



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

Estudio de los beneficios del *carsharing* en un entorno urbano

Autor: Arturo Gómez Corbatón

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Arturo', is positioned below the author's name.

Director: Andrés Díaz Casado

Co-Director: Pablo Frías Marín

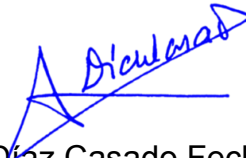
Co-Director: Manuel Pérez Bravo

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio de los beneficios del *carsharing* en un entorno urbano.
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2021-20202 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.: Arturo Gómez Corbatón Fecha: 17/ 07/ 2022



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Andrés Díaz Casado Fecha: 17/ 07/ 2022

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Pablo Frías Marín Fecha: 17/ 07/ 2022

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Manuel', with a stylized flourish at the end.

Fdo.: Manuel Pérez Bravo Fecha: 17/ 07/ 2022

Contenido

Resumen del proyecto	6
Introducción.....	6
Metodología.....	7
Resultados.....	8
Conclusiones.....	10
Abstract of the project	12
Introduction.....	12
Methodology.....	13
Results.....	14
Conclusions.....	16
Capítulo 1. Introducción	18
1.1 Introducción.....	18
1.2 Estado del arte.....	21
1.3 Motivación.....	24
1.4 Objetivos del proyecto.....	25
1.5 Recursos a emplear.....	26
Capítulo 2. Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible	27
Capítulo 3. Cálculo de emisiones de vehículos de combustión interna y coches eléctricos mediante un análisis de ciclo de vida	29
3.1 Introducción.....	29
3.2 Alcance del estudio.....	30
Región del estudio.....	30
Vehículos estudiados.....	30
Vida de los vehículos.....	31
Alcance de la evaluación.....	32
3.3 Cálculo de las emisiones de cada proceso.....	33
Proceso de fabricación.....	33
Obtención y uso de los combustibles y generación eléctrica.....	35

<i>Fase de mantenimiento.....</i>	<i>37</i>
<i>Fin de vida.....</i>	<i>38</i>
3.4 Resultados	39
Capítulo 4. Estudio de la demanda de carsharing	43
4.1 Recolección de datos	43
4.2 Descripción de la muestra	45
4.3 Metodología y análisis de los datos.....	50
4.4 Resultados de la encuesta.....	51
<i>Distribución de la población.....</i>	<i>52</i>
<i>Frecuencia de uso de cada uno de los modos</i>	<i>52</i>
<i>Modos sustituidos con la implantación del carsharing.....</i>	<i>54</i>
4.5 Hipótesis sobre el coche compartido.....	56
<i>Introducción</i>	<i>56</i>
<i>Distribución de usuarios</i>	<i>57</i>
<i>Frecuencias de uso de los modos</i>	<i>58</i>
<i>Distribución de kilómetros</i>	<i>64</i>
Capítulo 5. Modelo del Observatorio del Vehículo Eléctrico y la Movilidad Sostenible	72
5.1 Objetivo.....	72
5.2 Parámetros.....	73
Capítulo 6. Resultados.....	79
6.1 Caso BASE.....	81
6.2 Casos 1-9	83
<i>Caso 1.....</i>	<i>86</i>
<i>Caso 2.....</i>	<i>87</i>
<i>Caso 3.....</i>	<i>89</i>
<i>Caso 4.....</i>	<i>90</i>
<i>Caso 5.....</i>	<i>92</i>
<i>Caso 6.....</i>	<i>93</i>
<i>Caso 7.....</i>	<i>95</i>
<i>Caso 8.....</i>	<i>96</i>
<i>Caso 9.....</i>	<i>98</i>

6.3 Comentario de resultados	99
Capítulo 7. Conclusión.....	106
7.1 Trabajos futuros.....	108
Capítulo 8. Bibliografía.....	109

Estudio de los beneficios del *carsharing* en un entorno urbano

Autor

Arturo Gómez Corbatón

Dirigido por

Andrés Díaz Casado

Pablo Frías Marín

Manuel Pérez Bravo

RESUMEN DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

Este proyecto busca estudiar los beneficios de implantar una flota de *carsharing* en un entorno urbano, motivado por la idea de que existen en las ciudades numerosos problemas relacionados con la movilidad. Estos problemas son, por ejemplo: las altas emisiones contaminantes a la atmósfera, la congestión del tráfico o la falta de espacio en las calles debido a la cantidad de vehículos existentes. En un principio se pensó que el coche compartido podría ser la solución a estos problemas, y es por ello que este trabajo intenta evaluar los beneficios que podría presentar un sistema que integre el *carsharing* dentro de los modos urbanos.

De estos tres problemas principales, el trabajo se centra en cómo los servicios de coches compartidos pueden solucionar la excesiva emisión de gases contaminantes a la atmósfera. Para ello, es necesario estudiar los vehículos utilizados, en este caso coches, desde la etapa

de fabricación de un nuevo coche, hasta las repercusiones que tiene su implantación en la ciudad como parte de un parque de vehículos que cubran estos servicios.

Primero de todo, se lleva a cabo un estudio de las emisiones de cada coche a lo largo de su vida de manera individual. Este estudio se realiza mediante un análisis de ciclo de vida de los vehículos. Dentro de este análisis se tienen en cuenta tres tipos de vehículos potenciales para las flotas de *carsharing*: gasolina, diésel y eléctrico. Además, dicho análisis contempla distintas etapas de la vida del coche, como son, la fabricación, el mantenimiento, el uso a lo largo de su vida y el reciclaje.

Por otra parte, para plantear el problema desde una perspectiva más global, se pretende utilizar el modelo del Observatorio del Vehículo Eléctrico y la Movilidad Sostenible (OVEMS) de Comillas. Este modelo simula las emisiones y parque de vehículos con unas condiciones dadas. En nuestro caso se adapta este modelo para calcular las emisiones procedentes del parque de coches que circulan por la ciudad de Madrid. De la simulación se obtienen datos de emisiones de CO₂ y parque de vehículos desde el año 2020 hasta el año 2030.

METODOLOGÍA

Para poder llevar a cabo dicha simulación, es necesario conocer las distancias que recorren anualmente cada una de las tecnologías que contempla el modelo OVEMS. Específicamente, es necesario dar como entrada al modelo los kilómetros recorridos por los coches privados y el modo que se estudia, el *carsharing*. Con ese fin se realiza un estudio de la demanda del *carsharing* en entornos urbanos para así poder obtener una distribución de kilómetros de los distintos modos que viajan dentro de la ciudad. Para obtener dicha distribución de kilómetros de los diferentes modos de transporte, se asignan unas frecuencias a tres tipos de usuarios en función de la cantidad de viajes que hacen con servicios de vehículos compartidos. Estos tipos son: frecuentes, ocasionales y no usuarios. Dentro de cada tipo de usuario existe una distribución de los viajes que realiza con cada modo, es decir, cada tipo de usuario tendrá

una probabilidad de viajar con un modo de transporte u otro. Nuestra hipótesis principal dentro del estudio, para así poder estudiar los efectos que tendría una la implantación de una flota de *carsharing* en un entorno urbano, es hacer que estas frecuencias, tanto las de usuarios, como la del modo de *carsharing* aumenten anualmente. Implantando estas hipótesis en el estudio de la demanda, se obtienen tres escenarios de kilometrajes distintos que nos permiten evaluar los beneficios o desventajas de cada uno de los casos.

La única hipótesis que falta por valorar para poder llevar a cabo la simulación del modelo es elegir la tecnología de motorización que se usará en los años de simulación. Los tres casos contemplados en este caso son: introducir un parque completamente eléctrico, uno completamente de coches de gasolina y, por último, un parque que sea parcialmente eléctrico y parcialmente de gasolina.

Con estos datos introducidos en el modelo OVEMS se obtienen un total de diez escenarios (un caso base, en el que el *carsharing* no existe, y nueve resultantes de nuestras hipótesis). Con estos casos se establece una comparación de cada una de las hipótesis con respecto al caso base en los que se evalúa como de beneficioso es un escenario en función de las emisiones asociadas a la fabricación de su parque, sus emisiones a lo largo de su vida (emisiones “*tank to wheel*”) y el aumento o disminución del número total de coches utilizados en cada simulación.

RESULTADOS

Las hipótesis realizadas para la demanda del *carsharing* son respecto a la velocidad de penetración de dicho modo. Primero de todo se supone que los usuarios frecuentes aumentan un 3% anual, los usuarios frecuentes un 2% y que por tanto los no usuarios disminuyen un 5% anual. La velocidad de penetración del *carsharing* está asociada a como aumentan el número de viajes realizados por este modo dentro de cada tipo de usuario. El coche compartido “robará” kilómetros otros modos de acuerdo al estudio de la demanda realizado en este trabajo. Cabe destacar que los viajes a los que el *carsharing* sustituye principalmente

son los viajes previamente realizados mediante transporte público y modos activos. Dependiendo de la cantidad de kilómetros anuales que robe el *carsharing* al resto de modos anualmente, se dirá que tiene una velocidad de penetración lenta, moderada o rápida. Los escenarios estudiados en función de la velocidad de penetración y en función del tipo de motorización del parque son los siguientes:

Tabla 1: Casos de estudio

	Lenta	Moderada	Rápida
Eléctrico	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Gasolina	Caso 4	Caso 5	Caso 6
Eléctrico+Gasolina	Caso 7	Caso 8	Caso 9

En cada uno de ellos se contemplan, con respecto al caso base, la comparativa en emisiones “*tank to wheel*” (T2W), la comparativa en emisiones de fabricación del parque y el ahorro en número total de coches.

Los resultados de los distintos escenarios son mostrados a continuación:

1. Emisiones T2W:

Tabla 2: Emisiones T2W

	Lento	Moderado	Rápido
EV	-1,3%	-4,1%	-8,3%
GSL	2,2%	3,3%	4,9%
EV+GSL	0,4%	-0,4%	-1,7%

2. Emisiones de fabricación:

Tabla 3: Emisiones de fabricación

	Lento	Moderado	Rápido
EV	20%	11%	-2%
GSL	18%	8%	-8%
EV+GSL	19%	9%	-5%

3. Emisiones totales:

Tabla 4: Emisiones totales

	Lento	Moderado	Rápido
EV	-1,3%	-4,1%	-8,3%
GSL	2,3%	3,3%	4,9%
EV+GSL	0,5%	-0,4%	-1,7%

4. Parque de vehículos:

Tabla 5: Parque de vehículos

	Lento	Moderado	Rápido
EV	26%	15%	-1%
GSL	26%	15%	-1%
EV+GSL	26%	15%	-1%

CONCLUSIONES

Con los datos arrojados del modelo sobre el parque y las emisiones se concluye:

- A mayor velocidad de penetración de *carsharing*, menores son las emisiones T2W en comparación con un escenario en el que este modo no existe, salvo en los casos en los que tengamos *carsharing* de gasolina. En estos escenarios ocurre lo contrario.
- El parque de vehículos necesarios para satisfacer la demanda de kilómetros en 2030 es menor cuanto mayor es dicha penetración.

- A medida que aumentamos la velocidad de penetración, las emisiones correspondientes a la fabricación, mantenimiento y reciclaje se reducen también en comparación con el caso base.
- El parque de vehículos aumenta para dos de los tres escenarios de penetración estudiados. El único caso en el que el parque es ligeramente inferior es en los casos de penetración de *carsharing* rápida. Obtener una reducción del parque es interesante ya que ayuda con la descongestión del tráfico en las ciudades.
- Teniendo en cuenta los puntos anteriores, y corroborado por los resultados, las emisiones totales se reducen a medida que aumenta la velocidad de penetración, salvo en los escenarios en los que la flota de *carsharing* son coches de gasolina.
- Aquellos escenarios que incluyen únicamente motorización de combustión acaban siendo perjudiciales para el medio ambiente, ya que el *carsharing* está sustituyendo en parte a modos más sostenible.
- El *carsharing* sustituye sobre todo al transporte público y modos activos, no tanto al privado. Por lo tanto, una flota electrificada puede fomentar el uso de vehículos con menos emisiones y más nuevos, además de reducir la fabricación de coches por un menor parque. Sin embargo, si esos coches no están electrificados, el *carsharing* está sustituyendo a modos menos intensivos en energía (transporte público, modos activos, etc.) por un vehículo de combustión. Es por ello que a la hora de diseñar planes de descarbonización del transporte urbano de pasajeros es importante considerar la forma en la que se introduce el *carsharing* como fuente de reducción de emisiones. Planes como el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, 2030) ya incluyen la movilidad compartida, sin embargo, no se hace alusión a la necesidad de que estas flotas sean eléctricas.

Study of the benefits of *carsharing* in an urban environment

Author

Arturo Gómez Corbatón

Directed por

Andrés Díaz Casado

Pablo Frías Marín

Manuel Pérez Bravo

ABSTRACT OF THE PROJECT

INTRODUCTION

This project seeks to study the benefits of implementing a carsharing fleet in an urban environment, motivated by the idea that there are numerous problems related to mobility in cities. These problems are, for example: high polluting emissions into the atmosphere, traffic congestion or lack of space on the streets due to the number of existing vehicles. At first it was thought that car sharing could be the solution to these problems, and that is why this work tries to evaluate the benefits that a system that integrates carsharing within urban modes could present.

Of these three main problems, the work focuses on how car sharing services can solve the excessive emission of polluting gases into the atmosphere. To that pupose, it is necessary to study the vehicles used, in this case cars, from the manufacturing stage of a new car, to the

repercussions of its implementation in the city as part of a fleet of vehicles that cover these services.

First of all, a study of the emissions of each car's life cycle is carried out individually. This study is carried out through an analysis of the life cycle of the vehicles. Within this analysis, three types of potential vehicles for carsharing fleets are taken into account: gasoline, diesel and electric. In addition, this analysis contemplates different stages of the car's life, such as manufacturing, maintenance, use throughout its life and recycling.

On the other hand, to pose the problem from a more global perspective, this work uses the model of the Comillas Electric Vehicle and Sustainable Mobility Observatory (OVEMS). This model simulates emissions and vehicle fleet under given conditions. In our case, this model is adapted to calculate the emissions from the fleet of cars circulating in the city of Madrid. Data on CO₂ emissions and vehicle fleet from 2020 to 2030 are obtained from the simulation.

METHODOLOGY

In order to carry out this simulation, it is necessary to know the distances covered annually by each of the technologies included in the OVEMS model. Specifically, it is necessary to give as input to the model the kilometers traveled by private cars and the mode under study, *carsharing*. To this end, a study of the demand for carsharing in urban environments is carried out in order to obtain a distribution of kilometers of the different modes that travel within the city. To obtain this distribution of kilometers of the different modes of transport, frequencies are assigned to three types of users based on the number of trips they make with shared vehicle services. These types are: frequent, occasional and non-users. Within each type of user there is a distribution of the trips made with each mode, that is, each type of user will have a probability of traveling with one mode of transport or another. Our main hypothesis within the study, in order to be able to study the effects that the implementation of a carsharing fleet would have in an urban environment, is to make these frequencies, both

those of users and that of the carsharing mode, increase annually. Implementing these hypotheses in the demand study, three different mileage scenarios are obtained that allow us to evaluate the benefits or disadvantages of each of the cases.

The only hypothesis that remains to be evaluated in order to carry out the simulation of the model is to choose the motorization technology that will be used in the simulation years. The three cases contemplated in this case are: introduce a completely electric fleet, a completely gasoline-powered fleet and, lastly, a fleet that is partially electric and partially gasoline-powered.

With these data entered in the OVEMS model, a total of ten scenarios are obtained (a base case, in which carsharing does not exist, and nine resulting from our hypotheses). With these cases, a comparison of each of the hypotheses is established with respect to the base case in which a scenario is evaluated as beneficial based on the emissions associated with the manufacture of its park, its emissions throughout its life (tank-to-wheel emissions) and the increase or decrease in the total number of cars used in each simulation.

RESULTS

The hypotheses made for the demand for carsharing are regarding the speed of penetration of said mode. First of all, it is assumed that frequent users increase by 3% per year, frequent users by 2% and therefore non-users decrease by 5% per year. The penetration speed of carsharing is associated with how the number of trips made by this mode increases within each type of user. *Carsharing* will "steal" kilometers from other modes according to the demand study carried out in this work. It should be noted that the trips that carsharing mainly replaces are trips previously made by public transport and active modes. Depending on the number of annual kilometers that carsharing steals from the rest of the modes annually, it will be said that it has a slow, moderate or fast penetration speed. The scenarios studied depending on the speed of penetration and depending on the type of motorization of the park are the following:

Table 1: Cases of study

	Slow	Moderate	Fast
Electric	Case 1	Case 2	Case 3
Gasoline	Case 4	Case 5	Case 6
Electric+Gasoline	Case 7	Case 8	Case 9

In each of them, with respect to the base case, the comparison of tank-to-wheel (T2W) emissions, the comparison of fleet manufacturing emissions and the savings in the total number of cars are contemplated.

The results of the different scenarios are shown below:

1. T2W emissions:

Table 2: T2W emissions

	Lento	Moderado	Rápido
EV	-1,3%	-4,1%	-8,3%
GSL	2,2%	3,3%	4,9%
EV+GSL	0,4%	-0,4%	-1,7%

2. Manufacturing emissions

Table 3: Manufacturing emissions

	Lento	Moderado	Rápido
EV	20%	11%	-2%
GSL	18%	8%	-8%
EV+GSL	19%	9%	-5%

3. Total emissions

Table 4: Total emissions

	Lento	Moderado	Rápido
EV	-1,3%	-4,1%	-8,3%
GSL	2,3%	3,3%	4,9%
EV+GSL	0,5%	-0,4%	-1,7%

4. Vehicle fleet:

Table 5: Vehicle fleet

	Lento	Moderado	Rápido
EV	26%	15%	-1%
GSL	26%	15%	-1%
EV+GSL	26%	15%	-1%

CONCLUSIONS

With the data from the model on the fleet and emissions, it is concluded that:

- The faster the penetration of carsharing, the lower the T2W emissions compared to a scenario in which this mode does not exist, except in cases where we have gasoline carsharing. In these scenarios, the opposite occurs.
- The number of vehicles needed to meet the demand for kilometers in 2030 is lower the greater the penetration.
- As we increase the rate of penetration, emissions from manufacturing, maintenance, and recycling also decrease compared to the base case.

- The fleet of vehicles increases for two of the three penetration scenarios studied. The only case where the park is slightly lower is in cases of fast carsharing penetration. Obtaining a reduction in the fleet is interesting since it helps with the decongestion of traffic in cities.
- Taking into account the previous points, and corroborated by the results, the total emissions are reduced as the speed of penetration increases, except in the scenarios in which the carsharing fleet consists of gasoline cars.
- Those scenarios that include only combustion engines end up being harmful to the environment, since carsharing is partly replacing more sustainable modes.
- Car sharing replaces above all public transport and active modes, not so much the private one. Therefore, an electrified fleet can encourage the use of newer, lower-emission vehicles, as well as reduce car manufacturing due to a smaller fleet. However, if those cars are not electrified, carsharing is replacing less energy-intensive modes (public transport, active modes, etc.) with a combustion vehicle. That is why, when designing decarbonization plans for urban passenger transport, it is important to consider the way in which carsharing is introduced as a source of emission reduction. Plans such as the National Energy and Climate Plan (PNIEC, 2030) already include shared mobility, however, no reference is made to the need for these fleets to be electric.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Tenemos la suerte y la responsabilidad de vivir en una época en la que los retos actuales que se deben enfrentar darán forma a la sociedad y estilo de vida del futuro. Solucionar problemas como la desigualdad social en el mundo, el cambio climático o la pandemia del covid-19, entre muchos otros, todos unidos como sociedad, de la mejor manera posible, es clave para el futuro de la humanidad. Aunque no se pueda dar más importancia a unos retos que a otros, el problema que atenderemos a lo largo de este trabajo de fin de grado estará íntegramente relacionado con el cambio climático. Más específicamente nos centraremos en el papel que tienen las ciudades en todo esto.

Actualmente la mitad de la humanidad, 3500 millones de personas, vive en ciudades, y se estima que esta cifra aumentará hasta los 5000 millones para 2030, lo que supondría aproximadamente el 70% de la población global. Estas ciudades son, sin lugar a duda, el motor económico del mundo representando el 70% de la generación de riqueza global. Resulta interesante recalcar que las ciudades ocupan únicamente un 3% de la superficie terrestre a pesar de lo mencionado anteriormente. Centrándonos en Europa, el 60% de la población vive en ciudades, y estas representan la generación del 85% de la riqueza. Las ciudades cumplen un papel esencial en el desarrollo económico de un país. Las sinergias y economías de escala que generan las ciudades, las hacen increíblemente eficientes, generando buenas oportunidades de desarrollo. En definitiva, las ciudades están diseñadas para incrementar la calidad de vida y la eficiencia económica general. [1]

No obstante, aunque las ventajas económicas de las ciudades son claras, existen desventajas evidentes de no tan fácil solución. Uno de los principales problemas a tener en cuenta reside en la movilidad de las ciudades. Una movilidad mal gestionada en una ciudad acarrea problemas de contaminación, tanto de emisiones de gases de efecto invernadero como

acústica; cambio climático como consecuencia de lo anterior; congestión del tráfico...En total las ciudades son las generadoras del 75 % de las emisiones totales de CO₂, y según datos publicados por la Unión Europea, la circulación urbana es la causa del 40% de las emisiones de dicho gas y del 70 % de otras emisiones procedentes del transporte por carretera [2]. Desde 2016, el 90% de la población que habitaba en ciudades respiraba un aire que no cumplía con los estándares de seguridad establecidos por la OMS. Esto ha provocado aproximadamente 4,2 millones de muertes debido a la contaminación atmosférica. Se estima que más de la mitad de la población estuvo expuesta a niveles de contaminación 2,5 veces mayor que los estándares de seguridad. [3]

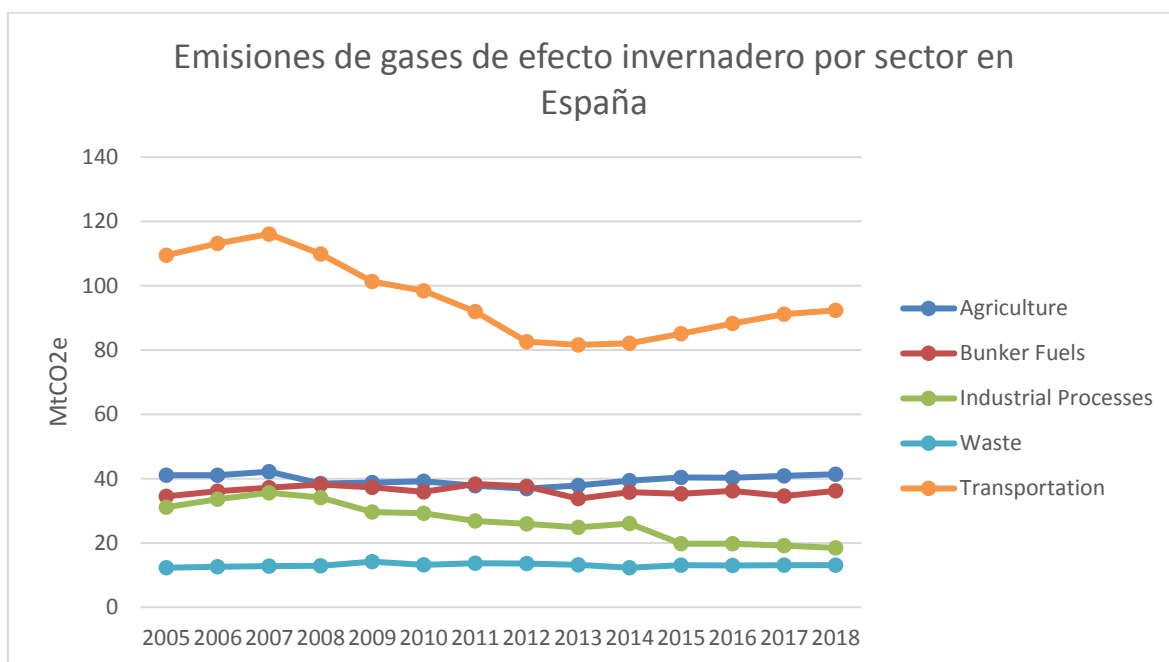


Gráfico 1: Emisiones de gases de efecto invernadero por sector en España [4]

Otro gran problema surge con la congestión de las ciudades. El tráfico y la falta de espacio en las ciudades es uno de los grandes retos actuales que los gobiernos de las ciudades deben solucionar.

