



MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO
ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA
ELECTRIFICACIÓN DE FLOTAS DE
TAXIS Y VTC

Autor: Ángela Durán Arellano

Director: Pablo Frías Marín

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio del Impacto de la Electrificación de Taxis y VTCs
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/2024 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 *angelbudarellans* Fecha: 21/ 07/2024...

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Fecha: *21* / *7* / *2024*



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA
ELECTRIFICACIÓN DE FLOTAS DE
TAXIS Y VTC

Autor: Ángela Durán Arellano

Director: Pablo Frías Marín

Madrid

Agradecimientos

Quiero dar las gracias a mi familia por el apoyo constante y a Pablo Frías por la oportunidad de elaborar este trabajo.

ESTUDIO DEL IMPACTO DE LA ELECTRIFICACIÓN DE FLOTAS DE TAXIS Y VTC

Autor: Durán Arellano, Ángela.

Director: Frías Marín, Pablo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción

Este proyecto se motiva por la necesidad de reducir las emisiones generadas por el transporte, que representan un 30,7% de las emisiones totales en España, superando el promedio de la UE del 23%. El transporte por carretera es el principal contribuyente (92,5%) de las altas emisiones generadas.

Por este motivo, se seleccionan los servicios de vehículos privados, es decir, los taxis y VTC para realizar el estudio. La razón por la que se escoge este tipo de vehículos se debe a los altos números de kilómetros recorridos de forma diaria y su alta contribución a la densidad del tráfico.

Para poder analizar de forma específica cuál es el impacto de estos vehículos en las emisiones generadas, se selecciona la Comunidad de Madrid como área de estudio. El trasfondo de esta selección se basa en que es una de las comunidades españolas con mayor número de vehículos privados, además de ser una ciudad densa en tráfico.

2. Definición del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es entender cuál es la mejor estrategia para promover estos vehículos hacia la electrificación y aplicar políticas que permitan conseguirlo. Para poder llevar esto a cabo, primero hay que analizar la situación actual que existe y identificar las áreas de mejora.

Una vez analizada la situación actual, se realizan cinco posibles escenarios de cómo podrían evolucionar las emisiones generadas por los taxis y VTC en 10 años. Cada uno de los escenarios emplea diferentes tecnologías, pero todos ellos siempre buscan una reducción de emisiones y tecnologías limpias y sostenibles.

Además de los cinco escenarios, se evalúan los kilómetros totales recorridos. Los kilómetros recorridos son uno de los parámetros que distinguen a los taxis y VTC y son divididos entre los ocupados, cuando se recorren con pasajeros, y los vacíos, cuando no. Por este motivo, se ha realizado un análisis de cómo varían las emisiones en el caso de que los kilómetros vacíos

se redujesen. Asimismo, esta misma idea se ha empleado para la evolución de 10 años de los cinco escenarios comentados.

3. Descripción del sistema modelo/ /herramienta

Para elaborar el trabajo se ha empleado Excel de Microsoft, en el que se han ido elaborando cada uno de los escenarios en base a la situación actual que existe de taxis y VTC en la Comunidad de Madrid.

En esta plataforma se han ido elaborando cada uno de los escenarios. Una vez estos escenarios se han realizado, se han modificado para obtener la información necesaria, como puede ser, cómo varían los escenarios al eliminar los kilómetros vacíos. Una vez obtenido el análisis se ha analizado.

4. Resultados

En el análisis de la situación actual en 2024, se ha observado que los taxis emplean tecnologías más avanzadas y limpias en comparación con los VTC. A pesar de esto, los taxis recorren un mayor número de kilómetros diarios y son superiores en número, lo que resulta en una mayor cantidad de emisiones generadas por estos vehículos en conjunto. Aunque los taxis están mejor equipados tecnológicamente para reducir las emisiones, su mayor uso y cantidad compensan estos beneficios tecnológicos, resultando en una mayor contribución total a las emisiones.

