apuestas de la flexibilidad laboral es el teletrabajo. En España, en 2019, el 22,3% de la población ocupada tuvo posibilidad de trabajar desde casa y

solo 4,8% lo hizo. Concretamente en la Comunidad Autónoma de Madrid el 28 % de las personas ocupadas tuvo la opción de teletrabajar y únicamente el 5,1% lo hizo [47].

Como se muestra anteriormente, el teletrabajo reduce de forma directa los desplazamientos por motivos laborales. Se ha podido comprobar durante el confinamiento de la población debido a la enfermedad Covid-19.

Los desplazamientos por motivos laborales suponen habitualmente un 30% de la movilidad total y debido a la pandemia se han reducido en un 62,3%. Esta reducción ha sido debida al teletrabajo, que aumentó en hasta el 34% de la población ocupada, en un 22,1% y el resto se debe a las restricciones de movilidad [48]. Ante esta situación inusual, las tendencias hacia el teletrabajo se han acelerado bastante.

En cuanto a la movilidad, las principales tendencias son cuatro [49]. La primera de ellas aboga por la descarbonización y electrificación del sector. Para ello se propone el uso de vehículo eléctrico. Por supuesto, es necesaria la adaptación tecnológica, mejorando las baterías y aumentando los puntos de recarga, así como, alcanzar precios competitivos y asequibles.

La segunda se centra en la movilidad compartida. Esto puede enfocarse desde dos perspectivas. Por un lado el aumento de la ocupación de los vehículos, por ejemplo en los desplazamientos al trabajo cuando las personas residen cerca. Por otro, se puede modificar la cultura que promueve la adquisición de un vehículo propio, dando paso al alquiler de vehículos por un corto periodo de tiempo. Ya existen este tipo de plataformas como emov, WiBLE o Zity donde se cobra el servicio por los minutos utilizados.

La tercera son los vehículos autónomos. Utilizando la inteligencia artificial, los vehículos se mueven sin necesidad de un conductor y se desplazan siguiendo la mejor ruta en ese momento, evitando los atascos y reduciendo el tráfico.

La cuarta tendencia, muy relacionada con la tercera, defiende una movilidad conectada que puede tener lugar gracias a internet. Permite dar información actualizada de forma inmediata, en lo que a movilidad se refiere. Sin embargo, la concepción de esta tendencia es en un sentido integrado con el conjunto global de núcleo urbano.

Además se advierten cambios en el reparto modal de la movilidad. Específicamente para 2030, se espera una reducción del 10% de los desplazamientos realizados con vehículo privado y un aumento de los viajes en transporte público del 15% [50].

En el caso de España, se espera que Madrid sea una de las ciudades europeas cuya movilidad experimente mayores cambios para 2030. Se estima que los desplazamientos a pie se incrementarán en un 23%, los viajes en vehículo privado disminuirán en un 16% y la utilización de bicicleta y transporte público crecerán en un 1% y un 6% respectivamente [50].

2.4 NORMATIVA Y RECOMENDACIONES

2.4.1 Recomendaciones de la OMS

La Organización Mundial de la Salud (OMS) sabe de la importancia de la calidad del aire en cuanto a salud de la población se refiere. Por ello, la OMS indica a modo de recomendación los umbrales que no se deben sobrepasar. Concretamente hacen referencia a cuatro contaminantes, entre ellos partículas finas y gruesas cuya diferencia radica en su tamaño. Las finas tienen un diámetro igual o inferior a 2,5 micras y son las más dañinas para la salud. En cuanto a las gruesas su diámetro es igual o inferior a 10 micras [51]. A continuación se muestra una tabla con los valores umbrales recomendados.

	Partículas finas	Partículas gruesas	Ozono	Dióxido de nitrógeno	Dióxido de azufre
Umbrales	25 µg/m ³ media en 24h	50 µg/m ³ media en 24h	100 µg/m ³ media en 8h	200 µg/m ³ media en 1h	500 µg/m ³ media en 10min
	10 µg/m ³ media anual	20 µg/m ³ media anual		40 µg/m ³ media anual	20 µg/m ³ media en 24h

Tabla 3. Recomendaciones sobre contaminantes, OMS

Fuente: elaboración propia a partir de "Calidad del aire y salud", OMS [51]

2.4.2 Normativa sobre contaminantes

Dada la importancia del transporte por carretera en la movilidad al trabajo y su repercusión en la emisión de gases contaminantes, se muestran las normativas relacionadas.

A nivel europeo, desde hace muchos años se realizan esfuerzos para mejorar la calidad del aire a través de leyes que permitan la regulación de las emisiones procedentes del transporte.

El primer objetivo de la Unión Europea consistió en la reducción del principal gas de efecto invernadero, CO₂. Sin embargo, desde 1992 también se regulan otros contaminantes procedentes de las emisiones de los vehículos, tanto pesados como ligeros.

A medida que ha pasado el tiempo se han ido restringiendo dichas emisiones y esto ha dado lugar a una clasificación atendiendo a la época de fabricación y matriculación del coche, pues según el año debían cumplir unos límites u otros, y al combustible empleado.

Los contaminantes regulados son el monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y partículas. En la siguiente tabla se muestran los valores límite de los contaminantes y la clasificación de los vehículos ligeros.

Valores en g/km		CO	NMHC	NOx	HC+NOx	PM	PN
Diésel	EURO 1	2,72	-	-	0,97	0,14	-
	EURO 2	1,00	-	-	0,70	0,08	-
	EURO 3	0,64	-	0,50	0,56	0,05	-
	EURO 4	0,50	-	0,25	0,30	0,025	-
	EURO 5a	0,50	-	0,18	0,23	0,005	-
	EURO 5b	0,50	-	0,18	0,23	0,005	6,00E+11
	EURO 6	0,50	-	0,08	0,17	0,005	6,00E+11
Gasolina	EURO 1	2,72	-	-	0,97	-	-
	EURO 2	2,20	-	-	0,50	-	-
	EURO 3	2,30	-	0,15	-	-	-
	EURO 4	1,00	-	0,08	-	-	-
	EURO 5	1,00	0,068	0,06	-	0,005	-
	EURO 6	1,00	0,068	0,06	-	0,005	6,00E+11

Tabla 4. Normas EURO para los vehículos ligeros

Fuente: elaboración a partir de "Evolución de la reglamentación europea sobre emisiones y homologación de vehículos", M. García-Ramos [52]

En España, también existe la preocupación por mejorar la calidad del aire y para ello se puso en marcha el Plan Nacional de Mejora de la Calidad del Aire a través de la Ley 34/2007, otorgando al gobierno la capacidad, dentro de sus competencias, de aprobación de planes y estrategias para reducir las emisiones y sus impactos negativos.

En este contexto, la Dirección General de Tráfico (DGT) desarrolló los distintivos ambientales generando una clasificación de los vehículos en función de lo respetuosos que son con el medio ambiente. Los distintivos reciben la siguiente denominación: “*CERO EMISIONES o CERO*”, “*ECO*”, “*C*” y “*B*”.

Esta clasificación, derivada de los distintivos ambientales, colabora con las medidas adoptadas a nivel local en casos de alta contaminación, así como, con planes y medidas adoptadas para fomentar una movilidad sostenible.

Protocolo por alta contaminación

En la ciudad de Madrid se ha desarrollado un nuevo protocolo por alta contaminación que entró en vigor en 2018. En dicho protocolo se definen tres niveles de contaminación, que hacen referencia a la concentración de dióxido de nitrógeno y determinan las medidas a tomar [53].

El nivel de “*preaviso*” se activa cuando dos estaciones de la misma zona registran valores superiores a $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante dos horas seguidas, o bien tres estaciones de cualquier zona superan dicho nivel durante tres horas seguidas.

El segundo nivel posible es “*aviso*”. Se pueden acceder a este nivel en dos ocasiones, si dos estaciones de la misma zona alcanzan valores superiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante dos horas seguidas, o si tres estaciones de la red sobrepasan dicho valor durante tres horas seguidas.

Por último, se puede dar el nivel de “*alerta*”. Para ello, es necesario que tres estaciones de una misma zona o dos de la zona 4, identifiquen valores por encima de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante tres horas consecutivas.

La zona 4 hace referencia al noroeste, donde se ubican las estaciones de El Pardo y Casa de Campo. Para que se activen los diferentes niveles, los valores, superiores a

los límites determinados, deben ser registrados por las estaciones de forma simultánea. Estos niveles dan lugar a distintos escenarios, que se muestran en la siguiente tabla (tabla 5). SER hace referencia al Servicio de Estacionamiento Regulado.

Escenario	Condición	Medidas
1	1 día se supera el nivel de preaviso	- Fomento del transporte público - Velocidad máxima de 70 km/h en la M-30 y accesos
2	2 días seguidos se supera el nivel de preaviso o 1 día se supera el nivel de aviso	- Medidas del escenario 1 - Prohibida la circulación en el interior de la M-30 y por ella a los vehículos sin distintivo ambiental - Prohibido estacionar en las plazas y horario del SER para aquellos vehículos que no tengan distintivo "CERO" o "ECO"
3	3 días seguidos se supera el nivel de preaviso o 2 días seguidos se supera el nivel de aviso	- Medidas del escenario 2 - Recomendación: no circulación de taxis libres, exceptuando Eurotaxis y vehículos con distintivo "CERO EMISIONES" o "ECO"
4	4 días seguidos se supera el nivel de aviso	- Medidas del escenario 3 - Prohibida la circulación a todos los vehículos sin distintivo ambiental en todo el término municipal - Prohibida la circulación de los vehículos cuyo distintivo ambiental no sea "CERO EMISIONES", "ECO" o "B", en el interior de la M-30 y por ella - Recomendación: no circulación de taxis libres que no estén de servicio, exceptuando Eurotaxis y vehículos con distintivo "CERO EMISIONES" o "ECO"
Alerta	1 día con nivel de alerta	- Todas las medidas anteriores - Prohibida la circulación a todos los vehículos cuyo distintivo ambiental no sea "CERO EMISIONES" o "ECO" - Solo pueden estacionar en el SER los "CERO" - Prohibida la circulación de taxis libres que no estén de servicio, excepto vehículos con distintivo "CERO" o "ECO"

Tabla 5. Escenarios posibles por contaminación de NO₂ en la ciudad de Madrid

Fuente: elaboración propia a partir de "Protocolo de actuación para episodios de contaminación por dióxido de nitrógeno en la ciudad de Madrid", Ayuntamiento de Madrid [53]

Madrid Central

Otra de las medidas desarrolladas en la Ciudad de Madrid se denomina “*Madrid Central*”. Entró en vigor en 2018 y trata de crear un área de bajas emisiones evitando un 40% de las emisiones de NO₂ en la misma. La zona donde se implanta dicha medida incluye las 4 Áreas de Prioridad Residencial de la ciudad y se añaden algunos barrios. Los vehículos que no se encuentren dentro de las excepciones deben cumplir los criterios generales [54].

- Los vehículos “*CERO*” pueden circular y aparcar en área SER sin restricción de horarios.
- Los “*ECO*” solo pueden circular y estacionar durante dos hora en la zona SER.
- Los “*C*” y “*B*” solo pueden acceder para estacionar en aparcamiento públicos y privados, o en reserva de estacionamiento no dotacional. Esto último hace referencia a la reserva de espacio para “*uso exclusivo, para organismos públicos, embajadas, centros sanitarios, hoteles, y actividades singulares*” [55].

Madrid 360

Este año, 2020, ha entrado en vigor una nueva estrategia que de algún modo sustituye a “*Madrid Central*”. Tiene una visión más amplia, en cuanto a las líneas de actuación para reducir la contaminación, pues su ámbito de acción trata de ser integral en la Ciudad de Madrid, adoptando medidas de forma progresiva no solo basadas en las restricciones de tráfico. Algunas de estas medidas son [56]:

- Creación de la Línea Cero. Serán dos líneas de autobuses de la EMT, libres de emisiones, gratuitas para los usuarios y para desplazarse por el distrito centro.
- EMT renovará su flota de autobuses, en especial se estima que para 2028 al menos 668 autobuses sean eléctricos.

- Se limitará la circulación de los vehículos más contaminantes en toda la ciudad, en línea con lo determinado por Madrid Central.
- Creación de espacios con naturaleza, concretamente un bosque de 600 hectáreas.
- Se realizará una expansión de BiciMAD tanto dentro como fuera de la M-30, para fomentar el uso de la bicicleta.
- Eliminación de las calderas de carbón. Se espera que no exista ninguna en 2022 y se favorecerá la reducción de las de gasóleo. Para conseguirlo se proporcionarán ayudas.

Las últimas noticias indican que el Tribunal Superior de Justicia de Madrid ha anulado “Madrid Central” debido a un “defecto de forma”, sin embargo aún no hay sentencia firme. Además, el Ayuntamiento de Madrid confía en poder continuar con la implantación paulatina de las medidas definidas en “Madrid 360” [57].

CAPÍTULO III: CASO DE ESTUDIO

3.1 OBJETO Y ALCANCE

El objeto de este proyecto es la realización de un análisis de ciclo de vida del modelo de transporte utilizado en los desplazamientos al trabajo, en la Comunidad de Madrid. Para ello, se emplea el software SimaPro y una de las bases de datos con las que cuenta, Ecoinvent.

El alcance de este estudio no reside en conocer únicamente la situación actual, incluye un análisis de la situación futura (2030), a partir de la aplicación de medidas orientadas al desarrollo de la movilidad sostenible.

Este ACV incluye las diferentes etapas del ciclo de vida de los medios de transporte: fabricación, uso, mantenimiento y disposición final. La unidad funcional utilizada es personas por kilómetro (pkm) pero normalizada por la población ocupada. Esto facilita conocer el impacto por cada habitante con un puesto de trabajo y la comparación de ambos escenarios.

3.1.1 Medios de transporte

Los desplazamientos al trabajo, en la CCAA de Madrid, se pueden realizar utilizando diferentes medios de transporte. En este caso, se consideran los siguientes: turismos, motocicletas, autobuses urbanos y metropolitanos, metro, metro ligero, cercanías y bicicleta.

Además, el alcance abarca también diferentes sistemas de propulsión y fuentes de energía como: diésel, biodiésel, gas natural, híbrido y eléctrico. En el siguiente esquema (figura 7) se indican los medios de transporte y sistemas de propulsión considerados. Como se expone anteriormente, los autobuses metropolitanos abarcan los autobuses interurbanos y los urbanos de otros municipios.

En el caso de los autobuses, la Empresa Municipal de Transportes de Madrid indica la existencia de autobuses urbanos gas-diésel. Sin embargo, suponen un porcentaje pequeño el cual se añade a los autobuses de gas natural.

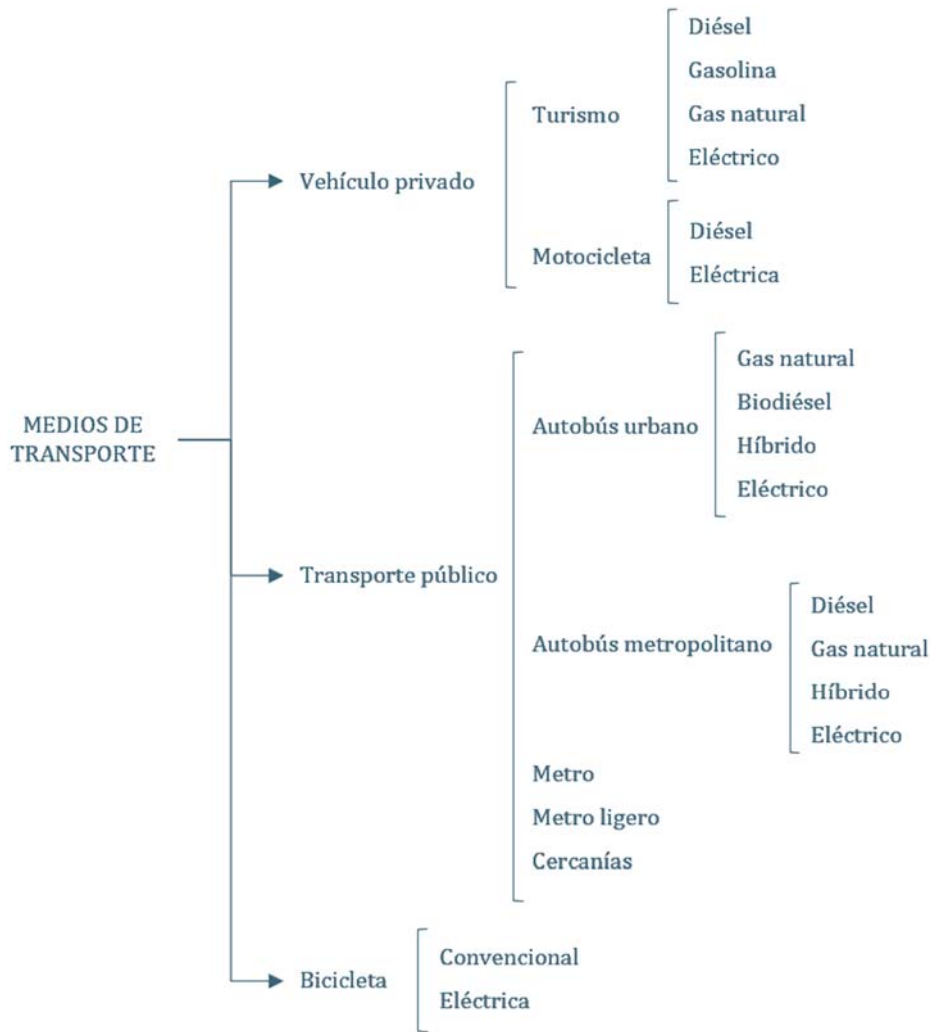


Figura 7. Medios de transportes considerados en el ACV

Fuente: elaboración propia

3.1.2 Categorías de impacto

Las categorías de impacto van asociadas a la metodología de evaluación de impacto utilizada. En este caso, la metodología empleada es “CML-IA baseline” y, por lo tanto, las categorías obtenidas son las siguientes [58] [59].

- Agotamiento abiótico: hace referencia al agotamiento de los recursos no vivos. Éstos son aquellos elementos no vivos que rodean a los seres vivos y forman parte del ecosistema.
- Calentamiento global: evalúa el impacto de las actividades humanas en lo que a emisiones de gases de efecto invernadero se refiere, teniendo en cuenta el

efecto de las sustancias emitidas a 100 años. Se mide en términos de CO₂ equivalente e incluye dióxido de carbono, metano, óxido de nitrógeno, hidrofluorocarbonos y hexafluoruro de azufre.

- Agotamiento de la capa de ozono: la disminución del ozono facilita el paso de la radiación ultravioleta, dañina para la salud. Este fenómeno está favorecido por cloruros y bromuros. Se mide en kg 1,4-DB eq (kilogramos equivalentes de 1,4-diclorobenceno).
- Toxicidad en humanos: hace referencia al efecto de las sustancias tóxicas en la salud humana. Se mide en kg 1,4-DB eq.
- Ecotoxicidad acuática de agua dulce: mide el efecto de los contaminantes sobre el ecosistema de agua dulce y se mide en kg 1,4-DB eq.
- Ecotoxicidad acuática marina: mide el efecto de los contaminantes sobre el ecosistema de agua marina y se mide en kg 1,4-DB eq.
- Ecotoxicidad terrestre: mide el efecto de los contaminantes sobre el ecosistema terrestre y se mide en kg 1,4-DB eq.
- Oxidación fotoquímica: algunos contaminantes presentes en el aire reaccionan con la luz solar dando lugar a compuestos químicos. Estos son perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas. Se mide en kilogramos equivalentes de etileno.
- Acidificación: la variación de la acidez del suelo y del agua afecta de forma significativa a la flora y fauna que están presentes. Los principales acidificantes son: el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los hidruros de nitrógeno (NH_x). Se mide en kilogramos equivalente de dióxido de azufre.
- Eutrofización: consiste en un enriquecimiento del ecosistema dando lugar al crecimiento excesivo de la biomasa. En el caso del ecosistema acuático, se puede llegar a la contaminación superficial del agua siendo no apta para el

consumo. Además, un crecimiento masivo de algas puede dar lugar a un consumo excesivo del oxígeno presente en el agua. Se mide en kilogramos equivalentes de fosfato.

3.2 PROCESOS PARA MODELAR LOS MEDIOS DE TRANSPORTE

Los procesos seleccionados forman parte de la base de datos Ecoinvent 3. El modelo de sistema utilizado es “*Allocation, recycled content*”. A continuación, se especifica el proceso utilizado para cada medio de transporte de acuerdo con la clasificación indicada anteriormente (figura 7). Es importante indicar que los transportes eléctricos han sido modificados para que la energía que consumen proceda únicamente del mix eléctrico español.

3.2.1 Vehículo privado

Turismos diésel

Estos vehículos se han clasificado a su vez según la normativa EURO (tabla 4). Los grupos disponibles en Ecoinvent son EURO 3, 4 y 5 (tabla 6). Para adaptarlos a las condiciones de movilidad al trabajo se ha ajustado la ocupación de los mismos.

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 6. Procesos iniciales seleccionados para turismos diésel

Fuente: Elaboración a partir de los datos disponibles en SimaPro

Además para modelar EURO 1 y 2 se ha utilizado EURO 3, y para EURO 6 se ha partido de EURO 5, una vez modificados por el cambio de ocupación. Concretamente se ha estimado una reducción del 5% en el consumo de combustible, entre un grupo y el siguiente. Dicha estimación se ha definido en función de los datos encontrados en la base de datos.

Además, tanto el cambio de ocupación como la modificación del consumo de combustible afectan de forma directa a algunos contaminantes y subprocesos, definidos dentro de los procesos. Para ajustar dichas modificaciones se recurre a la información de Ecoinvent, donde se especifican los parámetros y relaciones matemáticas asociadas. Algunos contaminantes, como el monóxido de carbono o los óxidos de nitrógeno, se han modificado a partir de estimaciones de la Agencia Europea de Medio Ambiente [60].

Turismos de gasolina

El modelado de estos vehículos conlleva un proceso idéntico al definido para los turismos diésel, en lo referente a cambio de ocupación, cambios en el consumo de combustible, contaminantes y subprocesos. Además, igual que para los diésel solo están disponibles los grupos EURO 3, 4 y 5 (tabla 7).

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 7. Procesos iniciales seleccionados para turismos de gasolina

Fuente: Elaboración a partir de los datos disponibles en SimaPro

Turismos de gas natural y eléctricos

El proceso para modelar los turismos de gas natural sí existe en la base de datos. Sin embargo, al igual que en los turismos diésel y gasolina, es necesario ajustar la ocupación, ya que la estimada por Ecoinvent no será igual a la considerada en este análisis. En cuanto al eléctrico, el proceso seleccionado no precisa ninguna modificación.

Gas natural:	<i>Transport, passenger car, medium size, natural gas, EURO 5 {RER}</i>
Eléctrico:	<i>Transport, passenger car, electric {GLO}</i>

Tabla 8. Procesos iniciales seleccionados para turismos de gas natural y eléctricos

Fuente: Elaboración a partir de los datos disponibles en SimaPro

Motocicletas

Para modelar las motocicletas tanto diésel como eléctricas existen procesos disponibles en SimaPro. Además, éstos no han requerido modificación para adaptarse al análisis. En la siguiente tabla (tabla 9) se indican los procesos seleccionados.

Diésel:	<i>Transport, passenger, motor scooter {GLO}</i>
Eléctrica:	<i>Transport, passenger, electric scooter {GLO}</i>

Tabla 9. Procesos iniciales seleccionados para motocicletas diésel y eléctricas

Fuente: Elaboración a partir de los datos disponibles en SimaPro

3.2.2 Transporte público

En cuanto al modelado del transporte público, hay disponibles los procesos para autobús diésel, metro, metro ligero y cercanías. Los autobuses urbanos y metropolitanos son modelados con los mismos procesos, solo se diferencian en la ocupación y kilómetros recorridos definidos en los datos de entrada. A continuación se muestran los procesos disponibles (tabla 10).

Autobús diésel:	<i>Transport, regular bus {RoW}</i>
Metro y metro ligero:	<i>Transport, tram {RoW}</i>
Cercanías:	<i>Transport, passenger train {CH} regional</i>

Tabla 10. Procesos iniciales seleccionados para el transporte público

Fuente: Elaboración a partir de los datos disponibles en SimaPro

Para representar los autobuses de biodiésel, gas natural, eléctricos e híbridos se utilizan procesos existentes y se realizan las modificaciones adecuadas.