La infraestructura de las ciudades actuales claramente no es capaz de soportar los volúmenes de tráfico que en ellas se generan. Si se tiene en cuenta factores como el tiempo perdido en

atacos y tráfico, las pérdidas de combustible y el sobrecoste que tiene soportar esto, en el impacto económico de un país, se estima sus costes supondrían entre el 2 y el 4% del PIB de un país, lo cual es insoportable y podría considerarse colapso de una ciudad [5].

Por tanto, la problemática de la movilidad no se centra únicamente en las repercusiones medioambientales, sino también en las económicas. El debate sobre el uso del espacio público está en boca de todos, y más aún después de la pandemia. Cada vez existen más y más ciudades que se plantean la repartición de espacios dedicados a la circulación de los vehículos, el aparcamiento de estos, y como hacerlo de tal manera que sea lo más sostenible posible

Por tanto, con el objetivo de cumplir las normativas establecidas por la UE y hacer de las ciudades un lugar más eficiente y habitable debemos conseguir cinco objetivos principales, que ya se plantearon en el Libro Verde [6]. Las soluciones que se plantearon fueron:

- Unas ciudades con una circulación más fluida
- Unas ciudades más ecológicas
- Un transporte urbano más inteligente
- Un transporte urbano más accesible
- Un transporte urbano seguro y protegido

Existe un problema claro, y es que debemos hacer frente a estas dificultades que no tienen tan fácil solución. En este trabajo nos enfocaremos en la solución que pueden aportar las nuevas formas de movilidad sostenible e inteligente.

1.2 ESTADO DEL ARTE

Existe una creciente preocupación por las entidades políticas de la UE por la movilidad en las ciudades. Con respecto a la movilidad sostenible, se han publicado diversos informes sobre este tema en los últimos años.

Enrique Dans y Gildo Seisdedos, ambos profesores en el Instituto de Empresa, un informe llamado: “Micromovilidad y movilidad urbana sostenible” en Octubre de 2021 [5]. En él se resaltan los problemas actuales relacionados con la movilidad urbana, los casos actuales post pandemia en varias ciudades del mundo, las claves para integrar la movilidad sostenible con éxito y una serie de conclusiones y recomendaciones tras el estudio.

Cada cierto tiempo la comisión europea publica los llamados Libros Verdes. El objetivo de estos libros es estimular una reflexión a nivel europeo sobre un tema en concreto. El Libro Verde del transporte fue publicado en 2007. Su objetivo consistió en establecer unas pautas de trabajo para los años venideros sobre la movilidad sostenible en las ciudades europeas. Este libro sigue siendo referencia de muchas políticas actuales sobre movilidad urbana.

Aparte, el Parlamento Europeo publicó en el 2014 el Informe sobre movilidad urbana y sostenible. En él se recoge toda la legislación relacionada con el tema hasta la fecha y anima a las ciudades europeas a seguir con el trabajo realizado hasta entonces haciendo las ciudades más sostenibles. Se menciona la devolución del espacio y la infraestructura a todos los ciudadanos y la mejora de la accesibilidad, la mejora del medioambiente, de la calidad de vida y salud y se hace hincapié en el ahorro de energía y la protección del clima.

Una publicación interesante es la del Centro de Investigación de Transporte sobre la Movilidad Inteligente. En dicha publicación se estudia el papel de la movilidad en las nuevas *Smart cities*. En concreto, cuáles son los proyectos más interesantes y eficientes, relativos a la movilidad inteligente, a realizar en una ciudad de la unión europea. Habla de las características de las ciudades del futuro, cual es papel de las nuevas tecnologías en todo esto y los beneficios de su implementación.

También contamos con los trabajos de fin de grado y máster publicados en el repositorio de la Universidad de Comillas relativos a la movilidad sostenible. El equipo del OVEMS también realiza estudios anualmente relacionados con este tema. Un estudio interesante es el realizado por Javier Laguna en su tesis: “Estrategia de electrificación para una flota de vehículos de transporte de dinero en efectivo”. En este trabajo se estudian la posibilidad de cambiar una flota de vehículos de combustión por una flota eléctrica. Es interesante revisar este trabajo para ver los criterios de cambio de un vehículo por otro y los beneficios que ello conlleva. Otro estudio que utilizaremos de referencia será el realizado por Javier María Moreno Marín, “*Quantitative analysis of energy consumption and pollutant emissions coming from the passenger car fleet in Madrid, based on various mobility scenarios*”. Este trabajo nos servirá como ejemplo del tratamiento de información referente al consumo de energía, combustible y emisiones de gases contaminantes de los distintos vehículos.

Aparte de los trabajos mencionados anteriormente, que nos sirven de base sobre la que empezar a construir nuestro trabajo y empezar a introducirse en el mundo de la movilidad urbana, existen tres estudios principalmente sobre los que se ha basado el trabajo realizado.

Primero de todo, es importante mencionar el trabajo “*Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA*” [7]. En este estudio se realiza una comparativa de las emisiones producidas a lo largo de la vida de vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos. Acompañado del estudio de la IEA, “*Comparative life-cycle greenhouse gas emissions of a mid-size BEV and ICE vehicle*” [8], se realizará una estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero de los distintos tipos de vehículos. Estos trabajos nos servirán como ejemplo y como bibliografía para realizar un análisis de ciclo de vida sobre dichos vehículos, teniendo en cuenta, por ejemplo, la fabricación del vehículo, su uso y obtención de combustibles o el mantenimiento.

Por otra parte, el estudio realizado por TRANSyT, “*Moped Scooter Sharing: Citizens’ Perceptions, Users’ Behavior, and Implications for Urban Mobility*”[9], nos servirá como base para la realización de un estudio de la demanda del *carsharing* en un entorno urbano.

La idea es utilizar este trabajo para obtener una distribución final de kilómetros realizados por cada uno de los modos de transporte en un entorno urbano. El trabajo servirá como base de la que partir para realizar dicho estudio, ya que la demanda de cada uno de los modos de transporte está basada en una encuesta realizada por el mismo TRANSyT. Con los datos aportados en este estudio se obtendrán unas frecuencias de uso de los modos, una distribución de los distintos tipos de usuarios, desde el año 2021 al año 2030. Una vez se consigan estos datos, se podrá obtener cuantos kilómetros realiza cada modo de transporte anualmente y de esa manera, estimar las emisiones de gases de efecto invernaderos totales.

Por último, será necesaria una clasificación más profunda de los coches utilizados para el *carsharing* que simplemente vehículos de gasolina o vehículos eléctricos. Aunque la flota utilizada por las empresas varía entre estos dos tipos, la condición de estos coches es especial debido a su aumentado uso diario y la variación constante de conductor. Estos factores alteran la vida total y los kilómetros realizados anualmente por estos coches, por tanto, no podrán ser considerados de la misma manera que los vehículos privados. Para tener en consideración el punto mencionado anteriormente, nos basaremos en el estudio: “*Does car sharing reduce greenhouse gas emissions? Assessing the modal shift and lifetime shift rebound effects from a life cycle perspective*” [10]. En dicho estudio se obtienen unos valores de kilómetros medios anuales y una vida estimada para estos coches utilizados en los servicios de movilidad compartida.

1.3 MOTIVACIÓN

La oportunidad de realizar este trabajo surge con la incorporación del autor al Instituto de Investigación Tecnológica (IIT), más concretamente, al Observatorio del Vehículo Eléctrico y Movilidad Sostenible (OVEMS), mediante una beca de alumno colaborador. En este proyecto se busca la creación de un observatorio y una fuente de información fiable a nivel nacional del parque de vehículos eléctricos y su evolución a lo largo de los años. El observatorio también se ocupa de seguir la normativa relacionada con el mundo del vehículo eléctrico, se encarga de estudiar la infraestructura necesaria y desarrolla estudios relacionados con el tema.

Para conseguir dicho objetivo el observatorio recopila información de los recursos más importantes puestos a disposición, relativos al vehículo eléctrico y movilidad sostenible, a nivel español.

En primer lugar, el observatorio busca cada año actualizarse con nuevos trabajos e investigaciones que le permitan seguir evolucionando cada año. Un trabajo de fin de grado relacionado con la movilidad sostenible, y en este caso específico, con las nuevas metodologías de *carpooling* y *carsharing*, encaja perfectamente con el propósito del OVEMS. Un estudio de estas características proporciona al observatorio un recurso más en el que poder trabajar e investigar, tanto en el presente como en el futuro. Además, este trabajo continúa con estudios previos realizados anteriormente, y sirve, por tanto, como ampliación a trabajos pasados.

A nivel personal, trabajar tanto en el observatorio, como en un proyecto relacionado con este sector, es una gran oportunidad. El mundo de la movilidad inteligente y sostenible es el futuro de las ciudades y de la sociedad en general. La introducción de vehículos eléctricos, cuyas emisiones de gases y acústicas son prácticamente nulas, en un entorno urbano, son un factor clave para desarrollo de las ciudades del futuro. Además, cada vez más empresas buscan la manera de volverse más “sostenibles”.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Con este proyecto se desea estudiar los beneficios de la micro movilidad, y específicamente, los beneficios del *carsharing*, en un entorno urbano.

Como hemos mencionado anteriormente, existen 3 problemas principalmente en las ciudades relacionados con la movilidad.

- El excesivo tráfico y congestión de las ciudades en lo que respecta a la movilidad.
- La contaminación ambiental y acústica actual, provocada en parte por el problema anterior, de las ciudades que deteriora enormemente el nivel de calidad de vida de las personas que habitan en ella.
- La pérdida de eficiencia y los costes económicos para las ciudades provocados por esta congestión excesiva.

En este trabajo nos enfocaremos en la solución que los servicios de movilidad compartida, *carsharing*, pueden aportar a solucionar el problema relacionado con la contaminación ambiental. Más específicamente, el objetivo principal de este trabajo de fin de grado es demostrar que la implantación de una flota mayor de *carsharing* en la ciudad de Madrid, ayuda a reducir las emisiones de CO₂ totales a la atmósfera.

1.5 RECURSOS A EMPLEAR

A lo largo de este proyecto se utilizarán diversos recursos que nos servirán como herramientas de trabajo.

Primeramente, en este trabajo de fin de grado se necesitará recopilar información sobre matriculaciones, parques de vehículos, infraestructuras de recarga y emisiones. Por tanto, se hará un gran uso de fuentes de información oficiales y privadas para la obtención de dichos datos.

El observatorio cuenta con gran cantidad de recursos que nos ayudarán a lo largo del proyecto. Por una parte, el OVEMS dispone de una base de datos española que nos servirá de referencia. Por otra parte, para la obtención de estimaciones, proyecciones a futuro, estudios y conclusiones, se usará tanto el Modelo OVEMS, como una adaptación de elaboración propia que incluya los datos relativos al *carsharing* y micromovilidad que se deseen estudiar.

Se planea utilizar un software del estilo de Excel o Matlab para el tratamiento de datos y obtención de proyecciones relacionadas con el trabajo.

Por último, para conseguir unos resultados definitivos con respecto al *carsharing*, se utilizará la herramienta GAMS para trabajar con el modelo del observatorio adaptado a este software.

Capítulo 2. ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos y metas de desarrollo sostenible son 17 objetivos para conseguir un futuro sostenible para todos. Estas metas incorporan los desafíos globales a los que la sociedad se enfrenta diariamente, como son la pobreza, la desigualdad, la degradación ambiental, el clima, la paz, la justicia o la prosperidad. Se pretende cumplir dichas metas para 2030.

Aunque el transporte sea un factor clave en el desarrollo sostenible de la sociedad del futuro, este no aparece como ODS en sí mismo. Aun así, varios factores relacionados con éste aparecen en distintos ODS, (i.e. seguridad vial, emisiones de CO₂ y NO_x, contaminación acústica...). Por tanto, el transporte proporciona un factor medioambiental crítico en el desarrollo económico y social necesario para el correcto cumplimiento de los ODS.

El ODS-03: Salud y Bienestar trabaja de la mano de este estudio ya que, como se menciona en el apartado 3.9 de dicho ODS, se pretende que para 2030 se debe reducir educir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo. La implantación del carsharing supondría una nueva manera de reducir la contaminación del aire, alineándolo con el ODS-03. [11]

También se puede resaltar el papel del estudio en el ODS-12: Producción y consumo responsable. Específicamente se ve la importancia de la tesis en dos puntos del ODS-12. Primeramente, en el punto 12.2: De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales. Por otra parte, en el punto 12.5: De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización. [12]

ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El transporte es uno de los principales consumidores de combustibles fósiles, así que es crítico en el logro del ODS-07: Energía asequible y no contaminante. De acuerdo con las metas del objetivo 7, el punto 7.a: “De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias”. [13]

Por otra parte, el transporte también juega un papel muy importante en el ODS-11: Ciudades y comunidades sostenibles. Como menciona la meta 11.6, para 2030, se deberá reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los derechos municipales y de otro tipo. [14]

También se trabaja acorde al objetivo 13: “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos”. De acuerdo con este objetivo, se debe realizar una transición verde, crear empleos verdes e invertir en soluciones sostenibles. Más concretamente, el punto 13.2 menciona que es necesario la incorporación de medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales. Es aquí donde entra la importancia de este trabajo acorde al ODS13. [15]

Capítulo 3. CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.

3.1 INTRODUCCIÓN

El análisis del ciclo de vida de un producto nos permite evaluar de manera objetiva el impacto medioambiental de un producto o servicio durante las distintas etapas de su vida. Mediante el uso de dicha herramienta, somos capaces de conocer las emisiones de cada vehículo individualmente a lo largo de su ciclo de vida. Por tanto, el objetivo de esta parte del trabajo es evaluar el impacto individual de estos tipos de vehículos para así, con los resultados obtenidos, ser capaces de estudiar los beneficios de la implantación de los servicios de vehículos compartidos en un entorno urbano.

En este caso, el análisis del ciclo de vida se usará como herramienta para calcular las emisiones de CO₂ de vehículos gasolina, diesel y eléctricos a lo largo de las distintas etapas de su vida.

A la hora de realizar el estudio de las emisiones de gases de efecto invernadero, se deben tener en cuenta unas suposiciones previas. Estas suposiciones previas se han obtenido del artículo “*Estimation of CO₂ Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery*

Electric Vehicle Using LCA”[7]. Con los resultados obtenidos en este artículo, actualizando los datos necesarios y adaptando dichos números, se pretende obtener un valor para las emisiones de CO₂ de cada uno de los tipos de vehículos.

3.2 ALCANCE DEL ESTUDIO

REGIÓN DEL ESTUDIO

El estudio en el que está basado esta parte del trabajo tiene en cuenta las características generales de los vehículos en países representantes de los cinco continentes. Entre estos países se incluyen Japón, Estados Unidos, Australia, China y una media de los datos de los países de la unión europea. En el caso de este trabajo, se tomarán en ocasiones valores medios de los países mencionados anteriormente, y en otras ocasiones valores referidos a la unión europea. Mediante esto se pretende trabajar con los valores que se consideren más representativos de la ciudad de Madrid, donde se supone que se está realizando el estudio.

VEHÍCULOS ESTUDIADOS

A lo largo de este capítulo del trabajo, se enfocará el estudio en los vehículos de combustión interna, tanto diésel (DE) como gasolina (GE), y además en los vehículos eléctricos de batería (BEV). Como en el trabajo se pretenden estudiar los beneficios, en cuanto a emisiones, de la implantación de *carsharing*, es necesario conocer dichas emisiones de las dos principales tecnologías utilizadas en estos servicios de vehículos compartidos, es decir, vehículos de combustión interna y vehículos eléctricos.

En la tabla que se mostrará a continuación se mostrarán las especificaciones de cada uno de los tipos de vehículos tenidos en cuenta. Se incluirán datos de peso (kg), cilindrada (cc), capacidad de la batería (kWh), potencia (kW), par (Nm) y la eficiencia energética.

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Tabla 6: Especificaciones de los vehículos. [7]

Vehículo	Gasolina	Diesel	BEV
Peso (Kg)	1310	1360	1590
Cilindrada (cc)	1998	1498	
Cap. Batería (kWh)			35,8
Potencia (Kw)	101	77	100
Par (Nm)	196	270	290
Eficiencia energética (Europa) km/l & km/kWh	19,6	26,3	7,87

VIDA DE LOS VEHÍCULOS

Otra parte importante a tener en cuenta en el estudio es la vida total de los vehículos que se estudiarán. Esta vida de los vehículos en kilómetros, para esta parte del estudio se asumirá similar tanto para vehículos de combustión interna, como para los vehículos eléctricos. Los resultados obtenidos de la bibliografía utilizada en Kawamoto et al., 2019, serán mostrados en la tabla a continuación. En este caso si se tendrá en cuenta como valor para el estudio la media de los distintitos países mencionados anteriormente.

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Tabla 7: Vida (km) de los vehículos estudiados. [7]

Región estudiada	Vida (km)
EU	1,80E+05
US	3,20E+05
Media EU	2,00E+05
China	2,40E+05
Australia	1,50E+05
Media total	2,18E+05

ALCANCE DE LA EVALUACIÓN

El ciclo de vida entero ha sido tenido en cuenta en este estudio. Para el cálculo de las emisiones, se ha dividido el ciclo de vida completo en 5 fases. En cada una de las fases siguientes se han calculado las cantidades de CO₂ emitidas.

1. Fabricación del vehículo: extracción y producción de los materiales, producción de los componentes del vehículo y montaje del vehículo.

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

- 2. Producción del combustible y generación eléctrica:** producción de gasolina y diésel para vehículos de combustión interna (ICV); generación de energía eléctrica para vehículos eléctricos (BEV).
- 3. Uso del vehículo:** combustión del combustible en ICVs.
- 4. Mantenimiento del vehículo:** producción de las piezas de recambio.
- 5. Fin de vida:** eliminación de los vehículos una vez su vida se ha acabado.

3.3 CÁLCULO DE LAS EMISIONES DE CADA PROCESO

PROCESO DE FABRICACIÓN

En el proceso de fabricación hemos dividido el coche en distintas partes para así obtener los kg-CO₂ eq emitidos en dicho proceso. Las partes que se han tenido en cuenta son: chasis para ambos tipos de vehículos; motor y transmisión para ICV; motor e inversor para BEV y batería para vehículos BEV.

Las partes del chasis, es decir, carrocería, ruedas e interiores, se han asumido iguales para los distintos tipos de vehículos. Las emisiones de cada una de estas partes se han obtenido del estudio realizado Kawamoto et al., 2019. Las cantidades de emisiones acorde a este estudio, para la parte del chasis son de 4219 kg CO₂ equivalente.

Con respecto a las emisiones producidas en la fabricación de los motores de combustión y las transmisiones de los vehículos ICV, el valor de las emisiones de kg-CO₂ equivalente son de 1274 kg para los motores de gasolina y 1539 kg para los motores diésel.

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Para los vehículos de motorización eléctrica, en los que se tendrá en cuenta las emisiones producidas en la fabricación de motores e inversores, las emisiones totales de kg CO₂ equivalentes son de 1070 kg y 641 kg respectivamente.

Para el cálculo de las emisiones de las baterías, se tendrá en cuenta el informe realizado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA), "Comparative life-cycle greenhouse gas emissions of a mid-size BEV and ICE vehicle – Charts – Data & Statistics" [8]. En dicho estudio, se dan dos valores de kg CO₂/ kWh según el tipo de mineral utilizado para la fabricación de dicha batería. En nuestro caso se tendrá en cuenta la media de ambos valores, 35 kg/kWh para un caso normal, y el doble (70 kg/kWh) para el caso de usar minerales con grandes emisiones de gases de efecto invernadero (GHG). Teniendo en cuenta los valores mencionados anteriormente y asumiendo una capacidad de la batería de 36 kWh aproximadamente, los kg de CO₂ equivalentes a la producción de baterías es de 1879,5 kg.

Los valores de este apartado se resumen en la tabla a continuación.

Tabla 8: Emisiones fabricación

Parte	Parte específica	Dato de la referencia (kgCO₂)
Chasis (cuerpo, interior, ruedas)		4219
Motor y transmisión gasolina		1274
Motor y transmisión diesel		1539
Partes eléctricas	Batería Ion-litio	1879,5

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Motor	1070
Inversor	641

OBTENCIÓN Y USO DE LOS COMBUSTIBLES Y GENERACIÓN ELÉCTRICA

Otra fase a tener en cuenta en nuestro estudio es la obtención y uso de los combustibles fósiles necesarios para el uso de los vehículos ICV, o bien, la generación eléctrica para el uso de los vehículos BEV.

En primer lugar, obtendremos las emisiones asociadas al uso de los vehículos ICV. Para ello se tendrá en cuenta que hay dos fuentes de emisiones asociadas al uso de dichos vehículos, la producción de los combustibles y su combustión. De acuerdo con el estudio en el que está basado esta parte del trabajo, los valores de emisiones para la parte de la producción son de 0,456 kg(CO₂)/l para gasolina y 0,524 kg(CO₂)/l para el diésel. Los valores de la combustión de dichos combustibles son de aproximadamente 5 veces los de la producción, por tanto, los valores finales de emisiones asociadas a la combustión quedan de la siguiente manera: 2,28 kg/l para la gasolina y 2,62 kg/l para el diésel.

Con respecto a las emisiones generadas por los vehículos BEV será necesario tener en cuenta únicamente las emisiones procedentes de la generación eléctrica. De acuerdo con Red Eléctrica Española (REE) el valor de estas emisiones a día 13 de junio de 2022 es de 0,17 tCO₂ eq/ MWh, es decir, 0,17 kg CO₂/ kWh [16].

Con los datos mostrados en este apartado, se calculan las emisiones asociadas a la producción de combustibles y su respectivo uso para los coches ICV y BEV a partir de las expresiones mostradas a continuación.

$$CO_{2,ICV(P,C)} = \frac{CF_P + CF_C}{E_{ICV}} \cdot LD$$

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Siendo:

CO_{2,ICV} (P, C): las emisiones totales a lo largo de toda su vida útil debidas a los procesos de producción y combustión del combustible en los vehículos ICV [kg].

CF_P: Coeficiente de emisiones asociadas a la producción de combustible [kg/L].

CF_C: Coeficiente de emisiones asociadas a la quema de combustible [kg/L].

E_{ICV}: eficiencia de los vehículos ICV [km/L].

LD: vida de los vehículos ICV [km].

Por otra parte, las emisiones asociadas al uso de los vehículos eléctricos se calcularán a través de la siguiente fórmula:

$$CO_{2,BEV(EG)} = \frac{CF_{EG}}{E_{BEV}} * LD$$

Siendo:

CO_{2,BEV} (EG): los kilogramos finales obtenidos de producción y combustión del combustible asociado a los vehículos BEV [kg].

CF_{EG}: Coeficiente de emisiones asociado a la generación eléctrica [kg/kWh].

E_{BEV}: eficiencia de los vehículos BEV [km/kWh].

LD: vida de los vehículos ICV [km].

Los datos y resultados se muestran en la tabla a continuación.

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Tabla 9: Coeficientes de emisiones, eficiencia y vida de los vehículos.

Datos	Gasolina	Diesel	Eléctrico
CF _P [kg/L]	0,456	0,524	
CF _C [kg/L]	2,28	2,62	
CF _{EG} [kg/kWh]			0,17
E _{ICV} [km/L]	19,6	26,3	
E _{BEV} [km/kWh]			14
LD [km]	2,18E+05	2,18E+05	2,18E+05
Emisiones [kg]	30431	26061	2647

FASE DE MANTENIMIENTO

La siguiente fase a tener en cuenta en el análisis del ciclo de vida es el mantenimiento de los vehículos a lo largo de su vida. Algunas de las partes de dichos vehículos necesitan ser reemplazados periódicamente. Los valores de emisiones producidas en cada uno de los recambios son los correspondientes a la producción de dichas partes. Los intervalos de tiempo en los que se asume que se realiza un mantenimiento y las emisiones asociadas a ellos han sido sacados de Kawamoto et al., 2019 [7]. Estos valores se muestran en la tabla a continuación.