Al analizar los cinco escenarios propuestos, obtuvimos diferentes resultados para cada tipo de contaminante. El escenario de completa electrificación es el óptimo en términos de reducción de emisiones, pero también el menos realista debido a los desafíos económicos y tecnológicos que implica. Al comparar las emisiones generadas por cada servicio y contaminante, encontramos que los escenarios de transición verde y PHEV son los más prometedores. En el escenario de transición verde, se observa una significativa reducción de emisiones al promover una estrategia de electrificación flexible, permitiendo la sustitución gradual de vehículos más contaminantes por otros más eficientes y menos contaminantes. El escenario PHEV también muestra una considerable disminución de emisiones al incentivar la adopción de PHEV, que combinan tecnologías de combustión y eléctricas, reduciendo así las emisiones globales.

Cuando analizamos el caso base del número de kilómetros vacíos recorridos, notamos una diferencia notable en las emisiones generadas por taxis y VTC. Los taxis, debido a su mayor proporción de kilómetros vacíos, presentan una oportunidad significativa para reducir las emisiones al disminuir estos kilómetros innecesarios. La reducción de kilómetros vacíos resulta en una menor diferencia de emisiones entre taxis y VTC, ya que los taxis, al optimizar sus recorridos, logran una mayor eficiencia y una reducción proporcional de sus emisiones.

Finalmente, al analizar el impacto de eliminar los kilómetros vacíos en cada uno de los escenarios, encontramos que esta medida tiene un efecto positivo en la reducción de emisiones para todos los casos. La eliminación de kilómetros vacíos permite maximizar la eficiencia operativa de los vehículos y reduce las emisiones totales generadas. Este impacto es especialmente notable en los taxis, que se benefician más de la eliminación de kilómetros vacíos debido a su mayor número y uso diario en comparación con los VTC.

5. Conclusiones

En conclusión, la eliminación de los kilómetros vacíos y la transición a tecnologías más limpias son esenciales para reducir las emisiones en el sector del transporte privado en Madrid. Los taxis, aunque actualmente generan más emisiones debido a su mayor uso, tienen un mayor potencial de reducción de emisiones a través de la electrificación y la optimización de sus recorridos debido a que emplean tecnologías más limpias en 2024. Es el escenario de la completa electrificación el más óptimo para lograr una reducción notable de emisiones. Sin embargo, los escenarios de transición verde y PHEV, que son más realistas, emergen como los más viables y efectivos para lograr una reducción significativa de las emisiones en 10 años, al combinar la flexibilidad tecnológica con estrategias de electrificación progresiva. La adopción de políticas públicas que incentiven estas prácticas y apoyen la transición a tecnologías más limpias es crucial para avanzar hacia un sistema de transporte más sostenible y respetuoso con el medioambiente.

6. Referencias

Comunidad de Madrid. (s.f.). Análisis del transporte público en la Comunidad de Madrid <https://www.comunidad.madrid/file/400759/download>

Ayuntamiento de Madrid. (s.f.). Estudio del Servicio del Taxi <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/TAXI/Fiche>

[ros/Otros/Ayto%20Madrid%20%C2%B7%20Estudio%20del%20Servicio%20del%20Taxi.pdf](#)

Ihobe. (s.f.). Comparativa ambiental entre diferentes alternativas de vehículos: eléctrico, híbrido y combustión <https://www.ihobe.es/publicaciones/comparativa-ambiental-entre-diferentes-alternativas-vehiculos-electrico-hibrido-y-combustion-3>

Opus RSE. (2020). Etiquetas ambientales https://www.lifegystra.eu/wp-content/uploads/2020/07/OpusRSE_Etiquetas-ambientales_Junio-2020.pdf

Ayuntamiento de Madrid. (s.f.). Texto completo Ordenanza VTC https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/Quizas/VTC/Texto_completo_Ordenanza_VTC.pdf

Ayuntamiento de Madrid. (s.f.). Datos sobre movilidad y transporte <https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9fbe4b2e4b284f1a5a0/?vgnextoid=30f6403dc7ba3610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnextfmt=default>

STUDY ON THE IMPACT OF ELECTRIFYING TAXI AND RIDE-HAILING FLEET

Author: Durán Arellano, Ángela.