Autobús biodiésel

En este caso se parte del proceso “*Transport, regular bus {RoW}*”. Para adaptarlo se atiende a las estimaciones encontradas en “*Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus*” [61] y en “*Estudio comparado entre el*

combustible Diésel y Biodiésel” [62]. Los contaminantes modificados son: dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y partículas. También se modifica la cantidad de combustible consumida por el vehículo.

Autobús de gas natural

Se utiliza como base *“Transport, passenger car, large size, natural gas, EURO 5 {RER}”* y se realizan modificaciones en el consumo de gas natural (m³) de acuerdo con la diferencia de peso entre un turismo grande y un autobús. Esto implica la variación de algunos contaminantes, cuya relación matemática viene definida en Ecoinvent.

Autobús eléctrico

Se toma como referencia el proceso de turismo eléctrico (tabla 8) y se realizan modificaciones de acuerdo con la variación de peso entre un autobús y un turismo.

Autobús híbrido

Para modelar el autobús híbrido se utiliza el proceso seleccionado para el autobús diésel (tabla 10). A partir de ahí se realizan modificaciones en el consumo de combustible, se estima que el ahorro de combustible de un híbrido es del 50% en comparación con un autobús diésel [63]. Además se añade la parte eléctrica tomando como referencia el proceso seleccionado para los turismos eléctricos (tabla 8), teniendo en cuenta la diferencia de tamaño.

3.2.3 Bicicletas

Los procesos necesarios para modelar las bicicletas existen en la base de datos y no precisan ninguna modificación. A continuación se muestran los procesos seleccionados (tabla 11).

Convencional:	<i>Transport, passengers, bicycle {RoW}</i>
Eléctrica:	<i>Transport, passenger, electric bicycle {RoW}</i>

Tabla 11. Procesos iniciales seleccionados para las bicicletas

Fuente: Elaboración a partir de los datos disponibles en SimaPro

3.2.4 Procesos del escenario futuro

Los procesos utilizados para el escenario futuro son los mismos que los seleccionados y definidos en el apartado anterior. No se contempla evolución en los materiales o modificaciones en las diferentes etapas del ciclo de vida consideradas, así como tampoco se tiene en cuenta una posible evolución del mix eléctrico español. Para adaptarlos al escenario 2030 se realizan modificaciones en la ocupación de algunos medios de transporte.

Concretamente los procesos de los turismos sufren cambios ya que el consumo de combustible y algunos contaminantes dependen de la ocupación. En los demás procesos, el cambio de ocupación se ve reflejada en los datos de entrada.

3.3 ANÁLISIS DE INVENTARIO

3.3.1 Escenario actual

El escenario actual hace referencia al año más reciente del que se han encontrado datos suficientes para realizar el ACV sobre la movilidad al trabajo, en la CCAA de Madrid. En este caso, el conjunto de datos corresponde al año 2017. Sin embargo, ha sido necesario asumir la validez de algunas referencias que no pertenecen a dicho año, se indican más detalles en los siguientes apartados.

3.3.1.1 Movilidad al trabajo

El análisis de los desplazamientos realizados por motivos laborales precisa un conjunto de hipótesis desarrolladas en los siguientes puntos.

Días laborables

Es cierto que no solo se trabaja de lunes a viernes, pues durante los fines de semana se encuentran activas diferentes actividades económicas. Sin embargo, durante esos días se reduce en gran medida la movilidad por motivos de trabajo. Por ello, se consideran los desplazamientos realizados en los 250 días laborables de un año.

Desplazamientos por motivos laborales

La movilidad al trabajo representa entre un 35% y un 40% de los desplazamientos totales de un día laborable [64], año 2014. Se verifica el valor de dicha estimación con los datos encontrados en “La Movilidad al Trabajo: Un reto pendiente”, donde se indica que los desplazamientos en un día laborable por motivos de trabajo son, aproximadamente, un 37,3% del total [23]. Sin embargo, la Encuesta de Movilidad de la Comunidad de Madrid del año 2018 [65] señala que los desplazamientos por motivos de trabajo en un día laborable medio corresponde con el 27,3% del total.

Para determinar dicho porcentaje del año 2017, se considera que la variación es lineal entre 2014 y 2018. Un vez obtenida la relación se obtiene que los desplazamientos al trabajo representan un 29,8% del total. Finalmente se adopta un 30% para la aplicación al caso que ocupa.

Además, es preciso conocer el número de desplazamientos totales, por motivos de trabajo, en un día laborable en la CCAA de Madrid. Datos de 2014, indican que dicho valor es aproximadamente de 4,82 millones [64][23]. Otra fuente recoge que el número de viajes totales en un día laborable, también en 2014, era de 12,93 millones [42] y, si se aplica el porcentaje correspondiente a la movilidad por motivos de trabajo, el valor es de 4,84 millones.

En un informe de 2018 [65], se muestra que el número de desplazamientos en un día laborable es de 15.847.266, y al aplicar el porcentaje correspondiente a la movilidad al trabajo, el número de viajes es de 4,3 millones.

Del mismo modo que para obtener el porcentaje correspondiente a los desplazamiento por motivos laborales, se considera que la variación del número de viajes totales, entre 2014 y 2018, es lineal. El resultado para 2017 es un valor de

15,12 millones de desplazamientos. Aplicando el porcentaje considerado para dicho año, el número de viajes realizados por motivo de trabajo en un día laborable es de 4,54 millones.

Por lo tanto, los desplazamientos anuales por motivos de trabajo son los desplazamientos realizados en un día (4,54 millones) por los días laborables considerados (250 días), es decir, 1.133,84 millones de desplazamientos.

Reparto por modos

El reparto modal de los desplazamientos al trabajo se obtiene a través de sondeos y por lo tanto es una estimación. Se han encontrado datos de los años 2014 y 2018. A continuación, se recoge el reparto modal de cuatro fuentes diferentes (tabla 12).

“Otros” (fuentes 1, 2 y 3) corresponde a desplazamientos multimodales, concretamente son viajes que combinan el transporte público con el vehículo privado. En la fuente 4, hace referencia a los desplazamientos en bicicleta y a los viajes multimodales explicados anteriormente.

El orden de magnitud de los porcentajes es similar. Las tres primeras fuentes corresponden al año 2014. Los valores de la 1 y de la 3 son iguales y se observa que su suma no completa el 100%. Además, “otros” varía bastante si comparamos la fuente 2 con las demás. La fuente 4 indica valores del año 2018 y se aprecia como la suma supera el 100%, se entiende que es un error debido a la aproximación decimal.

CCAA Madrid					
Fuente 1 [64]	Vehículo privado	Transporte público	A pie	Bicicleta	Otros
	44,7%	31,0%	19,8%	0,6%	2,4%
Fuente 2 [42]	Coche y moto	Transporte público	A pie y bicicleta		Otros
	44,6%	34,4%	20,4%		0,6%
Fuente 3 [23]	Vehículo privado	Transporte público	A pie	Bicicleta	Otros
	44,7%	31,0%	19,8%	0,6%	2,4%
Fuente 4 [65]	Vehículo privado	Transporte público	A pie	Otros	
	53,0%	33,0%	11,0%	4,0%	

Tabla 12. Reparto modal de la movilidad al trabajo en la CCAA de Madrid

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recogidos de las referencias indicadas en la misma tabla

Finalmente, se da por válido el reparto modal del año más próximo a 2017, es decir, el de la fuente 4 con alguna puntualización. De acuerdo con la tendencia del año 2014, el valor de los porcentajes de “*otros*” y de “*bicicleta*” se consideran válidos en 2018, así la suma de los diferentes modos no supera el 100%. En la figura 8 se detalla el reparto por modos aplicado a este caso de estudio.

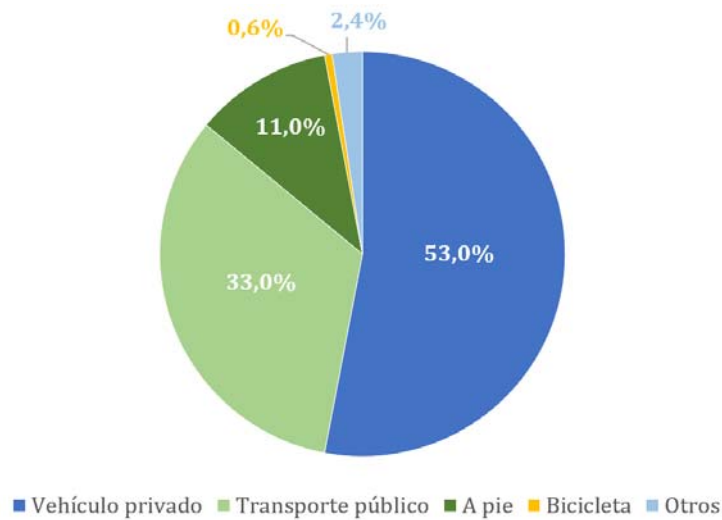


Figura 8. Reparto por modos de la movilidad al trabajo de la CCAA de Madrid

Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla 12

Transporte público

La Encuesta de Movilidad de la Comunidad de Madrid (2018) muestra la forma en la que se utilizan los medios de transporte público según la razón del desplazamiento [65]. Incluye el reparto modal de los desplazamientos por motivo de trabajo (figura 9). Dicho reparto de 2018 se considera válido para su aplicación en el año de estudio, 2017.

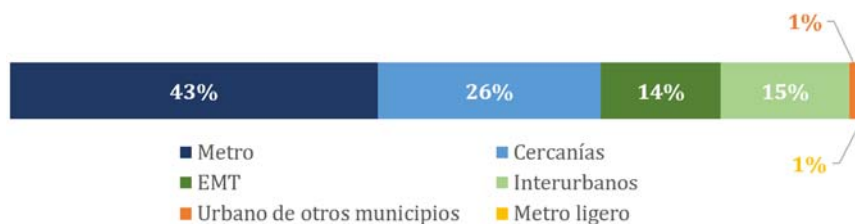


Figura 9. Reparto modal del transporte público

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la “Encuesta de Movilidad de la Comunidad de Madrid 2018”, documento síntesis realizado por la U.T.E. formada por Deloitte e IPD [65]

3.3.1.2 Desplazamientos por modo

Para determinar el número de desplazamientos correspondiente a cada medio de transporte se emplean los datos expuestos anteriormente. Además, se realizan algunas consideraciones:

- Para el análisis en cuestión solo se tienen en cuenta desplazamiento motorizados o aquellos modos que precisan de algún elemento para realizar el viaje. Por ello, el modo “*a pie*” no se considera.
- “*Otros*” se reparte entre vehículo privado y transporte público, 50% cada uno.
- En cuanto a los vehículos privados, se diferencia entre turismo y motocicleta. Para asignar los desplazamientos a cada transporte se utiliza el parque de vehículos de la base de datos de la Dirección General de Tráfico (DGT) [40].
Concretamente en el anuario del parque de vehículos se puede encontrar el parque por comunidad autónoma. Se obtiene el conjunto de turismos y motocicletas de la CCAA de Madrid, donde los turismos representan el 91,24% del conjunto y las motocicletas un 8,76%. Los desplazamientos se reparten según dichos porcentajes.
- El autobús metropolitano representa el 16% del transporte público (figura 9). Como se señala anteriormente, engloba los autobuses urbanos de otros municipios y los autobuses interurbanos.

A continuación, se muestra imagen con los desplazamientos anuales de 2017 de cada medio de transporte (figura 10).

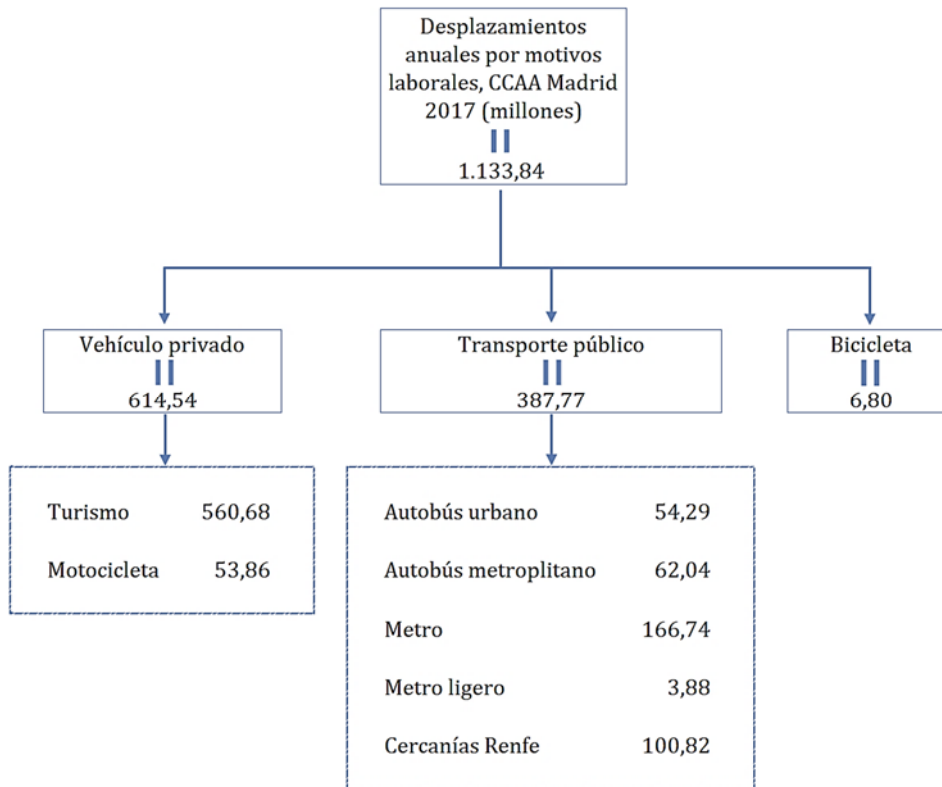


Figura 10. Desplazamientos anuales (millones) por modo, 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recogidos y calculados, detallados anteriormente

3.3.1.3 Datos en la unidad funcional

Las unidades de los datos de entrada deben corresponder con la unidad funcional y con las unidades de los procesos empleados para modelar los diferentes medios de transporte, en este caso km o personas·km (pkm). A continuación, se detalla la obtención de los km y pkm correspondientes a cada medio.

Vehículos privados

Una vez se tienen los desplazamientos anuales es necesario conocer los kilómetros recorridos por desplazamiento y la ocupación media de los vehículos. En el caso de los turismos, no se ha encontrado el dato exacto de la distancia media recorrida para ir al trabajo. Sin embargo, según el Atlas de movilidad residencia-trabajo en la Comunidad de Madrid, la distancia media recorrida en 2016 para ir al trabajo es de 11,8 km [66] [67]. Se asume que dicha distancia es válida para el 2017 en el caso de los turismos.

Acerca de las motocicletas, ocurre igual pues no se ha encontrado el dato exacto de la distancia media recorrida para ir al trabajo. Por lo tanto, de nuevo se considera válido en 2017 el valor de la distancia media recorrida para ir al trabajo en 2016, 11,8 km/desplazamiento.

En “La Movilidad al Trabajo: Un reto pendiente” se indica que la ocupación media de los turismos, en desplazamientos al trabajo, es de 1,2 personas [23]. En cuanto a las motocicletas, se considera una ocupación media de 1,1 persona. Con estos datos es posible obtener la movilidad anual al trabajo en la unidad funcional (pkm), multiplicando los desplazamientos por la distancia media por desplazamiento (tabla 13). Para obtener los resultados en km se dividen los pkm entre la ocupación definida.

Movilidad anual al trabajo por vehículo (CCAA de Madrid)			
Turismos	Distancia media por desplazamiento	11,80	km/desplazamiento
	Ocupación media	1,20	personas/turismo
	Desplazamientos anuales	560,68	desplazamientos (millones)
	Movilidad anual al trabajo	6.616,06	pkm (millones)
	Movilidad anual al trabajo	5.513,38	km (millones)
Motocicletas	Distancia media por desplazamiento	11,80	km/desplazamiento
	Ocupación media	1,10	personas/motocicleta
	Desplazamientos anuales	53,86	desplazamientos (millones)
	Movilidad anual al trabajo	699,10	pkm (millones)
	Movilidad anual al trabajo	635,55	km (millones)

Tabla 13. Movilidad anual de turismos y motocicletas, 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados y datos obtenidos de “La Movilidad al Trabajo: Un reto pendiente” [23]

A continuación, se lleva a cabo el reparto de la movilidad anual, al trabajo, de los vehículos privados según el parque móvil de los mismos. Además, se tiene en cuenta que los procesos definidos en SimaPro permiten modelar los medios de transporte según su sistema de propulsión. Para ello se emplea la base de datos de la DGT [40], tanto el anuario del parque de vehículos 2017 como las tablas auxiliares correspondientes, que permiten la clasificación por antigüedad.

En el caso de los turismos su clasificación es la siguiente: diésel, gasolina, gas natural y eléctricos (figura 7). A su vez, los turismos diésel y gasolina se dividen según la

norma EURO. En cuanto a los turismos previos a 1993, se considera que su frecuencia de uso no es diaria y por lo tanto no se tienen en cuenta en el análisis.

Los datos de la DGT clasifican los turismos en diésel, gasolina y otros. Estos últimos se califican como eléctricos y gas natural. Conociendo el parque móvil de la CCAA de Madrid y su división por antigüedad, se calcula el porcentaje que supone cada grupo de la normativa EURO con respecto al total del parque considerado. Posteriormente se obtienen los porcentajes que representan los turismos diésel y gasolina dentro de cada grupo de la normativa EURO.

Turismos - CCAA Madrid - 2017			
Normativa	% del parque	Gasolina	Diésel
EURO 1	3,80%	64,23%	35,76%
EURO 2	7,89%	47,07%	52,92%
EURO 3	24,97%	37,60%	62,38%
EURO 4	33,80%	27,87%	72,11%
EURO 5	13,18%	28,38%	71,08%
EURO 6	16,36%	39,76%	58,42%

Tabla 14. Reparto porcentual de turismos según normativa y combustible

Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos de la DGT [40]

Una vez calculados dichos porcentajes (tabla 14), se puede definir la movilidad anual al trabajo de los turismos según la normativa EURO y combustible empleado, en pkm. Para determinar la proporción de eléctricos y gas natural, se recurre a las matriculaciones del año 2017 [68] y se establece un 50% para cada modo.

En cuanto a las motocicletas, la DGT las divide en gasolina, diésel y otros. Sin embargo, la clasificación de este estudio asume que, como la proporción de motocicletas diésel es pequeña frente a las de gasolina, su modelado sea motocicletas de gasolina. Además, se considera que “*otros*” representa motocicletas eléctricas. Finalmente, las motocicletas de gasolina participan de la movilidad con un 99,54% y las eléctricas con un 0,46%. A continuación, se muestra una tabla con la movilidad anual de turismos y motocicletas tanto en pkm como en km (tabla 15).

Movilidad anual al trabajo - CCAA Madrid - 2017				
Vehículo privado		Millones de pkm	Millones de km	
Turismo	Diésel	EURO 1	89,94	74,95
		EURO 2	276,38	230,31
		EURO 3	1030,38	858,65
		EURO 4	1612,79	1343,99
		EURO 5	619,69	516,41
		EURO 6	632,20	526,83
	Gasolina	EURO 1	161,56	134,63
		EURO 2	245,80	204,84
		EURO 3	621,16	517,64
		EURO 4	623,29	519,41
		EURO 5	247,42	206,18
		EURO 6	430,29	358,58
		Gas natural	12,58	10,49
	Eléctrico	12,58	10,49	
Motocicleta	Gasolina	575,12	522,83	
	Eléctrica	2,66	2,41	

Tabla 15. Movilidad anual al trabajo, vehículo privado, 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

Transporte público

Al igual que en el caso de los vehículos privados, para definir la movilidad en pkm y km es preciso conocer la distancia media recorrida por desplazamiento y la ocupación de cada medio de transporte público.

En el caso de la distancia media recorrida por desplazamiento, se recurre al Observatorio de Movilidad Metropolitana, concretamente a su informe de 2017 [42]. En él se recoge dicho dato que, a su vez, se contrasta con la información recogida en el informe anual 2017 del Consorcio Regional de Transportes de Madrid [41]. Si bien no hacen referencia a la distancia media específica recorrida para ir al trabajo, los datos se consideran válidos.

Las cifras sobre la ocupación se obtienen del Banco de Datos Estructurales del Instituto de Estadística [69]. Dicha fuente proporciona la ocupación media general de los transporte públicos, pero estos valores se consideran bajos en algunos casos. No se han encontrado las ocupaciones de los transporte públicos asociadas a los viajes al trabajo, por ello se realizan las siguientes estimaciones:

- La ocupación media de los autobuses (urbanos y metropolitanos) en los desplazamientos al trabajo es un 20% superior a la ocupación media general.
- La ocupación media del metro ligero en los desplazamientos al trabajo es un 20% superior a la ocupación media general.
- La ocupación media del metro en los viajes al trabajo es un 30% superior a la ocupación media general.
- Por último, la ocupación media general del servicio de cercanías se considera un valor válido en el caso de los desplazamientos al trabajo.

CCAA Madrid 2017					
Datos	Autobús urbano	Autobús metropolitano	Metro	Metro ligero	Cercanías Renfe
Distancia media por desplazamiento (km)	2,8	13,3	6,3	5	17,3
Ocupación media general (personas/autobús o tren)	12,9	17,70	20,80	6,2	189,4
Ocupación media en desplazamientos al trabajo (personas/autobús o tren)	15,48	21,24	27,04	7,44	189,4

Tabla 16. Distancia media por desplazamiento, ocupación media general y ocupación media en los viajes al trabajo, 2017

Fuente: elaboración propia a partir de los datos recogidos de las referencias indicadas anteriormente

A partir de dichos datos se puede obtener la movilidad anual al trabajo en pkm, multiplicando los desplazamientos de cada medio de transporte público, recogidos en la figura 10, por la distancia media por desplazamiento. Para obtener la movilidad en km se divide el resultado anterior por la ocupación correspondiente.

Además, los autobuses urbanos y metropolitanos se clasifican según su sistema de propulsión (figura 7). Para determinar los desplazamientos de cada grupo se utiliza el parque de autobuses, obteniendo el tanto por ciento que representa cada grupo sobre el total. En la siguiente tabla se muestra la movilidad anual al trabajo en la CCAA de Madrid del año 2017 (tabla 17).

Movilidad anual al trabajo - CCAA Madrid - 2017			
Transporte público		Millones de pkm	Millones de km
Autobuses urbanos	Gas natural	76,72	4,96
	Biodiésel	69,66	4,50
	Híbridos	3,90	0,25
	Eléctricos	1,73	0,11
Autobuses Metropolitanos	Diésel	612,10	28,82
	Gas natural	96,36	4,54
	Híbridos	116,72	5,50
Metro		1050,48	38,85
Metro ligero		19,39	2,61
Cercanías Renfe		1744,21	9,21

Tabla 17. Movilidad anual al trabajo, transporte público, 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

Bicicletas

Como se indica anteriormente, en este análisis se tienen en cuenta bicicletas convencionales y eléctricas. Para repartir los desplazamientos se atiende a la proporción existente de cada tipo.

Se sabe que el total de bicicletas eléctricas representa 4% del parque total nacional [70] y dicha cifra se considera válida para la CCAA de Madrid. Como la ocupación de las bicicletas es 1, en este caso, la movilidad anual por motivos de trabajo será igual en pkm y en km. Para determinar los km o pkm a partir de los desplazamientos es necesario conocer la distancia media por viaje.

Un informe de BiciMAD de 2017, indica que en la mayoría de desplazamientos se recorren entre 1km y 4km [71]. Para este análisis se considera válida una distancia media por viaje de 3km. A continuación, se muestra la movilidad anual por motivos de trabajo para los dos tipos de bicicletas considerados (tabla 18).

Movilidad anual al trabajo CCAA Madrid - 2017	
Bicicletas	Millones de pkm
Convencional	19,59
Eléctrica	0,82

Tabla 18. Movilidad anual al trabajo, bicicletas, 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

3.3.1.4 Datos normalizados

Como se expone anteriormente, los datos de entrada están normalizados y para ello se dividen entre la población ocupada de la CCAA de Madrid. Al finalizar 2017, la población ocupada en dicha comunidad autónoma era de 2.927.000 personas [72], dicho valor se considera una estimación adecuada para este análisis. A continuación, se muestran los datos de la movilidad anual del escenario 2017 expresados en pkm/habitante ocupado y km/habitante ocupado (tabla 19).