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Tabla 10: Emisiones del mantenimiento

Parte	Intervalo de revisión (km)	(kg-CO₂/ mantenimiento)
Neumático	40000	108
Batería ICE	50000	19,5
Aceite	10000	3,22
Líquido de refrigeración	27000	7,03
Bateria EV *	160000	1879,5

FIN DE VIDA

Con respecto a las emisiones asociadas al fin de vida del vehículo se tendrán en cuenta las fases siguientes: Desmantelamiento, achatarramiento y clasificación, transporte de los restos triturados y vertedero. Estas emisiones se han asumido iguales tanto para los vehículos diésel, gasolina y eléctricos (DE, GE, BEV). Los valores de emisiones han sido obtenidos del estudio Kawamoto et al., 2019 [7]. Los datos se resumen en la tabla a continuación.

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Tabla 11: Emisiones asociadas al fin de vida

Proceso	Emisiones CO2 (kg-CO2)
Desmantelar	
Trituración y clasificación	24
Transporte	4
Vertedero	38
Total	66

A la vista de estos resultados, las emisiones asociadas al desmantelamiento de los vehículos se han considerado nulas ya que son claramente despreciables en comparación con el resto de los apartados.

3.4 RESULTADOS

Teniendo en cuenta todo lo mencionado en los apartados anteriores, es decir, teniendo en cuenta los procesos de fabricación, uso y obtención de los combustibles, mantenimiento y fin de vida, podemos obtener unas emisiones totales de la vida de los vehículos estudiados.

Como primera observación, se puede realizar una comparativa de los tres tipos de vehículos DE, GE y BEV teniendo en cuenta únicamente los procesos de fabricación, mantenimiento y fin de vida. Representado en un gráfico de barras quedaría de la siguiente manera. entiendo

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

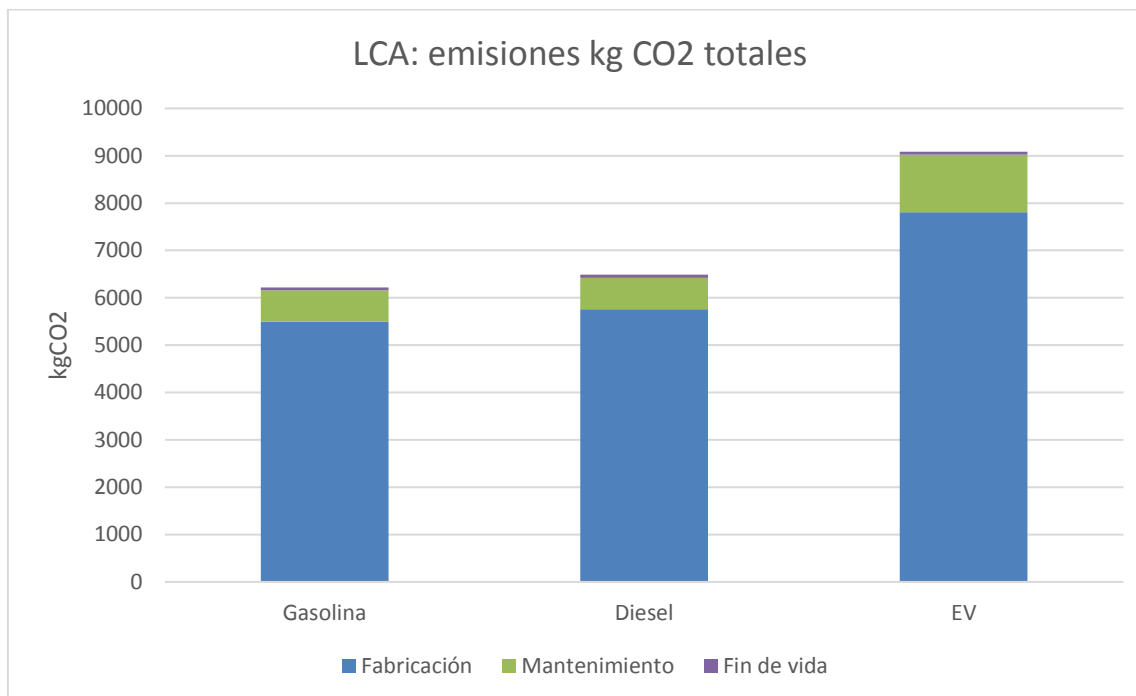


Ilustración 1: Resultado inicial

Es interesante observar que, en este caso, en el que no se tiene en cuenta el uso del coche, las emisiones por fabricar un coche, sus recambios y desmantelarlo, es claramente superior en los vehículos eléctricos. Esta diferencia se debe principalmente las emisiones producidas en la fabricación de las baterías, que, a diferencia de su contraparte, el motor y caja de cambios de los motores de combustión, emiten más gases de manera significativa.

Los resultados numéricos de las emisiones producidas en las etapas de fabricación, mantenimiento y fin de vida son las siguientes.

Tabla 12: Emisiones fase fabricación, mantenimiento y fin de vida.

	Gasolina	Diésel	Eléctrico
Emisiones [kgCO₂]	6222 kg	6487 kg	10703 kg

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

Una segunda observación interesante es estudiar la evolución de los tres tipos de coches según estos van realizando kilómetros a lo largo de su vida. Para representar la evolución de las emisiones generadas por cada tipo de vehículo, se ha tenido en cuenta que la vida aproximada de los tres vehículos es de aproximadamente 15 años, y que la vida en kilómetros de estos es de 218.000 km. De esta manera, cada vehículo recorrería aproximadamente 14.500 km anuales. Representado mediante una gráfica quedaría de la siguiente manera: (GE=Gasolina; DE=Diesel; BEV= Eléctrico)

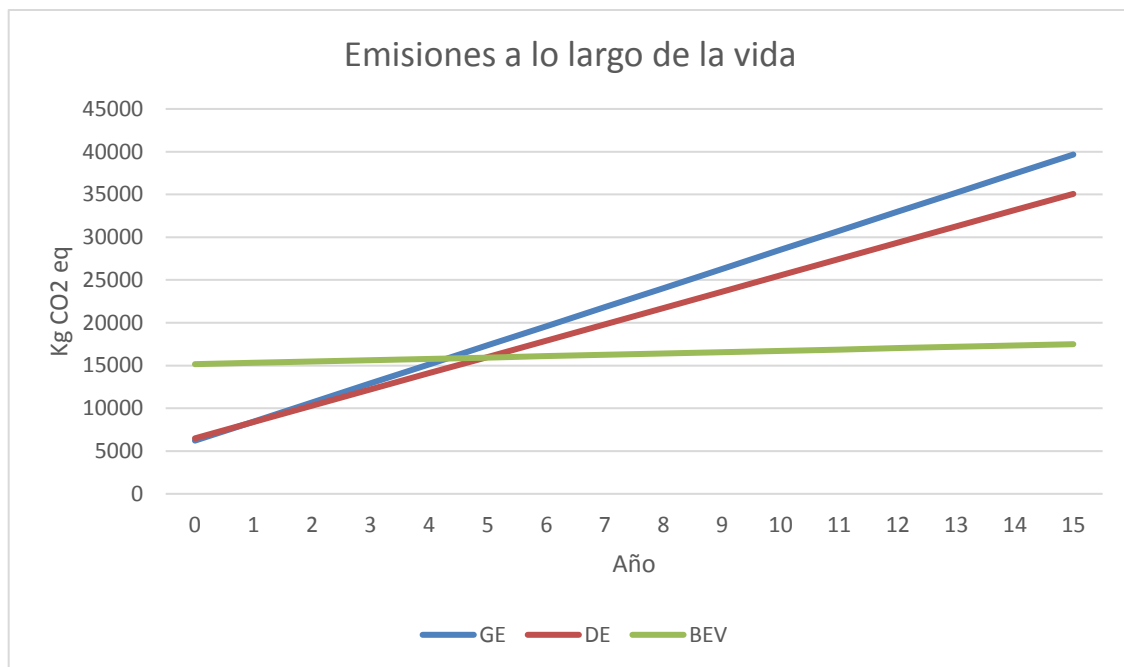


Ilustración 2: Evolución de las emisiones según LCA.

Como continuación de la gráfica anterior, y en relación con lo que se calcula en apartados posteriores, es interesante trabajar con datos acordes a los coches que serán utilizados como *carsharing*. Estos datos provienen de la fuente: Amatuni et al., 2020 [10]. De acuerdo a la referencia, los coches destinados a este servicio recorrerán anualmente 32000 kilómetros y tendrán una vida aproximada de unos 10 años. Por tanto, la adaptación a los datos que usaremos más adelante en el modelo, Capítulo 5. queda de la siguiente manera:

*CÁLCULO DE EMISIONES DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN INTERNA Y COCHES ELÉCTRICOS
MEDIANTE UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.*

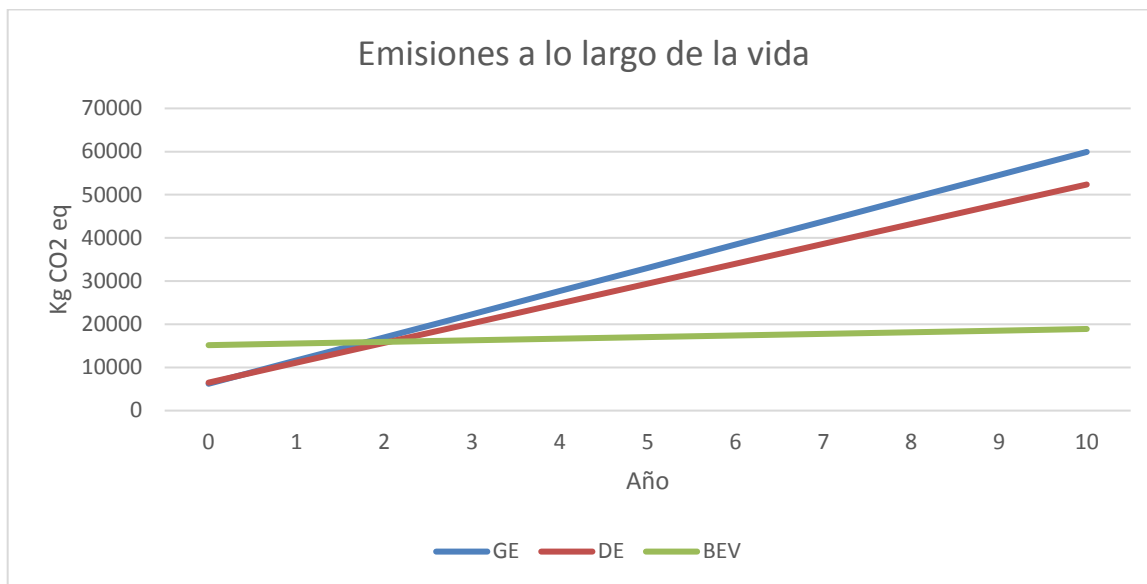


Ilustración 3: Evolución de las emisiones según LCA (caso carsharing)

Por último, las emisiones producidas en total en la vida del vehículo, queda de la siguiente manera.

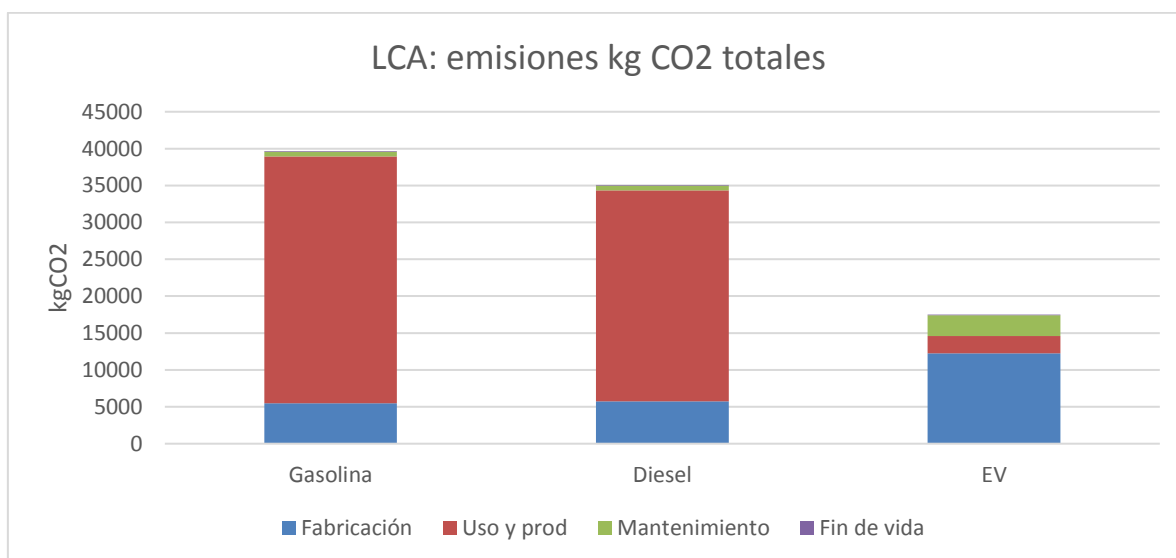


Ilustración 4: Emisiones finales.

Capítulo 4. ESTUDIO DE LA DEMANDA DE

CARSHARING

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

La demanda del *carsharing* se estima basándose en el estudio y encuesta online realizada por TRANSyT- UPM respecto a la percepción de la ciudadanía, el comportamiento de los usuarios y las implicaciones para la movilidad urbana del uso compartido de motocicletas [9]. Este tipo de encuestas online permite contactar con todo tipo de usuarios del transporte urbano y obtener datos de distintas ciudades. Específicamente, esta encuesta se llevó a cabo para investigar las actitudes y los factores más importantes que determinan el uso del vehículo compartido. Aunque la información recogida en dicha encuesta incluye un nivel suficiente de heterogeneidad, algunos de los factores sociodemográficos tenidos en cuenta, no se pueden considerar representativos de la totalidad de la población.

La encuesta fue llevada a cabo entre los meses de abril y junio de 2018 e iba especialmente dirigida a aquellas personas residentes en ciudades españolas con acceso a estos servicios de vehículos compartidos (Madrid, Barcelona, Valencia, Zaragoza, Sevilla, Málaga, Murcia, Alicante, Granada, Córdoba y Cádiz). La distribución de la encuesta, realizada online, como ya se ha mencionado antes, se compartió en redes sociales, aplicaciones de mensajería y mediante folletos repartidos en la calle. Mediante este proceso se consiguió un total de 505 participantes inicialmente, pero debido a la entrega de encuestas incompletas y la falta de variables importantes a tener en cuenta, se trabajó con un total de 430 respuesta válidas. El contenido de la encuesta se encuentra resumido en la Tabla 13: Principales aspectos y variables de la encuesta. Fuente: TRANSyT [9]

A las personas encuestadas se le preguntaron sobre los siguientes aspectos:

- Información socioeconómica y demográfica general.
- Variables relacionadas con la movilidad.
- Actitudes y preferencias personales.
- Percepción hacia los modelos de vehículos compartidos.

Tabla 13: Principales aspectos y variables de la encuesta. Fuente: TRANSyT [9]

Aspectos	Variables medidas
Información socioeconómica y demográfica general.	Edad, sexo, ocupación, ingresos mensuales netos, nivel de educación, estructura familiar, código postal
Variables relacionadas con la movilidad.	Posesión de carné de conducir y abono transporte, posesión de vehículo, patrones de movilidad urbana (frecuencia de uso de distintos modos, número de viajes).
Actitudes y preferencias personales.	Actitudes frente a nuevas tecnologías, factores de decisión respecto al modo de transporte usado y percepción sobre la necesidad de posesión de un vehículo en el futuro.
Percepción hacia los modelos de vehículos compartidos.	Adopción, frecuencia de uso, intención de uso de un vehículo compartido, factores de decisión, propósito del viaje, tiempo de viaje, aspectos de mejora en los servicios de vehículo compartido, razones principales para el uso del vehículo compartido.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Los datos obtenidos de la muestra relacionados con la información socioeconómica y demográfica general y las variables relacionadas con la movilidad serán mostrados en las Tabla 14: Variables socioeconómicas y demográficas generales. Fuente: TRANSyT [9] y Tabla 15: Variables relacionadas con la movilidad. Fuente: TRANSyT [9].

Tabla 14: Variables socioeconómicas y demográficas generales. Fuente: TRANSyT [9]

	Variables	Subgrupo	Resultados
Variables socioeconómicas y demográficas generales	Edad	18-25 años	204
		26-34 años	105
		35-49 años	77
		Más de 49 años	44
Sexo		Hombre	290
		Mujer	140
Ocupación		Empleado	167
		Estudiante	149
		Est/emp tiempo parcial	103
			11

ESTUDIO DE LA DEMANDA DE CARSHARING

		En paro, jubilado, trabaja en casa	
Ingresos mensuales	Sin ingresos		128
	Menos de 1000 €		111
	1000-2000 €		109
	Más de 2000€		82
Educación	Estudios universitarios		359
	Estudios no universitarios		71
Estructura familiar	Vive solo		30
	Con compañeros de piso		146
	Pareja sin hijos		63
	Pareja con hijos menores de 24		173
	Pareja con hijos mayores de 25		18
Lugar de residencia	de Centro de la ciudad		233
	Periferia de la ciudad		197
Smartphone	Poseen smartphone		421

Tabla 15: Variables relacionadas con la movilidad. Fuente: TRANSyT [9]

	Variables	Subgrupo	Resultados
Variables relacionadas con la movilidad	Carne de conducir	Ciclomotores	169
		Moto	139
		Coche	374
		Ninguno	46
	Conduce moto	Si	256
	Posesión vehículo	Coche propio	188
		Dispone de coche	121
		No tiene coche	121
		Ciclomotor/ moto propia	63
		Dispone de ciclomotor/ moto	19
	No tiene ciclomotor/ moto	348	
Abono transporte	Si	335	
Ha usado carsharing alguna vez	Si	196	
Ha usado moto sharing alguna vez	Si	109	

ESTUDIO DE LA DEMANDA DE CARSHARING

Sabe de la existencia de vehículos compartidos	Si	335
Nº de viajes diarios entre semana	Menos de 2 viajes	41
	2-3 viajes	226
	4-5 viajes	128
	Más de 5 viajes	35
Nº de viajes diarios en fines de semana	Menos de 2 viajes	118
	2-3 viajes	220
	4-5 viajes	70
	Más de 5 viajes	22
Necesidad de poseer un vehículo privado en el futuro	Será necesario	278
	No será necesario	152

Un análisis preliminar de los datos, en relación con la información socioeconómica y demográfica, muestra la presencia más baja de personas de edad mayor que 35 años (28,2%) y mujeres (32,5%). Además, casi el 35% de los participantes son estudiantes, y aproximadamente el 39%, empleados. El nivel de renta está distribuido adecuadamente en la muestra, pero cabe destacar que el 30% de esta respondieron no disponer de renta propia o que dependen de los ingresos familiares. En relación con la estructura familiar hay una

gran parte de familias con un hijo y gente que comparte piso. Con respecto a la localización de los domicilios, estos están distribuidos heterogéneamente. Por último, la muestra indica una gran penetración tecnológica (98% de la muestra usa smartphones).

Con respecto a las variables de movilidad, la muestra indica que el 89% de la población tiene licencia para conducir. Sin embargo, menos del 60% indican saber conducir una moto, lo que puede llegar a significar un obstáculo importante a la hora de adoptar los modos de vehículos compartidos como modo de transporte habitual. Además, una gran parte de la muestra indica que posee al menos un vehículo privado. En la Tabla 15: Variables relacionadas con la movilidad. Fuente: TRANSyT [9] también se observa que casi un 78% de los encuestados posee un abono mensual de transporte público. Referente a la adopción de la movilidad compartida, casi la mitad afirma haber usado los servicios de *carsharing*, el 72% son conscientes de la existencia de servicios compartidos de motocicletas y un cuarto de la muestra, afirma haber usado estos servicios. Los datos muestran también un mayor uso de estos servicios de movilidad compartida durante los días entre semana más que los fines de semana. Finalmente, es interesante recalcar que un 64% afirma que no será necesario tener un vehículo privado en un futuro, ya que este será sustituido por otros modos de transporte más eficientes.

Por último, las personas fueron preguntadas en la encuesta sobre su frecuencia de uso de los distintos modos de transporte en el periodo de una semana. Asignando unos pesos a los datos de la encuesta, se calcula un reparto modal de los porcentajes de los viajes realizados en el curso de una semana. Este reparto modal lo conforman principalmente: modos activos (34%), transporte público (28%) y vehículos privados (23%). Globalmente, el siguiente gráfico representa los patrones de movilidad diarios de las ciudades españolas estudiadas.

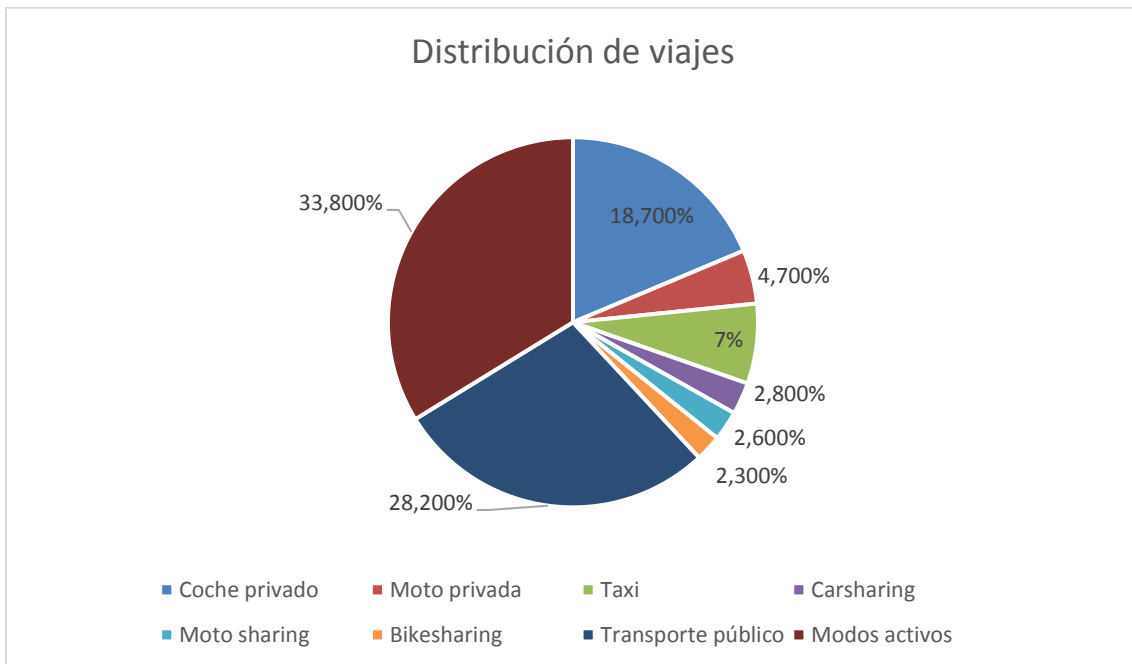


Ilustración 5: Distribución de viajes diarios. Fuente: TRANSyT [9]

4.3 METODOLOGÍA Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.

Una vez obtenidos los datos, se llevó a cabo un análisis estadístico de estos para explorar la posible relación entre las distintas variables estudiadas. Para realizar este estudio se utilizaron análisis y test no paramétricos y análisis de la varianza de acuerdo con Aguilera-García et al., 2021 [9]. Estos test no paramétricos se usaron para determinar si las variables socioeconómicas, demográficas y relacionadas con el transporte, eran significativamente diferentes entre usuarios frecuentes, ocasionales y no usuarios de los servicios de vehículos compartidos. Análisis de la varianza se usaron posteriormente para determinar si existían diferencias significativas en variables específicas relacionadas con el uso de los vehículos compartidos. Finalmente se usaron modelos logísticos para analizar los factores determinantes del uso potencial de los servicios de vehículos compartidos y explorar las opiniones de los encuestados sobre como de necesario va a ser tener un vehículo privado en el futuro.

De acuerdo con la teoría microeconómica sobre el comportamiento del consumidor, específicamente basándonos en la teoría de utilidad, el individuo elegirá la opción que tenga la máxima utilidad (en nuestro caso, el uso potencial de los servicios de vehículos compartidos). Cada decisión es tomada en función de las variables socioeconómicas y demográficas del individuo (I), atributos relacionados con la movilidad (M) y las actitudes y preferencias de este (A). Por tanto, la utilidad de nuestro servicio podrá ser expresada de la siguiente manera y acorde a Aguilera-García et al., 2021 [9]:

$$U_{in} = f(I_{in}, M_{in}, A_{in})$$

En este caso, U representa la utilidad ganada por el individuo 'n' al elegir la opción 'i'. U_{in} es considerada una variable aleatoria y por tanto formada por una suma de variables observadas V_{in} y una componente aleatorio ε_{in} .