Supervisor: Frías Marín, Pablo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

1. Introduction

This project is motivated by the need to reduce emissions generated by transportation, which account for 30.7% of total emissions in Spain, exceeding the EU average of 23%. Road transport is the main contributor (92.5%) to these high emissions. For this reason, private vehicle services, specifically taxis and VTCs (ride-hailing services), are selected for the study. These vehicles are chosen due to the high number of kilometres travelled daily and their significant contribution to traffic density. To specifically analyse the impact of these vehicles on generated emissions, the Community of Madrid is selected as the study area. This selection is based on Madrid being one of the Spanish regions with the highest number of private vehicles, in addition to being a city with dense traffic.

2. Definition of the project

The main objective of this project is to determine the best strategy to promote the electrification of these vehicles and to apply policies that facilitate this goal. To achieve this, it is first necessary to analyse the current situation and identify areas for improvement. Following this analysis, five potential scenarios for the evolution of emissions generated by taxis and VTCs over the next 10 years are developed. Each scenario employs different technologies but all aim for emission reduction and sustainable, clean technologies. In addition to the five scenarios, the total kilometres travelled are evaluated. Kilometres travelled are one of the parameters that distinguish taxis and VTCs and are divided between occupied kilometres, when passengers are on board, and empty kilometres, when they are not. Therefore, an analysis was conducted on how emissions would vary if empty kilometres were reduced. This same concept was applied to the 10-year evolution of the five discussed scenarios.

3. Description of the model/system/tool

The project was developed using Microsoft Excel, where each scenario was modelled based on the current situation of taxis and VTCs in the Community of Madrid. In this platform, each scenario was elaborated. Once these scenarios were created, they were modified to obtain the necessary information, such as how scenarios vary when empty kilometres are eliminated. Once the analysis was obtained, it was thoroughly examined.

4. Results

In the analysis of the current situation in 2024, it was observed that taxis employ more advanced and cleaner technologies compared to VTCs. Despite this, taxis travel a greater number of daily kilometres and are greater in number, resulting in a higher number of emissions generated by these vehicles overall. Although taxis are better equipped technologically to reduce emissions, their higher use and quantity balance out these technological benefits, resulting in a greater total contribution to emissions.

When analysing the five proposed scenarios, different results were obtained for each type of pollutant. The complete electrification scenario is the most optimal in terms of emission reduction but also the least realistic due to the economic and technological challenges it entails. When comparing emissions generated by each service and pollutant, we found that the green transition and PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) scenarios are the most promising. In the green transition scenario, there is a significant reduction in emissions by promoting a flexible electrification strategy, allowing the gradual replacement of more polluting vehicles with more efficient and less polluting ones. The PHEV scenario also shows a considerable decrease in emissions by encouraging the adoption of PHEVs, which combine combustion and electric technologies, thereby reducing overall emissions.

When analysing the base case of the number of empty kilometres travelled, we noticed a significant difference in emissions generated by taxis and VTCs. Taxis, due to their higher proportion of empty kilometres, present a significant opportunity to reduce emissions by decreasing these unnecessary kilometres. The reduction of empty kilometres results in a smaller difference in emissions between taxis and VTCs, as taxis, by optimising their routes, achieve greater efficiency and a proportional reduction in their emissions.

Finally, when analysing the impact of eliminating empty kilometres in each scenario, we found that this measure positively affects emission reduction in all cases. Eliminating empty

kilometres maximises the operational efficiency of vehicles and reduces total emissions generated. This impact is especially notable in taxis, which benefit more from the elimination of empty kilometres due to their greater number and daily use.

5. Conclusions

In conclusion, eliminating empty kilometres and transitioning to cleaner technologies are essential for reducing emissions in the private transport sector in Madrid. Taxis, although currently generating more emissions due to their higher usage, have greater potential for emission reduction through electrification and route optimisation due to their use of cleaner technologies in 2024. The complete electrification scenario is the most optimal for achieving a notable reduction in emissions. However, the green transition and PHEV scenarios, which are more realistic, emerge as the most viable and effective for achieving significant emission reductions over 10 years by combining technological flexibility with progressive electrification strategies. The adoption of public policies that incentivise these practices and support the transition to cleaner technologies is crucial for advancing towards a more sustainable and environmentally friendly transportation system.