Movilidad anual al trabajo - CCAA Madrid - 2017				
Medio de transporte			pkm/hab. ocupado	km/hab. ocupado
Turismos	Diésel	EURO 1	30,729	25,607
		EURO 2	94,423	78,686
		EURO 3	352,025	293,354
		EURO 4	551,003	459,169
		EURO 5	211,714	176,428
		EURO 6	215,989	179,991
	Gasolina	EURO 1	55,196	45,996
		EURO 2	83,978	69,982
		EURO 3	212,219	176,849
		EURO 4	212,944	177,453
		EURO 5	84,529	70,441
		EURO 6	147,008	122,507
		Gas natural	4,299	3,583
	Eléctrico	4,299	3,583	
Motocicletas	Gasolina	196,486	178,624	
	Eléctrica	0,907	0,825	
Autobuses urbanos	Gas natural	26,210	1,693	
	Biodiésel	23,799	1,537	
	Híbridos	1,334	0,086	
	Eléctricos	0,590	0,038	
Autobuses metropolitanos	Diésel	209,122	9,846	
	Gas natural	32,922	1,550	
	Híbridos	39,877	1,877	
Metro			358,893	13,273
Metro ligero			6,624	0,890
Cercanías Renfe			595,903	3,146
Bicicletas	Convencionales	6,694	6,694	
	Eléctricas	0,279	0,279	

Tabla 19. Movilidad anual al trabajo, datos normalizados, 2017

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

3.3.2 Escenario Futuro

Se plantea la situación de la movilidad al trabajo en la Comunidad Autónoma de Madrid en 2030. Al ser una situación futura se emplean estimaciones y tendencias

sobre trabajo y movilidad, entre otras las expuestas en el apartado 2.3 de este documento.

3.3.2.1 Población ocupada y teletrabajo

La población ocupada en la Comunidad Autónoma de Madrid, en 2017, supuso el 15% del total nacional. De acuerdo con las tendencias que apuntan el traslado de parte de la población a las ciudades, se estima que en 2030 la población ocupada de la CCAA de Madrid represente un 16% del total. Según un estudio de PwC en el año 2033 la población ocupada en España será de 21.976.000 habitantes [44]. Aunque este análisis corresponde con el año 2030, dicho valor se considera una aproximación adecuada y, por lo tanto, la población ocupada en la CCAA de Madrid será de 3.516.160 habitantes.

En cuanto al teletrabajo, si durante la pandemia, provocada por la enfermedad Covid-19, el 34% de la población ocupada ha trabajado desde casa, es posible esperar que dentro de 10 años sea posible alcanzar dicho nivel. Por lo tanto, se considera que en 2030, en la CCAA de Madrid, haya aproximadamente 1.195.494 ciudadanos trabajando desde casa.

3.3.2.2 Desplazamientos totales por motivos de trabajo

Se considera que la relación entre la población ocupada y los desplazamientos por motivos laborales es proporcional. Por lo tanto, a partir de los datos de 2017 y la estimación sobre población ocupada del apartado anterior, es posible determinar el número de desplazamientos totales anuales por motivos de trabajo en 2030.

Es preciso tener en cuenta que los desplazamientos obtenidos de esta hipótesis tienen el mismo nivel de teletrabajo que había en 2017. Dicho de otro modo, este cálculo no tienen en cuenta el aumento del teletrabajo. Los desplazamientos anuales por motivos laborales en 2030 sin considerar el teletrabajo son 1.362,07 millones.

Para realizar una estimación teniendo en cuenta el trabajo no presencial, es preciso conocer la variación de los porcentajes de teletrabajo entre 2017 y 2030. Para 2030 se estima un 34% de la población ocupada y en 2017 fue aproximadamente el 6,7%

[73]. Estos valores son datos a nivel nacional (España) pero se consideran válidos para la Comunidad de Madrid.

Con estos datos se sabe, que los desplazamientos calculados para 2030 deben reducirse en un 27,3%, si se considera que la movilidad al trabajo se reduce el mismo tanto por ciento que aumenta el teletrabajo.

Teniendo en cuenta dichas consideraciones, se estima que los desplazamientos anuales totales por razones de trabajo, en 2030 en la CCAA de Madrid, son 990,22 millones. Esto supone un descenso del 13% con respecto a 2017.

3.3.2.3 Reparto modal de la movilidad al trabajo

Para determinar el reparto modal del escenario 2030, se parte de los desplazamientos por modo del año 2017 (figura 10). De acuerdo con las estimaciones del apartado 2.3 de este documento, los desplazamientos a pie aumentarán un 23%, aquellos realizados en transporte público un 6% y en bicicleta un 1%. Estos datos hacen referencia a la movilidad global pero se consideran válidos para la aplicación a los desplazamientos por motivos de trabajo.

Por lo tanto, se aplican dichos porcentajes a los datos de 2017 y para obtener los viajes realizados en vehículo privado, se calcula la diferencia entre el total de desplazamientos considerados para 2030 y los calculados para cada modo, suponiendo esto una reducción del 32% de los desplazamientos en vehículo privado. En la siguiente tabla se muestra un resumen del cálculo (tabla 20).

Desplazamientos anuales - motivos laborales (millones)			
Modo	2017	Cálculo	2030
Vehículo privado	600,94	-32,4%	406,11
Transporte público	374,17	+6%	396,62
A pie	124,72	+23%	153,41
Bicicleta	6,80	+1%	6,87
Otros	27,21	se considera igual	27,21

Tabla 20. Resumen del cálculo de los desplazamientos anuales por modo

Fuente: elaboración propia a partir de las estimaciones indicadas anteriormente

Estos resultados modifican el reparto modal de la movilidad al trabajo, donde el vehículo privado representa el 41,01%, el transporte público un 40,05%, los desplazamientos a pie y bicicleta un 15,49% y 0,69% respectivamente, y los viajes multimodales un 2,75%. Si se compara con el escenario 2017, todos los modos aumentan su cuota excepto los vehículos privados, cuya participación disminuye del 53% en 2017 al 41,01% en 2030.

3.3.2.4 Desplazamientos por modo

Para determinar el número de desplazamientos correspondiente a cada medio de transporte (figura 11), se realizan algunas consideraciones similares a las utilizadas en el escenario actual (2017).

- Para el análisis en cuestión solo se tienen en cuenta desplazamientos motorizados o aquellos modos que precisan de algún elemento para realizar el viaje. Por ello, el modo “a pie” no se considera.
- “Otros” se reparte entre vehículo privado y transporte público, 50% cada uno.
- En cuanto a los vehículos privados, turismo y motocicleta, se considera que la proporción de cada uno dentro del conjunto que forman sigue siendo el mismo. Los turismos representan el 91,24% del conjunto y las motocicletas un 8,76%. Los desplazamientos se reparten según dichos porcentajes.
- El reparto del transporte público se realiza considerando que el reparto modal de la movilidad por motivos de trabajo de 2017 (figura 9) es válido para 2030. El autobús metropolitano continúa representando el 16% del transporte público.

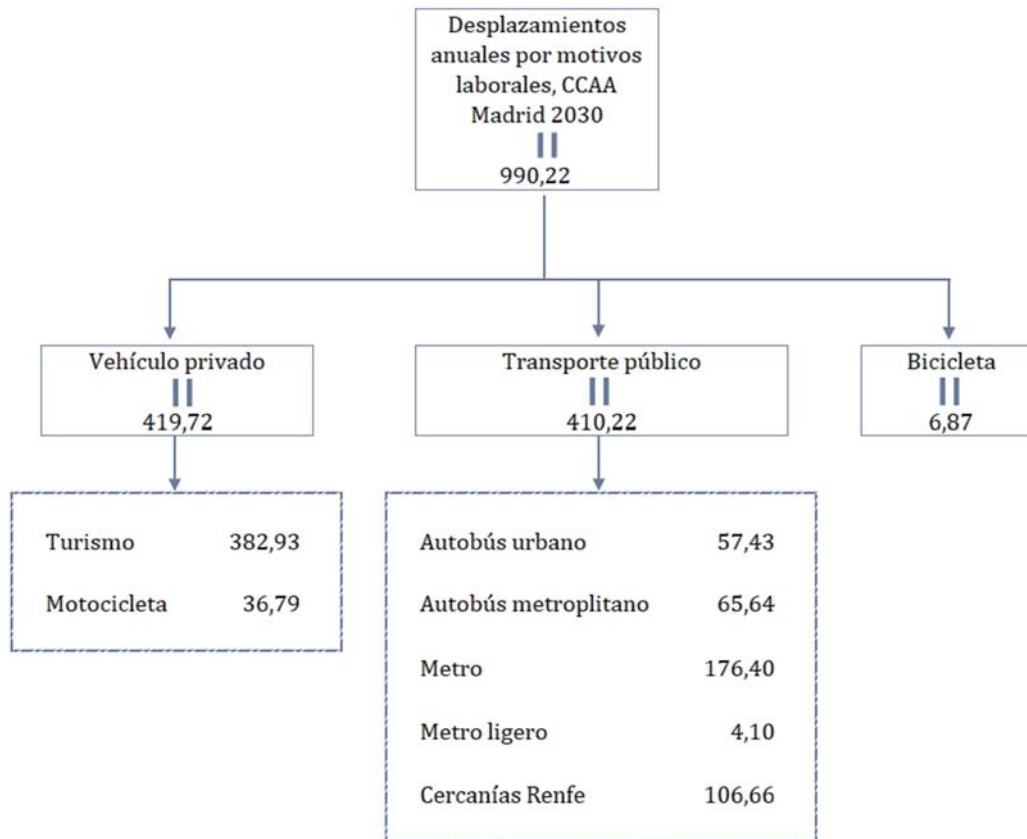


Figura 11. Desplazamientos anuales (millones) por modo, 2030

Fuente: Elaboración propia a partir de datos recogidos y calculados, detallados anteriormente

3.3.2.5 Datos en la unidad funcional

Para obtener la movilidad anual al trabajo en la unidad funcional se multiplican los desplazamientos por modo (figura 11) por la distancia media por viaje. En este caso se considera que no hay variación, entre 2017 y 2030, de las distancias medias recorridas por desplazamiento. En el escenario 2030 se consideran cambios en los modos y cantidad de desplazamientos pero no en la longitud de los mismos, es decir, se supone que los lugares de trabajo no modifican su localización.

Además, para calcular los valores de la movilidad en km, es preciso conocer la ocupación de cada medio de transporte.

- Se da por válida la ocupación de los turismos considerada en Ecoinvent, 1,62 personas por turismo.

- Se mantiene la ocupación, de las motocicletas y las bicicletas, igual que en 2017.
- Se estima un aumento del 5% de la ocupación de los autobuses urbanos, autobuses metropolitanos, del metro y metro ligero.
- Se considera un aumento del 3% de la ocupación de Cercanías Renfe

A continuación, se muestra un resumen del cálculo de los pkm y km a partir de las estimaciones realizadas (tabla 21).

Movilidad anual al trabajo - CCAA Madrid - 2030				
Medio de transporte	Distancia media por viaje (km)	Millones de pkm	Ocupación	Millones de km
Turismo	11,80	4.518,62	1,62	2.789,27
Motocicleta	11,80	434,06	1,10	394,60
Autobús urbano	2,80	160,81	16,25	9,89
Autobús metropolitano	13,30	872,96	22,30	39,14
Metro	6,30	1.111,30	28,39	39,14
Metro ligero	5,00	20,51	7,81	2,63
Cercanías Renfe	17,30	1.845,19	195,08	9,46
Bicicleta	3,00	20,61	1,00	20,61

Tabla 21. Movilidad anual al trabajo 2030 por modo

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculado y estimaciones indicadas

En el caso de los turismos, motocicletas, autobuses y bicicletas, la movilidad anual al trabajo admite clasificación según el sistema de propulsión utilizado, al igual que en 2017 (figura 7). Para ello, se emplean estimaciones sobre el parque móvil y los desplazamientos.

Turismos

Acerca de los turismos, se tienen en cuenta las restricciones de movilidad establecidas por “Madrid Central” y “Madrid 360”, junto a las medidas que fomentan la renovación del parque de turismos. Por ello, se estima que en 2030, los turismos (diésel y gasolina) EURO 1, 2 y 3 no serán utilizados en los desplazamientos al

trabajo. Además, todos los turismos matriculados a partir de 2015 se consideran EURO 6.

La clasificación de turismos que realiza la DGT diferencia entre diésel, gasolina y otros. Como se señala anteriormente, “*otros*” se consideran eléctricos y de gas natural. Se sabe que “*otros*” del parque de la CCAA de Madrid representa el 44% del total nacional.

Para determinar la cuota que representa cada tipo (gas natural y eléctrico) en 2030, se atiende a las medidas que impulsan el vehículo eléctrico así como a las que fomentan la movilidad compartida, donde gran parte de los turismos son eléctricos. Por ello se estima que los turismos eléctricos y de gas natural, en la Comunidad de Madrid, representan un 31% y un 13% del parque nacional en 2030.

Se prevé que en 2030, existan 3,5 millones de turismos eléctricos a nivel nacional [74]. Por lo tanto, aplicando la estimación anterior, en 2030 habrá en la CCAA de Madrid 1,085 millones de turismos eléctricos.

También se considera el crecimiento del parque de vehículos de la CCAA de Madrid observando los datos recogidos en el portal de la DGT [40] y se estima que los vehículos de gas natural serán un tercio de los eléctricos. Con estos datos se calculan los porcentajes de cada tipo de turismo dentro del conjunto, que permiten repartir la movilidad al trabajo correspondiente según el parque estimado.

Motocicletas

De acuerdo con las propuestas que fomentan la electrificación del sector y con el creciente uso de las motocicletas eléctricas compartidas, se estima que los desplazamientos en moto, en 2030 en la CCAA de Madrid, se realicen según el reparto siguiente: el 60% en motocicleta eléctrica y un 40% en las de gasolina.

Autobuses

En cuanto a los autobuses, tanto urbanos como metropolitanos, la tendencia se dirige al crecimiento de vehículos propulsados por fuentes de energía alternativas,

en concreto se incrementa la flota de eléctricos. Además, el uso de gas natural también se fomenta en los autobuses.

Concretamente en autobuses urbanos, se considera un aumento de los eléctricos y una reducción de los biodiésel. Por otro lado, en el caso de autobuses metropolitanos se estima la incorporación de los eléctricos y un aumento de los de gas natural, así como, una disminución de los autobuses metropolitanos diésel. Todo ello es posible gracias a medidas que impulsan la renovación de la flota.

En la siguiente tabla, se muestra una comparativa de las cuotas de los autobuses urbanos con respecto al parque de los mismos, en 2017 y en 2030. También se indica para los autobuses metropolitanos (tabla 22).

% del parque - CCAA Madrid			
Medio de transporte		2017	2030
Autobús urbano	Gas natural	50,47%	50,47%
	Biodiésel	45,83%	11,96%
	Híbrido	2,57%	2,57%
	Eléctrico	1,14%	35,00%
Autobús metropolitano	Diésel	74,18%	25,86%
	Gas natural	11,68%	35,00%
	Híbrido	14,14%	14,14%
	Eléctrico	-	25,00%

Tabla 22. Cuota de los autobuses con respecto al parque total de cada grupo

Fuente: Elaboración propia a partir de las estimaciones indicadas

Bicicletas

Las tendencias indican un aumento considerable de las ventas de bicicletas eléctricas. Además, la Comunidad de Madrid cuenta con diferentes plataformas privadas de alquiler de bicicletas como Mobike y se prevé que incremente la presencia de este tipo de servicios. También BiciMAD, como servicio público de alquiler de bicicletas, ha aumentado la flota y el número de estaciones, y se estima una expansión aún mayor.

Esto permite facilitar la aplicación de medidas como el impulso del uso de la bicicleta para los desplazamientos al trabajo. Para este escenario, la hipótesis considerada

define que el número de desplazamientos, por motivos de trabajo, en bicicleta eléctrica supondrán un 55% del total de viajes realizados en bicicleta.

A continuación, se muestra una tabla resumen integrando todas las estimaciones y se indica la movilidad al trabajo en pkm y km para el año 2030 (tabla 23).

Movilidad anual al trabajo - CCAA Madrid - 2030				
Medio de transporte			Millones de pkm	Millones de km
Turismos	Diésel	EURO 4	902,39	557,03
		EURO 5	346,73	214,03
		EURO 6	685,46	423,12
	Gasolina	EURO 4	348,74	215,27
		EURO 5	138,43	85,45
		EURO 6	456,97	282,08
	Gas natural		409,97	253,07
Eléctrico		1.229,92	759,21	
Motocicletas	Gasolina		173,63	157,84
	Eléctrica		260,44	236,76
Autobuses urbanos	Gas natural		81,16	4,99
	Biodiésel		19,24	1,18
	Híbridos		4,13	0,25
	Eléctricos		56,28	3,46
Autobuses metropolitanos	Diésel		225,75	10,12
	Gas natural		305,53	13,70
	Híbridos		123,44	5,53
	Eléctricos		218,24	9,79
Metro			1.111,30	39,14
Metro ligero			20,51	2,63
Cercanías Renfe			1.845,19	9,46
Bicicletas	Convencionales		9,28	9,28
	Eléctricas		11,34	11,34

Tabla 23. Movilidad anual al trabajo 2030, CCAA de Madrid

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

3.3.2.6 Datos normalizados

Como se expone anteriormente, los datos de entrada están normalizados y para ello se dividen entre la población ocupada de la CCAA de Madrid, estimada para 2030. Se indica en el apartado 3.3.2.1, y es de 3.516.160 habitantes. A continuación, se muestran los datos de la movilidad anual del escenario 2030 expresados en pkm/habitante ocupado y km/habitante ocupado (tabla 24).

Movilidad anual al trabajo - CCAA Madrid - 2030				
Medio de transporte		pkm/hab. ocupado	km/hab. ocupado	
Turismos	Diésel	EURO 4	256,640	158,420
		EURO 5	98,610	60,870
		EURO 6	194,946	120,337
	Gasolina	EURO 4	99,183	61,224
		EURO 5	39,371	24,303
		EURO 6	129,964	80,225
	Gas natural		116,597	71,973
Eléctrico		349,790	215,920	
Motocicletas	Gasolina		49,379	44,890
	Eléctrica		74,069	67,336
Autobuses urbanos	Gas natural		23,082	1,420
	Biodiésel		5,471	0,337
	Híbridos		1,174	0,072
	Eléctricos		16,007	0,985
Autobuses metropolitanos	Diésel		64,203	2,879
	Gas natural		86,895	3,896
	Híbridos		35,105	1,574
	Eléctricos		62,068	2,783
Metro		316,054	11,132	
Metro ligero		5,833	0,747	
Cercanías Renfe		524,774	2,690	
Bicicletas	Convencionales		2,638	2,638
	Eléctricas		3,224	3,224

Tabla 24. Movilidad anual al trabajo, datos normalizados, 2030

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

3.3.3 Datos conjuntos

En la siguiente tabla se recogen los datos de ambos escenarios, facilitando la comparación de los mismos (tabla 25). Se observa que hay una disminución del número total de pkm en 2030 con respecto a 2017. Esto se debe a la reducción de la movilidad al trabajo gracias al teletrabajo estimado y al aumento de desplazamientos realizados a pie.

Sin embargo, los pkm correspondientes al transporte público y a las bicicletas aumentan en 2030. Esto es posible gracias al cambio en el reparto modal consecuencia de las medidas futuras estimadas.

Los movilidad (millones de km) realizada a través del transporte público aumenta en 2030, pero no tanto como los pkm debido al aumento de la ocupación de dichos medios.

En cuanto a los turismos diésel y gasolina, en 2030 disminuyen los pkm en todos los grupos establecidos por la normativa EURO excepto los EURO 6, se debe al aumento del parque considerado para este grupo. Por el contrario, para dicho grupo, la movilidad en millones de km disminuye debido al aumento de ocupación de los turismos en 2030.

Referente a los datos normalizados, al considerar un aumento de la población ocupada para 2030, el valor correspondiente a casi todos los medios considerados disminuye. Las excepciones tienen lugar cuando la cuota de un medio de transporte experimenta un incremento considerable entre 2017 y 2030.

Movilidad anual al trabajo - CCAA Madrid										
Medio de transporte		2017				2030				
		Millones de pkm	Millones de km	pkm/hab. ocupado	km/hab. ocupado	Millones de pkm	Millones de km	pkm/hab. ocupado	km/hab. ocupado	
Turismos	Diésel	EURO 1	89,943	74,952	30,729	25,607	-	-	-	-
		EURO 2	276,376	230,314	94,423	78,686	-	-	-	-
		EURO 3	1.030,377	858,647	352,025	293,354	-	-	-	-
		EURO 4	1.612,785	1.343,988	551,003	459,169	902,386	557,028	256,640	158,420
		EURO 5	619,686	516,405	211,714	176,428	346,727	214,029	98,610	60,870
		EURO 6	632,200	526,834	215,989	179,991	685,462	423,125	194,946	120,337
	Gasolina	EURO 1	161,557	134,631	55,196	45,996	-	-	-	-
		EURO 2	245,803	204,836	83,978	69,982	-	-	-	-
		EURO 3	621,164	517,636	212,219	176,849	-	-	-	-
		EURO 4	623,287	519,406	212,944	177,453	348,742	215,273	99,183	61,224
		EURO 5	247,417	206,181	84,529	70,441	138,435	85,454	39,371	24,303
		EURO 6	430,292	358,577	147,008	122,507	456,975	282,083	129,964	80,225
		Gas natural	12,584	10,486	4,299	3,583	409,973	253,070	116,597	71,973
		Eléctrico	12,584	10,486	4,299	3,583	1.229,918	759,209	349,790	215,920
Motocicletas	Gasolina	575,115	522,832	196,486	178,624	173,626	157,842	49,379	44,890	
	Eléctrica	2,655	2,414	0,907	0,825	260,439	236,763	74,069	67,336	
Autobuses urbanos	Gas natural	76,717	4,956	26,210	1,693	81,158	4,993	23,082	1,420	
	Biodiésel	69,661	4,500	23,799	1,537	19,237	1,184	5,471	0,337	
	Híbridos	3,903	0,252	1,334	0,086	4,129	0,254	1,174	0,072	
	Eléctricos	1,727	0,112	0,590	0,038	56,283	3,463	16,007	0,985	
Autobuses metropolitanos	Diésel	612,101	28,818	209,122	9,846	225,747	10,122	64,203	2,879	
	Gas natural	96,362	4,537	32,922	1,550	305,535	13,700	86,895	3,896	
	Híbridos	116,720	5,495	39,877	1,877	123,436	5,535	35,105	1,574	
	Eléctricos	-	-	-	-	218,239	9,786	62,068	2,783	
Metro		1.050,480	38,849	358,893	13,273	1.111,297	39,141	316,054	11,132	
Metro ligero		19,389	2,606	6,624	0,890	20,511	2,626	5,833	0,747	
Cercanías Renfe		1.744,208	9,209	595,903	3,146	1.845,189	9,459	524,774	2,690	
Bicicletas	Convencionales	19,593	19,593	6,694	6,694	9,276	9,276	2,638	2,638	
	Eléctricas	0,816	0,816	0,279	0,279	11,337	11,337	3,224	3,224	
Total		11.005,503	6.158,369	3.759,994	2.103,987	8.984,058	3.304,749	2.555,077	939,875	

Tabla 25. Movilidad anual al trabajo, ambos escenarios

Fuente: Elaboración propia a partir de datos calculados

3.4 EVALUACIÓN DE IMPACTO

Antes de analizar los escenarios definidos (2017 y 2030) y realizar una comparativa de ambos, es preciso validar los resultados de las categorías de impacto para los procesos seleccionados y modelados.

La evaluación de los medios de transporte se lleva a cabo utilizando los datos de 2017, considerando los procesos modelados y los niveles de ocupación definidos para dicho año. Los resultados obtenidos se muestra en las dos siguientes tablas (tabla 26, tabla 27) y considera todo el ciclo de vida de los mismos.

En la primera (tabla 26) los resultados se expresan en kg/km y MJ/km, y se observa que el medio de transporte con mayor impacto en todas las categorías es cercanías Renfe. Esto se debe en gran medida al proceso de fabricación y al uso de energía durante el funcionamiento del mismo.

Además, si se atiende a los grupos establecidos por el reparto modal de la movilidad al trabajo, las bicicletas y los vehículos privados tienen, en general, valores inferiores al transporte público en las diferentes categorías.