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} = \sum \beta_n X_{in} + \varepsilon_{in}$$

X_{in} en este caso es un vector de características cuantificables que definen la utilidad, mientras que β_{in} es un vector de coeficientes que pueden ser estimados. La teoría económica concluye que el individuo 'n' elegirá la opción con mayor utilidad. La probabilidad de que el individuo 'n' escoja la opción 'i' se expresa de la siguiente manera:

$$P_i = \frac{e^{V_{in}}}{\sum e^{V_{in}}}$$

4.4 RESULTADOS DE LA ENCUESTA.

A continuación, se recogen los resultados alcanzados por TRANSyT en la encuesta. De los mismos se obtiene:

- Una distribución de la población en usuarios frecuentes, ocasionales y no usuarios (con sus respectivos porcentajes).
- Unas frecuencias de uso de cada uno de los modos en función del tipo de usuario asignado previamente.
- Los principales modos de transporte a los que sustituye el uso del vehículo compartido en función del tipo de usuario.

DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN

Teniendo en cuenta los factores socioeconómicos y demográficos mostrados en la Tabla 14: Variables socioeconómicas y demográficas generales. Fuente: TRANSyT [9] y las variables relacionadas con la movilidad mostradas en la Tabla 15: Variables relacionadas con la movilidad. Fuente: TRANSyT [9], se obtienen la siguiente distribución de la población en usuarios frecuentes, ocasionales y no usuarios:

Tabla 16: Distribución de los usuarios. Fuente: TRANSyT [9]

	Frecuente	Ocasional	No usuario
Muestra total	74,7%	16,3%	9,1%

FRECUENCIA DE USO DE CADA UNO DE LOS MODOS

Al igual que en el apartado anterior, del tratamiento de los datos mostrados en la Tabla 14: Variables socioeconómicas y demográficas generales. Fuente: TRANSyT [9] y Tabla 15: Variables relacionadas con la movilidad. Fuente: TRANSyT [9], se obtienen unas frecuencias de uso de cada uno de los modos de transporte en función del tipo de usuario asignado en el apartado anterior.

Tabla 17: Frecuencias de los modos en función del tipo de usuario. Fuente: TRANSyT [9]

Usuario	Coche privado	Moto privada	Taxi	CS	Bikesharing	Transporte público	Modos activos	Motosharing
Frecuente	13,10%	7,10%	9,30%	4,60%	6,50%	14,70%	28,00%	16,70%
Ocasional	17,40%	8,70%	6,90%	3,20%	3,10%	23,00%	33,40%	4,30%
No usuario	19,80%	3,40%	6,70%	0,00%	0,00%	31,50%	34,70%	3,90%

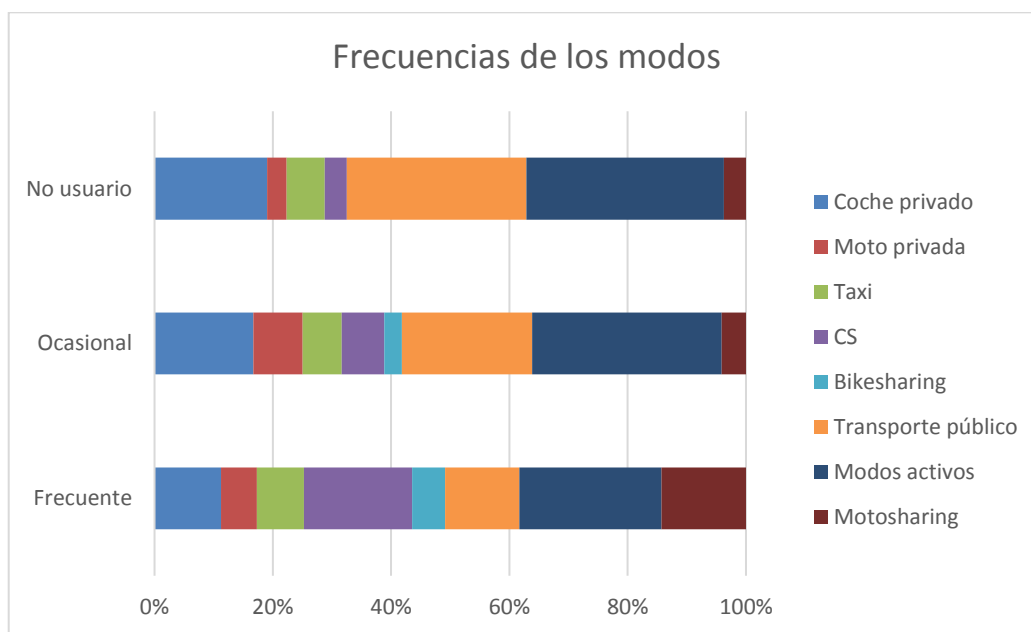


Ilustración 6: Frecuencias de los modos en función del tipo de usuario. Fuente: TRANSyT [9]

Observando los resultados obtenidos, y de acuerdo con el estudio realizado por TRANSyT [9], cuando se realiza un análisis de la varianza, se concluye que existen diferencias significativas entre los usuarios en el uso del transporte público. Por tanto, debido a la tendencia de los usuarios frecuentes a usar vehículos compartidos en vez del transporte público, los beneficios de la implantación de los servicios de vehículos compartidas siguen

siendo inciertos. Este punto será analizado más adelante. Este estudio se realizará mediante la comparación de distintos escenarios en los que la implantación del carsharing entre la población sea mayor o menor.

Observando los datos con más detenimiento y de acuerdo de nuevo con el estudio realizado por TRANSyT, se puede observar que los servicios de vehículos compartidos son usados especialmente por los usuarios clasificados como “usuarios frecuentes”, llegando a realizar el 37,1 % de los viajes en este tipo de servicios. Además, cuando se realiza un análisis de la varianza en este estudio, se observa también que existen diferencias significativas entre los tres tipos de usuarios para el uso de los modos de *bikesharing*, *carsharing* y *motosharing*.

Los resultados obtenidos sugieren que estos modos de vehículos compartidos pueden complementar el uso de otros modos. En principio esta modalidad de vehículo compartido debería actuar como método sustitutivo a otras alternativas peores para el medioambiente, y no como sustitución al uso de modos activos o el uso del transporte público.

MODOS SUSTITUIDOS CON LA IMPLANTACIÓN DEL CARSHARING

Continuando con la reflexión final del apartado anterior, y en concordancia con el estudio de la demanda de los vehículos compartidos realizado por TRANSyT, más los datos obtenidos por su encuesta, se pueden obtener datos sobre los modos de transporte a los que sustituye principalmente el uso del *carsharing*, *bikesharing* y *motosharing*. Una pregunta específica realizada en la encuesta preguntaba a los individuos sobre la opción de transporte que usaban previamente a usar estos servicios compartidos. Esta pregunta tiene la intención de informar sobre el cambio modal experimentado en la movilidad urbana debido a la implantación de estos servicios. Los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 18: Porcentaje de viajes a los que sustituye el carsharing

Usuarios	Coche privado	Moto privada	Taxi	Bikesharing	Transporte público	Modos activos
Frecuente	26,30%	26,30%	13,20%	7,90%	44,70%	7,90%
Ocasional	14,30%	14,30%	8,90%	10,70%	55,40%	10,70%

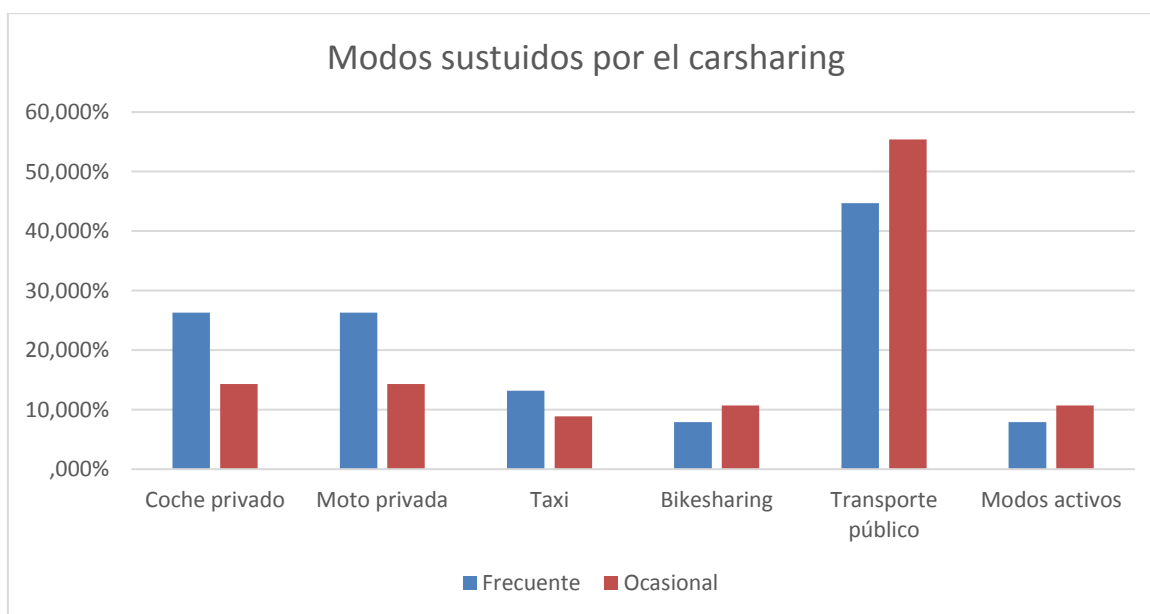


Ilustración 7: modos sustuidos por el vehículo compartido. Fuente: Elaboración propia, adaptado de TRANSyT.[9]

Como puede observarse en los resultados obtenidos, los modos de vehículos compartidos están sustituyendo parcialmente a los vehículos privados (26,4% para usuarios frecuentes y 14,3% para ocasionales). Por otra parte, una gran mayoría de los viajes a los que sustituye proceden del transporte público, siendo un 44,7% para usuarios frecuentes y un 55,4% para

usuarios ocasionales. Por tanto, a priori los resultados son ambiguos sobre el posible efecto beneficioso de la implantación del vehículo compartido.

4.5 HIPÓTESIS SOBRE EL COCHE COMPARTIDO

INTRODUCCIÓN

Para el estudio de la demanda del vehículo compartido que se realizará en este trabajo, se obtendrá una distribución de kilómetros anual en función de los distintos modos de transporte, en diferentes escenarios conseguidos al plantear un problema de dos variables, modeladas mediante las dos siguientes hipótesis:

1. Los usuarios frecuentes y ocasionales aumentarán anualmente mediante un factor que será asignado. Partiendo de la distribución de usuarios mostrada en la Tabla 16: Distribución de los usuarios. Fuente: TRANSyT [9], y estableciendo una variación de usuarios anual, la frecuencia de cada tipo de usuario (frecuente, ocasional o no usuario) evolucionará de acuerdo a ese porcentaje anual elegido. De esta manera, obtendremos una distribución de usuarios para cada año estudiado, es decir, un porcentaje de usuarios frecuentes, ocasionales y no usuarios de los servicios de vehículo compartido.
2. Con respecto a la distribución de los modos en función del tipo de usuario, también se establecerá una variación anual de cada uno de los modos para realizar el estudio de la demanda. Para ello tendremos en cuenta dos factores, uno, que será controlado por nosotros, que será el porcentaje anual de viajes que tomará el vehículo compartido del resto de modos y, dos, los porcentajes en los que estos viajes son sustituidos por dicho servicio, es decir, las frecuencias mostradas en la Tabla 18: Porcentaje de viajes a los que sustituye el carsharing

Para poder obtener una distribución final de kilómetros realizados por cada modo será necesario establecer un número total de habitantes y unos kilómetros diarios que recorra cada habitante. Estos kilómetros anuales totales recorridos, que se asumen constantes a lo

largo de todo el estudio, se repartirán entre todos los modos estudiados usando las frecuencias mencionadas en los puntos anteriores. Para obtener la cantidad de kilómetros realizados por cada modo de transporte cada año, se multiplicará los kilómetros totales recorridos por el total de la población por la frecuencia de cada usuario en dicho año y por la frecuencia del modo de transporte estudiado.

DISTRIBUCIÓN DE USUARIOS

Como se ha explicado anteriormente, la primera hipótesis que se ha tenido en cuenta para el estudio de la demanda es la variación en la estructura de la población. La hipótesis que se ha llevado a cabo en este estudio es relativa a la cantidad de la población categorizada como usuario frecuente. Se asumirá en los distintos casos estudiados que los considerados como usuario frecuente aumentarán su porcentaje anual, y que, por tanto, los usuarios ocasionales y no usuarios varían de acuerdo al criterio que se considere más adecuado. Además, es importante recalcar que esta variación anual será una variación lineal. Para entender el funcionamiento del modelo realizado lo mejor es ilustrarlo con un ejemplo.

En el siguiente caso se asumirá que los usuarios frecuentes aumentarán en un 3% anual. Asumiendo que los usuarios ocasionales aumentan dos tercios de lo que aumentan los usuarios frecuentes, estos aumentarán un 2% anual. Por último, todos estos usuarios que pasan a ser frecuentes y ocasionales se asumen que anteriormente eran no usuarios, por tanto, los no usuarios disminuirán un 5% anual. Los resultados se muestran a continuación.

Tabla 19: Ejemplo distribución de usuarios.

Años	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Frecuente	9,1%	12,1%	15,1%	18,1%	21,1%	24,1%	27,1%	30,1%	33,1%	36,1%
Ocasional	16,2%	18,2%	20,2%	22,2%	24,2%	26,2%	28,2%	30,2%	32,2%	34,2%
No usuario	74,7%	69,7%	64,7%	59,7%	54,7%	49,7%	44,7%	39,7%	34,7%	29,7%
Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

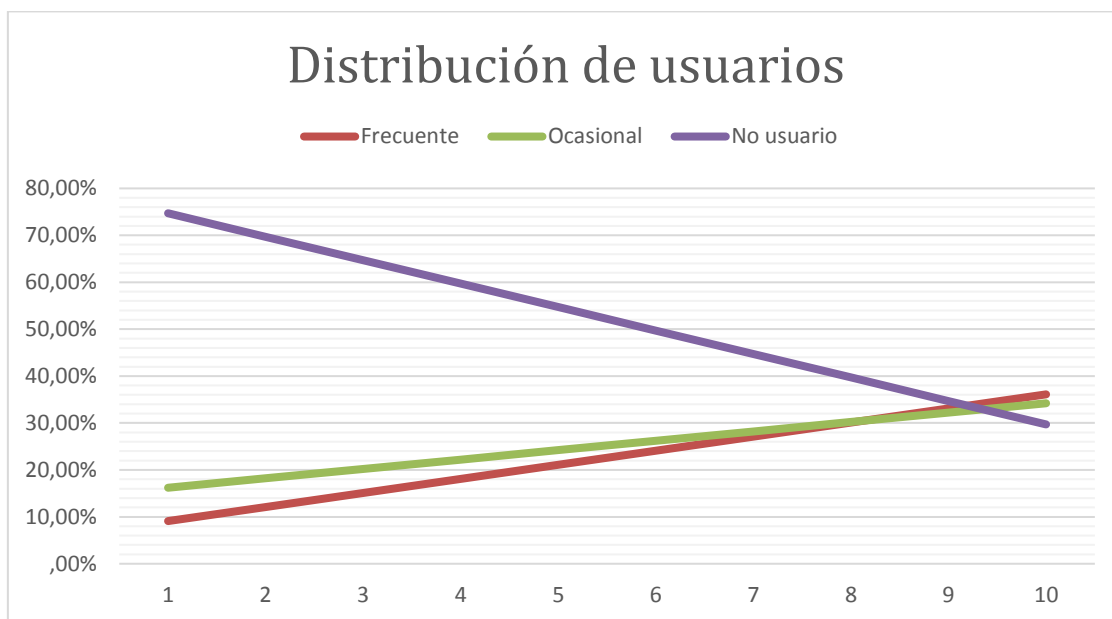


Ilustración 8: Ejemplo distribución de usuarios.

FRECUENCIAS DE USO DE LOS MODOS

La segunda hipótesis que se ha tenido en cuenta en este estudio es la evolución de los hábitos de los distintos tipos de usuarios. Se ha modelado dicha hipótesis de tal manera que los usuarios frecuentes y ocasionales hagan cada vez más viajes con los servicios de vehículos

compartidos. A la hora de realizar distintos escenarios para llevar a cabo el estudio, se elegirá un porcentaje anual de aumento del uso del modo de vehículo compartido. Dentro de esta hipótesis también se asume que el aumento del uso del vehículo compartido es a costa del resto de modos de transporte usados en este estudio. Por último, esta evolución del uso de los distintos modos se supone que es lineal. Esta suposición se muestra en la Ilustración 7: modos sustituidos por el vehículo compartido. Fuente: Elaboración propia, adaptado de TRANSyT.[9]. A continuación, se muestra un ejemplo para ilustrar mejor esta suposición.

El ejemplo que se mostrará a continuación asume que el uso de vehículo compartido entre los usuarios frecuentes y ocasionales aumenta un 3% anual, y que el resto de los modos disminuye acorde a los porcentajes mostrados en la Ilustración 7: modos sustituidos por el vehículo compartido. Fuente: Elaboración propia, adaptado de TRANSyT.[9].

Tabla 20: Ejemplo frecuencia de los modos para usuarios frecuentes.

Tabla de variación	Modo	Aumento anual
Frecuente	Coche privado	-0,39%
	Moto privada	-0,39%
	Taxi	-0,40%
	Carsharing	3,00%
	Bikesharing	-0,24%
	Transporte público	-1,34%
	Modos activos	-0,24%

Tabla 21: Ejemplo frecuencia de los modos para usuarios ocasionales

Tabla de variación	Modo	Aumento anual
Ocasional	Coche privado	-0,21%
	Moto privada	-0,21%
	Taxi	-0,27%
	Carsharing	3,00%
	Bikesharing	-0,32%
	Transporte público	-1,66%
	Modos activos	-0,32%

Fuera de nuestra hipótesis queda que el modo de transporte “*motosharing*” quede afectado por la implantación del *carsharing*. Se considera que actúan como modos similares y que por tanto, que aumente la demanda de los coches compartidos, no tiene porque robar viajes a los trayectos compartidos en moto.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, las frecuencias del uso de cada uno de los modos para cada año en función del tipo de usuario quedarán como se muestra en las tablas siguientes. Tener en cuenta que: CP= coche privado; MP= moto privada; CS= carsharing; BS= Bikesharing; Tte.P=Transporte público; MA= modos activos; MS= motosharing.

Tabla 22: Distribución de usuarios ocasionales.

Ocasionales										
Años	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CP	13,1	12,7	12,3	11,9	11,5	11,1	10,7	10,3	9,9%	9,5%
	%	%	%	%	%	%	%	%		
MP	7,1%	6,7%	6,3%	5,9%	5,5%	5,1%	4,7%	4,3%	3,9%	3,5%
Taxi	9,3%	8,9%	8,5%	8,1%	7,7%	7,3%	6,9%	6,5%	6,1%	5,7%
CS	4,6%	7,6%	10,6	13,6	16,6	19,6	22,6	25,6	28,6	31,6
			%	%	%	%	%	%	%	%
BS	6,5%	6,3%	6,0%	5,8%	5,6%	5,3%	5,1%	4,8%	4,6%	4,4%
Tte.P	14,7	13,4	12,0	10,7	9,3%	8,0%	6,7%	5,3%	4,0%	2,6%
	%	%	%	%						
MA	28,0	27,8	27,5	27,3	27,1	26,8	26,6	26,3	26,1	25,9
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MS	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7	16,7
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Tabla 23: Distribución de usuarios frecuentes.

Frecuente										
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CP	17,4	17,2	17,0	16,8	16,5	16,3	16,1	15,9	15,7	15,5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MP	8,7%	8,5%	8,3%	8,1%	7,8%	7,6%	7,4%	7,2%	7,0%	6,8%
Taxi	6,9%	6,6%	6,4%	6,1%	5,8%	5,6%	5,3%	5,0%	4,8%	4,5%
CS	3,2%	6,2%	9,2%	12,2	15,2	18,2	21,2	24,2	27,2	30,2
				%	%	%	%	%	%	%
BS	3,1%	2,8%	2,5%	2,1%	1,8%	1,5%	1,2%	0,9%	0,5%	0,2%
Tte.	23,0	21,3	19,7	18,0	16,4	14,7	13,0	11,4	9,7%	8,0%
P	%	%	%	%	%	%	%	%		
MA	33,4	33,1	32,8	32,4	32,1	31,8	31,5	31,2	30,8	30,5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MS	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%	4,3%
Tota	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
l	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Tabla 24: Distribución de no usuarios.

No usuarios										
	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CP	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MP	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%
Taxi	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%	6,7%
CS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
BS	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Tte.	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
P	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MA	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7	34,7
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MS	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%	3,9%
Tota	0,0%	0,0%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
I			%	%	%	%	%	%	%	%

Como se puede observar en esta última tabla, queda fuera de nuestra hipótesis que los no usuarios de los servicios de vehículos compartidos cambien la frecuencia de uso de los distintos modos de transporte. Por tanto, estas frecuencias se suponen constantes a lo largo de los años del estudio.

DISTRIBUCIÓN DE KILÓMETROS

Una vez conocemos la distribución anual de los usuarios y la distribución anual de los modos de transporte según los distintos tipos de usuarios, podemos obtener un reparto de los kilómetros totales recorridos en ciudad, y obtener así cuantos kilómetros recorre anualmente cada uno de los modos.

Para ello, es necesario conocer la muestra del estudio. En este caso tomaremos el caso en concreto de la ciudad de Madrid. De acuerdo al INE (Instituto Nacional de Estadística), la población actual en la ciudad de Madrid ronda los 3,2 millones de habitantes [17]. Por otra parte, según una publicación del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a los españoles les corresponde una media de 2,4 viajes diarios por persona. Además, en la región del estudio, que es la almendra central de Madrid, los viajes tienen una distancia media de unos 3 km por viaje. Por tanto, la distancia de referencia para el estudio será de 7,2 km por persona al día. Se tomará dicho valor para el estudio, aunque se debe mencionar que estos datos variarán de gran manera entre personas y familias [18]. Los datos se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 25: Datos movilidad de Madrid

Datos	
Personas	3,22 millones
km/año*persona	2628
km/día*persona	7,2

Cuando aplicamos estos datos junto con las frecuencias obtenidas en los apartados anteriores obtenemos la distribución de kilómetros deseada. A continuación, se mostrará una leyenda con las distintas componentes de la fórmula que se usará para calcular el número de kilómetros según el tipo de usuario y el modo correspondiente.

- **P:** habitantes totales en la ciudad de estudio.
- **KM:** kilómetros totales recorridos por una persona en un año.
- **i:** modos de transporte.
- **j:** tipos de usuario.
- **k:** año del estudio.
- **M_{ijk}:** frecuencia del modo 'i' para el usuario 'j' en el año 'k'.
- **U_{jk}:** frecuencia del tipo usuario 'j' en el año 'k'.
- **D_{ijk}:** kilómetros finales recorridos por el modo de transporte 'i', tipo de usuario 'j' y en el año 'k'

La fórmula para estimar los kilómetros totales recorridos por el modo de transporte 'i' por todos los usuarios 'j' en el año 'k' es la siguiente:

$$D_{ijk} = P * KM * M_{ijk} * U_{jk}$$

Por tanto, las distribuciones de kilómetros finales, siguiendo el ejemplo que se ha mostrado en los apartados anteriores, es decir, teniendo en cuenta las siguientes suposiciones:

- Respecto a la distribución de usuarios. Datos de acuerdo con Ilustración 8: Ejemplo distribución de usuarios.
 - Aumento de los usuarios frecuentes del 3%.
 - Aumento de los usuarios ocasionales del 2% anual.
 - Descenso de los no usuarios del 5%.
- Respecto al uso de los modos de transporte. Datos de acuerdo con Tabla 22: Distribución de usuarios ocasionales. Tabla 23: Distribución de usuarios frecuentes. Tabla 24: Distribución de no usuarios.
 - Aumento del uso de los servicios de vehículos compartidos del 3% para usuarios frecuentes y ocasionales.
 - Descenso del resto de modos de acuerdo con Ilustración 7: modos sustituidos por el vehículo compartido. Fuente: Elaboración propia, adaptado de TRANSyT.[9]

Los resultados obtenidos para este ejemplo, en kilómetros, son los siguientes:

Tabla 26: Distribución de km usuarios frecuentes, ocasionales, no usuarios.