La segunda tabla (tabla 27) muestra los resultados expresados en kg/pkm y MJ/pkm. En este caso, las bicicletas presentan los mismos valores que en la tabla 26 ya que se considera una ocupación de una persona. Los valores de los turismos y motocicletas son similares pues la ocupación definida es de 1,2 personas/turismo y 1,1 personas/motocicleta. Sin embargo, los transportes públicos experimentan una variación considerable ya que se establecen ocupaciones mayores (tabla 16).

Cabe destacar que los resultados en kg/pkm y MJ/pkm son superiores en los turismos en todas las categorías. Por lo tanto, el impacto por persona es menor si se utiliza el transporte público, la motocicleta o la bicicleta.

	Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades	kg Sb eq/km	MJ/km	kg CO2 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 1,4-DB eq/km	kg C2H4 eq/km	kg SO2 eq/km	kg PO4 eq/km
Turismo diésel EURO 1	4,283E-06	5,150E+00	3,452E-01	5,512E-08	3,073E-01	1,974E-01	2,610E+02	5,219E-04	7,775E-05	1,558E-03	4,164E-04
Turismo diésel EURO 2	4,281E-06	4,968E+00	3,333E-01	5,293E-08	3,062E-01	1,971E-01	2,601E+02	5,184E-04	6,938E-05	1,345E-03	3,636E-04
Turismo diésel EURO 3	4,280E-06	4,795E+00	3,220E-01	5,085E-08	3,052E-01	1,969E-01	2,593E+02	5,150E-04	6,694E-05	1,137E-03	3,119E-04
Turismo diésel EURO 4	4,278E-06	4,610E+00	3,099E-01	4,862E-08	3,045E-01	1,966E-01	2,584E+02	5,115E-04	6,539E-05	1,056E-03	2,934E-04
Turismo diésel EURO 5	4,277E-06	4,506E+00	3,031E-01	4,737E-08	2,997E-01	1,964E-01	2,579E+02	5,075E-04	6,438E-05	1,045E-03	2,920E-04
Turismo diésel EURO 6	4,276E-06	4,355E+00	2,932E-01	4,555E-08	2,991E-01	1,962E-01	2,572E+02	5,046E-04	6,233E-05	9,851E-04	2,785E-04
Turismo gasolina EURO 1	4,247E-06	5,931E+00	4,052E-01	6,318E-08	2,936E-01	1,927E-01	2,614E+02	5,328E-04	1,786E-04	1,351E-03	3,400E-04
Turismo gasolina EURO 2	4,244E-06	5,712E+00	3,905E-01	6,061E-08	2,925E-01	1,923E-01	2,602E+02	5,279E-04	1,526E-04	1,247E-03	3,168E-04
Turismo gasolina EURO 3	4,241E-06	5,503E+00	3,765E-01	5,815E-08	2,916E-01	1,920E-01	2,590E+02	5,233E-04	1,340E-04	1,196E-03	3,071E-04
Turismo gasolina EURO 4	4,238E-06	5,251E+00	3,592E-01	5,519E-08	2,873E-01	1,915E-01	2,576E+02	5,175E-04	1,023E-04	1,147E-03	2,989E-04
Turismo gasolina EURO 5	4,236E-06	5,051E+00	3,457E-01	5,284E-08	2,842E-01	1,912E-01	2,565E+02	5,129E-04	1,004E-04	1,117E-03	2,945E-04
Turismo gasolina EURO 6	4,233E-06	4,874E+00	3,338E-01	5,076E-08	2,835E-01	1,909E-01	2,555E+02	5,090E-04	9,896E-05	1,095E-03	2,917E-04
Turismo gas natural	4,201E-06	4,443E+00	2,584E-01	3,698E-08	2,543E-01	1,917E-01	2,609E+02	4,879E-04	8,372E-05	9,984E-04	2,663E-04
Turismo eléctrico	6,068E-06	2,457E+00	1,783E-01	2,134E-08	2,547E-01	1,953E-01	4,807E+02	1,105E-03	3,171E-04	1,288E-03	4,992E-04
Motocicleta gasolina	4,133E-07	1,777E+00	1,217E-01	1,945E-08	2,530E-01	1,576E-02	5,674E+01	9,180E-05	4,881E-04	4,193E-04	7,933E-05
Motocicleta eléctrica	1,750E-06	6,314E-01	4,608E-02	4,868E-09	8,160E-02	5,874E-02	1,777E+02	2,339E-04	2,101E-05	3,730E-04	1,544E-04
Urbano gas natural	6,461E-06	2,051E+01	1,118E+00	1,789E-07	4,555E-01	3,206E-01	5,107E+02	9,572E-04	2,896E-04	3,162E-03	5,571E-04
Urbano biodiésel	1,941E-06	2,311E+01	1,450E+00	2,892E-07	2,526E-01	2,088E-01	3,845E+02	1,367E-03	3,282E-04	1,095E-02	2,575E-03
Urbano híbrido	1,299E-05	1,756E+01	1,417E+00	2,067E-07	7,587E-01	6,344E-01	1,617E+03	4,593E-03	3,691E-04	8,883E-03	2,466E-03
Urbano eléctrico	2,160E-05	8,406E+00	6,317E-01	7,312E-08	8,951E-01	6,951E-01	1,671E+03	4,059E-03	4,777E-04	4,473E-03	1,714E-03
Metropolitano diésel	2,699E-06	3,569E+01	2,295E+00	4,448E-07	3,577E-01	2,921E-01	5,463E+02	1,951E-03	5,353E-04	1,491E-02	3,433E-03
Metropolitano gas natural	6,461E-06	2,051E+01	1,118E+00	1,789E-07	4,555E-01	3,206E-01	5,107E+02	9,572E-04	2,896E-04	3,162E-03	5,571E-04
Metropolitano híbrido	1,782E-05	2,410E+01	1,944E+00	2,836E-07	1,041E+00	8,705E-01	2,219E+03	6,302E-03	5,065E-04	1,219E-02	3,384E-03
Metro	3,725E-06	2,441E+01	1,892E+00	2,314E-07	8,087E-01	5,083E-01	1,859E+03	5,103E-03	4,804E-04	1,123E-02	2,298E-03
Metro ligero	1,025E-06	6,716E+00	5,207E-01	6,366E-08	2,225E-01	1,398E-01	5,116E+02	1,404E-03	1,322E-04	3,089E-03	6,324E-04
Cercanías Renfe	2,925E-05	2,394E+02	1,769E+01	2,490E-06	5,992E+00	3,621E+00	1,720E+04	2,432E-02	4,594E-03	1,023E-01	1,845E-02
Bicicleta	6,135E-08	1,498E-01	1,240E-02	7,806E-10	2,160E-02	1,298E-02	8,662E+01	4,891E-05	5,294E-06	9,531E-05	1,986E-05
Bicicleta eléctrica	7,931E-07	2,981E-01	2,325E-02	2,221E-09	5,353E-02	3,498E-02	1,351E+02	1,303E-04	1,038E-05	2,101E-04	8,248E-05

Tabla 26. Resultados del ACV de los medios de transporte considerados, kg/km y MJ/km (2017)

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

	Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades	kg Sb eq/pkm	MJ/pkm	kg CO2 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 1,4-DB eq/pkm	kg C2H4 eq/pkm	kg SO2 eq/pkm	kg PO4 eq/pkm
Turismo diésel EURO 1	3,569E-06	4,291E+00	2,877E-01	4,593E-08	2,561E-01	1,645E-01	2,175E+02	4,349E-04	6,479E-05	1,298E-03	3,470E-04
Turismo diésel EURO 2	3,568E-06	4,140E+00	2,778E-01	4,411E-08	2,552E-01	1,643E-01	2,167E+02	4,320E-04	5,782E-05	1,121E-03	3,030E-04
Turismo diésel EURO 3	3,567E-06	3,996E+00	2,683E-01	4,237E-08	2,543E-01	1,641E-01	2,161E+02	4,292E-04	5,579E-05	9,474E-04	2,599E-04
Turismo diésel EURO 4	3,565E-06	3,842E+00	2,583E-01	4,052E-08	2,538E-01	1,638E-01	2,153E+02	4,262E-04	5,449E-05	8,800E-04	2,445E-04
Turismo diésel EURO 5	3,564E-06	3,755E+00	2,526E-01	3,947E-08	2,498E-01	1,637E-01	2,149E+02	4,229E-04	5,365E-05	8,709E-04	2,433E-04
Turismo diésel EURO 6	3,563E-06	3,629E+00	2,444E-01	3,796E-08	2,493E-01	1,635E-01	2,143E+02	4,205E-04	5,194E-05	8,209E-04	2,321E-04
Turismo gasolina EURO 1	3,539E-06	4,942E+00	3,377E-01	5,265E-08	2,447E-01	1,606E-01	2,179E+02	4,440E-04	1,489E-04	1,126E-03	2,833E-04
Turismo gasolina EURO 2	3,537E-06	4,760E+00	3,254E-01	5,051E-08	2,438E-01	1,603E-01	2,168E+02	4,399E-04	1,272E-04	1,039E-03	2,640E-04
Turismo gasolina EURO 3	3,535E-06	4,586E+00	3,137E-01	4,846E-08	2,430E-01	1,600E-01	2,159E+02	4,361E-04	1,116E-04	9,965E-04	2,559E-04
Turismo gasolina EURO 4	3,532E-06	4,376E+00	2,993E-01	4,599E-08	2,394E-01	1,596E-01	2,147E+02	4,312E-04	8,525E-05	9,561E-04	2,491E-04
Turismo gasolina EURO 5	3,530E-06	4,210E+00	2,881E-01	4,403E-08	2,369E-01	1,593E-01	2,137E+02	4,275E-04	8,365E-05	9,308E-04	2,454E-04
Turismo gasolina EURO 6	3,528E-06	4,062E+00	2,782E-01	4,230E-08	2,362E-01	1,591E-01	2,129E+02	4,242E-04	8,247E-05	9,122E-04	2,431E-04
Turismo gas natural	3,500E-06	3,702E+00	2,153E-01	3,082E-08	2,119E-01	1,597E-01	2,174E+02	4,066E-04	6,977E-05	8,320E-04	2,219E-04
Turismo eléctrico	5,057E-06	2,048E+00	1,486E-01	1,778E-08	2,122E-01	1,627E-01	4,006E+02	9,209E-04	2,642E-04	1,073E-03	4,160E-04
Motocicleta gasolina	3,416E-07	1,468E+00	1,006E-01	1,607E-08	2,091E-01	1,302E-02	4,689E+01	7,587E-05	4,034E-04	3,465E-04	6,556E-05
Motocicleta eléctrica	1,591E-06	5,740E-01	4,189E-02	4,426E-09	7,418E-02	5,340E-02	1,615E+02	2,126E-04	1,910E-05	3,391E-04	1,404E-04
Urbano gas natural	4,174E-07	1,325E+00	7,220E-02	1,156E-08	2,943E-02	2,071E-02	3,299E+01	6,183E-05	1,871E-05	2,043E-04	3,599E-05
Urbano biodiésel	1,254E-07	1,493E+00	9,367E-02	1,868E-08	1,632E-02	1,349E-02	2,484E+01	8,832E-05	2,120E-05	7,071E-04	1,663E-04
Urbano híbrido	8,389E-07	1,135E+00	9,154E-02	1,335E-08	4,901E-02	4,098E-02	1,045E+02	2,967E-04	2,385E-05	5,738E-04	1,593E-04
Urbano eléctrico	1,396E-06	5,430E-01	4,081E-02	4,724E-09	5,782E-02	4,490E-02	1,079E+02	2,622E-04	3,086E-05	2,890E-04	1,107E-04
Metropolitano diésel	1,271E-07	1,680E+00	1,080E-01	2,094E-08	1,684E-02	1,375E-02	2,572E+01	9,187E-05	2,520E-05	7,022E-04	1,616E-04
Metropolitano gas natural	3,042E-07	9,656E-01	5,262E-02	8,425E-09	2,145E-02	1,509E-02	2,404E+01	4,507E-05	1,363E-05	1,489E-04	2,623E-05
Metropolitano híbrido	8,389E-07	1,135E+00	9,154E-02	1,335E-08	4,901E-02	4,098E-02	1,045E+02	2,967E-04	2,385E-05	5,738E-04	1,593E-04
Metro	1,378E-07	9,027E-01	6,998E-02	8,557E-09	2,991E-02	1,880E-02	6,876E+01	1,887E-04	1,777E-05	4,152E-04	8,500E-05
Metro ligero	1,378E-07	9,027E-01	6,998E-02	8,557E-09	2,991E-02	1,880E-02	6,876E+01	1,887E-04	1,777E-05	4,152E-04	8,500E-05
Cercanías Renfe	1,545E-07	1,264E+00	9,339E-02	1,315E-08	3,164E-02	1,912E-02	9,081E+01	1,284E-04	2,426E-05	5,401E-04	9,743E-05
Bicicleta	6,135E-08	1,498E-01	1,240E-02	7,806E-10	2,160E-02	1,298E-02	8,662E+01	4,891E-05	5,294E-06	9,531E-05	1,986E-05
Bicicleta eléctrica	7,931E-07	2,981E-01	2,325E-02	2,221E-09	5,353E-02	3,498E-02	1,351E+02	1,303E-04	1,038E-05	2,101E-04	8,248E-05

Tabla 27. Resultados de ACV de los medios de transporte considerados, kg/pkm y MJ/pkm (2017)

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

A continuación, se analizan diferentes aspectos de los grupos definidos por el reparto modal de la movilidad al trabajo, tratando de profundizar en la información recogida de los procesos utilizados y los resultados expuestos en las tablas anteriores (tabla 26 y tabla 27).

Vehículo privado

Los resultados de los turismos de la tabla 26 muestran como los grupos de gasolina (EURO 1, 2, 3, 4, 5 y 6) tienen un impacto mayor en el calentamiento global con respecto a sus homólogos diésel. Ocurre al contrario en el caso de la acidificación y eutrofización, ya que los turismos diésel presentan unas emisiones de NO_x más altas durante su fase de uso, permitidas por la norma (tabla 4).

Si se comparan los turismos de gas natural con los diésel y gasolina, los impactos analizados disminuyen. En el caso de los turismos eléctricos, se observan los valores más bajos en las categorías de agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global (GWP 100a) y agotamiento de la capa de ozono. Sin embargo, alcanzan los valores más altos en el resto de las categorías, exceptuando la toxicidad en humanos y la acidificación. Esto se debe, entre otros, a los materiales y tecnologías utilizados en la fabricación y uso de las baterías.

Se considera interesante el análisis de un aumento de ocupación en los turismos. Si en la tabla 27, los resultados se obtienen considerando una ocupación de 1,2 personas, a continuación se exponen los resultados teniendo en cuenta una ocupación de 1,62 personas (tabla 28).

Estos datos se comparan con los de la tabla 27 y se muestra (tabla 29) la variación en % de las categorías de impacto para un incremento de la ocupación del 35%. En el caso de los turismos diésel y gasolina se produce una reducción comprendida entre el 25% y el 26% para los diferentes impactos.

En los turismos de gas natural, la disminución de algunas categorías no está próxima al 25%. Es el caso de agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global (GPW 100a), agotamiento de la capa de ozono y acidificación, pues solo experimentan una reducción comprendida entre el 10% y el 19%.

		Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades		kg Sb eq/pkm	MJ/pkm	kg CO2 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 1,4-DB eq/pkm	kg C2H4 eq/pkm	kg SO2 eq/pkm	kg PO4 eq/pkm
Diésel	EURO 4	2,641E-06	2,875E+00	1,931E-01	3,036E-08	1,882E-01	1,215E-01	1,597E+02	3,168E-04	4,056E-05	6,554E-04	1,816E-04
	EURO 5	2,641E-06	2,811E+00	1,889E-01	2,959E-08	1,852E-01	1,214E-01	1,594E+02	3,144E-04	3,994E-05	6,487E-04	1,808E-04
	EURO 6	2,640E-06	2,713E+00	1,826E-01	2,842E-08	1,847E-01	1,211E-01	1,589E+02	3,120E-04	3,863E-05	6,107E-04	1,722E-04
Gasolina	EURO 4	2,617E-06	3,272E+00	2,237E-01	3,442E-08	1,776E-01	1,184E-01	1,593E+02	3,205E-04	6,341E-05	7,125E-04	1,851E-04
	EURO 5	2,615E-06	3,149E+00	2,154E-01	3,297E-08	1,757E-01	1,181E-01	1,586E+02	3,177E-04	6,222E-05	6,938E-04	1,824E-04
	EURO 6	2,614E-06	3,035E+00	2,078E-01	3,164E-08	1,751E-01	1,179E-01	1,578E+02	3,148E-04	6,130E-05	6,790E-04	1,805E-04
Eléctrico		3,746E-06	1,517E+00	1,100E-01	1,317E-08	1,572E-01	1,205E-01	2,967E+02	6,821E-04	1,957E-04	7,949E-04	3,082E-04
Gas natural		2,595E-06	3,264E+00	1,866E-01	2,750E-08	1,591E-01	1,195E-01	1,653E+02	3,112E-04	5,510E-05	6,768E-04	1,697E-04

Tabla 28. Resultados de los turismos suponiendo una ocupación de 1,62 personas en kg/pkm y MJ/pkm (2017)

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

		Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Turismos		Variación en % con respecto a una ocupación de 1,2 personas, si aumenta hasta 1,62										
Diésel	EURO 4	-25,91%	-25,17%	-25,22%	-25,07%	-25,84%	-25,85%	-25,82%	-25,67%	-25,56%	-25,52%	-25,71%
	EURO 5	-25,91%	-25,15%	-25,20%	-25,05%	-25,84%	-25,85%	-25,82%	-25,66%	-25,55%	-25,52%	-25,71%
	EURO 6	-25,92%	-25,24%	-25,26%	-25,13%	-25,89%	-25,90%	-25,87%	-25,81%	-25,63%	-25,61%	-25,78%
Gasolina	EURO 4	-25,91%	-25,23%	-25,27%	-25,16%	-25,82%	-25,84%	-25,81%	-25,67%	-25,62%	-25,48%	-25,69%
	EURO 5	-25,91%	-25,21%	-25,24%	-25,12%	-25,82%	-25,84%	-25,80%	-25,67%	-25,62%	-25,47%	-25,68%
	EURO 6	-25,92%	-25,28%	-25,29%	-25,19%	-25,88%	-25,90%	-25,86%	-25,79%	-25,67%	-25,56%	-25,76%
Eléctrico		-25,93%	-25,93%	-25,93%	-25,93%	-25,93%	-25,93%	-25,93%	-25,93%	-25,93%	-25,93%	-25,93%
Gas natural		-25,86%	-11,85%	-13,32%	-10,77%	-24,93%	-25,22%	-23,97%	-23,47%	-21,02%	-18,66%	-23,52%

Tabla 29. Variación de los impactos debido al cambio de ocupación (2017)

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la tabla 27 y la tabla 28

En el caso de los turismos eléctricos, la disminución es constante pues todos los impactos se reducen en un 25,93%. Esto se debe, posiblemente, a la forma en que está modelado el proceso de dicho tipo de vehículo. En los demás procesos de turismos el ajuste de la ocupación no solo se realiza en los datos de entrada, ya que también es posible la modificación de algunos parámetros relacionados con el peso transportado por el automóvil.

Acerca de las motocicletas cabe destacar que las eléctricas contribuyen al calentamiento global (GPW 100a) menos de la mitad que las de gasolina. Además, permiten una disminución considerable de la oxidación fotoquímica así como una reducción del agotamiento de la capa de ozono, la toxicidad en humanos y el agotamiento abiótico (combustibles fósiles). También se aprecia una pequeña disminución de la acidificación.

Por el contrario, la tecnología empleada en las motocicletas eléctricas provoca un aumento del resto de las categorías. Todo ello se puede observar en la siguiente imagen (figura 12), donde se muestran los valores máximos como el 100% y el resto de forma proporcional al máximo.

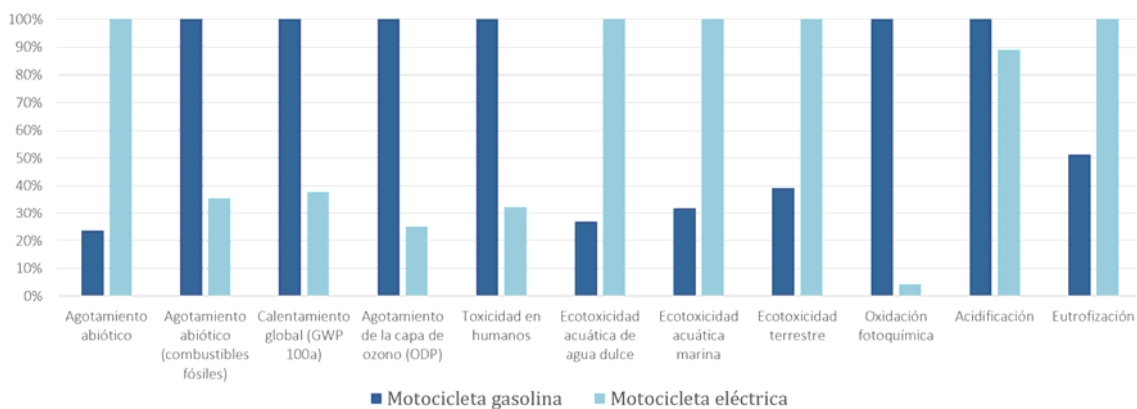


Figura 12. Comparativa de las motocicletas (2017)

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la tabla 26

Transporte público

En este caso, ha sido necesario modelar determinados procesos de los autobuses pues los procesos del metro, metro ligero y cercanías estaban definidos. Por ello, cobra especial importancia comprobar los resultados obtenidos para los autobuses

teniendo en cuenta los diferentes sistemas de propulsión. Este análisis ha permitido un proceso iterativo de ajuste para definir de la mejor forma dichos procesos.

Como se indica previamente (apartado 3.2.2), los procesos utilizados son los mismos para los autobuses urbanos y metropolitanos. Para poder compararlos se consideran todos los urbanos con una ocupación de 15,48 personas/ autobús (tabla 16) y se obtienen los resultados en kg/km y MJ/km (tabla 30). Para facilitar el análisis se añade la figura 14, donde se muestran los valores máximos como el 100% y el resto de forma proporcional al máximo.

Se observa que los impactos asociados al autobús biodiésel, con respecto al diésel, disminuyen excepto la acidificación y la eutrofización, que aumentan. Esto es debido al incremento de las emisiones de los óxidos de nitrógeno en los autobuses que emplean biodiésel.

En cuanto a los eléctricos, en línea con lo obtenido para turismos y motocicletas, se reducen considerablemente el agotamiento abiótico (combustibles fósiles), el calentamiento global (GWP 100a) y el agotamiento de la capa de ozono, pero aumentan otras categorías. Los híbridos son un paso intermedio entre los eléctricos y los diésel.

Los impactos de los autobuses de gas natural disminuyen en todas las categorías con respecto al diésel. Si se comparan con los eléctricos, el impacto sobre el calentamiento global (GWP 100a) es mayor (figura 13) así como el agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y el agotamiento de la capa de ozono. Sin embargo, los impactos son inferiores en las demás categorías.