Frecuente										
Años	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CP	1,01E +08	1,30E +08	1,57E +08	1,83E +08	2,06E +08	2,27E +08	2,46E +08	2,64E +08	2,79E +08	2,92E +08
MP	5,47E +07	6,87E +07	8,07E +07	9,07E +07	9,87E +07	1,05E +08	1,09E +08	1,11E +08	1,11E +08	1,09E +08
Taxi	7,17E +07	9,13E +07	1,09E +08	1,24E +08	1,38E +08	1,49E +08	1,59E +08	1,66E +08	1,72E +08	1,75E +08
CS	3,55E +07	7,79E +07	1,36E +08	2,08E +08	2,97E +08	4,00E +08	5,19E +08	6,53E +08	8,02E +08	9,66E +08
BS	5,01E +07	6,42E +07	7,71E +07	8,87E +07	9,92E +07	1,08E +08	1,17E +08	1,23E +08	1,29E +08	1,34E +08
Tte.P	1,13E +08	1,37E +08	1,54E +08	1,64E +08	1,67E +08	1,63E +08	1,53E +08	1,35E +08	1,11E +08	8,04E +07
MA	2,16E +08	2,85E +08	3,52E +08	4,18E +08	4,83E +08	5,47E +08	6,10E +08	6,72E +08	7,32E +08	7,91E +08
MS	1,29E +08	1,71E +08	2,14E +08	2,56E +08	2,98E +08	3,41E +08	3,83E +08	4,26E +08	4,68E +08	5,11E +08
Total	7,71E +08	1,02E +09	1,28E +09	1,53E +09	1,79E +09	2,04E +09	2,30E +09	2,55E +09	2,80E +09	3,06E +09

ESTUDIO DE LA DEMANDA DE CARSHARING

Ocasional

Años	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CP	2,39E	2,65E	2,90E	3,15E	3,39E	3,62E	3,85E	4,07E	4,28E	4,48E
	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08
MP	1,19E	1,31E	1,42E	1,51E	1,61E	1,69E	1,77E	1,84E	1,90E	1,96E
	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08
Taxi	9,47E	1,02E	1,09E	1,15E	1,20E	1,23E	1,27E	1,29E	1,30E	1,30E
	+07	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08
CS	4,39E	9,56E	1,57E	2,29E	3,12E	4,04E	5,06E	6,19E	7,42E	8,75E
	+07	+07	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08
BS	4,25E	4,28E	4,21E	4,02E	3,72E	3,32E	2,80E	2,18E	1,45E	6,11E
	+07	+07	+07	+07	+07	+07	+07	+07	+07	+06
Tte.P	3,16E	3,29E	3,37E	3,39E	3,35E	3,26E	3,11E	2,91E	2,65E	2,33E
	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08
MA	4,58E	5,10E	5,60E	6,10E	6,58E	7,06E	7,52E	7,97E	8,41E	8,84E
	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08
MS	5,90E	6,63E	7,36E	8,09E	8,81E	9,54E	1,03E	1,10E	1,17E	1,25E
	+07	+07	+07	+07	+07	+07	+08	+08	+08	+08
Total	1,37E	1,54E	1,71E	1,88E	2,05E	2,22E	2,39E	2,56E	2,73E	2,90E
	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09

ESTUDIO DE LA DEMANDA DE CARSHARING

No usuarios

Años	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CP	1,25E	1,17E	1,09E	1,00E	9,17E	8,34E	7,50E	6,66E	5,82E	4,98E
	+09	+09	+09	+09	+08	+08	+08	+08	+08	+08
MP	2,15E	2,01E	1,86E	1,72E	1,58E	1,43E	1,29E	1,14E	9,99E	8,55E
	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+07	+07
Taxi	4,24E	3,96E	3,67E	3,39E	3,10E	2,82E	2,54E	2,25E	1,97E	1,69E
	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08
CS	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E
	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00
BS	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E	0,00E
	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00	+00
Tte.P	1,99E	1,86E	1,73E	1,59E	1,46E	1,33E	1,19E	1,06E	9,26E	7,92E
	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+08	+08
MA	2,20E	2,05E	1,90E	1,75E	1,61E	1,46E	1,31E	1,17E	1,02E	8,73E
	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+08
MS	2,47E	2,30E	2,14E	1,97E	1,81E	1,64E	1,48E	1,31E	1,15E	9,81E
	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+07
Total	6,33E	5,90E	5,48E	5,06E	4,63E	4,21E	3,79E	3,36E	2,94E	2,52E
	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09

Tabla 27: Distribución de km totales

Total										
Años	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CP	1,59E +09	1,56E +09	1,53E +09	1,50E +09	1,46E +09	1,42E +09	1,38E +09	1,34E +09	1,29E +09	1,24E +09
MP	3,89E +08	4,00E +08	4,09E +08	4,14E +08	4,17E +08	4,17E +08	4,14E +08	4,09E +08	4,01E +08	3,90E +08
Taxi	5,90E +08	5,89E +08	5,85E +08	5,78E +08	5,68E +08	5,55E +08	5,39E +08	5,20E +08	4,99E +08	4,74E +08
CS	7,94E +07	1,73E +08	2,93E +08	4,38E +08	6,08E +08	8,04E +08	1,03E +09	1,27E +09	1,54E +09	1,84E +09
BS	9,26E +07	1,07E +08	1,19E +08	1,29E +08	1,36E +08	1,42E +08	1,45E +08	1,45E +08	1,44E +08	1,40E +08
Tte.P	2,42E +09	2,33E +09	2,22E +09	2,10E +09	1,96E +09	1,82E +09	1,66E +09	1,49E +09	1,30E +09	1,11E +09
MA	2,87E +09	2,84E +09	2,81E +09	2,78E +09	2,75E +09	2,71E +09	2,68E +09	2,64E +09	2,59E +09	2,55E +09
MS	4,34E +08	4,68E +08	5,01E +08	5,34E +08	5,67E +08	6,00E +08	6,34E +08	6,67E +08	7,00E +08	7,33E +08
Total	8,47E +09	8,47E +09	8,47E +09	8,47E +09	8,47E +09	8,47E +09	8,47E +09	8,47E +09	8,47E +09	8,47E +09

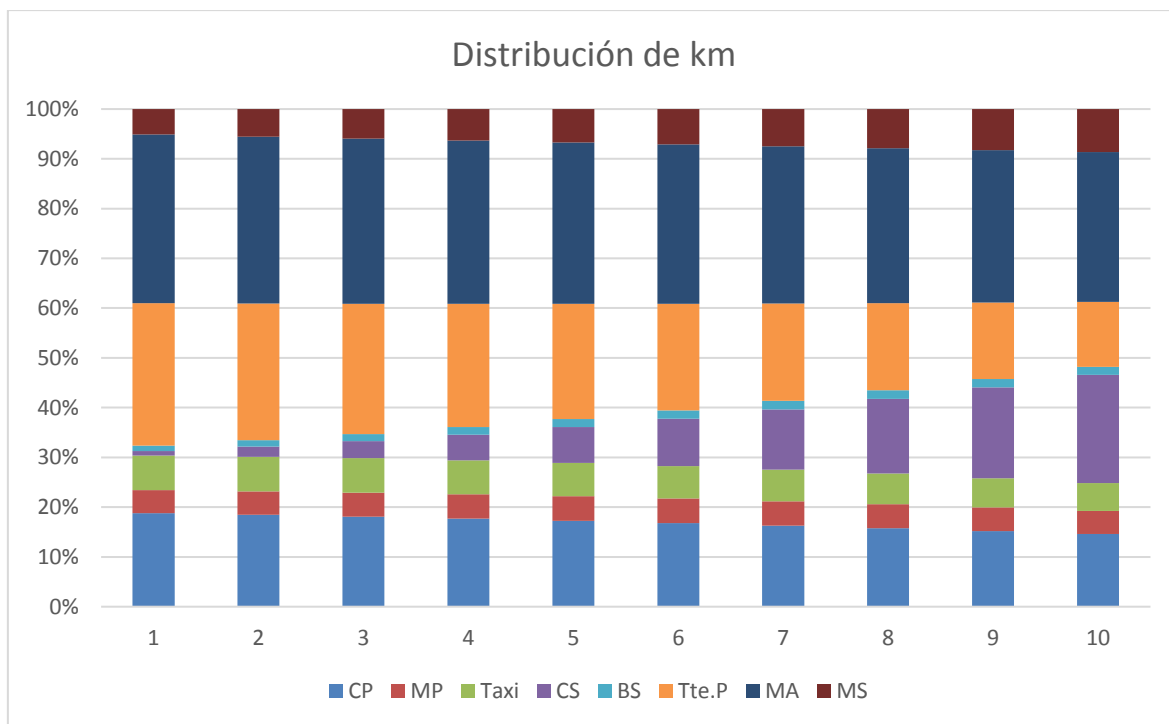


Ilustración 9: Distribución final de km.

En la Ilustración 9: Distribución final de km., se puede observar la tendencia al aumento de kilómetros realizados con servicios de vehículos compartidos. Esto es debido a nuestras hipótesis iniciales de implantación de dichos servicios. Al aumentar el uso del *carsharing* y *motosharing* anualmente para los usuarios frecuentes y ocasionales y además aumentar el número de dichos usuarios, teóricamente, se esperaba una tendencia al aumento del número de kilómetros realizados por estos servicios, lo que confirman los resultados obtenidos.

Capítulo 5. MODELO DEL OBSERVATORIO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

5.1 OBJETIVO

En este capítulo del trabajo se calculan las emisiones de CO₂ equivalentes a partir de los resultados del capítulo anterior. El modelo de Observatorio del Vehículo Eléctrico y la Movilidad Sostenible nos permite calcular estas emisiones asociadas mediante un programa en GAMS que simula la vida y funcionamiento del parque de coches español.

Para entender mejor lo que se va a realizar en este apartado, es necesario explicar en qué consiste el modelo OVEMS. Este modelo simula el parque de vehículos y emisiones futuras de dicho parque para unas condiciones dadas. Esta simulación, por una parte, el parque de vehículos incluye únicamente las distintas tecnologías de coches, es decir, coches eléctricos, de gasolina, diésel, híbridos... Por otra parte, estas condiciones o restricciones que se ponen al modelo pueden tratarse, por ejemplo, de unos kilómetros objetivo que debe realizar cada tecnología o reducir las emisiones lo máximo posible.

Para que el modelo realice el cálculo del parque y emisiones a lo largo de los años, pero añadiendo una nueva tecnología que sea *carsharing* ha habido que adaptar en el modelo una serie de parámetros sobre los diferentes tipos de tecnología o tipos de motorización de dichos coches. Entre estos parámetros se incluyen, para cada una de las tecnologías: el objetivo de distancias del parque para los años de la simulación, los históricos del parque, parámetros relacionados con la vida de los vehículos, la cuota de mercado para los años siguientes, las distancias anuales que han recorrido cada una de las tecnologías en años previos, las

distancias anuales que recorre cada tecnología y, por último, parámetros relacionados con el consumo de energía y las emisiones asociadas a cada una de las tecnologías.

5.2 PARÁMETROS

Este apartado recoge los principales parámetros con los que se ha trabajado para simular las emisiones de los coches de *carsharing* entre los años 2021 y 2030.

Para poder calcular en el modelo las emisiones asociadas a nuestras hipótesis sobre el comportamiento del *carsharing* ha sido necesario modificar el modelo original y añadir una motorización adicional que es el *carsharing*. Esta nueva tecnología de motorización incluye dos subgrupos, un *carsharing* eléctrico y otro de gasolina. Estas dos tecnologías se añadirán consecuentemente a cada uno de los parámetros necesarios.

- Objetivo de distancias: este parámetro controla las distancias que recorrerá los vehículos de cada tecnología en los años de la simulación. En este parámetro se incluirán las distancias de coche privado y *carsharing* obtenidos en el capítulo 2. Una de las principales adaptaciones del modelo es la de reducir su uso al de una ciudad, en este caso, a la ciudad de Madrid. El modelo inicialmente contemplaba solamente kilómetros realizados en urbano y en carretera a nivel español. Para incluir la tecnología de *carsharing* en Madrid se añade un nuevo modo de kilómetros realizados, que son los de *carsharing*. Por tanto, para incluir las dos nuevas adaptaciones en el modelo, se tuvo en cuenta las suposiciones siguientes:
 - Primero, que las distancias medias en recorrido urbano a nivel español son iguales a las realizadas en Madrid, y son los obtenidos en el Capítulo 2 para el coche privado. Estos se distribuirán entre todas las tecnologías incluidas anteriormente en el modelo.
 - Segundo, los kilómetros del nuevo modo, *carsharing*, al igual que antes, son los obtenidos del Capítulo 2. Estos kilómetros del nuevo modo *carsharing* robarán distancia de los kilómetros urbanos, es decir, que los antiguos

MODELO DEL OBSERVATORIO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

kilómetros que eran únicamente realizados en urbano, ahora son recorridos por urbano y carsharing.

En la tabla a continuación se muestra un ejemplo de los datos obtenidos en el capítulo anterior. De dichos datos se utilizarán los kilómetros obtenidos para el uso de coche privado y *carsharing*.

Tabla 28: Ejemplo de distribución de kilómetros

Años	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CP	1,59E +09	1,56E +09	1,53E +09	1,50E +09	1,46E +09	1,42E +09	1,38E +09	1,34E +09	1,29E +09	1,24E +09
MP	3,89E +08	4,00E +08	4,09E +08	4,14E +08	4,17E +08	4,17E +08	4,14E +08	4,09E +08	4,01E +08	3,90E +08
Taxi	5,90E +08	5,89E +08	5,85E +08	5,78E +08	5,68E +08	5,55E +08	5,39E +08	5,20E +08	4,99E +08	4,74E +08
CS	7,94E +07	1,73E +08	2,93E +08	4,38E +08	6,08E +08	8,04E +08	1,03E +09	1,27E +09	1,54E +09	1,84E +09
BS	9,26E +07	1,07E +08	1,19E +08	1,29E +08	1,36E +08	1,42E +08	1,45E +08	1,45E +08	1,44E +08	1,40E +08
Tte.P	2,42E +09	2,33E +09	2,22E +09	2,10E +09	1,96E +09	1,82E +09	1,66E +09	1,49E +09	1,30E +09	1,11E +09
MA	2,87E +09	2,84E +09	2,81E +09	2,78E +09	2,75E +09	2,71E +09	2,68E +09	2,64E +09	2,59E +09	2,55E +09

MODELO DEL OBSERVATORIO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

MS	4,34E	4,68E	5,01E	5,34E	5,67E	6,00E	6,34E	6,67E	7,00E	7,33E
	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08	+08
Total	8,47E	8,47E	8,47E	8,47E	8,47E	8,47E	8,47E	8,47E	8,47E	8,47E
	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09	+09

- Parque inicial: específicamente, este parámetro contiene los datos de los vehículos que fueron matriculados en un cierto año previo al comienzo de la simulación. Por ejemplo, los coches matriculados en 2016 que quedan en el 2020. En el caso específico del *carsharing* se realizó una breve recopilación de datos de cada una de las principales empresas que ofrecen servicios de movilidad compartida para conocer su histograma. En la tabla a continuación se muestra los datos de parque utilizados para el modo *carsharing*.

Tabla 29: Parque de carsharing en Madrid. [19]

Parque	2016	2017	2018	2019	2020
total					
Free2Move	600	600	600	640	800
Zity	0	658	658	658	800
Wibble	0	0	500	500	500
Sharenow	0	0	500	750	750
GO TO	0	0	0	0	0
Parque total	600	1258	2258	2548	2850

- Parámetro ‘betap’ y ‘betap0’: son los parámetros encargados de representar la tasa de supervivencia anual de cada tecnología. En este caso, ‘betap0’ representa la tasa de supervivencia de la tecnología en el primer año y ‘betap’ la corrección del parámetro anterior a medida que los vehículos van cumpliendo años. Se ilustra lo anterior en la siguiente tabla. Los parámetros beta se han estimado a partir del estudio Amatuni et al., 2020 [10].

En la tabla siguiente se representan las matriculaciones del parque de coches compartidos eléctricos (EV) y de gasolina (GSL) en cada uno de los años. Además, se representa también la tasa de supervivencia asumidos en el estudio.

Tabla 30: Ejemplo 'beta parque'.

	2016	2017	2018	2019	2020
Parque EV	600	658	500	290	302
Parque GSL	0	0	500	0	0
Beta bajas	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98

En este caso, únicamente se muestran datos para ‘beta’ de los 5 primeros años. Para el funcionamiento total del modelo, se necesita obtener unos valores para este parámetro para 30 años vista. Debido a que los vehículos de *carsharing* pasan a lo largo de sus vidas por muchas manos de distintos conductores y que además su uso

MODELO DEL OBSERVATORIO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

en kilómetros anualmente es mayor que el de un vehículo convencional, esta tasa de supervivencia se ve claramente diferenciada de los vehículos convencionales. Además, de acuerdo con el estudio Amatuni et al., 2020 [10], la suposición realizada se ve reforzada, ya que dicho estudio afirma que los vehículos dedicados al *carsharing* ven su vida reducida. Los valores asumidos para ‘betap’ en este caso en concreto se muestran a continuación.

Tabla 31: Parámetro 'beta parque' o tasa de supervivencia.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
CSE	1	1	0,98	0,98	0,98	0,9	0,9	0,9	0,5	0,05
CSG	1	1	0,98	0,98	0,98	0,9	0,9	0,9	0,5	0,05

A partir del décimo año se supone que la tasa de supervivencia de los coches de *carsharing* es casi nula.

Parámetro ‘r_iven’: este parámetro indica cual es la cuota de mercado de cada tecnología, es decir, el porcentaje en el que cada tecnología sustituye a los coches que son dados de baja cada año. En nuestro caso, cuando se añade al modelo la categoría de *carsharing* esta incluye, *carsharing* eléctrico y de gasolina.

- Parámetro ‘dis’: este parámetro indica los kilómetros anuales realizados por cada una de las tecnologías. Basándose de nuevo en el estudio Amatuni et al., 2020 [10], se asume que los vehículos utilizados por estos servicios compartidos se usarán aproximadamente unos 32000 km anuales, que es más que la distancia media que se usa para los vehículos privados.
- Parámetro ‘betad’: este parámetro indica cómo los kilómetros que realiza cada tecnología anualmente se reducen. Tiene un efecto similar al ‘betap’, aunque para nuestro caso se han asumido que los kilómetros anuales realizados por la nueva

MODELO DEL OBSERVATORIO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO Y LA MOVILIDAD SOSTENIBLE

tecnología introducida son constantes y no se ven afectados por el paso de los años. Por tanto, este parámetro tendrá un valor constante de 1 en todos los años para los vehículos de casharing.

- Parámetro ‘disini’: este parámetro indica el histórico de kilómetros que ha realizado cada tecnología hasta el año de comienzo de la simulación. Para obtener los valores de este parámetro en concreto simplemente basta con multiplicar la distancia anual ‘dis’ por el parque de cada año, ‘parini’.
- Parámetros relacionados con consumo energético y emisiones. Siguiendo la misma tendencia que los anteriores existen 3 parámetros. En el caso de *carsharing* las emisiones estarán asociadas a las de un vehículo eléctrico, cuando se traten de eléctricos, y asociados a los de gasolina en el caso contrario.
 - Consumo energético y emisiones iniciales.
 - Consumo energético y emisiones en los años siguientes.
 - Un parámetro beta que indica como aumentan el consumo y las emisiones por cada año de antigüedad.

Como en este caso únicamente nos interesa el estudio de las emisiones de CO₂, será necesario fijarse en los parámetros ‘r_co2’ y ‘r_co2ini’ junto su ‘beta_co2’, como se ha mencionado anteriormente, para ver los valores de las emisiones de cada tipo de vehículo anualmente.

Capítulo 6. RESULTADOS

Una vez se introducen los parámetros anteriores en el modelo GAMS, la solución nos devuelve unos resultados de emisiones “tank to wheel” (T2W) para los años simulados, 2021 a 2030. El modelo calcula, además, un parque de vehículos en cada uno de los años de simulación. Estos datos de parque, junto con los resultados obtenidos en el: “Capítulo 2: Cálculo de emisiones de vehículos de combustión interna y coches eléctricos mediante un análisis de ciclo de vida.”, nos permiten calcular unas emisiones totales fruto de la implantación del coche compartido. Es decir, se obtendrán dos resultados: unas emisiones resultantes del uso del vehículo y otras, derivadas de su fabricación y mantenimiento. En esta parte del estudio se han supuesto 9 casos diferentes para así estudiar los posibles beneficios en distintos escenarios. Además, se realizará un caso base en el que no se incluye *carsharing*, para así poder realizar una comparativa entre los diferentes casos. Para obtener los distintos escenarios se han cambiado dos de los parámetros explicados anteriormente: el objetivo de distancias y la cuota de mercado.

Para variar las distancias objetivo, cambiamos la distribución de kilómetros obtenidos en el Capítulo 3. La forma de modificar estos kilómetros finales podría realizarse de dos formas distintas: bien variando las frecuencias de los distintos modos según el tipo de usuario, o bien alterando la frecuencia de los usuarios. En este caso asumiremos que la proporción de los usuarios frecuentes aumentan un 3% anualmente, los ocasionales aumentan un 2% y que los no usuarios de *carsharing* descienden un 5% anual en todos los casos. Por tanto, la diferencia en kilómetros finales entre los casos vendrá dada por la frecuencia de los modos. Las tres velocidades de penetración del *carsharing* que se asumirán son un aumento anual del 0,5%, 1,5% y del 3%.

Por otra parte, para la obtención de más casos de estudios elegiremos la cuota de mercado de los modos de *carsharing*. En cada uno de los casos anteriores se escogerá también si los

coches nuevos coches de dicha tecnología son todos eléctricos, todos de gasolina o una combinación a partes iguales.

Las hipótesis de los distintos casos se representan en el cuadro resumen a continuación. Se asume que una velocidad de penetración lenta, moderada y rápida es un aumento del 0,5%, 1,5% y 3% anual respectivamente.

Tabla 32: Casos de estudio

Casos	Penetración carsharing	Tipo de coche
0	0	-
1	Lenta	EV
2	Moderada	EV
3	Rápida	EV
4	Lenta	GSL
5	Moderada	GSL
6	Rápida	GSL
7	Lenta	EV/GSL
8	Moderada	EV/GSL
9	Rápida	EV/GSL

6.1 CASO BASE

Este caso parte de la suposición de que no existen coches compartidos. Por tanto, ni existirán coches dedicados a este servicio antes de la simulación, ni existirá una velocidad de penetración.