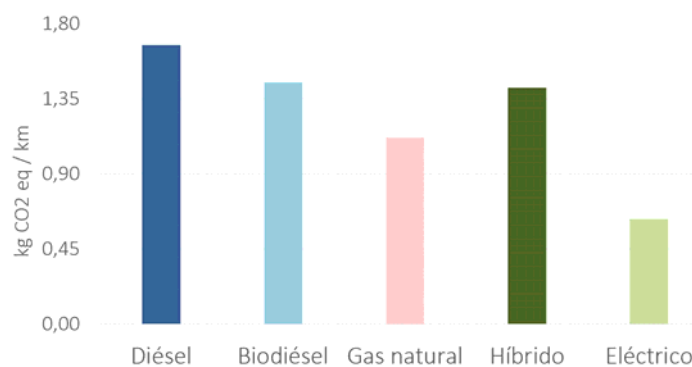


Figura 13. Comparativa del impacto de los autobuses, calentamiento global (GWP 100a)

Fuente: elaboración a partir de la tabla 30

	Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades	kg Sb eq/km	MJ/km	kg CO2 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 1,4-DB eq/km	kg C2H4 eq/km	kg SO2 eq/km	kg PO4 eq/km
Diésel	1,967E-06	2,601E+01	1,67	3,242E-07	2,607E-01	2,129E-01	3,982E+02	1,422E-03	3,901E-04	1,087E-02	2,502E-03
Biodiésel	1,941E-06	2,311E+01	1,45	2,892E-07	2,526E-01	2,088E-01	3,845E+02	1,367E-03	3,282E-04	1,095E-02	2,575E-03
Gas natural	6,461E-06	2,051E+01	1,12	1,789E-07	4,555E-01	3,206E-01	5,107E+02	9,572E-04	2,896E-04	3,162E-03	5,571E-04
Híbrido	1,299E-05	1,756E+01	1,42	2,067E-07	7,587E-01	6,344E-01	1,617E+03	4,593E-03	3,691E-04	8,883E-03	2,466E-03
Eléctrico	2,160E-05	8,406E+00	0,63	7,312E-08	8,951E-01	6,951E-01	1,671E+03	4,059E-03	4,777E-04	4,473E-03	1,714E-03

Tabla 30. Resultados del ACV de los autobuses por categoría de impacto, kg/km y MJ/km (2017)

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

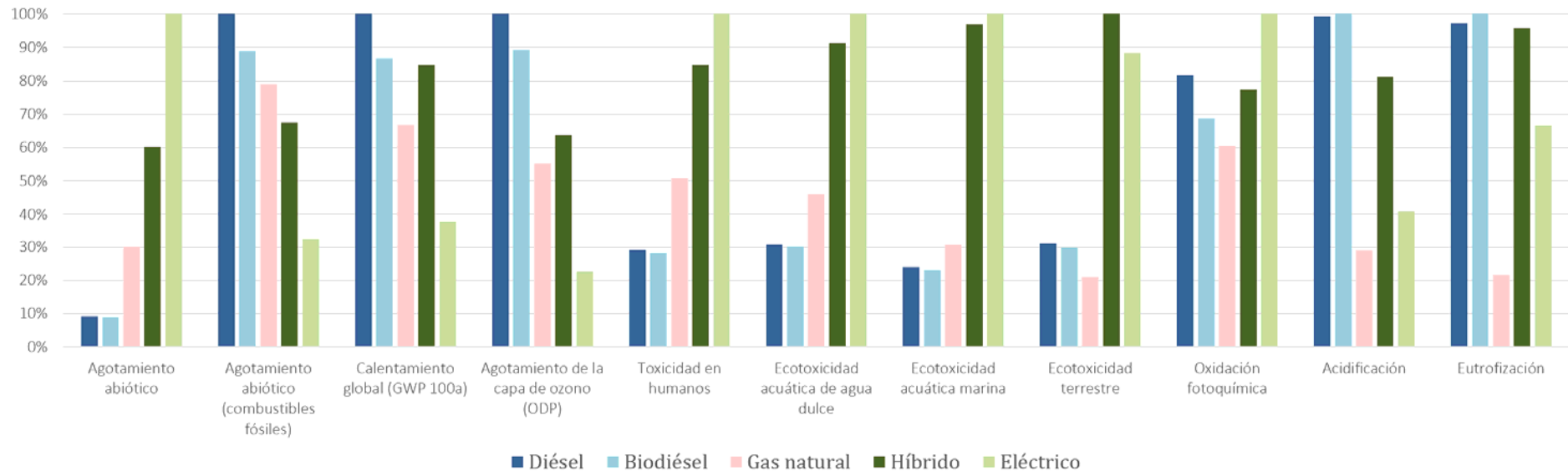


Figura 14. Comparativa de los autobuses por categoría de impacto (2017)

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la tabla 30

Bicicletas

Los impactos asociados a este medio de transporte son los esperados, ya que los valores de las diferentes categorías de impacto son superiores para la bicicleta eléctrica con respecto a la convencional (tabla 26 y tabla 27).

Además, las emisiones por persona y kilómetro de las bicicletas eléctricas son comparables con las de los transportes públicos, principalmente en los impactos asociados con las toxicidades en humanos y del medioambiente, y en el agotamiento abiótico. Esto se puede apreciar en la figura 15, donde se representan de manera proporcional los impactos asociados a las bicicletas y el transporte público considerado en el escenario 2017, a partir de los resultados en kg/pkm y MJ/pkm.

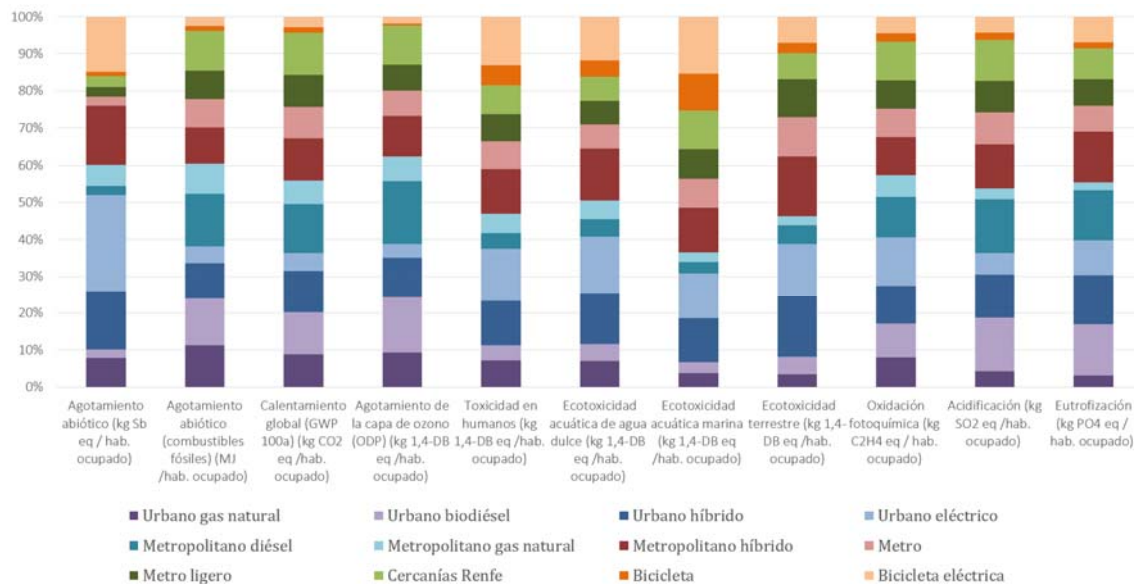


Figura 15. Comparativa de los impactos de las bicicletas y el transporte público, por categoría de impacto (2017)

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados recogidos en la tabla 27

Para dar mayor precisión a las diferencias entre ambas bicicletas se lleva a cabo un análisis de los impactos según diferentes fases: construcción de las infraestructuras, producción y desmantelamiento, y uso y mantenimiento. Los resultados se obtienen en kg/km y MJ/km.

En la siguiente imagen (figura 16) se muestran, de forma proporcional, los impactos asociados a cada fase en la bicicleta convencional. Se observa lo esperado, la mayor parte de las emisiones corresponden con la fase de producción y desmantelamiento.

Es preciso añadir que durante la fase de uso y mantenimiento, los impactos se deben únicamente al mantenimiento.

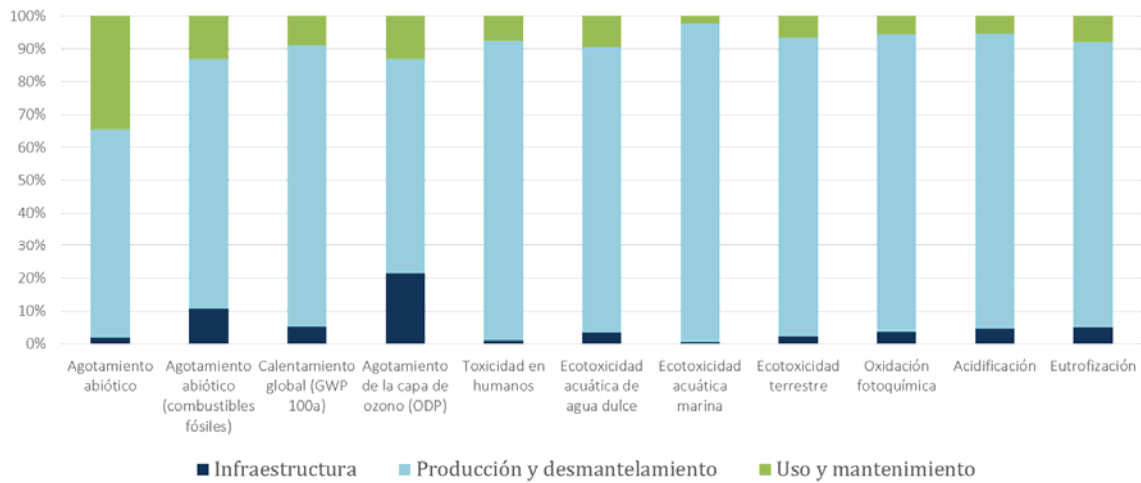


Figura 16. Impactos de la bicicleta convencional por fases

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

En el caso de la bicicleta eléctrica, la fase de uso y mantenimiento gana terreno a la fase de producción y desmantelamiento (figura 17). En cuanto a la construcción de la infraestructura, los valores son parecidos para ambos tipos de bicicleta. Se puede observar en la figura 18, donde aparece la categoría de calentamiento global (GWP 100a) por fase para cada bicicleta. En ella se aprecia como la diferencia principal entre las bicicletas se encuentra en la fase de uso y mantenimiento. Esto se debe principalmente al uso de la batería.

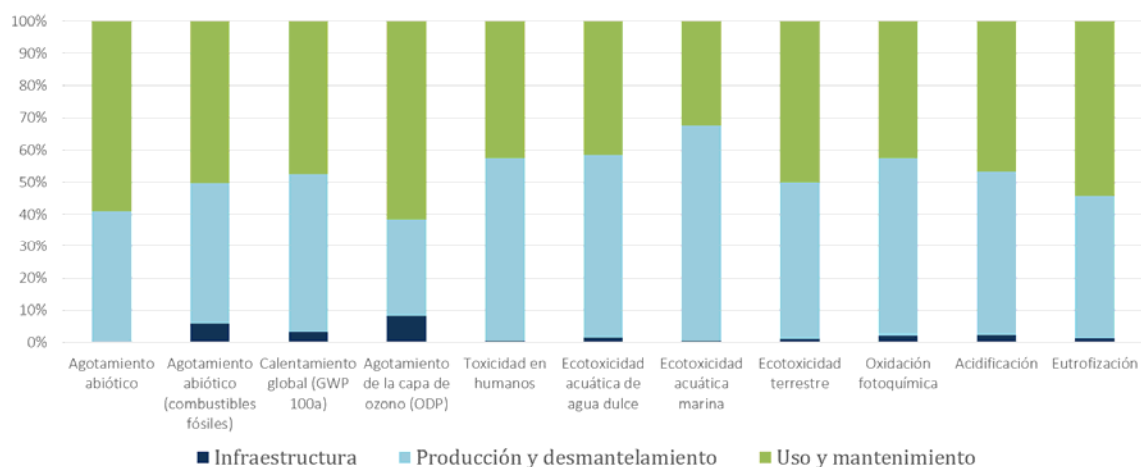


Figura 17. Impactos de la bicicleta eléctrica por fases

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

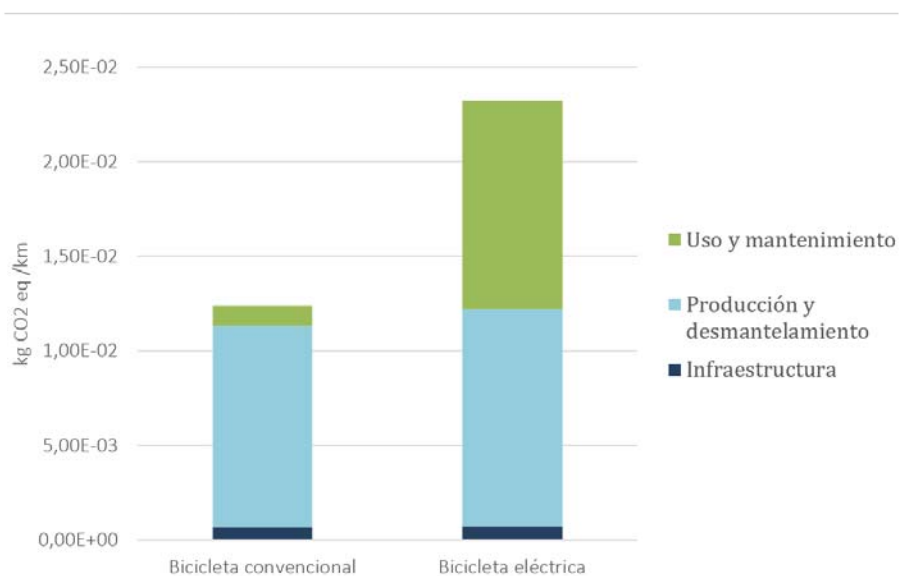


Figura 18. Calentamiento global (GWP 100a) por fase y tipo de bicicleta

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

3.4.1 Evaluación de impacto del escenario actual

A continuación, se muestran los resultados del Análisis de Ciclo de Vida del escenario correspondiente al año 2017. Estos valores están expresados en kg/habitante ocupado y MJ/habitante ocupado.

	Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades	kg Sb eq/hab. ocupado	MJ/hab. ocupado	kg CO2 eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg C2H4 eq/hab. ocupado	kg SO2 eq/hab. ocupado	kg PO4 eq/hab. ocupado
Turismo diésel EURO 1	1,097E-04	1,319E+02	8,839E+00	1,411E-06	7,868E+00	5,054E+00	6,682E+03	1,337E-02	1,991E-03	3,989E-02	1,066E-02
Turismo diésel EURO 2	3,369E-04	3,909E+02	2,623E+01	4,165E-06	2,409E+01	1,551E+01	2,047E+04	4,079E-02	5,459E-03	1,058E-01	2,861E-02
Turismo diésel EURO 3	1,256E-03	1,407E+03	9,446E+01	1,492E-05	8,953E+01	5,775E+01	7,606E+04	1,511E-01	1,964E-02	3,335E-01	9,150E-02
Turismo diésel EURO 4	1,964E-03	2,117E+03	1,423E+02	2,232E-05	1,398E+02	9,028E+01	1,187E+05	2,348E-01	3,002E-02	4,849E-01	1,347E-01
Turismo diésel EURO 5	7,546E-04	7,950E+02	5,348E+01	8,357E-06	5,288E+01	3,465E+01	4,550E+04	8,954E-02	1,136E-02	1,844E-01	5,152E-02
Turismo diésel EURO 6	7,696E-04	7,839E+02	5,278E+01	8,199E-06	5,384E+01	3,531E+01	4,629E+04	9,082E-02	1,122E-02	1,773E-01	5,012E-02
Turismo gasolina EURO 1	1,953E-04	2,728E+02	1,864E+01	2,906E-06	1,351E+01	8,863E+00	1,203E+04	2,451E-02	8,216E-03	6,213E-02	1,564E-02
Turismo gasolina EURO 2	2,970E-04	3,997E+02	2,733E+01	4,241E-06	2,047E+01	1,346E+01	1,821E+04	3,695E-02	1,068E-02	8,727E-02	2,217E-02
Turismo gasolina EURO 3	7,501E-04	9,732E+02	6,658E+01	1,028E-05	5,157E+01	3,395E+01	4,581E+04	9,254E-02	2,369E-02	2,115E-01	5,431E-02
Turismo gasolina EURO 4	7,521E-04	9,318E+02	6,374E+01	9,793E-06	5,098E+01	3,399E+01	4,571E+04	9,183E-02	1,815E-02	2,036E-01	5,303E-02
Turismo gasolina EURO 5	2,984E-04	3,558E+02	2,435E+01	3,722E-06	2,002E+01	1,347E+01	1,807E+04	3,613E-02	7,071E-03	7,868E-02	2,074E-02
Turismo gasolina EURO 6	5,186E-04	5,971E+02	4,089E+01	6,218E-06	3,473E+01	2,339E+01	3,130E+04	6,235E-02	1,212E-02	1,341E-01	3,574E-02
Turismo gas natural	1,505E-05	1,592E+01	9,258E-01	1,325E-07	9,112E-01	6,868E-01	9,349E+02	1,748E-03	3,000E-04	3,577E-03	9,540E-04
Turismo eléctrico	2,174E-05	8,804E+00	6,387E-01	7,646E-08	9,126E-01	6,997E-01	1,722E+03	3,959E-03	1,136E-03	4,614E-03	1,789E-03
Motocicleta gasolina	7,383E-05	3,174E+02	2,174E+01	3,473E-06	4,519E+01	2,815E+00	1,014E+04	1,640E-02	8,718E-02	7,489E-02	1,417E-02
Motocicleta eléctrica	1,444E-06	5,209E-01	3,802E-02	4,016E-09	6,732E-02	4,846E-02	1,466E+02	1,929E-04	1,733E-05	3,077E-04	1,274E-04
Urbano gas natural	1,094E-05	3,472E+01	1,892E+00	3,029E-07	7,712E-01	5,428E-01	8,646E+02	1,621E-03	4,903E-04	5,353E-03	9,432E-04
Urbano biodiésel	2,984E-06	3,552E+01	2,229E+00	4,446E-07	3,883E-01	3,210E-01	5,911E+02	2,102E-03	5,045E-04	1,683E-02	3,958E-03
Urbano híbrido	1,119E-06	1,513E+00	1,221E-01	1,781E-08	6,538E-02	5,467E-02	1,393E+02	3,958E-04	3,181E-05	7,655E-04	2,125E-04
Urbano eléctrico	8,209E-07	3,194E-01	2,400E-02	2,779E-09	3,401E-02	2,641E-02	6,349E+01	1,542E-04	1,815E-05	1,700E-04	6,513E-05
Metropolitano diésel	2,657E-05	3,514E+02	2,260E+01	4,380E-06	3,522E+00	2,876E+00	5,379E+03	1,921E-02	5,270E-03	1,468E-01	3,380E-02
Metropolitano gas natural	1,001E-05	3,179E+01	1,732E+00	2,774E-07	7,060E-01	4,969E-01	7,916E+02	1,484E-03	4,489E-04	4,901E-03	8,635E-04
Metropolitano híbrido	3,345E-05	4,524E+01	3,651E+00	5,325E-07	1,954E+00	1,634E+00	4,165E+03	1,183E-02	9,509E-04	2,288E-02	6,352E-03
Metro	4,944E-05	3,240E+02	2,512E+01	3,071E-06	1,073E+01	6,746E+00	2,468E+04	6,774E-02	6,376E-03	1,490E-01	3,051E-02
Metro ligero	9,125E-07	5,980E+00	4,636E-01	5,668E-08	1,981E-01	1,245E-01	4,555E+02	1,250E-03	1,177E-04	2,751E-03	5,631E-04
Cercanías Renfe	9,204E-05	7,532E+02	5,565E+01	7,835E-06	1,885E+01	1,139E+01	5,411E+04	7,653E-02	1,446E-02	3,218E-01	5,806E-02
Bicicleta	4,107E-07	1,003E+00	8,304E-02	5,226E-09	1,446E-01	8,690E-02	5,798E+02	3,274E-04	3,544E-05	6,380E-04	1,329E-04
Bicicleta eléctrica	2,213E-07	8,316E-02	6,486E-03	6,197E-10	1,493E-02	9,759E-03	3,769E+01	3,634E-05	2,896E-06	5,862E-05	2,301E-05
Total	8,343E-03	1,108E+04	7,565E+02	1,172E-04	6,438E+02	3,942E+02	5,896E+05	1,170E+00	2,770E-01	2,859E+00	7,213E-01

Tabla 31. Resultados del ACV del escenario actual 2017

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

El análisis desde una perspectiva global, teniendo en cuenta los grupos establecidos por el reparto modal, indica que el vehículo privado es el que presenta mayor contribución en todas las categorías de impacto. Este grupo presenta una diferencia considerable con respecto al transporte público y las bicicletas cuentan con una representación poco significativa, no superior en ningún caso al 0,02% del impacto total. Se observa en la siguiente imagen (figura 19), donde se representa de forma proporcional el impacto de cada grupo.

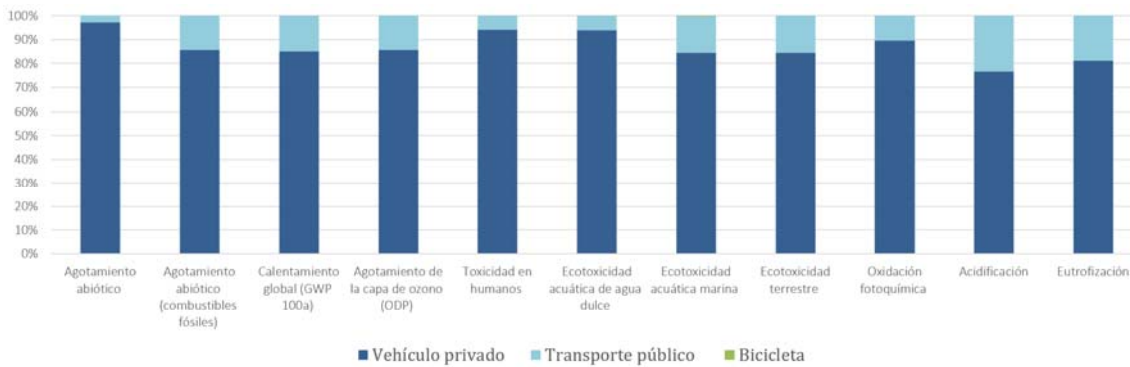


Figura 19. Impactos globales del escenario 2017

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados expuestos en la tabla 31

A su vez se analizan los datos que hacen referencia a la utilización de los medios de transporte (figura 10). Se observa que el vehículo privado con una cuota del 61% de los desplazamientos anuales, presenta un impacto comprendido entre el 76% y el 98% en las diferentes categorías. En el caso del transporte público, con un 38% de los desplazamiento anuales, contribuye con un porcentaje entre el 2% y el 24% del total de los impactos.

En la siguiente imagen (figura 20) se detallan un poco más los resultados de la figura 19, indicando cuales son los medios de transporte que más contribuyen con los impactos de 2017 y en qué cantidad lo hacen.

Además, si se tienen en cuenta la movilidad en millones de pkm (tabla 25), el vehículo privado presenta un valor casi dos veces mayor que el transporte público, sin embargo su impacto de media es aproximadamente 6,5 veces mayor al del conjunto de transportes públicos. Esto es debido a la ocupación y la tecnología empleada por estos últimos, siendo fundamental el fomento de su uso para reducir las emisiones.

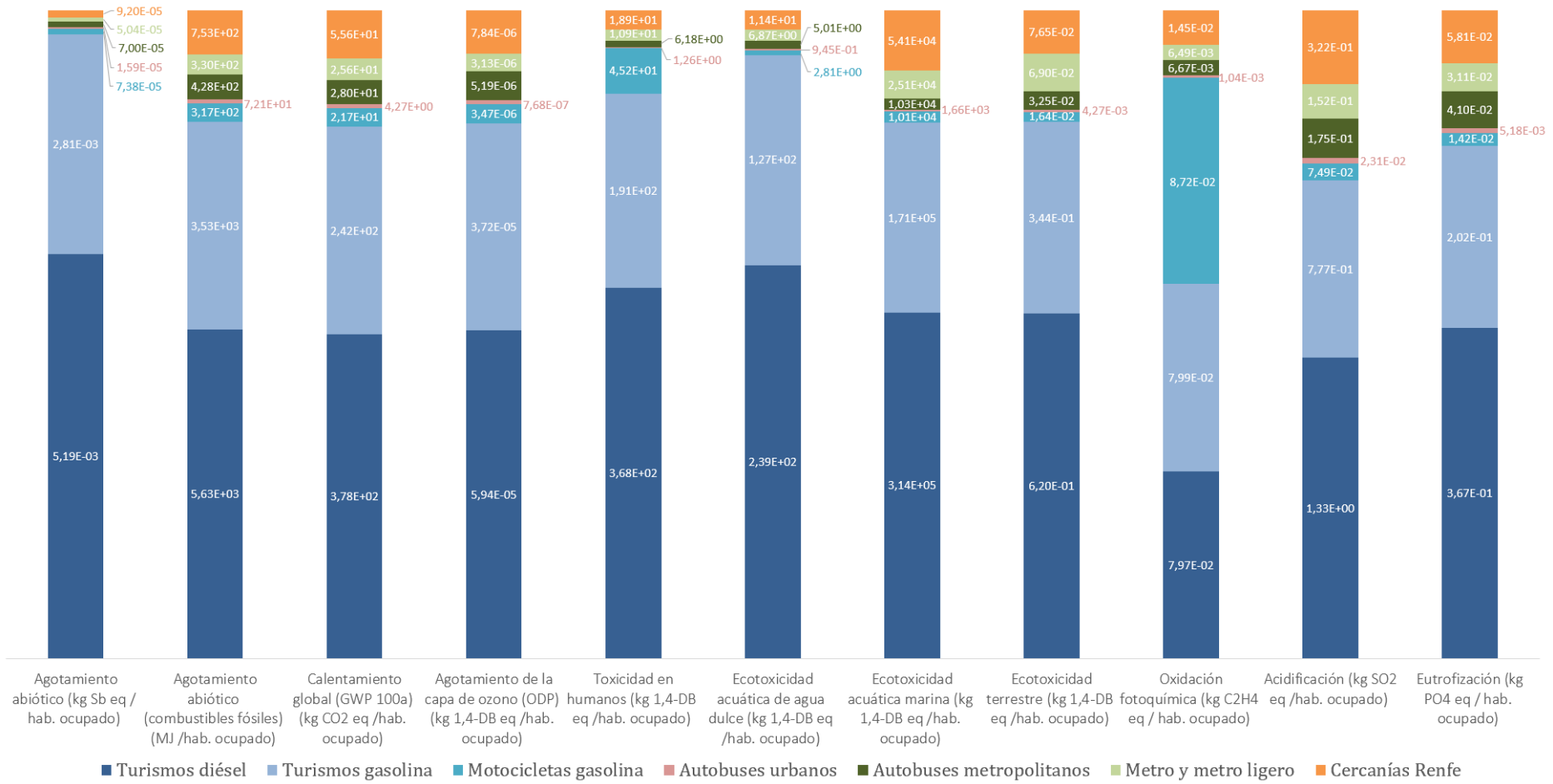


Figura 20. Resultados de los transportes que más impacto generan, 2017

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la tabla 31

3.4.1.1 Vehículo privado

Como se indica anteriormente (figura 20), los turismos diésel son los que presentan mayores valores de impacto en todas las categorías excepto en la oxidación fotoquímica, cuya cifra más alta corresponde a las motocicletas de gasolina. También hay que tener en cuenta que los turismos de diésel tienen valores más altos de uso.

Al asignar los desplazamientos correspondientes a cada tecnología según el parque de vehículos cabe esperar que aquellos con mayor volumen también tengan también mayor impacto.

En la tabla 31, se observa como los resultados de los turismos eléctricos y de gas natural son muy pequeños comparado con el resto de los turismos. Por ello, en la figura 21 se muestra una comparativa de los resultados de los turismos con mayor impacto, turismos diésel y gasolina, atendiendo a su clasificación más específica considerada.

En el caso de los turismos diésel, los grupos EURO 1 y 2 son los que tiene menor impacto. Por el contrario los EURO 3 y 4 son los que tienen mayor presencia en todas las categorías, concretamente los EURO 4. Esto coincide con lo comentado anteriormente debido al reparto de movilidad según el parque móvil. Ocurre lo mismo para los turismos de gasolina ya que los grupos EURO 3 y 4 son los que presentan mayor impacto.

Acerca de las motocicletas, en el análisis de inventario se indica, que en el año 2017, la utilización de las motocicletas de gasolina es mucho mayor que el uso de las eléctricas. Entonces cabría esperar que el impacto causado por estas últimas fuese menor.

Los resultados coinciden con lo expuesto (tabla 31), y si se consideran el conjunto de ambas motocicletas como el 100%, el impacto de las eléctricas aparece en las categorías relacionadas con la toxicidad del agua y del terreno así como en el agotamiento abiótico. Esto muestra coherencia con lo estudiado en el caso de los transportes eléctricos, ya que dichos impactos aumentan debido a los materiales y tecnologías utilizados.

También, cabe destacar que las motocicletas de gasolina forman parte del grupo de medios de transporte que mayor impacto generan (figura 20). Si bien el grupo de vehículo privado está dominado por los turismos, las motocicletas cobran importancia, como se indica anteriormente, en la categoría de oxidación fotoquímica suponiendo el 31% del total del impacto.

Además, cabe destacar que la categoría de impacto, ecotoxicidad acuática marina, presenta valores muy superiores a los de las demás.

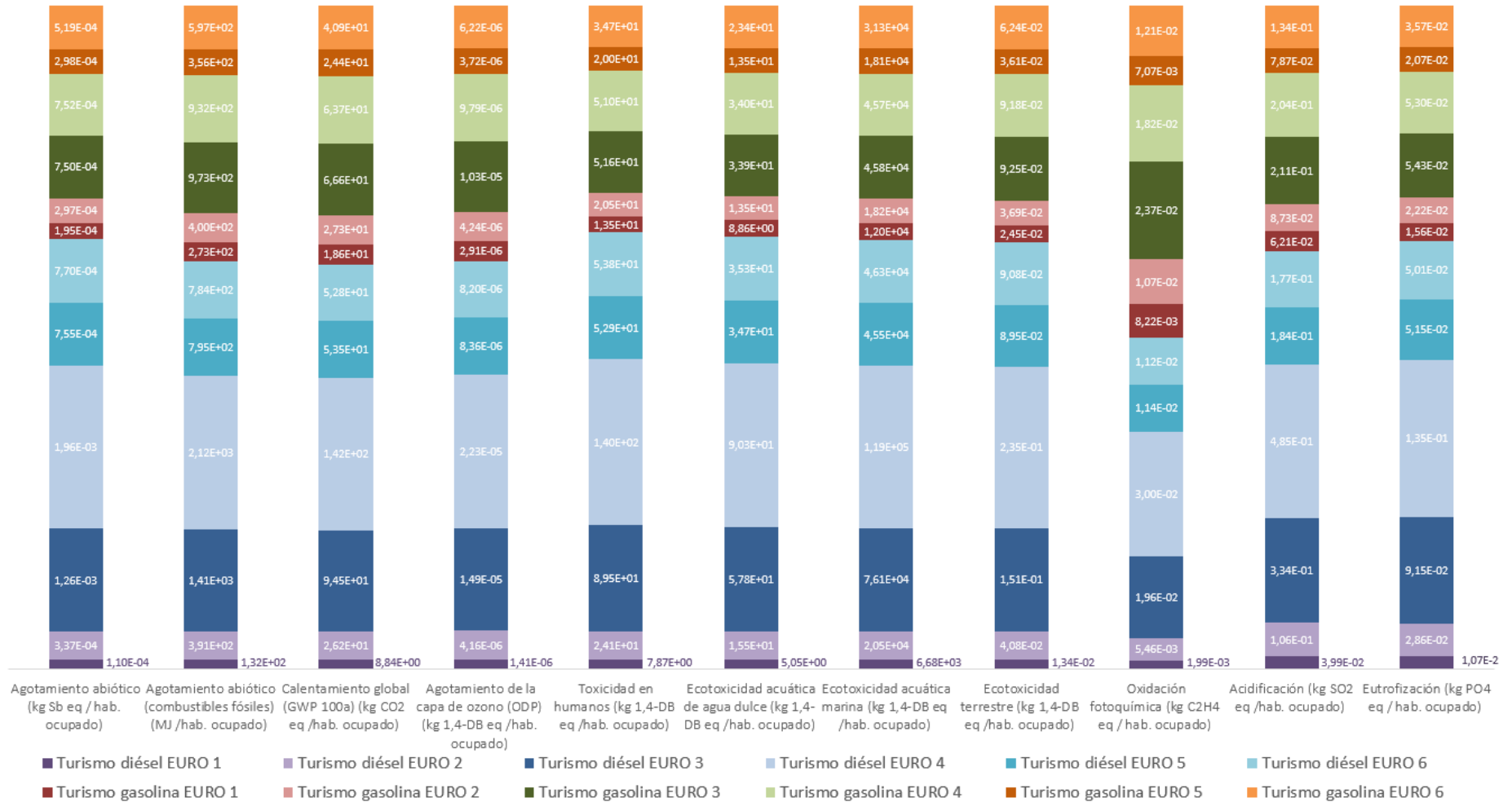


Figura 21. Resultados de los turismos con mayor impacto, 2017

Fuente: elaboración a partir de los resultados expuestos en la tabla 31

3.4.1.2 Transporte público y bicicletas

En este escenario, algunos medios de transporte público presentan valores en los impactos muy pequeños comparados con los demás. Es el caso de los autobuses urbanos híbrido y urbanos eléctricos, debido principalmente a su bajo uso con respecto al resto (tabla 25), ya que el reparto de la movilidad de los autobuses se ha realizado según el parque móvil de los mismos.

En la figura 22, se muestran los impactos de los medios de transporte público con mayor cuota. Aquellos que presentan mayor participación en las diferentes categorías son el autobús metropolitano diésel, el metro y cercanías Renfe.

Los medios de transportes públicos eléctricos suponen un 74% de los millones de pkm correspondientes al transporte público. Esto se ve reflejado en la figura 22, donde en cada categoría de impacto, dichos medios suponen un porcentaje entre el 63% y el 80%.

Si se compara el transporte público con los turismos, se advierte una disminución de la dependencia de los combustibles fósiles, favoreciendo la reducción de las emisiones.

En cuanto a las bicicletas, como se indica anteriormente, su participación en los impactos de este escenario no es significativa debido a que su utilización es baja. Además, si se tiene en cuenta que el 96% de los viajes realizados en bicicleta se realizan mediante bicicleta convencional, cabe esperar que en el conjunto de las bicicletas, las convencionales tengan una participación dominante.

Los resultados indican lo esperado, si se consideran las bicicletas como el 100%, las convencionales tienen una participación cercana al 90% en todas las categorías. La excepción tiene lugar en la categoría de agotamiento abiótico, donde la cuota de las bicicletas eléctricas es próxima al 35%. Se entiende que esto sucede como consecuencia de los materiales utilizados en la fabricación de las mismas, específicamente debido a las baterías.

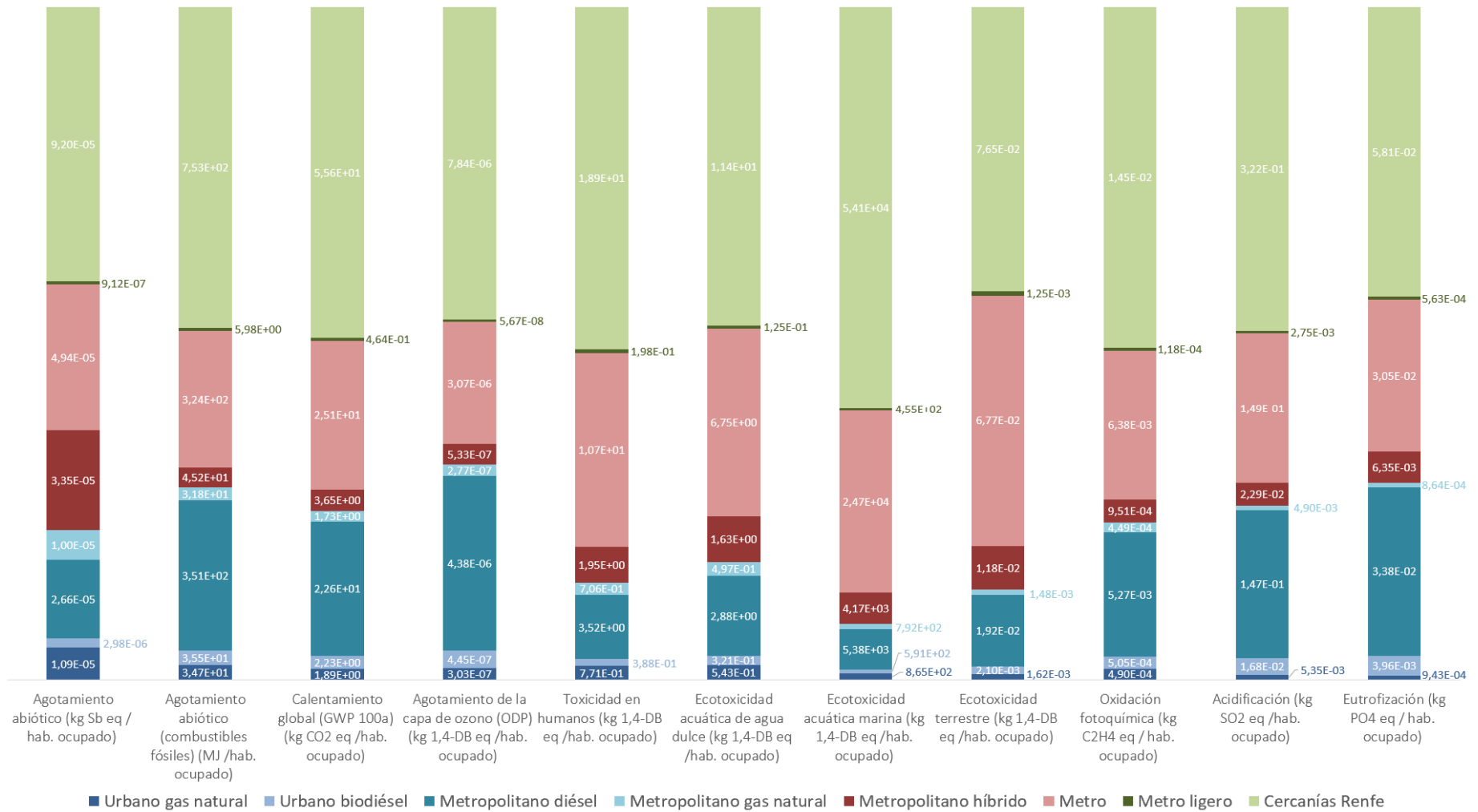


Figura 22. Resultados del transporte público con mayor impacto, 2017

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro (tabla 31)

3.4.2 Evaluación de impacto del escenario futuro

En la tabla 32 se muestran los resultados del Análisis de Ciclo de Vida del escenario futuro, correspondiente con el año 2030. Los resultados están expresados en kg/habitante ocupado y MJ/habitante ocupado.

En primer lugar, se analizan los resultados obtenidos de forma global y para ello se añade la figura 23, donde se representan de forma proporcional los impactos asociados a cada grupo (vehículo privado, transporte público y bicicletas).

Se aprecia como el vehículo privado es el que genera mayor impacto, entre un 64% y un 93% según la categoría. En segunda posición, el transporte público con una cuota situada entre el 7% y el 36%, mientras que las bicicletas generan un impacto poco significativo.

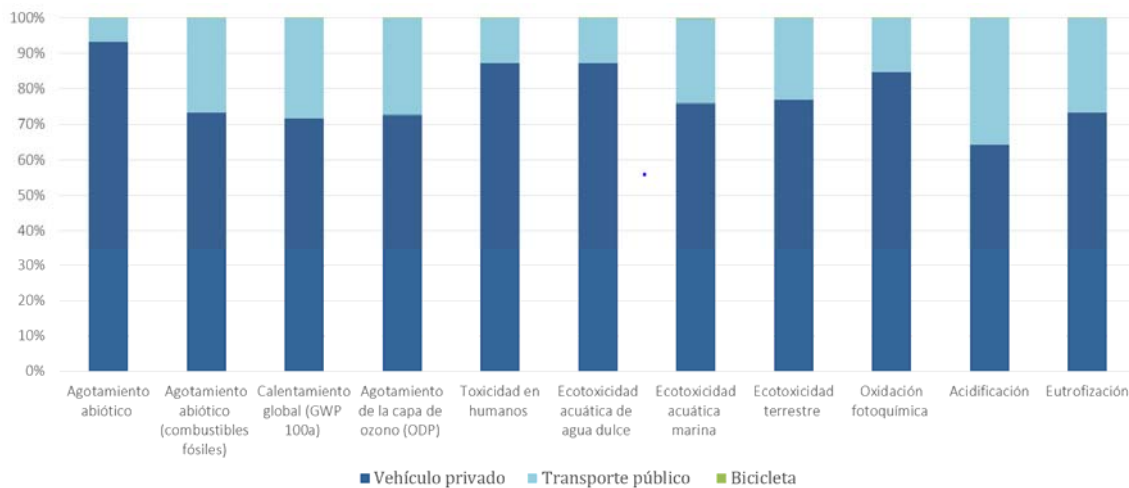


Figura 23. Impactos globales del escenario 2030

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados expuestos en la tabla 32

Si se comparan estas observaciones con los datos de movilidad asociada a cada grupo cabe destacar que, los desplazamientos al trabajo en 2030 se reparte casi de forma equitativa entre ambos grupos, el 50% corresponde con el vehículo privado y el 49% con el transporte público. Ante estos datos cabría esperar que los impactos de ambos grupos fueran similares, sin embargo esto no es así debido a la ocupación mayor del transporte público y a las tecnologías empleadas.

	Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades	kg Sb eq/hab. ocupado	MJ/hab. ocupado	kg CO2 eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg C2H4 eq/hab. ocupado	kg SO2 eq/hab. ocupado	kg PO4 eq/hab. ocupado
Turismo diésel EURO 4	6,779E-04	7,378E+02	4,957E+01	7,791E-06	4,830E+01	3,118E+01	4,100E+04	8,131E-02	1,041E-02	1,682E-01	4,662E-02
Turismo diésel EURO 5	2,604E-04	2,771E+02	1,863E+01	2,917E-06	1,827E+01	1,197E+01	1,572E+04	3,100E-02	3,939E-03	6,397E-02	1,783E-02
Turismo diésel EURO 6	5,146E-04	5,290E+02	3,561E+01	5,540E-06	3,601E+01	2,362E+01	3,097E+04	6,082E-02	7,530E-03	1,191E-01	3,358E-02
Turismo gasolina EURO 4	2,595E-04	3,245E+02	2,219E+01	3,414E-06	1,762E+01	1,174E+01	1,580E+04	3,179E-02	6,289E-03	7,066E-02	1,836E-02
Turismo gasolina EURO 5	1,030E-04	1,240E+02	8,479E+00	1,298E-06	6,917E+00	4,652E+00	6,243E+03	1,251E-02	2,450E-03	2,731E-02	7,180E-03
Turismo gasolina EURO 6	3,397E-04	3,945E+02	2,701E+01	4,112E-06	2,276E+01	1,532E+01	2,051E+04	4,091E-02	7,966E-03	8,825E-02	2,346E-02
Turismo gas natural	3,026E-04	3,805E+02	2,176E+01	3,206E-06	1,855E+01	1,393E+01	1,928E+04	3,628E-02	6,424E-03	7,891E-02	1,979E-02
Turismo eléctrico	1,310E-03	5,305E+02	3,849E+01	4,608E-06	5,499E+01	4,217E+01	1,038E+05	2,386E-01	6,846E-02	2,781E-01	1,078E-01
Motocicleta gasolina	1,855E-05	7,976E+01	5,465E+00	8,729E-07	1,136E+01	7,074E-01	2,547E+03	4,121E-03	2,191E-02	1,882E-02	3,561E-03
Motocicleta eléctrica	1,179E-04	4,251E+01	3,103E+00	3,278E-07	5,494E+00	3,955E+00	1,196E+04	1,575E-02	1,415E-03	2,512E-02	1,040E-02
Urbano gas natural	9,174E-06	2,912E+01	1,587E+00	2,541E-07	6,468E-01	4,553E-01	7,252E+02	1,359E-03	4,112E-04	4,490E-03	7,911E-04
Urbano biodiésel	6,859E-07	8,166E+00	5,125E-01	1,022E-07	8,927E-02	7,379E-02	1,359E+02	4,832E-04	1,160E-04	3,869E-03	9,099E-04
Urbano híbrido	9,848E-07	1,332E+00	1,075E-01	1,568E-08	5,754E-02	4,812E-02	1,226E+02	3,483E-04	2,799E-05	6,737E-04	1,870E-04
Urbano eléctrico	2,128E-05	8,279E+00	6,222E-01	7,203E-08	8,817E-01	6,847E-01	1,646E+03	3,998E-03	4,706E-04	4,406E-03	1,688E-03
Metropolitano diésel	8,157E-06	1,079E+02	6,937E+00	1,345E-06	1,081E+00	8,830E-01	1,651E+03	5,898E-03	1,618E-03	4,508E-02	1,038E-02
Metropolitano gas natural	2,517E-05	7,991E+01	4,354E+00	6,971E-07	1,775E+00	1,249E+00	1,990E+03	3,729E-03	1,128E-03	1,232E-02	2,171E-03
Metropolitano híbrido	2,945E-05	3,983E+01	3,214E+00	4,688E-07	1,720E+00	1,439E+00	3,667E+03	1,042E-02	8,371E-04	2,014E-02	5,592E-03
Metropolitano eléctrico	6,012E-05	2,339E+01	1,758E+00	2,035E-07	2,491E+00	1,935E+00	4,649E+03	1,130E-02	1,329E-03	1,245E-02	4,770E-03
Metro	4,354E-05	2,853E+02	2,212E+01	2,705E-06	9,453E+00	5,941E+00	2,173E+04	5,965E-02	5,615E-03	1,312E-01	2,687E-02
Metro ligero	8,035E-07	5,266E+00	4,082E-01	4,991E-08	1,745E-01	1,096E-01	4,011E+02	1,101E-03	1,036E-04	2,422E-03	4,958E-04
Cercanías Renfe	8,105E-05	6,633E+02	4,901E+01	6,900E-06	1,660E+01	1,003E+01	4,765E+04	6,740E-02	1,273E-02	2,834E-01	5,113E-02
Bicicleta	1,618E-07	3,951E-01	3,272E-02	2,059E-09	5,699E-02	3,425E-02	2,285E+02	1,290E-04	1,397E-05	2,514E-04	5,239E-05
Bicicleta eléctrica	2,557E-06	9,610E-01	7,495E-02	7,161E-09	1,726E-01	1,128E-01	4,355E+02	4,199E-04	3,346E-05	6,773E-04	2,659E-04
Total	4,187E-03	4,673E+03	3,210E+02	4,691E-05	2,755E+02	1,822E+02	3,529E+05	7,193E-01	1,612E-01	1,460E+00	3,938E-01

Tabla 32. Resultados del ACV del escenario futuro, 2030

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

Al profundizar en los resultados de la tabla 32, es posible determinar qué medios de transporte contribuyen en mayor medida con las emisiones y en qué cantidad los hacen (figura 24).

Se aprecia como los impactos causados por el grupo de vehículo privado están dominados por los turismos, principalmente por los diésel y los eléctricos. En el caso del transporte público, de los representados en la figura 24, los autobuses urbanos presentan un impacto menor que los demás.

El escenario del año 2030 es resultado de la aplicación de diferentes medidas que apuestan por la movilidad sostenible. Por ello, se considera interesante que el análisis detallado de dicho escenario se realice a través de la comparación con el año 2017.