La distribución de kilómetros sería la siguiente:

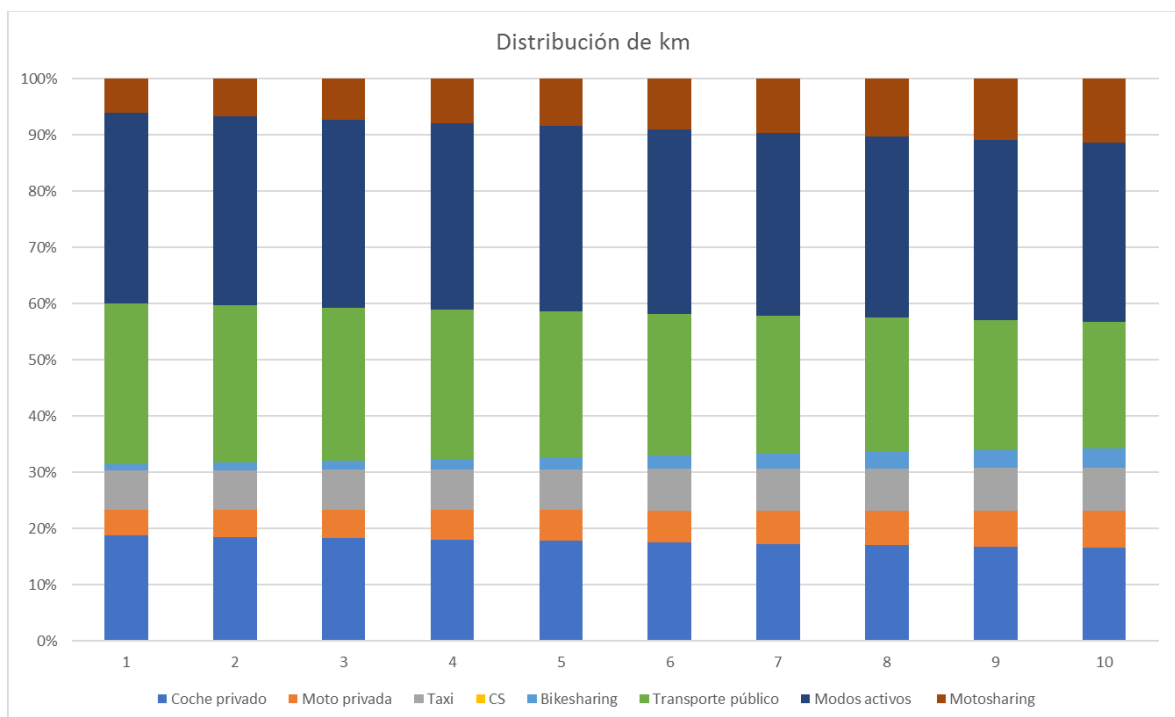


Ilustración 11: Distribución de km caso base

Las emisiones calculadas por el modelo son las mostradas en la ilustración a continuación. Estas emisiones servirán de referencia para ver cómo de beneficiosos son el resto de los casos, los cuales sí incluyen cierta penetración del car-sharing.

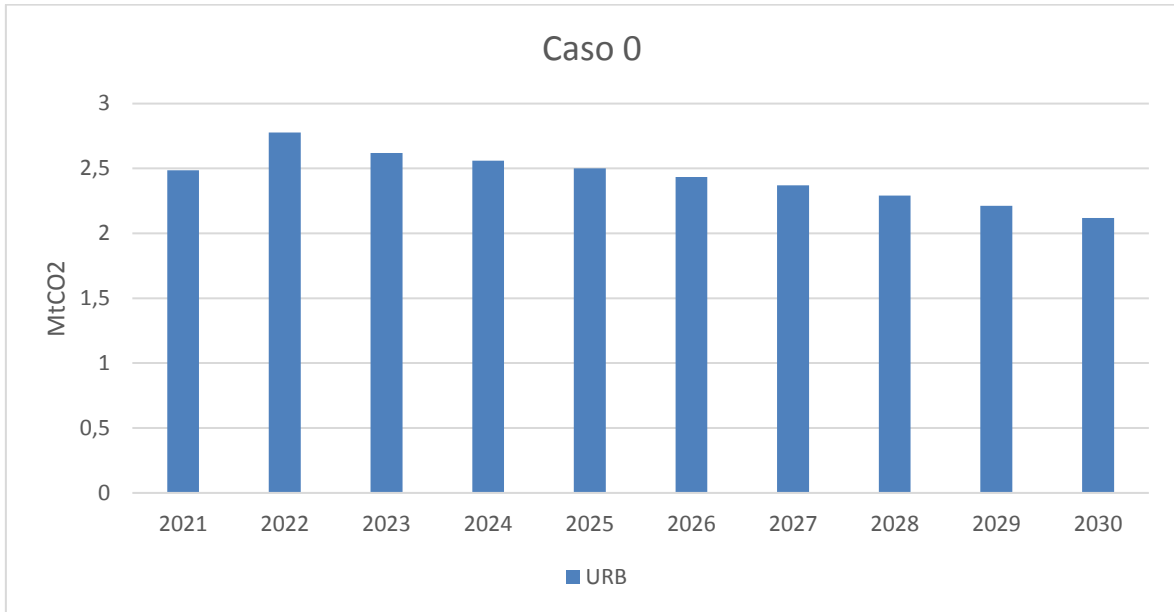


Ilustración 10: Emisiones T2W caso base

Para realizar la comparativa de emisiones por manufactura y mantenimiento del parque, se compararán los datos de 2020 y 2030. El parque de coches obtenidos en este caso:

Tabla 33: Parque de vehículo caso base

	2020	2030
Parque EV	5.640	288.940
Parque combustión	2.463.000	2.785.000

6.2 CASOS 1-9

Como se ha mostrado en la Tabla 32: Casos de estudio, existen tres casos de distribución de kilómetros asociados a los tres tipos de penetración de carsharing. Estos tres casos se muestran a continuación.

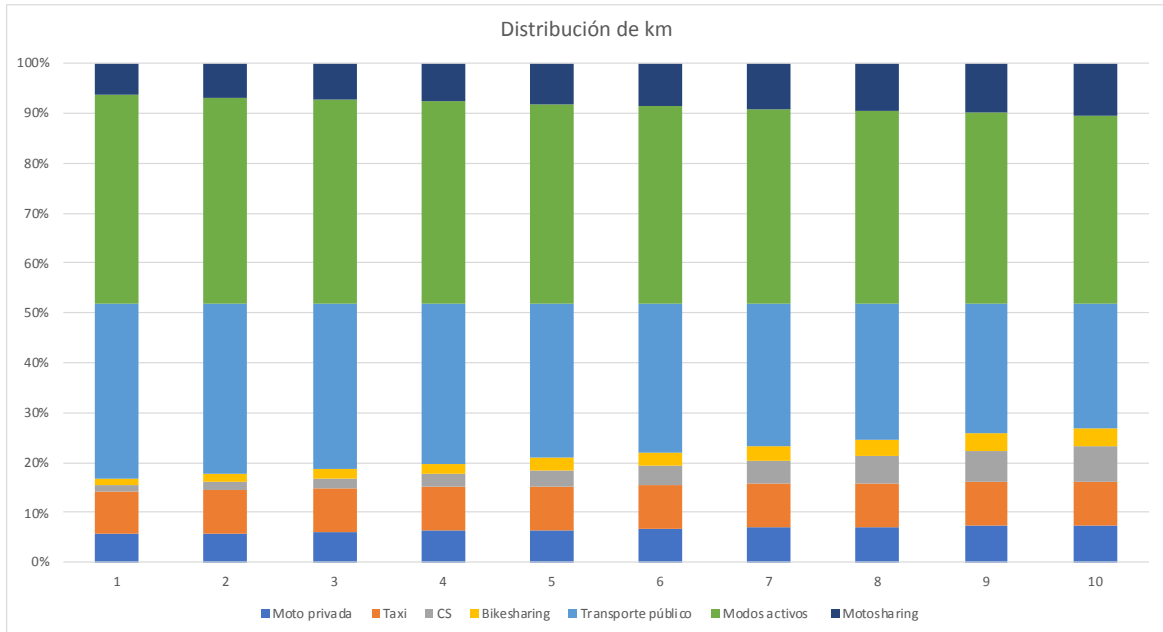


Ilustración 11: Distribución de km penetración lenta

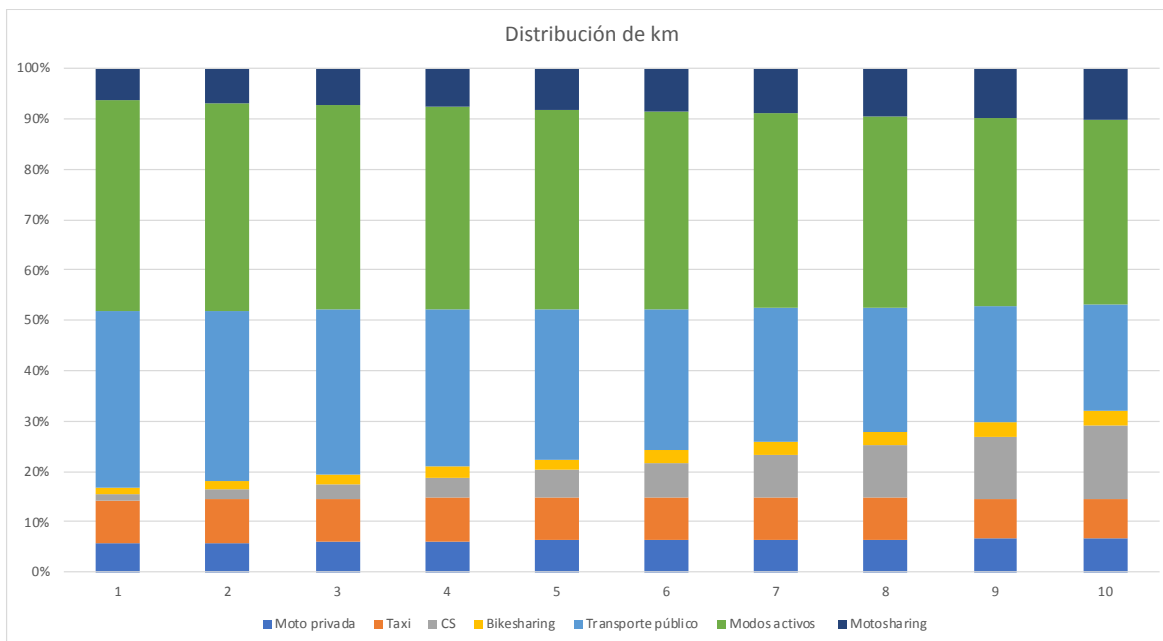


Ilustración 12: Distribución de km penetración moderada.

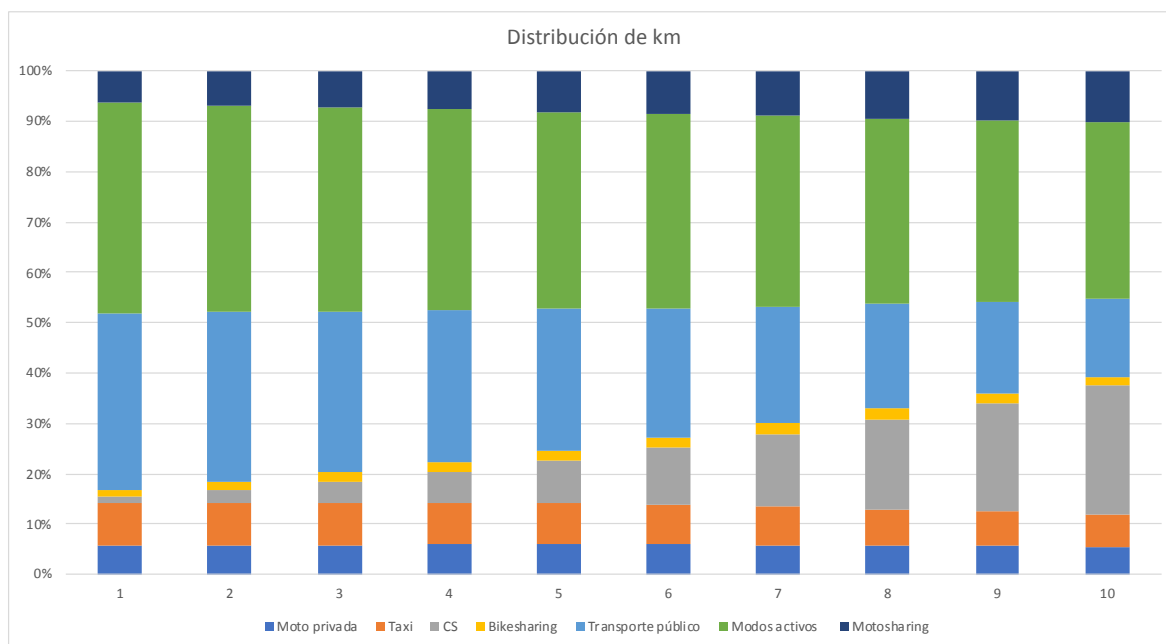


Ilustración 13: Distribución de km penetración rápida

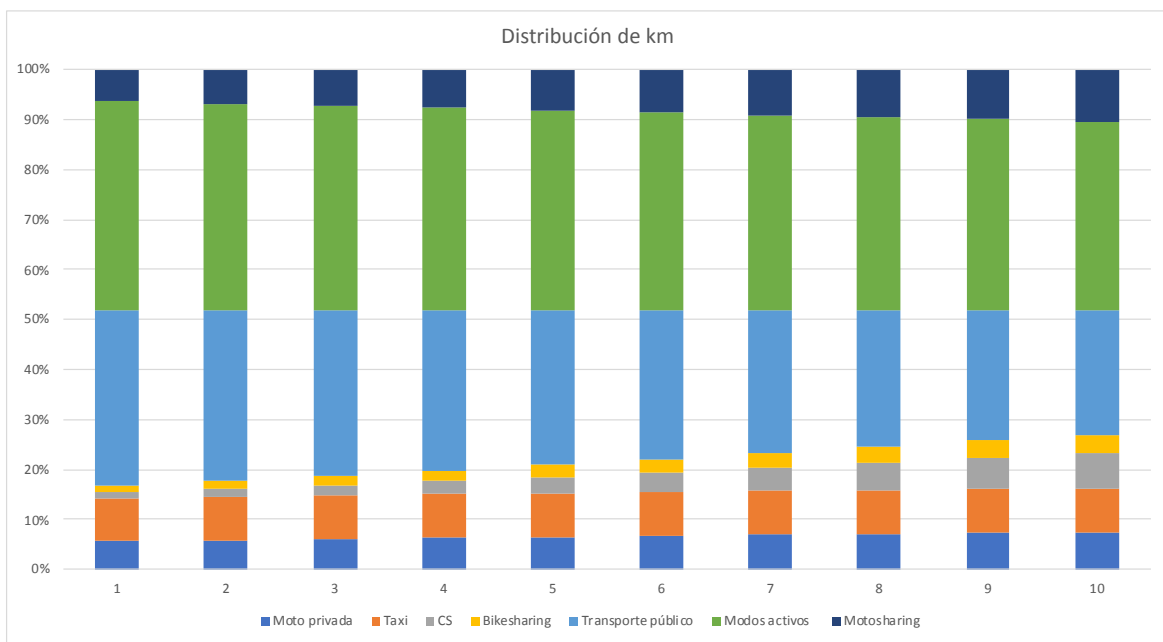
Para estudiar las emisiones producidas en la fabricación, mantenimiento y fin de vida del parque se asumirá que el parque consiste en coches eléctricos y coches de combustión. De esta manera, aunque se simplifiquen los resultados, la estimación se puede seguir considerando buena.

En las tablas del parque que se mostrarán en cada uno de los casos, se representa el número total de coches de combustión y eléctricos, es decir, la suma de los coches privados y los de *carsharing*.

CASO 1

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* lenta y que todos los coches serán eléctricos.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 11: Distribución de km penetración lenta.



Las emisiones T2W calculadas por el modelo:

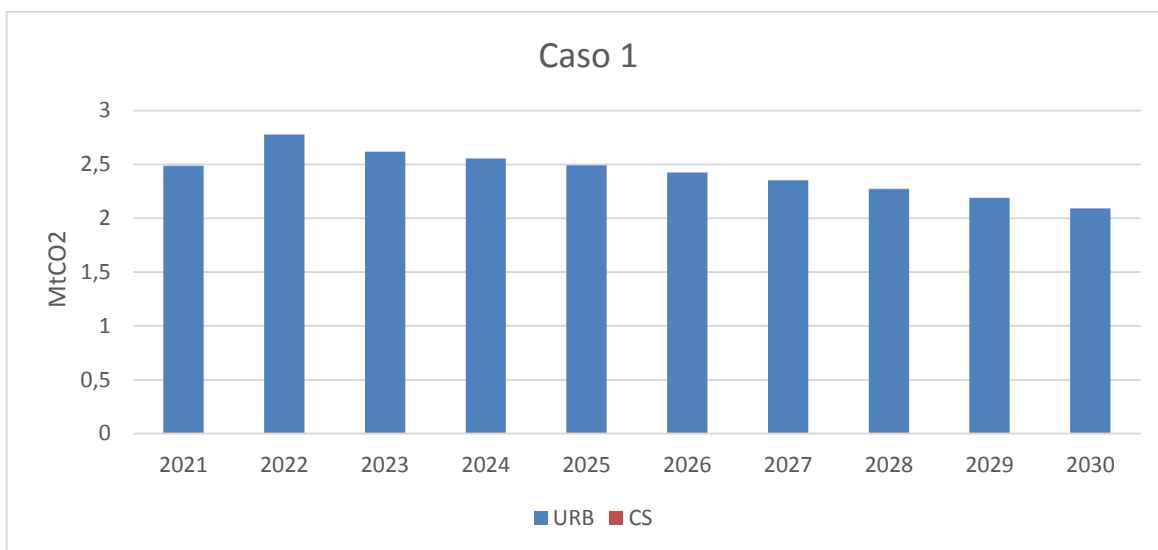


Ilustración 14: Emisiones T2W caso 1

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030:

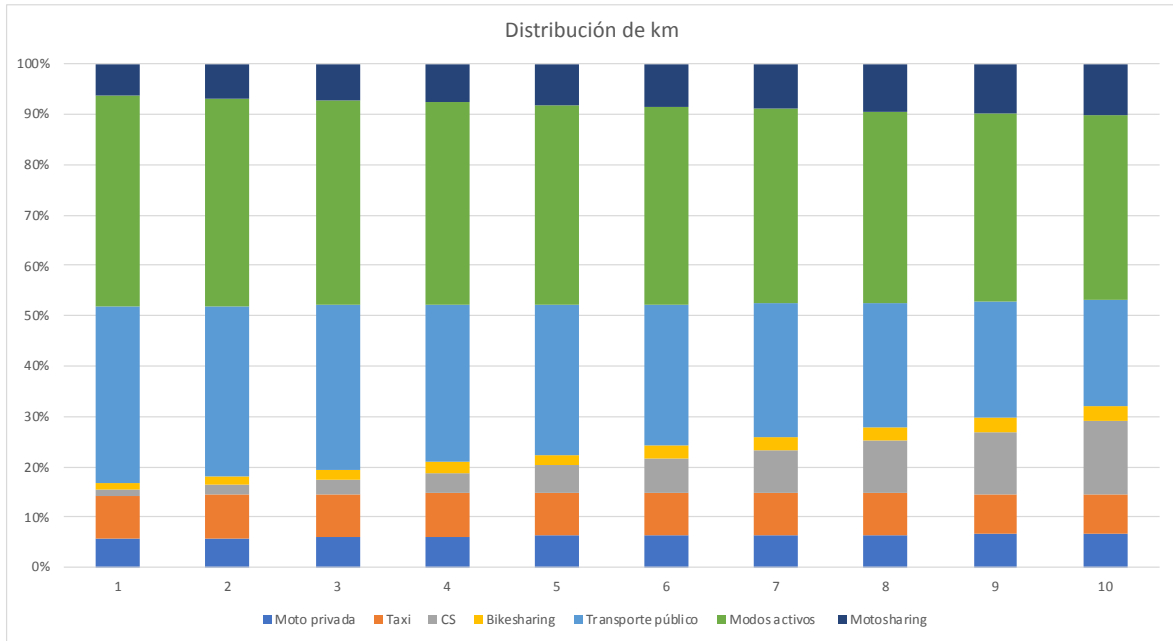
Tabla 34: Parque caso 1

	2020	2030
Parque EV	7.990	292.780
Parque combustión	2.463.800	2.913.433

CASO 2

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* moderada y que todos los coches serán de eléctricos.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 12: Distribución de km penetración moderada.



Las emisiones calculadas por el modelo:

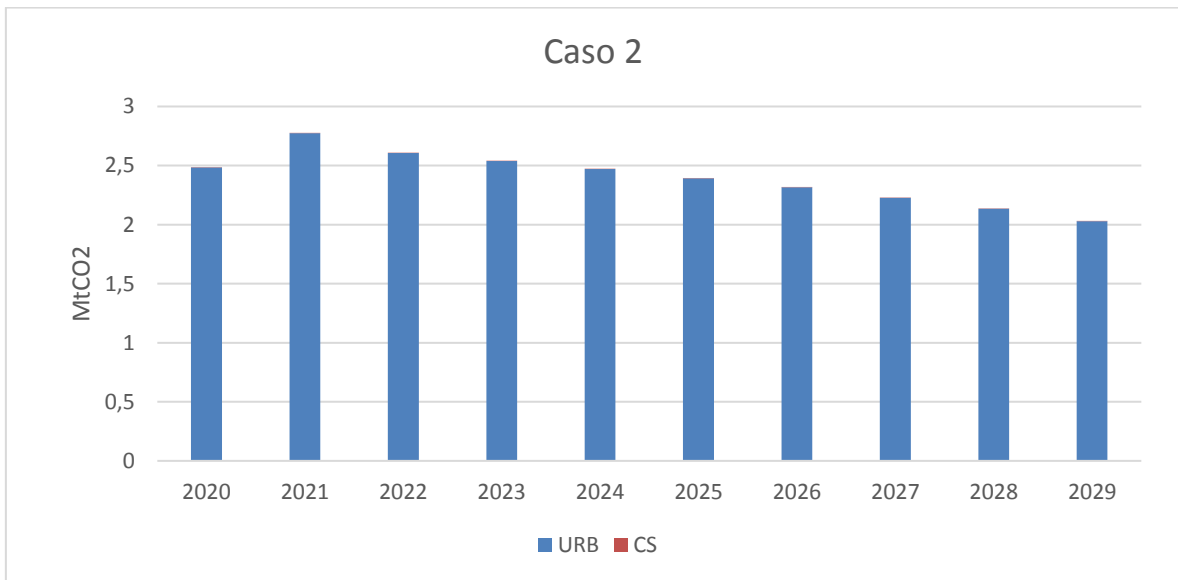


Ilustración 15: Emisiones T2W caso 2

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030:

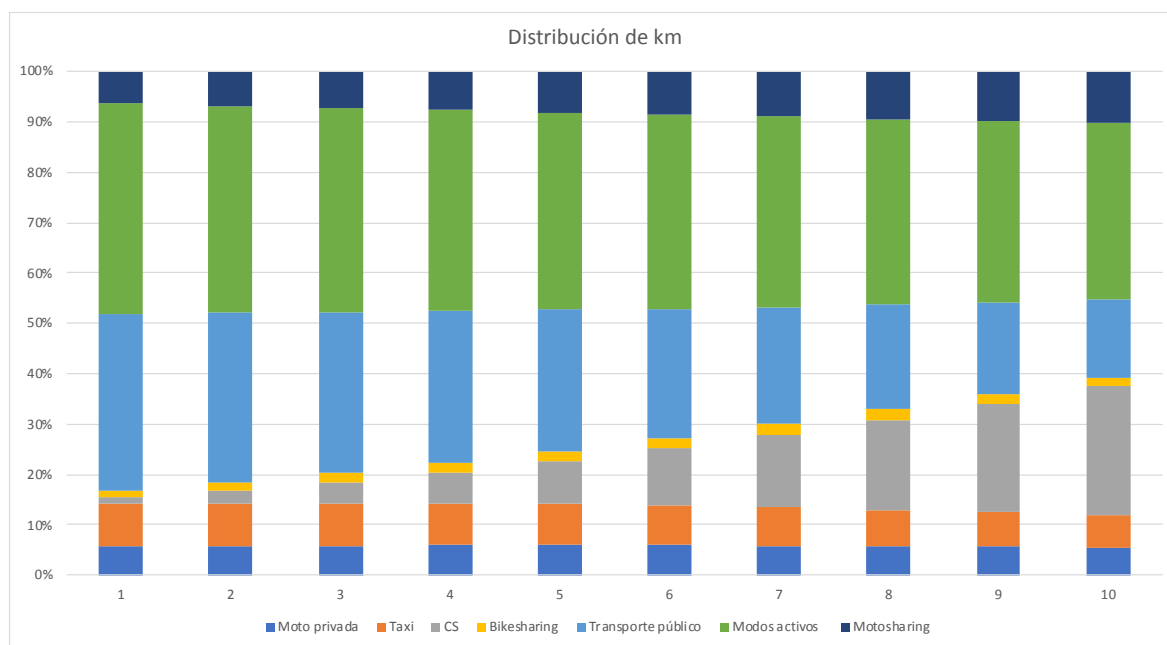
Tabla 35: Parque caso 2

	2020	2030
Parque EV	7990	285.180
Parque combustión	2.463.800	2.855.970

CASO 3

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* rápida y que todos los coches serán de eléctricos.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 13: Distribución de km penetración rápida.