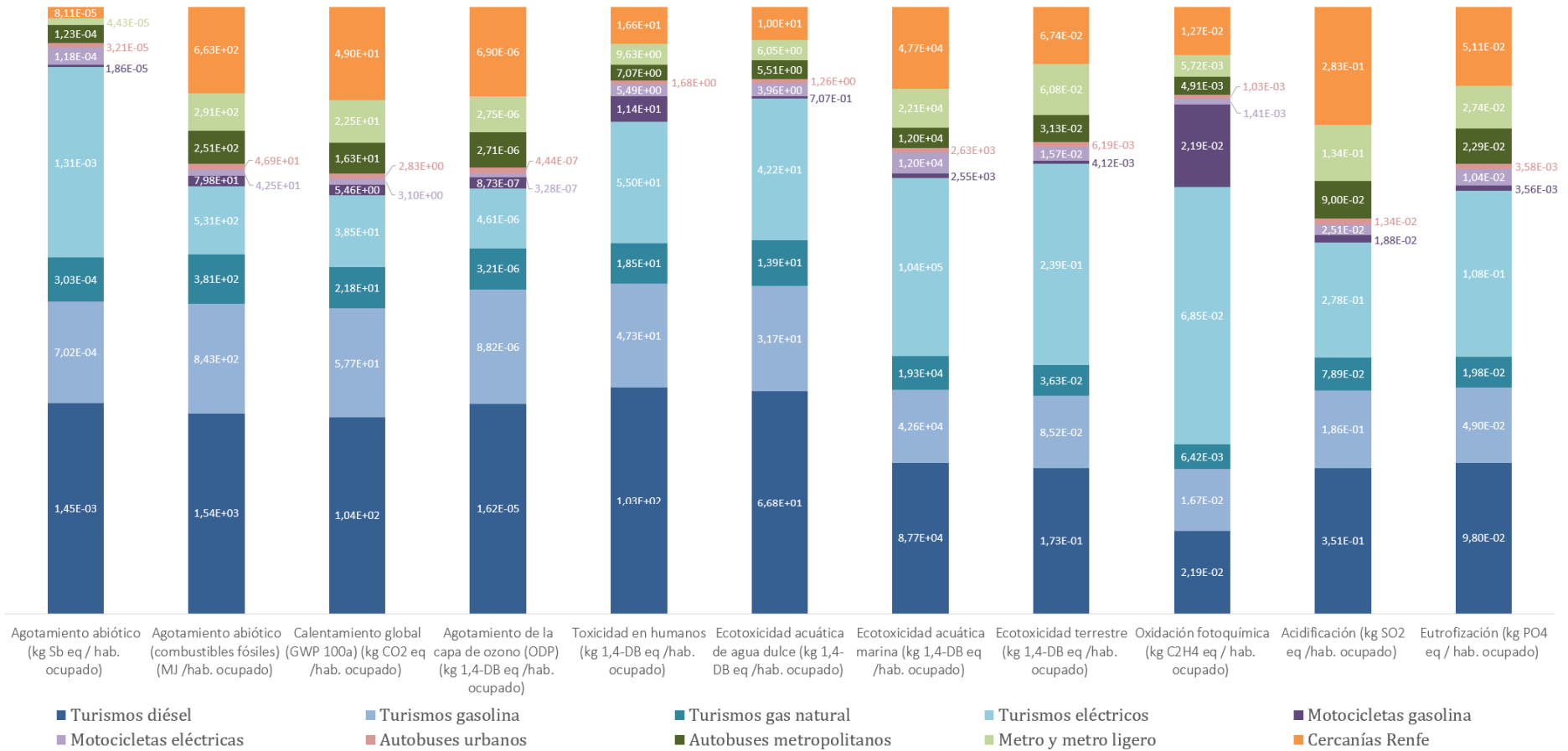


Figura 24. Resultados de los transportes que mayor impacto generan, 2030

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados expuestos en la tabla 32

3.4.3 Comparativa de ambos escenarios

3.4.3.1 Valores globales

A partir del análisis de inventario se sabe que los desplazamientos al trabajo disminuyen entre 2017 y 2030, como consecuencia directa del aumento del teletrabajo. Sin embargo, la diferencia observada en los impactos no es debido únicamente a dicha medida, también es el resultado de: el fomento del uso del transporte público; la renovación del parque de vehículos de los diferentes medios de transporte; el impulso de los transporte eléctricos y de gas natural; y el aumento de la ocupación en los turismos y en los transportes públicos.

Resulta interesante conocer la variación de las diferentes categorías de impacto de forma global entre ambos escenarios. En la tabla 33, se muestran los resultados totales de cada categoría expresados en kg/habitante ocupado y MJ/habitante ocupado.

Estos datos tienen en cuenta todas las medidas indicadas anteriormente y gracias a ellas se observan reducciones superiores al 50%. Es el caso de las siguientes categorías: agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global (GWP 100a), agotamiento de la capa de ozono (ODP), toxicidad en humanos y ecotoxicidad acuática de agua dulce. Esto se debe, entre otros, gracias a una merma de la dependencia de los combustibles fósiles. Otros impactos como la ecotoxicidad acuática marina, la ecotoxicidad terrestre y la oxidación fotoquímica no presentan una reducción tan próxima al 50%, posiblemente debido al aumento de vehículos eléctricos entre los turismos y autobuses.

A continuación, se han tenido en cuenta los resultados considerando únicamente la población ocupada que no teletrabaja, denominada población ocupada en movimiento. Para ello se han multiplicado los resultados de la tabla 33 por las poblaciones ocupadas estimadas en 2017 y 2030. Posteriormente se han dividido por la población que se desplaza para ir al trabajo teniendo en cuenta los valores de teletrabajo estimados en cada año.

De esta forma, la variación percibida entre 2017 y 2030 es debida a todas las medidas indicadas excepto al teletrabajo. En este caso, la disminución más acusada

corresponde con un valor del 43,4% asociada al agotamiento de la capa de ozono (ODP). En el lado contrario está la ecotoxicidad terrestre que disminuye un 13,07%.

Además, se expone la variación en % de los valores totales de cada categoría de impacto (tabla 35). Los resultados indican una disminución generalizada, sin embargo es inferior a la reducción que experimentan los impactos por habitante ocupado. Esto es debido al aumento de población ocupada entre 2017 y 2030.

También es importante indicar que los resultados obtenidos para el agotamiento de la capa de ozono (ODP) en ambos escenarios, son pequeños con respecto a las demás categorías de impacto consideradas.

Al comparar las gráficas de los impactos globales (figura 19 y figura 23), se aprecia como el transporte público gana terreno al vehículo privado en 2030, debido al fomento de su uso.

Del mismo modo, si se analizan de forma conjunta las gráficas de los transportes que mayor impacto generan (figura 20 y figura 24), se observa como el turismo eléctrico pasa a formar parte clave del grupo vehículo privado, consecuencia directa de aquellas políticas que impulsan su explotación.

También se aprecia una reducción de los impactos debidos a los turismos diésel y gasolina. Esto se debe a la renovación del parque de vehículos que permiten el aumento de los turismos eléctricos, de gas natural y de aquellos que pertenecen a los grupos EURO 6 (diésel y gasolina).

	Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades	kg Sb eq/hab. ocupado	MJ/hab. ocupado	kg CO2 eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado	kg C2H4 eq/hab. ocupado	kg SO2 eq/hab. ocupado	kg PO4 eq/hab. ocupado
2017	8,343E-03	1,108E+04	7,565E+02	1,172E-04	6,438E+02	3,942E+02	5,896E+05	1,170E+00	2,770E-01	2,859E+00	7,213E-01
2030	4,187E-03	4,673E+03	3,210E+02	4,691E-05	2,755E+02	1,822E+02	3,529E+05	7,193E-01	1,612E-01	1,460E+00	3,938E-01
Variación en % entre 2017 y 2030	-49,81%	-57,83%	-57,56%	-59,96%	-57,21%	-53,78%	-40,15%	-38,51%	-41,79%	-48,93%	-45,40%

Tabla 33. Variación entre 2017 y 2030 considerando la población ocupada

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

	Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades	kg Sb eq/hab. ocupado mov.	MJ/hab. ocupado mov.	kg CO2 eq/hab. ocupado mov.	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado mov.	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado mov.	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado mov.	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado mov.	kg 1,4-DB eq/hab. ocupado mov.	kg C2H4 eq/hab. ocupado mov.	kg SO2 eq/hab. ocupado mov.	kg PO4 eq/hab. ocupado mov.
2017	8,942E-03	1,188E+04	8,108E+02	1,256E-04	6,900E+02	4,226E+02	6,319E+05	1,254E+00	2,968E-01	3,064E+00	7,731E-01
2030	6,345E-03	7,081E+03	4,864E+02	7,107E-05	4,174E+02	2,761E+02	5,346E+05	1,090E+00	2,443E-01	2,212E+00	5,967E-01
Variación en % entre 2017 y 2030	-29,05%	-40,39%	-40,01%	-43,40%	-39,51%	-34,66%	-15,39%	-13,07%	-17,71%	-27,81%	-22,81%

Tabla 34. Variación entre 2017 y 2030 considerando la población ocupada que no teletrabaja

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en SimaPro y las estimaciones sobre teletrabajo correspondientes a cada escenario

	Agotamiento abiótico	Agotamiento abiótico (combustibles fósiles)	Calentamiento global (GWP 100a)	Agotamiento de la capa de ozono (ODP)	Toxicidad en humanos	Ecotoxicidad acuática de agua dulce	Ecotoxicidad acuática marina	Ecotoxicidad terrestre	Oxidación fotoquímica	Acidificación	Eutrofización
Unidades	kg Sb eq	MJ	kg co2 eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg 1,4-DB eq	kg C2H4 eq	kg SO2 eq	kg PO4 eq
2017	2,442E+04	3,244E+10	2,214E+09	3,429E+02	1,884E+09	1,154E+09	1,726E+12	3,424E+06	8,107E+05	8,367E+06	2,111E+06
2030	1,472E+04	1,643E+10	1,129E+09	1,649E+02	9,686E+08	6,407E+08	1,241E+12	2,529E+06	5,669E+05	5,133E+06	1,385E+06
Variación en % entre 2017 y 2030	-39,71%	-49,35%	-49,02%	-51,90%	-48,60%	-44,47%	-28,10%	-26,13%	-30,07%	-38,65%	-34,41%

Tabla 35. Variación de los valores totales de impacto entre 2017 y 2030

Fuente: elaboración propia a partir de los datos recogidos en la tabla 31 y la tabla 32

3.4.3.2 Vehículo privado

En el caso de los turismos, se reducen todos los impactos en 2030 entre un 30% y un 66%. Se consigue gracias a:

- La reducción de su uso debido a medidas como el teletrabajo, así como promover la utilización del transporte público o la movilidad compartida. Observando los datos del análisis de inventario se advierte una merma del 32% en los desplazamientos realizados en turismo.
- El incremento del uso de vehículos eléctricos y de gas natural, consecuencia del crecimiento del parque móvil de los mismos.
- El aumento de la ocupación de los turismos, específicamente un 35%.

En la figura 25 se representan de forma proporcional los impactos asociados a cada tipo de turismo. Se aprecia cómo aumentan los impactos asociados a los turismos eléctricos y de gas natural. En especial, los turismos eléctricos cobran importancia en categorías relacionadas con la toxicidad del agua y del terreno, la oxidación fotoquímica y el agotamiento abiótico.

A continuación, se realiza un análisis de la variación de los impactos generados por las motocicletas. En la figura 26, se exponen diferentes gráficos donde aparece la variación entre 2017 y 2030 de todas las categorías consideradas teniendo en cuenta las motocicletas eléctricas y de gasolina.

Aunque para el conjunto de las motocicletas el número de desplazamientos realizados disminuye, los resultados que se pueden apreciar son producto del aumento del parque de motocicletas eléctricas y el consiguiente crecimiento de su uso.

Si bien el calentamiento global se reduce en un 61%, otros impactos relacionados con la fabricación y uso de las baterías aumentan, como el agotamiento abiótico y la ecotoxicidad acuática de agua dulce que crecen un 81% y 63% respectivamente.

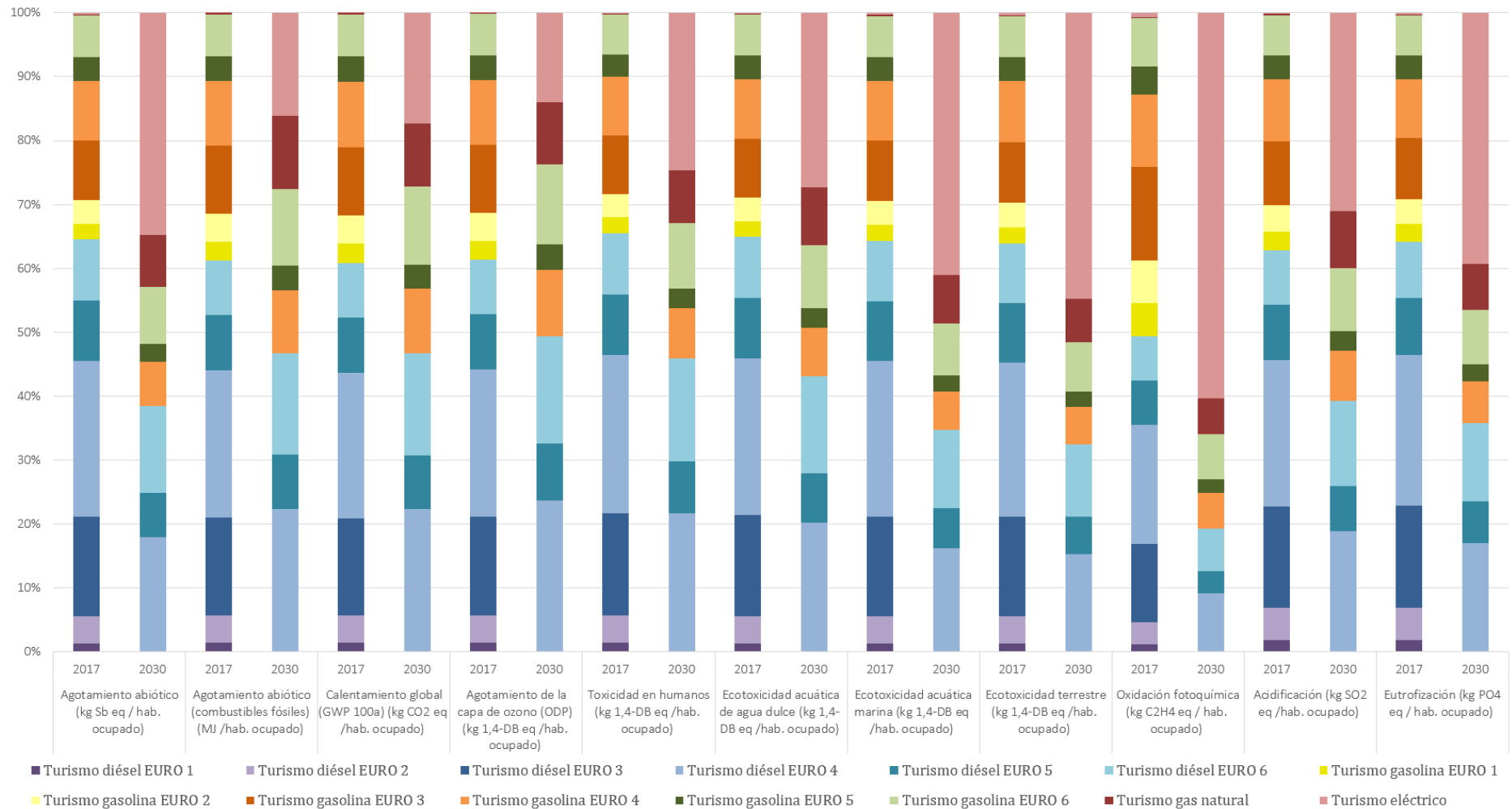


Figura 25. Comparativa de los impactos de los turismos

Fuente: elaboración propia a partir de los datos recogidos en la tabla 31 y la tabla 32

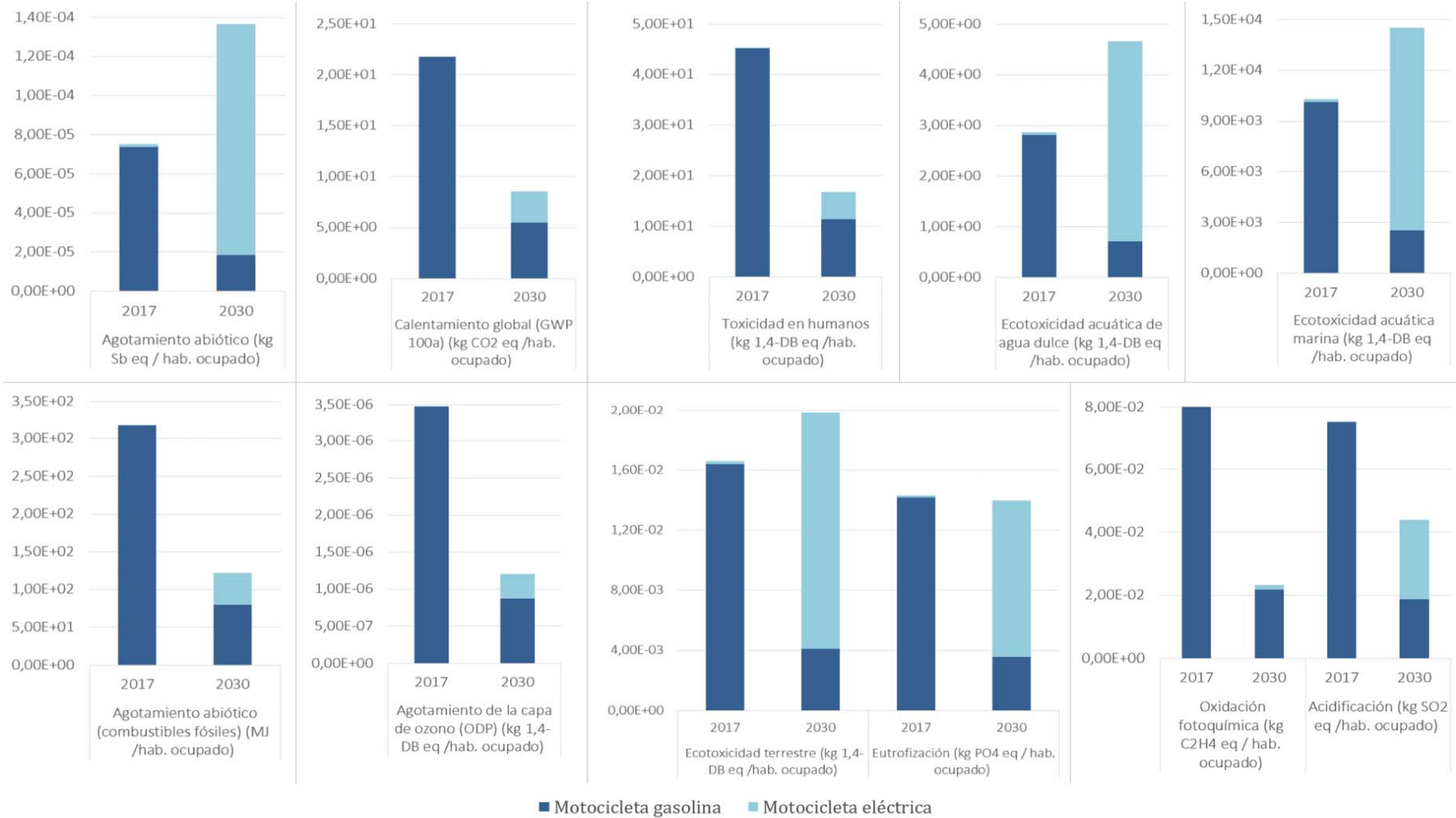


Figura 26. Comparativa de los impactos de las motocicletas

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la tabla 31 y la tabla 32

3.4.3.3 Transporte público y bicicletas

En la figura 27, se muestran diferentes gráficas con la evolución de los impactos de transporte público entre 2017 y 2030. Los autobuses urbanos y metropolitanos se han reagrupado de forma conjunta para facilitar el análisis según la tecnología empleada por cada medio de transporte.

Cabe destacar que en 2030, todos los medios de transporte público incrementan el número de desplazamientos realizados, sin embargo la tendencia general muestra una reducción de las emisiones exceptuando el agotamiento abiótico que crece un 22,8%. Este aumento se asocia con el incremento de vehículos eléctricos, específicamente de autobuses.

Se observa como disminuyen el agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y el calentamiento global (GWP 100a), aproximadamente un 21% y un 20% respectivamente. Ocurre debido al aumento del parque de vehículos que favorecen la no dependencia de los combustibles fósiles. Esta medida también se aprecia en todas las categorías, ya que los autobuses eléctricos y de gas natural aumentan sus impactos en 2030.

En cuanto a los autobuses que emplean diésel y biodiésel, se aprecia una reducción de todos los impactos ya que disminuye su uso. En el caso del metro y metro ligero, y cercanías Renfe, se reducen los impactos a pesar del aumento de su uso gracias al incremento de la ocupación en los mismos.

Acerca de las bicicletas, cabe destacar que los desplazamientos realizados crecen de forma leve en 2030, pero su reparto cambia de tal forma que las eléctrica realizan más viajes que las convencionales.

Esto conlleva un aumento generalizado de todas las categorías pero especialmente del agotamiento abiótico y la eutrofización. Si bien su impacto es muy pequeño comparado con el resto de los medios de transporte, el fomento de la bicicleta eléctrica debe estar enfocado como sustitutivo del vehículo privado y no de la bicicleta convencional. Esta deducción también se apoya en la información obtenida del análisis previo al estudio de los escenarios (figura 15).

Movilidad al trabajo desde una perspectiva de Análisis de Ciclo de Vida

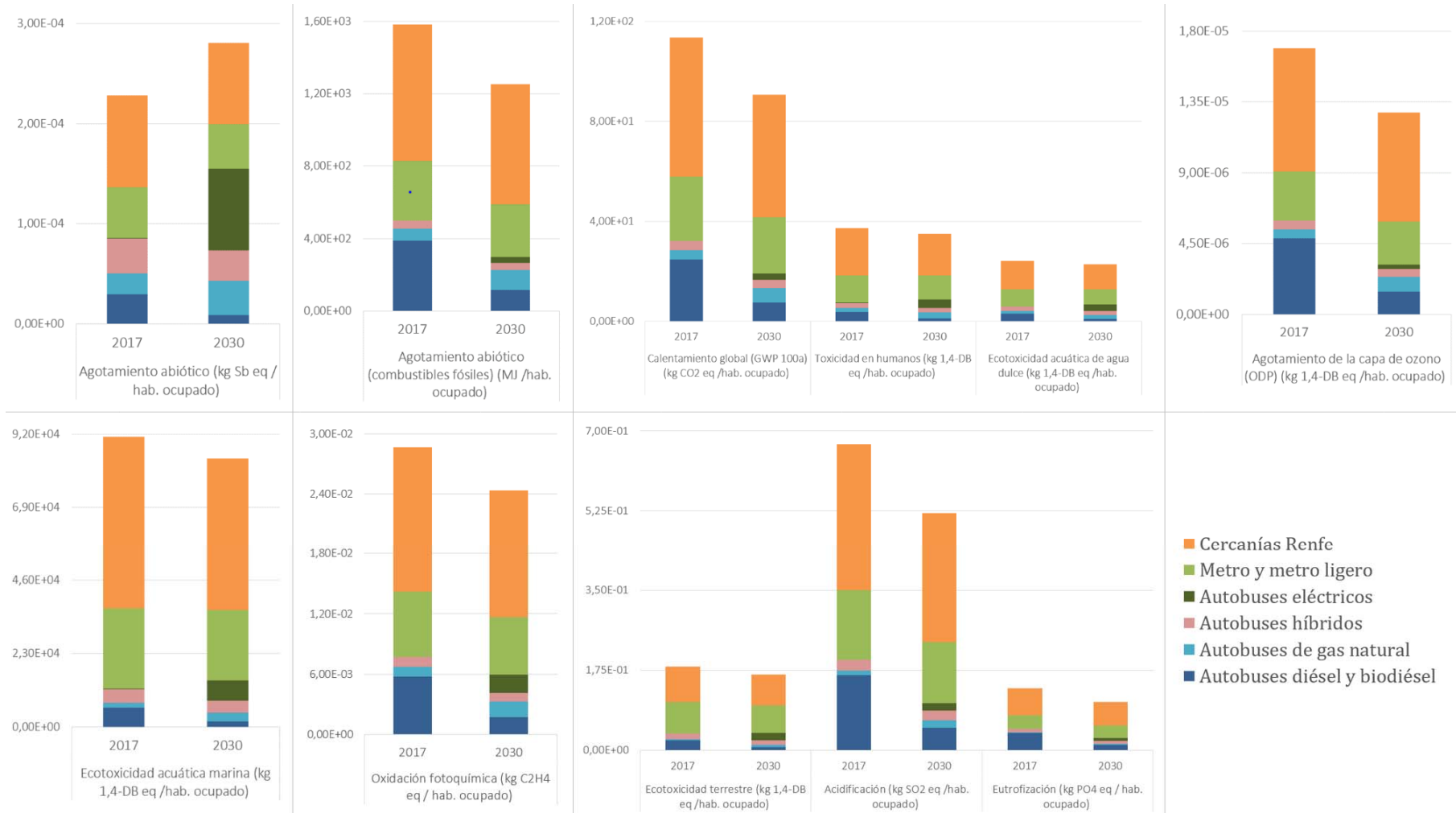


Figura 27. Comparativa de los impactos del transporte público

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados expuestos en la tabla 31 y la tabla 32

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

Primero es importante comentar que los resultados obtenidos se enmarcan en un contexto determinado y con las características propias del mismo. Además, tanto los procesos que modelan los medios de transporte como los datos de entrada contienen suposiciones que acercan los escenarios a las circunstancias reales pero no de forma exacta. Esto cobra especial relevancia en el escenario futuro, pues se construye en base a tendencias y estimaciones, y en un margen de 13 años pueden ocurrir numerosos avances tecnológicos o algún acontecimiento significativo.

La movilidad al trabajo en la Comunidad Autónoma de Madrid (2017) está dominada por los turismos, transportando a más de la mitad de las personas que se desplazan (56%). Además, la baja ocupación de los mismos (1,2 personas) junto a los principales sistemas de propulsión empleados (diésel y gasolina), convierten a los automóviles en el medio de transporte que genera mayor impacto, con una media del 82% del valor total de cada categoría de impacto.