Las emisiones calculadas por el modelo:

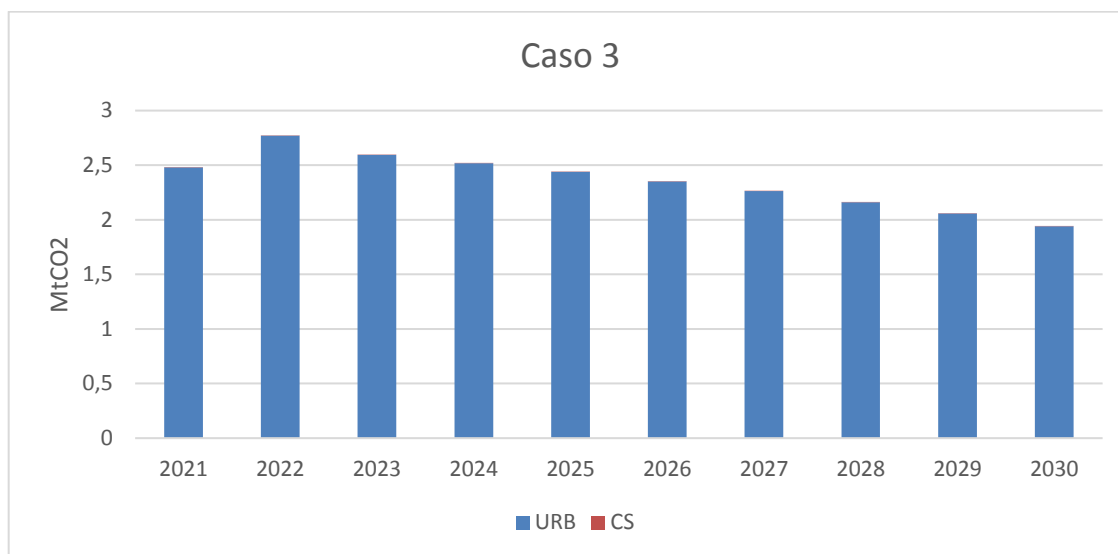


Ilustración 16: Emisiones T2W caso 3

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030

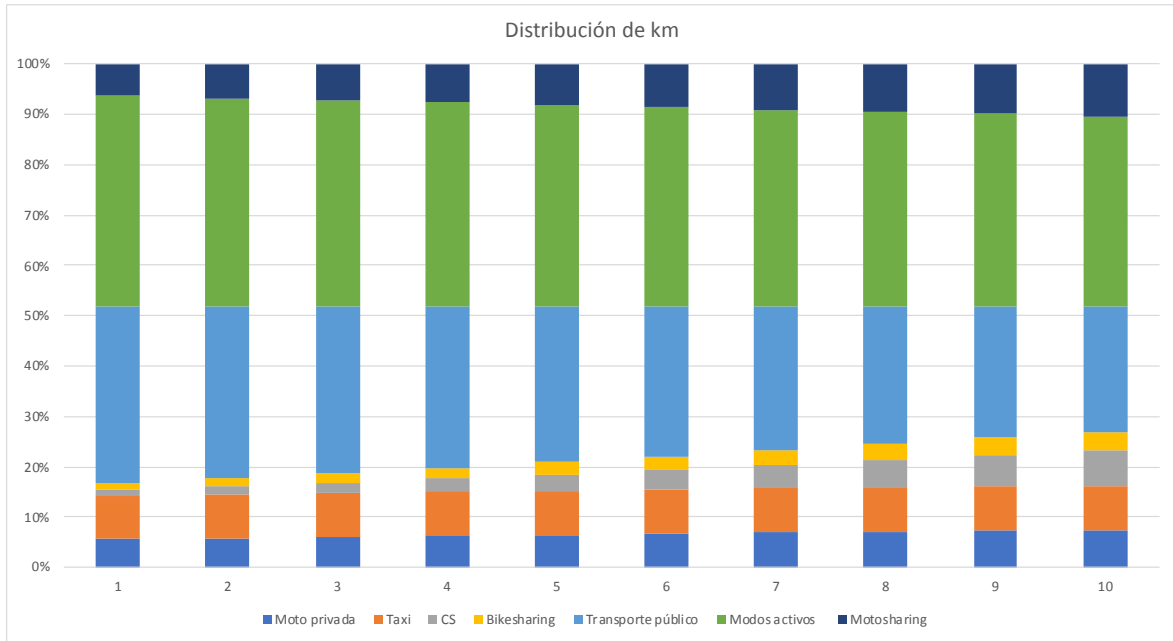
Tabla 36: Parque caso 3

	2020	2030
Parque EV	7.990	273.767
Parque combustión	2.463.800	2.769.770

CASO 4

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* lenta y que todos los coches serán de gasolina.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 11: Distribución de km penetración lenta.



Las emisiones calculadas por el modelo:

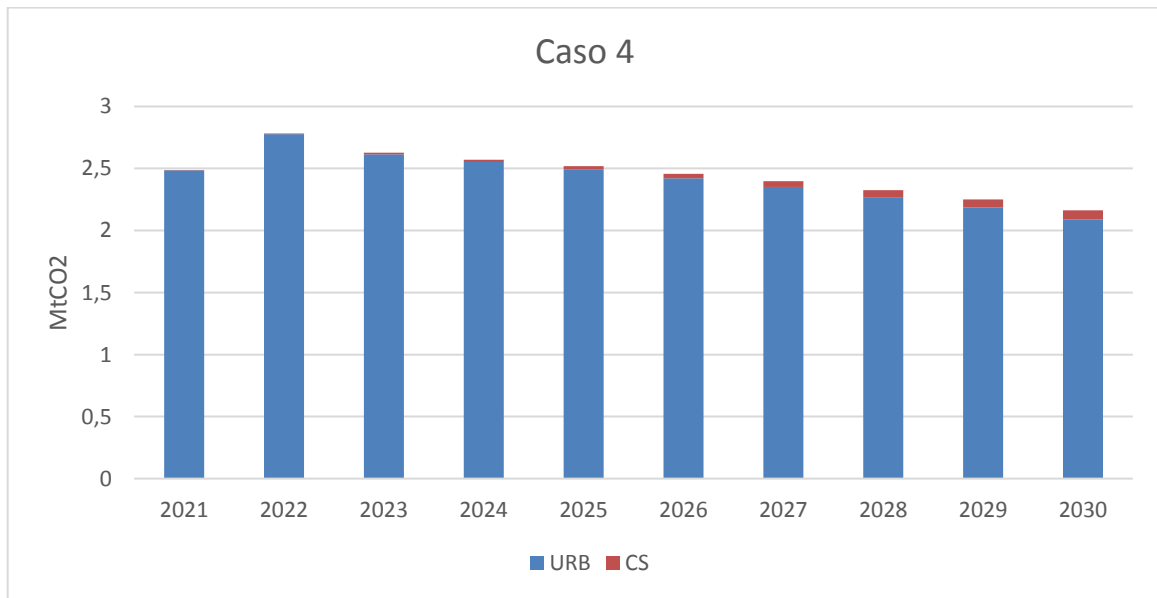


Ilustración 17: Emisiones T2W caso 4

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030

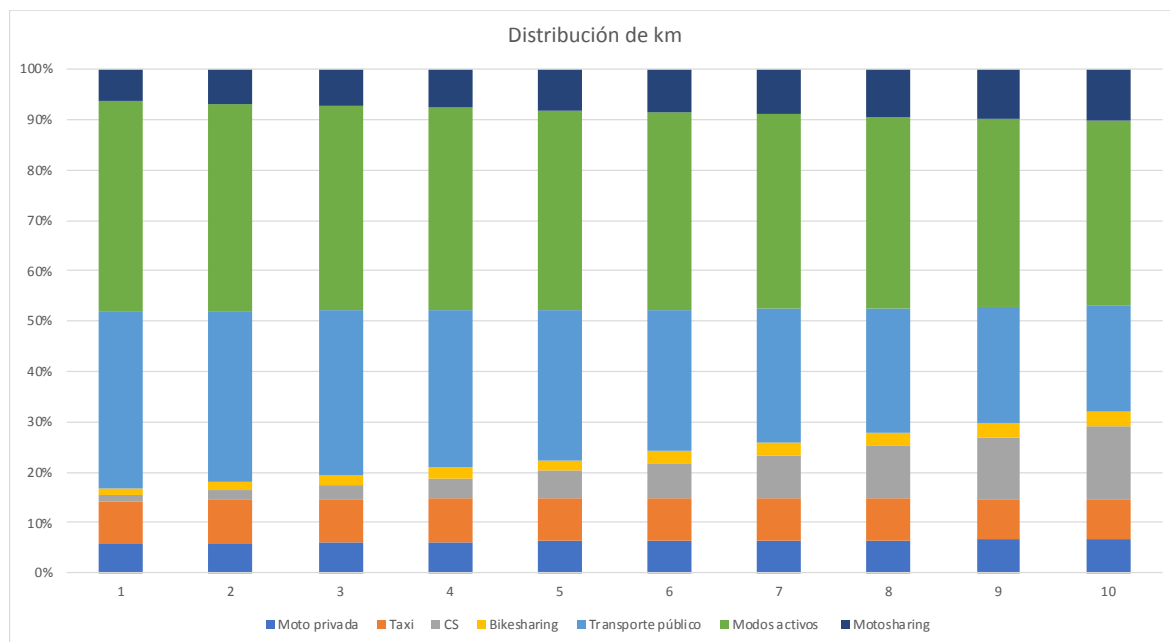
Tabla 37: Parque caso 3

	2020	2030
Parque EV	7.990	275.890
Parque combustión	2.463.800	2.930.330

CASO 5

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* moderada y que todos los coches serán de gasolina.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 12: Distribución de km penetración moderada.



Las emisiones calculadas por el modelo:

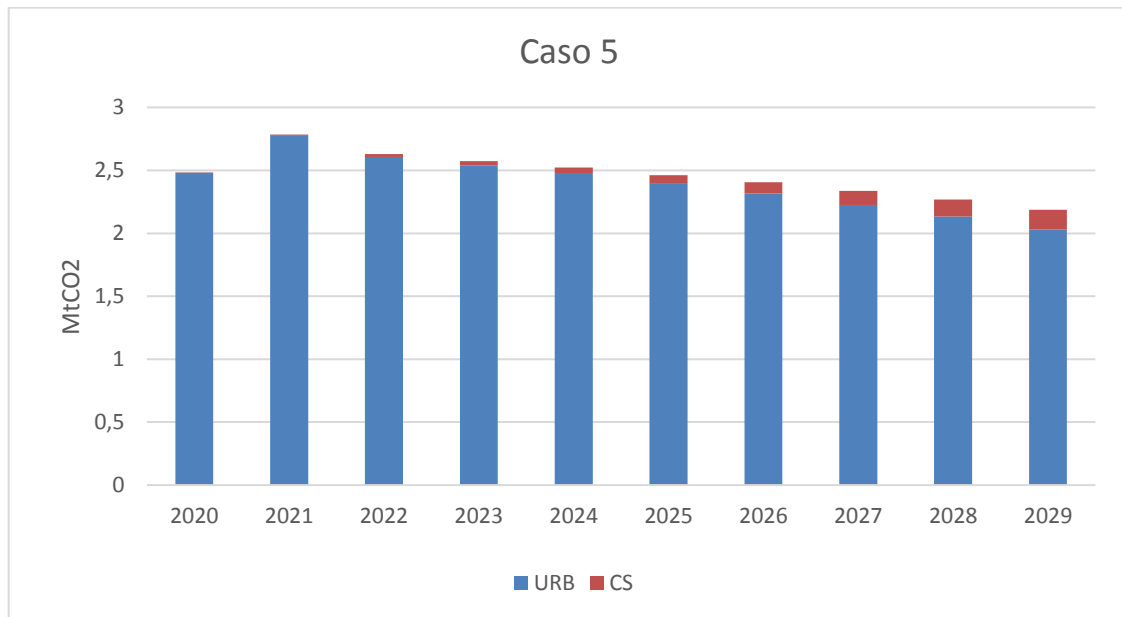


Ilustración 18: Emisiones T2W caso 5

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030

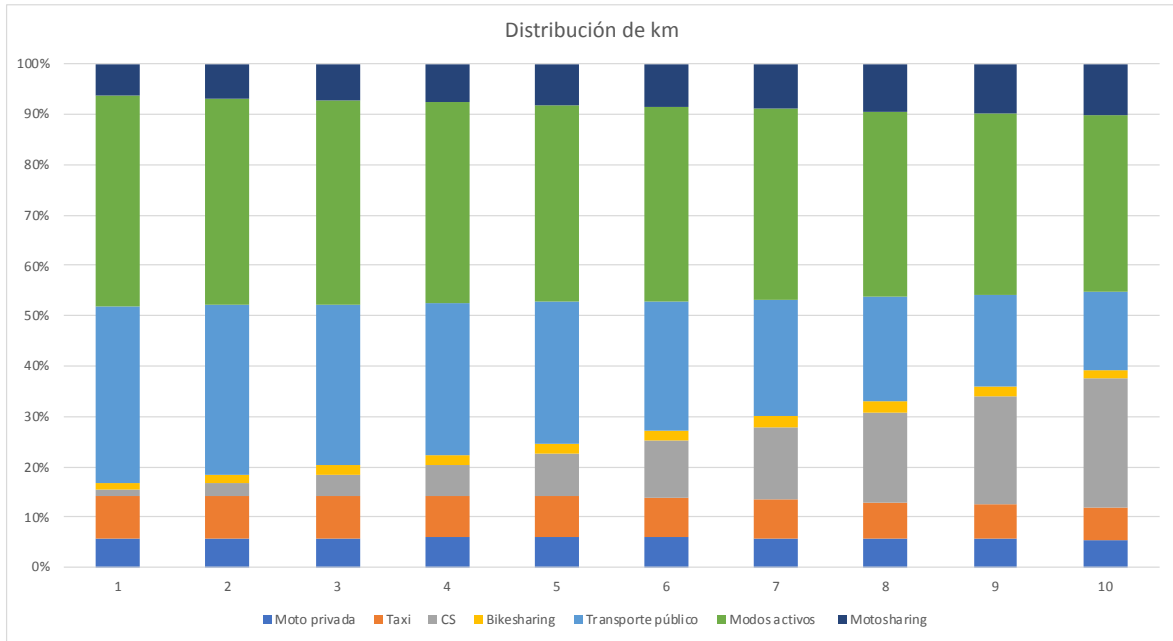
Tabla 38: Parque caso 5

	2020	2030
Parque EV	7.990	249.680
Parque combustión	2.463.800	2.891.470

CASO 6

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* rápida y que todos los coches serán de gasolina.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 13: Distribución de km penetración rápida.



Las emisiones calculadas por el modelo:

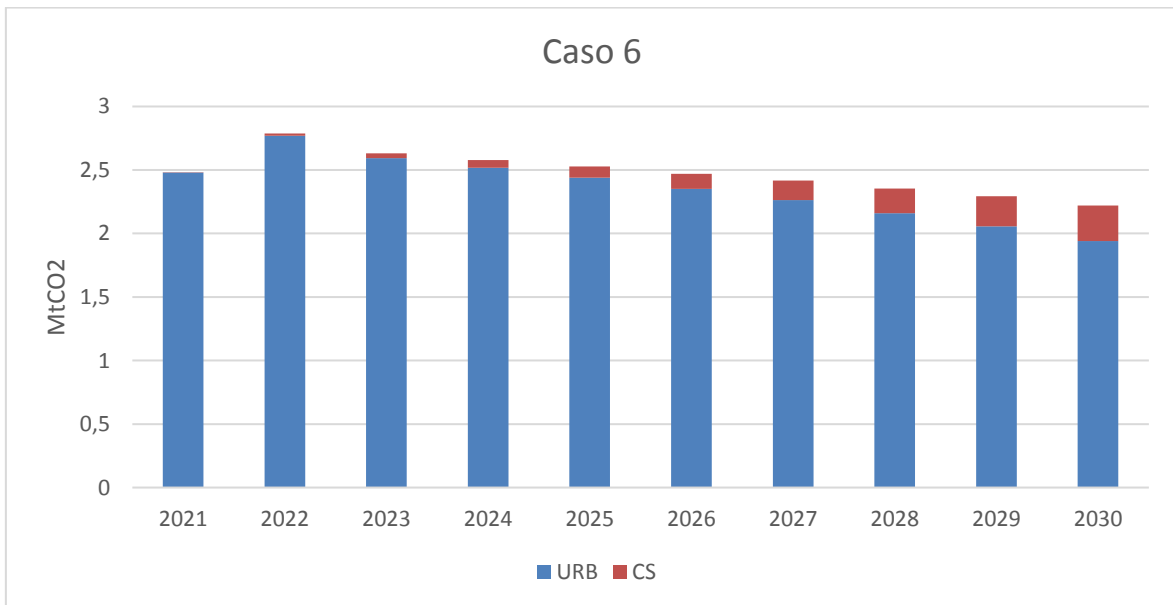


Ilustración 19: Emisiones T2W caso 6.

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030

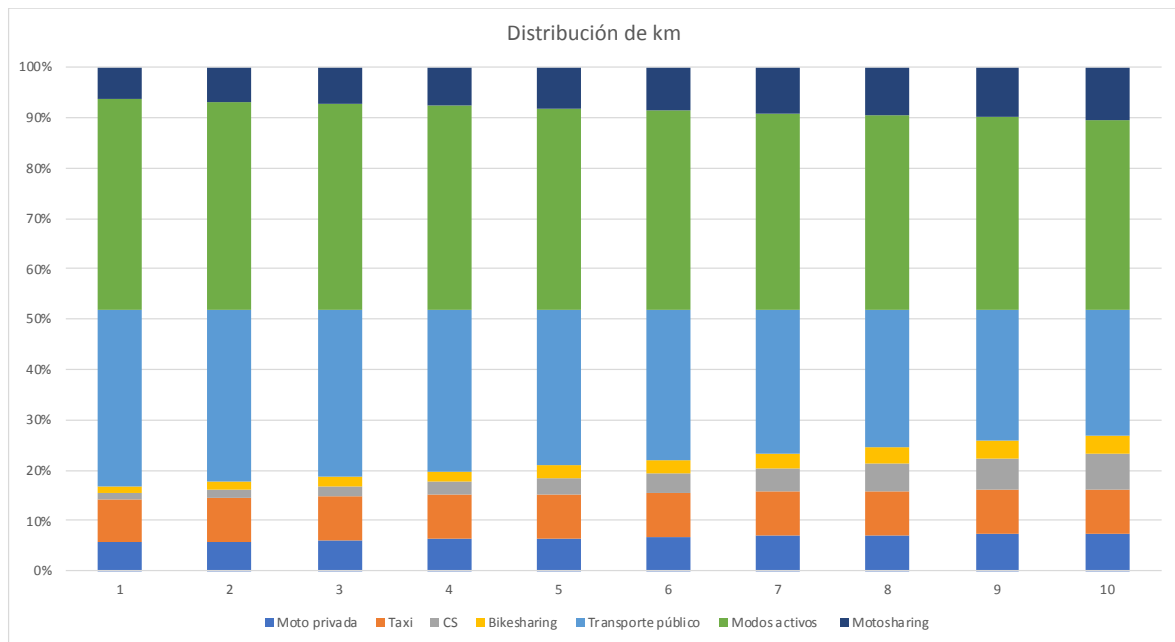
Tabla 39: Parque caso 6

	2020	2030
Parque EV	7.990	210340
Parque combustión	2.463.800	2.833.190

CASO 7

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* lenta y que los coches serán de gasolina y eléctricos.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 11: Distribución de km penetración lenta.



Las emisiones calculadas por el modelo:

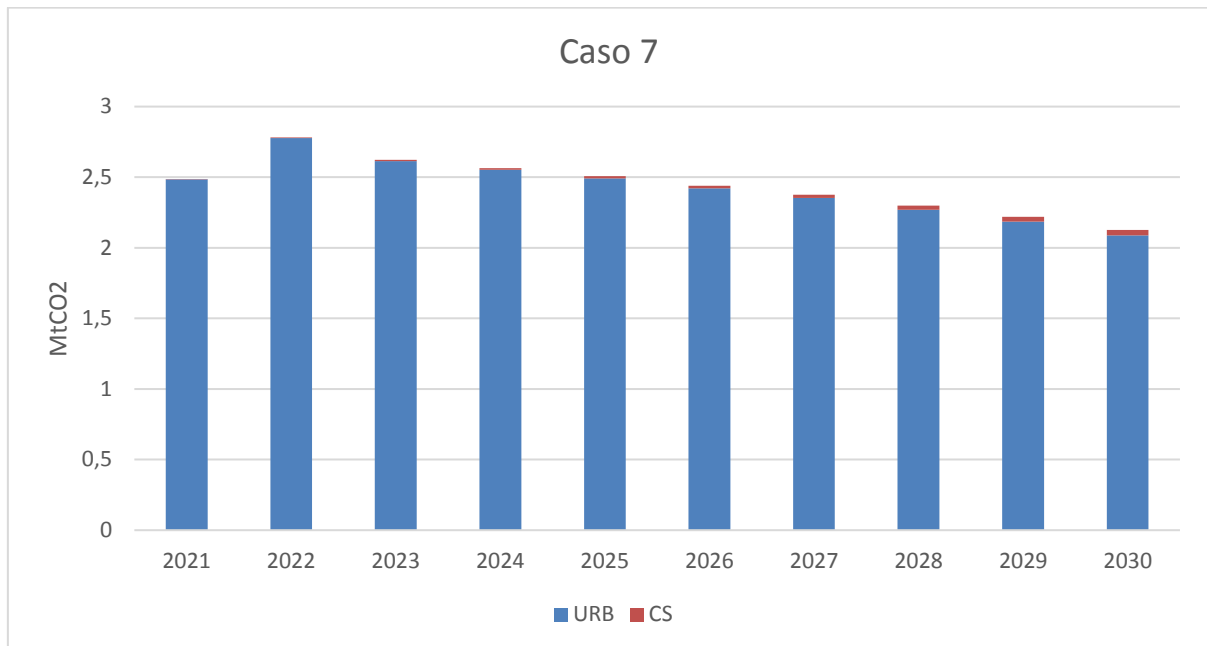


Ilustración 20: Emisiones T2W caso 7.

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030

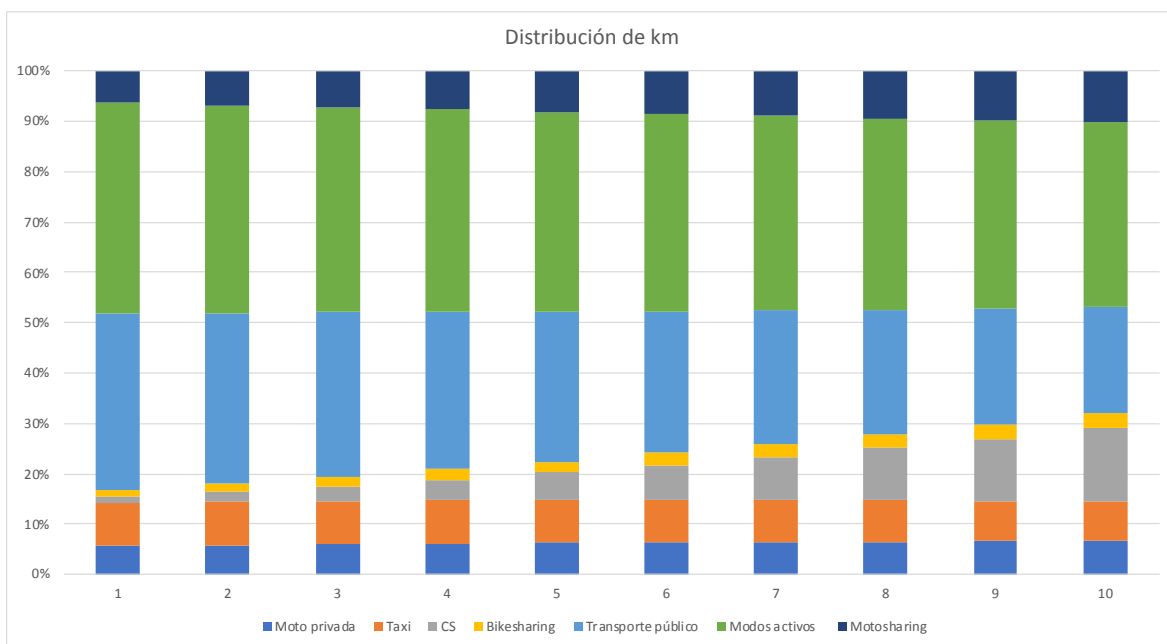
Tabla 40: Parque caso 7

	2020	2030
Parque EV	7.990	284.350
Parque combustión	2.463.800	2.921.880

CASO 8

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* moderada y que los coches serán de gasolina y eléctricos.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 12: Distribución de km penetración moderada.