En cambio, el transporte público, prestando servicio al 38% de las personas que se desplazan al trabajo, provoca un impacto que representa una media del 13% en las diferentes categorías.

Al comparar, se establece que, en proporción, los transportes públicos producen un impacto menor que los turismos. Es el resultado de una mayor presencia de transportes eléctricos en los transportes públicos, así como una mayor ocupación en los mismos.

Resulta interesante conocer la repercusión de la movilidad al trabajo en la CCAA de Madrid en el sector del transporte. En España (2017) se emitieron 340.298 kt de CO₂ equivalente y el sector del transporte representa aproximadamente un 27% del total nacional (figura 5), por lo tanto el transporte generó unas emisiones de 91.880 kt de CO₂ equivalente. Conociendo el valor total de la categoría de calentamiento global (GWP 100a) (tabla 35), se concluye que la movilidad al trabajo en la Comunidad Autónoma de Madrid representa el 2,41% del total nacional generado por el sector del transporte.

Se considera que el reparto de las emisiones de CO₂ equivalente a nivel nacional puede aplicarse a la CCAA de Madrid (figura 5), y se sabe que las emisiones que producen el calentamiento global fueron de 21.477 kt de CO₂ equivalente en la Comunidad de Madrid. Entonces se puede determinar que la movilidad al trabajo en dicha autonomía representa el 38,19% del impacto generado por el sector del transporte y un 10,31% del calentamiento global total producido por todos los sectores en esta comunidad.

Ante esta situación se define el escenario 2030 teniendo en cuenta las tendencias y medidas que impulsan una movilidad sostenible. En la configuración de dicho escenario ha sido posible incorporar: la renovación del parque móvil fomentando los vehículos eléctricos y de gas natural; el aumento de ocupación de todos los medios de transporte excepto de motocicletas y bicicletas, en el caso de los turismos tanto a nivel privado como a través del fomento de la movilidad compartida; la promoción del uso del transporte público, permitiendo una disminución del uso del vehículo privado; y el fomento de los desplazamientos a pie, favoreciendo la reducción de los desplazamientos motorizados.

Todas estas medidas permiten una merma de las emisiones, concretamente los impactos por habitante ocupado que no teletrabaja disminuirían una media del 29%.

Además de las medidas mencionadas, se incorpora también el teletrabajo que permite una disminución del 27,3% de los desplazamientos al trabajo. Así el efecto combinado del conjunto total de medidas permite una reducción del impacto por habitante ocupado, con una media del 50%.

En el escenario 2030, se advierte un cambio en el reparto modal pues el transporte público se convierte en el medio más utilizado para ir al trabajo, transportando al 49% de las personas. Por otro lado el 45,7% de las personas se desplazan en turismos suponiendo una reducción del 10% de su uso con respecto a 2017.

Por ello, los impactos no solo se reducen sino que también se modifica la contribución de cada medio de transporte. En este caso, los turismos siguen dominando las categorías de impacto pero en menor medida, representan de media

el 74% del total de los diferentes impactos mientras que el transporte público supone de media un 22%.

También es importante tener en cuenta los resultados base obtenidos para cada medio de transporte, expuestos en la evaluación de impacto previa al análisis de los escenarios. Este análisis permite conocer que medios de transporte deben sustituir a otros para definir el camino hacia una movilidad que genere menor impacto.

Es imprescindible saber que el transporte no solo genera impactos sobre el calentamiento global, también contribuye con otras categorías que afectan de forma directa a la salud de las personas y del ecosistema.

Se puede concluir que el desarrollo de una movilidad al trabajo, que genere un menor impacto, debe estar basada en una estrategia integral que incluya medidas en los diferentes aspectos del transporte. Esto debe permitir un balance de las diferentes categorías de impacto, para que al reducir unas no se disparen los valores asociados a las demás.

Además, es importante una mejora de la tecnología empleada en los medios de transporte, una gestión adecuada de las infraestructuras existentes y una planificación coherente de las futuras, así como la aplicación de medidas relacionadas con la forma de trabajar.

Si al comienzo de las conclusiones se hace alusión a acontecimientos inesperados que pueden influir sobremanera, cabe destacar que la Covid-19 ha acelerado el aumento de los niveles de teletrabajo y posiblemente las empresas desarrollen las medidas necesarias para su implantación global antes de lo previsto. Su influencia en este proyecto reside en los niveles de teletrabajo estimados.

REFERENCIAS

- [1] “El descubrimiento de América el 12 de octubre de 1492.” [Online]. Available: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/descubrimiento-america-12-octubre-1492-primer-viaje-colon-a-indias_10778. [Accessed: 20-Feb-2020].
- [2] “1987: Brundtland Report.” [Online]. Available: https://www.are.admin.ch/are/en/home/sustainable-development/international-cooperation/2030agenda/un_-milestones-in-sustainable-development/1987--brundtland-report.html. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [3] “IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change.” [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [4] “El cambio climático, en datos y gráficos.” [Online]. Available: <https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447>. [Accessed: 01-Mar-2020].
- [5] “Qué es el cambio climático.” [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>. [Accessed: 29-Feb-2020].
- [6] “Objetivos de Desarrollo del Milenio | UNDP.” [Online]. Available: https://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/mdg_goals.html. [Accessed: 01-Mar-2020].
- [7] “Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible.” [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [8] “Cambio climático - Desarrollo Sostenible.” [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [9] “Cambio climático | Naciones Unidas.” [Online]. Available: <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>. [Accessed: 01-Mar-2020].
- [10] “Principales elementos del Acuerdo de París.” [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contr-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [11] L. Vullo, “Fossil CO 2 and GHG emissions of all world countries 2019 Report.”
- [12] “Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector (infografía) | Noticias | Parlamento Europeo.” [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20180301STO98928/emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-sector-infografia>. [Accessed: 21-Nov-2019].

- [13] “Las emisiones de CO2 disminuyen en España un 2,2% en 2018 con respecto al año anterior.” [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/las-emisiones-de-co2-disminuyen-en-espana-un-22-en-2018-con-respecto-al-año-anterior/tcm:30-497589>. [Accessed: 17-Mar-2020].
- [14] Secretaría de Estado de Medioambiente, “Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera - Emisiones de gases de efecto invernadero,” 2020.
- [15] “Transporte: Panorama general.” [Online]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/topic/transport/overview#1>. [Accessed: 08-Jun-2020].
- [16] “Base de Datos OTLE.” [Online]. Available: <https://apps.fomento.gob.es/BDOTLE/visorBDpop.aspx?i=547>. [Accessed: 08-Jun-2020].
- [17] A. García Álvarez, *Explotación comercial y operaciones de los servicios de transporte de viajeros por ferrocarril / 2. Magnitudes, unidades, indicadores y estadísticas del transporte de viajeros*. 2016.
- [18] Ministerio de Fomento, “Boletín estadístico online - Información estadística - Transporte por ferrocarril. Renfe operadora.” [Online]. Available: <https://www.fomento.es/BE/?nivel=2&orden=07000000>. [Accessed: 06-Jul-2020].
- [19] “Magnitudes relevantes - Aena.es.” [Online]. Available: <http://www.aena.es/es/corporativa/magnitudes-relevantes.html>. [Accessed: 06-Jul-2020].
- [20] “Transporte aéreo y turismo - Aena.es.” [Online]. Available: <http://www.aena.es/es/corporativa/transporte-aereo-y-turismo.html>. [Accessed: 06-Jul-2020].
- [21] Ministerio de Fomento, “Tráfico en los aeropuertos españoles,” pp. 1–15, 2019.
- [22] “Marítimo | Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.” [Online]. Available: <https://www.mitma.gob.es/maritimo>. [Accessed: 07-Jul-2020].
- [23] M. Ferri and A. París, “LA MOVILIDAD AL TRABAJO : UN RETO PENDIENTE,” 2019.
- [24] IDAE, “Planes de Transporte al Trabajo - Muévete con un Plan,” 2019.
- [25] “Society of Environmental Toxicology and Chemistry.” [Online]. Available: <https://www.setac.org/>. [Accessed: 21-Nov-2019].
- [26] J. R. Chacón Vargas, “Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV),” *Rev. la Esc. Colomb. Ing.*, no. 72, pp. 37–70, 2008.
- [27] N. Rieznik and A. Hernández, “Análisis del ciclo de vida,” *Capítulo 3. Metodol. Del Análisis Del Ciclo Vida*, pp. 1–14, 2005.
- [28] UNE-EN ISO, “UNE-EN ISO 14040,” 2006.
- [29] B. Henrikke and T. Anne-Marie, *The Hitch Hiker’s Guide to LCA*. 2004.

- [30] K. Saur, J. Gediga, J. Hesselbach, M. Schuckert, and P. Eyerer, "Life Cycle Assessment as an Engineering Tool in the Automotive Industry," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–21, 1996.
- [31] M. B. G. Castro, J. A. M. Remmerswaal, and M. A. Reuter, "Life cycle impact assessment of the average passenger vehicle in the Netherlands," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 8, no. 5, pp. 297–304, 2003.
- [32] J. Kasai, "Experiences and thoughts about life cycle assessment in the automotive industry in Japan," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 5, no. 5, pp. 313–316, 2000.
- [33] C. Von Rozycki, H. Koeser, and H. Schwarz, "Ecology profile of the German high-speed rail passenger transport system, ICE," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 8, no. 2, pp. 83–91, 2003.
- [34] M. Spielmann, R. W. Scholz, O. Tietje, and P. De Haan, "Scenario modelling in prospective LCA of transport systems: Application of formative scenario analysis," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 10, no. 5, pp. 325–335, 2005.
- [35] T. R. Hawkins, B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A. H. Strømman, "Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles," *J. Ind. Ecol.*, vol. 17, no. 1, pp. 53–64, 2013.
- [36] F. Paulino and A. Pina, "Evaluation of Alternatives for the Passenger Road Transport Sector in Europe : A Life-Cycle Assessment Approach," 2018.
- [37] N. Mirabella, K. Allacker, and S. Sala, "Current trends and limitations of life cycle assessment applied to the urban scale: critical analysis and review of selected literature," *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 24, no. 7, pp. 1174–1193, 2019.
- [38] K. Bekel and S. Pauliuk, "Prospective cost and environmental impact assessment of battery and fuel cell electric vehicles in Germany," *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2019.
- [39] "Article: The Difference Between the ecoinvent 3.1 System Models." [Online]. Available: <https://support.simapro.com/articles/Article/The-Difference-Between-the-ecoinvent-3-1-System-Models>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [40] DGT, "Tablas estadísticas." [Online]. Available: <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/>. [Accessed: 17-Mar-2020].
- [41] Consorcio Regional de Transportes de Madrid, "Informe Anual 2017," 2017.
- [42] Observatorio de la Movilidad Metropolitana, "Observatorio de la Movilidad Metropolitana - Informe 2017," p. 108, 2019.
- [43] "BiciMAD. Alta de usuarios y usos por día del servicio público de bicicleta eléctrica - Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid." [Online]. Available: <https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9fbe4b2e4b284f1a5a0/?vgnnextoid=6d8bdae2be63c410VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnnextfmt=default>. [Accessed: 13-Jul-2020].

- [44] PWC, “Trabajar en 2033,” p. 160, 2013.
- [45] “Urbe-movilidad - KPMG Tendencias.” [Online]. Available: <https://www.tendencias.kpmg.es/claves-decada-2020-2030/movilidad-ciudades/>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [46] “5 razones para incluir la flexibilidad laboral en la estrategia de la compañía | Michael Page.” [Online]. Available: <https://www.michaelpage.es/advice/empresas/atraer-y-retener-talento/5-razones-para-incluir-la-flexibilidad-laboral-en-la-> [Accessed: 13-Jul-2020].
- [47] “La incidencia del teletrabajo en España pasa del 5% al 34% durante la pandemia | Economía | Cinco Días.” [Online]. Available: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/05/05/economia/1588694657_002760.html. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [48] “La efectividad del confinamiento: se reducen un 62,3% los movimientos por trabajo - Economía3.” [Online]. Available: <https://economia3.com/2020/04/09/258627-la-efectividad-del-confinamiento-se-reduce-un-623-los-movimientos-por-trabajo/>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [49] “McKinsey Center for Future Mobility (MCFM) | McKinsey & Company.” [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/features/mckinsey-center-for-future-mobility/overview>. [Accessed: 14-Jul-2020].
- [50] “Predicción automoción 2030 movilidad sostenible - Kantar.” [Online]. Available: <https://es.kantar.com/politica-y-social/economía/2020/febrero-2020-predicción-para-la-automoción-en-2030/>. [Accessed: 14-Jul-2020].
- [51] Organización Mundial de la Salud, “Calidad del aire ambiente (exterior) y salud.” [Online]. Available: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health). [Accessed: 14-Jul-2020].
- [52] M. L. S. García-ramos, “Evolución de la reglamentación europea sobre emisiones y homologación de los vehículos Índice ;,” pp. 1–26, 2017.
- [53] Ayuntamiento de Madrid, “PROTOCOLO DE ACTUACIÓN PARA EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN POR DIÓXIDO DE NITRÓGENO EN LA CIUDAD DE MADRID,” pp. 1–20, 2018.
- [54] Ayuntamiento de Madrid, “Madrid Central. Información General.” [Online]. Available: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Madrid-Central-Zona-de-Bajas-Emisiones/Informacion-general/Madrid-Central-Informacion-General/?vgnnextfmt=default&vgnextoid=a67cda4581f64610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=0>. [Accessed: 14-Jul-2020].
- [55] “Nueva Ordenanza de Movilidad para la ciudad de Madrid - Reservas de estacionamiento - Ayuntamiento de Madrid.” [Online]. Available: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Movilidad-y-transportes/Nueva-Ordenanza-de-Movilidad-para-la-ciudad-de-Madrid/?vgnnextfmt=default&vgnextoid=d73fff17a1151610VgnVCM1000001d4a>

- 900aRCRD&vgnnextchannel=220e31d3b28fe410VgnVCM1000000b205a0aRCRD&idCapitulo=10614227. [Accessed: 22-Aug-2020].
- [56] Ayuntamiento de Madrid, “MADRID 360, la estrategia para cumplir con los objetivos de calidad del aire de la Unión Europea -.” [Online]. Available: <https://www.madrid.es/portales/munimadrid/es/Inicio/Actualidad/Noticias/MADRID-360-la-estrategia-para-cumplir-con-los-objetivos-de-calidad-del-aire-de-la-Union-Europea/?vgnnextfmt=default&vgnnextoid=3d6c1609d818d610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=a12>. [Accessed: 14-Jul-2020].
- [57] “El Ayuntamiento de Madrid no recurrirá la sentencia del TSJM que ‘tumba’ Madrid Central tras desaconsejarlo cuatro informes técnicos | Madrid.” [Online]. Available: <https://www.elmundo.es/madrid/2020/07/31/5f23eb5c21efa020528b45ff.html>. [Accessed: 22-Aug-2020].
- [58] E. H. Leiva, “Análisis de Ciclo de Vida,” p. 43, 2016.
- [59] Ihobe S.A, “Análisis de ciclo de vida y huella de carbono,” *Gob. Vasco*, pp. 1–53, 2009.
- [60] L. Ntziachristos and Z. Samaras, “Air Pollutant Emission Inventory Guidebook Guidebook 2019 (1.A.3.b),” *EMEP/EEA air Pollut. Emiss. Invent. Guideb. 2019*, p. 226, 2019.
- [61] J. Sheehan, V. Camobreco, J. Duffield, M. Graboski, and H. Shapouri, “Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus,” no. May, 1998.
- [62] G. Rodríguez and M. Ribeiro, “Estudio comparado entre el combustible Diésel y Biodiésel.”
- [63] “El primer autobús urbano híbrido es español | elmundo.es.” [Online]. Available: <https://www.elmundo.es/elmundo/2008/12/30/ciencia/1230663256.html>. [Accessed: 20-Jul-2020].
- [64] Conama, “GT 5 Movilidad al trabajo,” 2016.
- [65] Deloitte and IPD, “Encuesta domiciliaria de movilidad de la Comunidad de Madrid 2018,” 2020.
- [66] “Doce kilómetros, distancia media para ir a trabajar.” [Online]. Available: https://www.abc.es/espana/madrid/doce-kilometros-distancia-media-201008120000_noticia.html. [Accessed: 22-Aug-2020].
- [67] Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, “Atlas de la movilidad residencia-trabajo en la Comunidad de Madrid,” 2017.
- [68] ANFAC, “Informe Anual 2018.” [Online]. Available: https://anfac.com/informe_anual_2018/#matriculaciones. [Accessed: 10-Jun-2020].
- [69] Instituto de Estadística, “Banco de Datos Estructurales.” [Online]. Available:

[http://www.madrid.org/desvan/AccionListadoTematicoDesvan.icm?temaPadre=841&esTema=S&descripcionPadre=Ocupaci%F3n media de los veh%EDculos por medio de transporte&codTema=1919183](http://www.madrid.org/desvan/AccionListadoTematicoDesvan.icm?temaPadre=841&esTema=S&descripcionPadre=Ocupaci%F3n%20media%20de%20los%20veh%EDculos%20por%20medio%20de%20transporte&codTema=1919183). [Accessed: 18-Jul-2020].

- [70] “Datos de ventas de bicicletas eléctricas - Electrobicis.” [Online]. Available: <https://www.electrobicis.com/noticias/datos-ventas-bicicletas-electricas/>. [Accessed: 13-Jul-2020].
- [71] Consejería de Salud de la Comunidad de Madrid, “DIAGNÓSTICO AMPLIACIÓN 2017 actividad física madrid,” 2017.
- [72] Consejería de Economía Empleo y Hacienda de la Comunidad de Madrid, “Encuesta de Población Activa - Informe primeros datos,” 2017.
- [73] La Vanguardia, “En España el 6,7 % de empleados ejerce teletrabajo, por debajo de media de UE.” [Online]. Available: <https://www.lavanguardia.com/vida/20170215/4248004004/en-espana-el-67--de-empleados-ejerce-teletrabajo-por-debajo-de-media-de-ue.html>. [Accessed: 19-Jul-2020].
- [74] “Borrador del plan nacional integrado de energía y clima 2021-2030,” 2021.
- [75] “Población, total | Data.” [Online]. Available: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL?end=2017&start=1960>. [Accessed: 01-Mar-2020].



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

ANEXO ODS

Anexo: Objetivos de Desarrollo Sostenible

El objetivo de este anexo consiste en encontrar la relación que guarda este proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). En total son 17 y hacen referencia a una gran variedad de temas, tratando de conformar una estrategia integral para la mejora de la vida y el cuidado del planeta.

Cuando se hace referencia al desarrollo sostenible es indispensable tener en cuenta los tres ámbitos o dimensiones de la sostenibilidad: medioambiental, social y económico. Por ello, se tienen en cuenta dichas dimensiones de tal forma que sea posible asociar un objetivo de cada ámbito con este proyecto.

Una vez realizada la revisión de los 17 ODS se establece que el objetivo que guarda una relación más estrecha con este proyecto, y por lo tanto adquiere un rol primario, es el 11: *“Ciudades y comunidades sostenibles”*. En 2015, el número de habitantes del planeta era aproximadamente 7.341 millones [75], de los cuales el 54% vivía en núcleos urbanos y se espera que este valor aumente. Por ello es necesario que las ciudades tengan la organización adecuada y sean áreas donde pueda tener lugar el desarrollo de la sociedad en todos sus ámbitos.

El punto de unión con el objetivo 11 reside en que el sector de transporte es fundamental en los núcleos urbanos y permite, entre otros, el acceso al trabajo. El conocimiento del impacto de los medios de transporte y su posible evolución gracias a la aplicación de medidas y tendencias tanto en el transporte como en el ámbito del trabajo, colaboran de forma directa en la toma de decisiones sobre planificación urbana.

Las metas del objetivo 11, con las que se alinea este proyecto, son:

- 11.2: *“De aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público, prestando especial atención a las necesidades de las personas en situación de vulnerabilidad, las mujeres, los niños, las personas con discapacidad y las personas de edad.”*

- 11.6: *“De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.”*

En el ámbito medioambiental, este proyecto se alinea de forma directa con el objetivo número 13: *“Acción por el clima”*. Existe una preocupación real por el cambio en los patrones climáticos. Sus consecuencias se pueden evaluar a nivel social, económico y medioambiental, y se deben poner en práctica soluciones para disminuir y frenar su avance. Requiere un compromiso social e institucional de forma internacional. A través de este pensamiento se llegó al Acuerdo de París.

Su nexos con este proyecto radica en la gran contribución del sector del transporte con las emisiones de gases de efecto invernadero, que dan lugar al cambio climático. Además, en los grandes núcleos urbanos la movilidad por motivos de trabajo supone aproximadamente un 30% de los desplazamientos diarios, contribuyendo así con las emisiones que genera el sector.

La meta del objetivo 13, con la que se alinea este proyecto, es:

- 13.2: *“Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.”*

Este proyecto se relaciona con la dimensión económica a través del objetivo número 8: *“Trabajo decente y crecimiento económico”*. Es un derecho el acceso al trabajo, además el progreso debe ser disfrutado por todos. Sin embargo, en muchas ocasiones el trabajo no permite salir de la pobreza. El reto está en alcanzar un desarrollo económico sostenible, que permita reducir la tasa mundial de desempleo (5,7%) dando trabajo de calidad y accesible a todas las personas en edad de trabajar.

Posiblemente la relación con este ODS no sea tan directa como en los casos anteriores, pero no quiere decir que sea menos relevante. Una de las principales apuestas, para reducir los desplazamientos por motivos laborales, es el teletrabajo y es a su vez una medida de inclusión laboral, facilitando el acceso al trabajo a aquellas personas que no residen en núcleos urbanos o tienen dificultades para desplazarse.

Las metas del objetivo 8, con las que se alinea este proyecto, son:

- 8.3: *“Promover políticas orientadas al desarrollo que apoyen las actividades productivas, la creación de puestos de trabajo decentes, el emprendimiento, la creatividad y la innovación, y fomentar la formalización y el crecimiento de las microempresas y las pequeñas y medianas empresas, incluso mediante el acceso a servicios financieros.”*
- 8.5: *“De aquí a 2030, lograr el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todas las mujeres y los hombres, incluidos los jóvenes y las personas con discapacidad, así como la igualdad de remuneración por trabajo de igual valor.”*

A continuación, se muestra un resumen con los ODS seleccionados y las principales metas con las que se relaciona este proyecto, así como su ámbito de actuación y rol asignado.

11	<i>Ciudades y comunidades sostenibles</i>	<i>Dimensión social</i>	<i>Rol primario</i>	<i>Meta 11.6: “De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.”</i>
13	<i>Acción por el clima</i>	<i>Dimensión medioambiental</i>	<i>Rol secundario</i>	<i>Meta 13.2: “Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.”</i>
8	<i>Trabajo decente y crecimiento económico</i>	<i>Dimensión económica</i>	<i>Rol secundario</i>	<i>Meta 8.5: “De aquí a 2030, lograr el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todas las mujeres y los hombres, incluidos los jóvenes y las personas con discapacidad, así como la igualdad de remuneración por trabajo de igual valor.”</i>

Ilustración: Principales ODS que guardan relación con este proyecto

Fuente: elaboración propia a partir de la información recogida de web de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Naciones Unidas

Teniendo en cuenta que el objetivo número 11 desarrolla el rol primario, se definen los siguientes indicadores en su relación con la movilidad al trabajo:

- Porcentaje anual del teletrabajo.
- Porcentaje anual de uso del transporte público en los desplazamientos al trabajo.

Anexo: Objetivos de Desarrollo Sostenible

- Tasa de accidentes de tráfico en los desplazamientos al trabajo.
- Tiempo medio anual empleado debido a congestiones de tráfico per cápita.
- Variación de los impactos (definidos en este documento) por habitante ocupado.

Agradecimientos:

A mi madre y a mi padre,
a mi abuela Mati y a mi abuelo Lisardo,
a mi abuelo Pepe y a mi abuela Carmen,
a María Victoria Ortiz,
a Pepe Halcón Muñoz,
a tía Dolores y a tío Miguel.

A Andrea, Teresa, Fernando, Pepa, Dore, Pedro,
Mónica, Marta, Natalia, Luis, Alejandro, Javier y María.

A los profesores de ICAI,
a mis directores
y a aquellos
que colaboraron a mi desarrollo
como persona.

A todas las personas que trabajan en
la universidad.

A los compañeros,
a los amigos
y a Dios.