Las emisiones calculadas por el modelo:

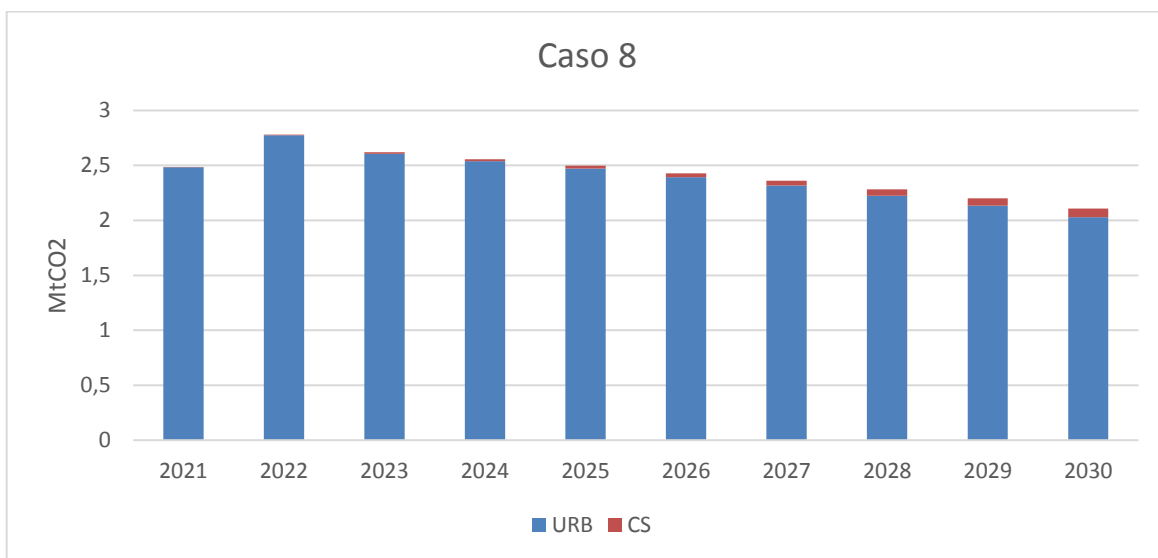


Ilustración 21: Emisiones T2W caso 8.

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030

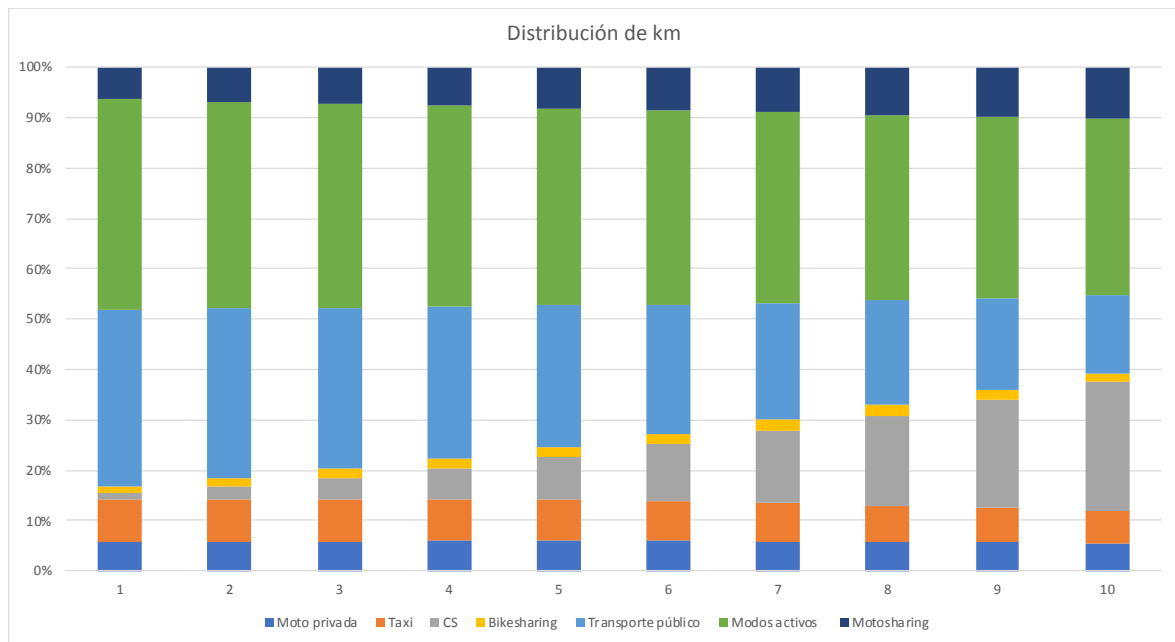
Tabla 41: Parque caso 8

	2020	2030
Parque EV	7.990	267.430
Parque combustión	2.463.800	2.873.720

CASO 9

En este caso se asumirá una velocidad de penetración del *carsharing* rápida y que los coches serán de gasolina y eléctricos.

La distribución de kilómetros para este caso será la representada en la Ilustración 13: Distribución de km penetración rápida.



Las emisiones calculadas por el modelo:

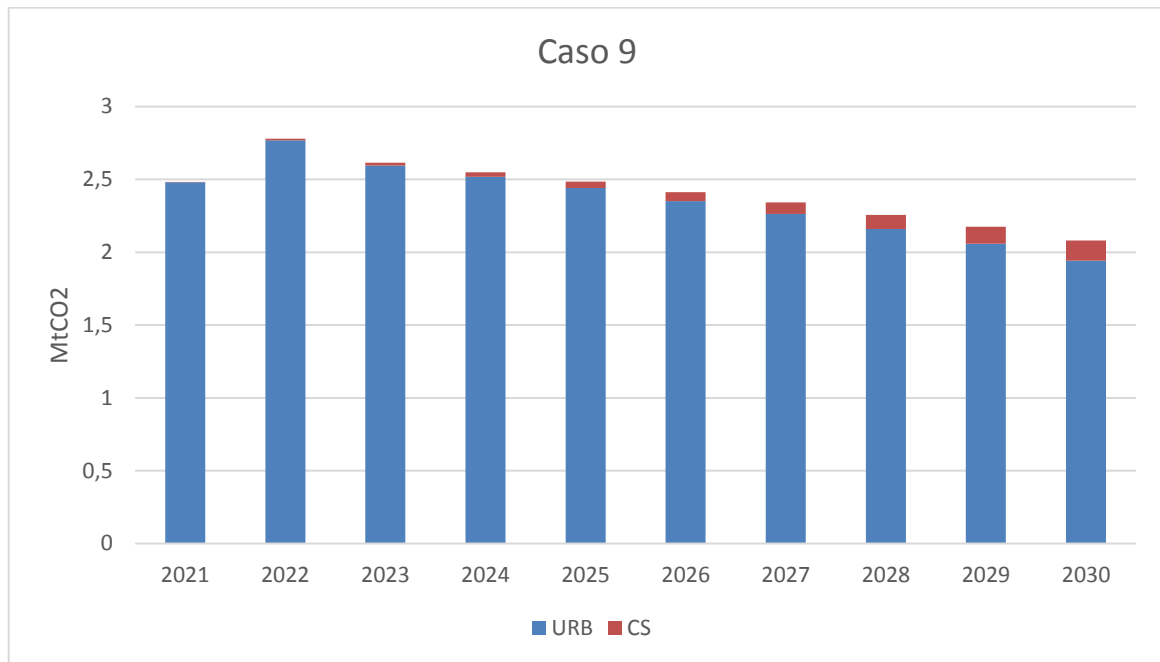


Ilustración 22: Emisiones T2W caso 9.

La comparación de parques entre el año 2020 y 2030

Tabla 42: Parque caso 9

	2020	2030
Parque EV	7.990	242.060
Parque combustión	2.463.800	2.801.480

6.3 COMENTARIO DE RESULTADOS

Al observar las gráficas referentes al modelo se ve en todas ellas un aumento de las emisiones en el año 2022, que puede deberse al aumento de demanda de kilómetros realizados en

ciudad con la implementación del *carsharing*. A partir de dicho año, y también en todas ellas, existe una tendencia decreciente de las emisiones. En el año 2030, 10 años más tarde en la simulación, se observa una clara disminución de las emisiones de CO₂ totales emitidas en un entorno urbano (suma de las emisiones en urbano en sí y las de *carsharing*).

Un estudio interesante es la comparación entre los 9 casos estudiados y el caso base, que no contemplaba la existencia del *carsharing*. El resultado de comparar los casos con el caso base se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 43: Emisiones T2W de los distintos casos

Casos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Emisiones T2W [MtCO₂]	2,117	2,088	2,030	1,942	2,164	2,187	2,221	2,126	2,108	2,081

La comparación de resultados de las emisiones T2W es la siguiente.

Tabla 44: Comparación de las emisiones T2W de los casos respecto al caso base.

	Lento	Moderado	Rápido
EV	-1,3%	-4,1%	-8,3%
GSL	2,2%	3,3%	4,9%
EV+GSL	0,4%	-0,4%	-1,7%

Se observa que los únicos casos posibles con las que se consiguen una reducción de emisiones son aquellos casos en los que el coche compartido es eléctrico o parcialmente eléctrico. Específicamente, sea cual sea la penetración del coche compartido cuando es totalmente eléctrico, siempre supone una reducción de las emisiones. Con el caso de ser parcialmente eléctrico, se consigue una reducción de emisiones para los casos de velocidad de penetración moderada y rápida. Por otra parte, en los escenarios en los que el coche

compartido es únicamente de gasolina ocurre todo lo contrario. Las emisiones en estos casos son siempre desfavorables en comparación con el caso base. Además, las emisiones aumentan a medida que la velocidad de penetración del modo *carsharing* son mayores.

Por otra parte, gracias a disponer de los datos del parque, se puede calcular las emisiones procedentes de las etapas de fabricación, mantenimiento y fin de vida. Con esos datos seremos capaces de calcular las emisiones totales de CO₂ de cada uno de los casos. En principio, para poder calcular las emisiones generadas de la fabricación y mantenimiento de dicho parque, sería necesario obtener el número total de coches matriculados en los años de la simulación teniendo en cuenta los coches que se han ido dando de baja. A modo de aproximación, si se calcula la diferencia entre los valores del parque en 2020 y 2030 en cada uno de los casos, se puede estimar de manera aproximada el valor de las nuevas matriculaciones que ha habido durante esos años, aunque no se tengan en cuenta las bajas. Como además se disponen de los datos de emisiones de CO₂ derivadas de construir cada uno de los coches nuevos, se puede realizar el cálculo representado en las siguientes tablas.

Tabla 45: Emisiones medias fabricación de nuevos coches.

	GSL+DE	EV
Emisiones fabricación	6,3545 t CO ₂	10,703 t CO ₂

Es necesario destacar que cuando se habla de parque eléctrico (parque EV) y parque de combustión, estos números incluyen la suma de los parques de coche privado y *carsharing*.

Tabla 46: Emisiones fabricación CO2 caso 0

Caso 0	Diferencia de parques entre 2020 y 2030	Emisiones [t CO₂]	Emisiones totales [t CO₂]
Parque EV	283300	3032159,9	5078308,9
Parque combustión	322000	2046149	

Las emisiones correspondientes al resto de casos son:

Tabla 47: Emisiones fabricación casos 1-9

Nuevos coches	Parque EV	Parque combustión	Emisiones totales [t CO₂]
Caso 1	284790	476633	6076871,77
Caso 2	277190	419170	5630380,34
Caso 3	265777	332970	4960469,1
Caso 4	267900	493530	6003470,09
Caso 5	241690	454670	5476008,59
Caso 6	202350	396390	4684612,31
Caso 7	276360	485080	6040321,94
Caso 8	259440	436920	5553194,46
Caso 9	234070	364680	4822610,27

De la tabla anterior es interesante recalcar que a medida que aumenta la penetración del coche compartido, el parque de nuevos coches matriculados va disminuyendo. Esto se debe principalmente a que los coches de *carsharing* realizan más kilómetros anuales y sustituyen a más vehículos privados que otros modos de transporte. Se puede observar esta tendencia en la tabla siguiente.

Tabla 48: Comparativa del parque.

	Lento	Moderado	Rápido
EV	26%	15%	-1%
GSL	26%	15%	-1%
EV+GSL	26%	15%	-1%

Se observa que los únicos escenarios en los que el parque total de vehículos es menor es en los de penetración del *carsharing* rápida. Es interesante recalcar que el parque de vehículos es considerablemente mayor en los casos de penetración lenta y moderada.

Haciendo una comparativa entre cada uno de los casos y el caso base nos queda:

Tabla 49: Comparativa de casos emisiones fabricación.

	Lento	Moderado	Rápido
EV	20%	11%	-2%
GSL	18%	8%	-8%
EV+GSL	19%	9%	-5%

Se concluye que, cuando se compara las emisiones que nos costaría fabricar, mantener y reciclar los nuevos coches de cada uno de los casos, el único escenario en el que ahorraríamos en emisiones sería en escenarios con una penetración de *carsharing* rápida. El resto de casos aumentan un 10% y un 20% dichas emisiones para los casos de penetración moderada y lenta respectivamente.

Haciendo un recuento total de las emisiones para cada escenario y en comparación con el caso base (en MtCO₂).

Tabla 50: Emisiones totales

	Uso	Fabricación	Total
Caso 0	2,117	0,005	2,122
Caso 1	2,088	0,006	2,095
Caso 2	2,030	0,006	2,035
Caso 3	1,942	0,005	1,947
Caso 4	2,164	0,006	2,170
Caso 5	2,187	0,005	2,192
Caso 6	2,221	0,005	2,226
Caso 7	2,126	0,006	2,132
Caso 8	2,108	0,006	2,114
Caso 9	2,081	0,005	2,086

Tabla 51: Comparativa de emisiones totales

	Lento	Moderado	Rápido
EV	-1,3%	-4,1%	-8,3%
GSL	2,3%	3,3%	4,9%
EV+GSL	0,5%	-0,4%	-1,7%

Se puede observar que sea cual sea la penetración del *carsharing* siempre que sea completamente eléctrico, va a obtener mejores resultados que el caso base en lo que a emisiones respecta. Todo lo contrario ocurre con el caso de implantar coches de gasolina como vehículos compartidos. Por último, cuando se combinan coches eléctricos y de

gasolina, la mejora en las emisiones totales se obtiene a partir de una velocidad de penetración moderada. Cabe destacar también que a medida que aumenta dicha penetración, mejores son los resultados obtenidos para los casos de un parque eléctrico y un parque parcialmente eléctrico. Esto no ocurre en los escenarios que incluyen un parque de gasolina.

Capítulo 7. CONCLUSIÓN

Haciendo una recopilación sobre todo el estudio realizado, se han estudiado las emisiones de los vehículos que se utilizarán como coches compartidos. Sobre los resultados obtenidos en las distintas partes del estudio se basarán las conclusiones obtenidas.

Un primer estudio de los coches utilizados para el carsharing se realizó mediante un análisis del ciclo de vida, en el que se diferenciaban tres posibles tipos de vehículos: eléctricos, gasolina y diésel. En ese capítulo en concreto se obtienen resultados sobre las emisiones que se generan de fabricar, usar, mantener y reciclar cada nuevo coche en función de tres tipos de motorización. Los resultados arrojan conclusiones ya esperadas, como que fabricar vehículos eléctricos es más perjudicial a nivel de emisiones que un vehículo de gasolina o diésel. El resultado cambia drásticamente cuando se incluyen datos sobre el uso y la vida de estos vehículos, ya que la gran diferencia en las emisiones que se generan por el uso de los vehículos de combustión frente a los eléctricos hace que, en un análisis de vida completo, los vehículos eléctricos salgan ganando en cuanto a emisiones respecta.

En una segunda parte del trabajo, se realiza un estudio a nivel global, con la idea de trabajar con un parque de vehículos y no solamente con un único vehículo. Para obtener unos resultados globales y no individuales, se necesitaron de dos pasos esenciales en el estudio. Primero, se obtuvo una distribución de kilómetros para cada uno de los modos de transporte a nivel urbano. Lo interesante de esta distribución de kilómetros es que se puede realizar con ellas distintos escenarios variando únicamente dos parámetros, la cantidad de usuarios anuales de *carsharing*, llamada distribución de usuarios a lo largo del trabajo, y la velocidad de penetración de dicho modo entre los usuarios, es decir, la frecuencia con la que cada tipo de usuario realiza un viaje con cada modo. Segundo, se simula el parque y las emisiones de dicho parque a lo largo de 10 años a través del modelo del OVEMS. Para ello se introducen los datos de distribuciones de kilómetros y el parque actual de coches compartidos en la

ciudad de Madrid, y con ellos, se obtiene dicha simulación del parque de vehículos y las emisiones T2W asociadas en cada uno de los años. Con los datos arrojados del modelo sobre el parque y las emisiones se concluye:

- A mayor velocidad de penetración de *carsharing*, menores son las emisiones T2W en comparación con un escenario en el que este modo no existe, salvo en los casos en los que tengamos *carsharing* de gasolina. En estos escenarios ocurre lo contrario.
- El parque de vehículos necesarios para satisfacer la demanda de kilómetros en 2030 es menor cuanto mayor es dicha penetración.
- A medida que aumentamos la velocidad de penetración, las emisiones correspondientes a la fabricación, mantenimiento y reciclaje se reducen también en comparación con el caso base.
- Teniendo en cuenta los puntos anteriores, y corroborado por los resultados, las emisiones totales se reducen a medida que aumenta la velocidad de penetración, salvo en los escenarios de *carsharing* de gasolina.
- Aquellos escenarios que incluyen únicamente motorización de combustión acaban siendo perjudiciales para el medio ambiente. Lo contrario ocurre con la motorización eléctrica, que sea cual sea el caso, siempre reduce emisiones totales.
- El parque de vehículos aumenta para dos de los tres escenarios de penetración estudiados. El único caso en el que el parque es ligeramente inferior es en los casos de penetración de *carsharing* rápida. Obtener una reducción del parque es interesante ya que ayuda con la descongestión del tráfico en las ciudades.

Los resultados arrojados en este estudio indican que los beneficios del *carsharing* en un entorno urbano dependen del nivel de penetración de dicho modo en la sociedad y del tipo de vehículo utilizado. Resumiendo los resultados obtenidos, la mejor solución sería poder implementar el coche compartido lo más rápido posible y que además fuese exclusivamente eléctrico, para así obtener una reducción de las emisiones totales considerable y además una ligera reducción del parque total de coches.

El *carsharing* sustituye sobre todo al transporte público y modos activos, no al privado. Por lo tanto, una flota electrificada puede fomentar el uso de vehículos con menos emisiones y más nuevos, además de reducir la fabricación de coches por un menor parque. Sin embargo, si esos coches no están electrificados, el *carsharing* está sustituyendo a modos más sostenibles por un vehículo de combustión. Es por ello que a la hora de diseñar planes de descarbonización del transporte urbano de pasajeros es importante considerar la forma en la que se introduce el *carsharing* como fuente de reducción de emisiones. Planes como el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC, 2030) ya incluyen la movilidad compartida, sin embargo, no se hace alusión a la necesidad de que estas flotas sean eléctricas.

7.1 TRABAJOS FUTUROS

En el futuro, como continuación al trabajo realizado se plantea buscar la manera de introducir nuevos modos de transporte o tecnologías al modelo OVEMS con la idea de poder plantear escenarios de movilidad más precisos. En este trabajo hubiese sido interesante contar con modos de transporte como el transporte público o las motocicletas, especialmente el transporte público que se ve muy afectado por la implantación del *carsharing*.

Otra idea interesante sería la capacidad de hacer una comparativa de los beneficios de la implantación del *carsharing* en un entorno urbano entre ciudades de distinto tamaño. Con datos de población y parque de vehículos, sumado a un análisis de la demanda entre ciudades de distinto tamaño, podría realizarse una comparación interesante en la que se observe en que escenarios es más interesante promover el uso del *carsharing*.

Por último, en este trabajo se ha contemplado el coche compartido como único modo de transporte relacionado con la micro movilidad. En un futuro sería interesante incluir otros modos de transporte urbano como pueden ser los *scooters* eléctricos, la bici eléctrica o la moto compartida.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. P. Prada y G. V. Romera, «MOVILIDAD INTELIGENTE», p. 12.
- [2] «IDAE -». <https://coches.idae.es/consumo-de-carburante-y-emisiones> (accedido 30 de enero de 2022).
- [3] «Nueve de cada diez personas de todo el mundo respiran aire contaminado Sin embargo, cada vez hay más países que toman medidas». <https://www.who.int/es/news/item/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (accedido 30 de enero de 2022).
- [4] «| Greenhouse Gas (GHG) Emissions | Climate Watch». https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=sector&chartType=line&end_year=2018&gases=co2®ions=ES§ors=agriculture%2Cbunker-fuels%2Cindustrial-processes%2Ctotal-excluding-lucf%2Cwaste%2Celectricity-heat%2Ctransportation&start_year=2000 (accedido 30 de enero de 2022).
- [5] «INFORME-MICROMOVILIDAD.pdf». <https://www.enriquedans.com/wp-content/uploads/2021/10/INFORME-MICROMOVILIDAD.pdf> (accedido 30 de enero de 2022).
- [6] «Libro Verde». <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52007DC0551&from=EN> (accedido 30 de enero de 2022).
- [7] R. Kawamoto *et al.*, «Estimation of CO₂ Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA», *Sustainability*, vol. 11, n.º 9, Art. n.º 9, ene. 2019, doi: 10.3390/su11092690.
- [8] «Comparative life-cycle greenhouse gas emissions of a mid-size BEV and ICE vehicle – Charts – Data & Statistics», *IEA*. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/comparative-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-a-mid-size-bev-and-ice-vehicle> (accedido 22 de febrero de 2022).
- [9] Á. Aguilera-García, J. Gomez, N. Sobrino, y J. J. Vinagre Díaz, «Moped Scooter Sharing: Citizens' Perceptions, Users' Behavior, and Implications for Urban Mobility», *Sustainability*, vol. 13, n.º 12, Art. n.º 12, jun. 2021, doi: 10.3390/su13126886.
- [10] L. Amatuni, J. Ottelin, B. Steubing, y J. M. Mogollón, «Does car sharing reduce greenhouse gas emissions? Assessing the modal shift and lifetime shift rebound effects from a life cycle perspective», *J. Clean. Prod.*, vol. 266, p. 121869, sep. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121869.
- [11] «Salud - Desarrollo Sostenible». <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/> (accedido 31 de enero de 2022).
- [12] M. Moran, «Consumo y producción sostenibles», *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/> (accedido 31 de enero de 2022).

- [13] M. Moran, «Energía», *Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/> (accedido 30 de enero de 2022).
- [14] M. Moran, «Ciudades», *Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/> (accedido 30 de enero de 2022).
- [15] «Cambio climático», *Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/> (accedido 30 de enero de 2022).
- [16] «REData - No renovables detalle emisiones CO2 | Red Eléctrica».
<https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>
(accedido 13 de junio de 2022).
- [17] «Madrid - Place Explorer - Data Commons».
https://datacommons.org/place/wikidataId/Q2807?utm_medium=explore&mprop=count&popt=Person&hl=es (accedido 1 de junio de 2022).
- [18] «¿Cómo nos movemos?» <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/como-nos-movemos.aspx> (accedido 1 de junio de 2022).
- [19] S. Soria, «Claves del carsharing en España: ciudades, precios, flota», *MovilidadHoy*, 17 de septiembre de 2020. <https://www.movilidadhoy.com/coches/carsharing-coches-compartidos-claves/> (accedido 12 de julio de 2022).