6. References

Comunidad de Madrid. (s.f.). Análisis del transporte público en la Comunidad de Madrid <https://www.comunidad.madrid/file/400759/download>

Ayuntamiento de Madrid. (s.f.). Estudio del Servicio del Taxi <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/TAXI/Ficheros/Otros/Ayto%20Madrid%20%C2%B7%20Estudio%20del%20Servicio%20del%20Taxi.pdf>

Ihobe. (s.f.). Comparativa ambiental entre diferentes alternativas de vehículos: eléctrico, híbrido y combustión <https://www.ihobe.eus/publicaciones/comparativa-ambiental-entre-diferentes-alternativas-vehiculos-electrico-hibrido-y-combustion-3>

Opus RSE. (2020). Etiquetas ambientales https://www.lifegystra.eu/wp-content/uploads/2020/07/OpusRSE_Etiquetas-ambientales_Junio-2020.pdf

Ayuntamiento de Madrid. (s.f.). Texto completo Ordenanza VTC https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/Quizas/VTC/Texto_completo_Ordenanza_VTC.pdf

Ayuntamiento de Madrid. (s.f.). Datos sobre movilidad y transporte
<https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9fbe4b2e4b284f1a5a0/?vgnextoid=30f6403dc7ba3610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnextfmt=default>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	9
1.1 Contexto detrás del trabajo	9
1.2 Objetivos del proyecto.....	11
1.3 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	13
Capítulo 2. Análisis y Situación Actual en Madrid de los VTC y Taxis	15
2.1 Identificación de parámetros que limitan y determinan las emisiones de vehículos privados 15	
2.1.1 Número de licencias.....	16
2.1.2 Número de vehículos.....	17
2.1.3 Kilómetros recorridos.....	18
2.1.4 Número de emisiones	23
2.2 Estado actual de emisiones de VTC y Taxis.....	25
2.2.1 Conclusiones del estado actual de emisiones de los vehículos privados	27
Capítulo 3. Análisis de los Diferentes Escenarios a Medio Plazo (10 años)	30
3.1 Escenario Continuista	30
3.2 Escenario de Transición Verde.....	33
3.3 Escenario HEV	36
3.4 Escenario PHEV	39
3.5 Escenario de la Completa Electrificación	42
3.6 Comparación entre los diferentes escenarios	43
3.6.1 Evolución de Emisiones de CO ₂	44
3.6.2 Evolución de Emisiones de CO.....	46
3.6.3 Evolución de Emisiones de NO _x	47
3.6.4 Evolución de Emisiones de PM	49
3.6.5 Conclusiones.....	50
Capítulo 4. Impacto de kilómetros Vacíos	52
4.1 Análisis de emisiones según el FP aplicado al caso base.....	52
4.2 Comparativa de emisiones según el FP para cada tipo de escenario	56
4.2.1 Escenario Continuista.....	56
4.2.2 Escenario de Transición Verde	62

4.2.3 Escenario HEV	68
4.2.4 Escenario PHEV	74
4.2.5 Escenario de la Completa Electrificación.....	80
Capítulo 5. Conclusiones y Uso de Políticas de Descarbonización	85
5.1 Situación actual de los taxis y VTC.....	86
5.2 Análisis de la evolución de los cinco escenarios	88
5.2.1 Emisiones de VTC.....	91
5.2.2 Emisiones de Taxis.....	92
5.3 Impacto de los kilómetros vacíos en el caso base	99
5.4 Impacto de los kilómetros vacíos en los cinco escenarios	104
Capítulo 6. Bibliografía.....	109
ANEXO I	114

Índice de gráficas

Gráfica 1: Porcentaje de emisiones de cada sector en España (Demográfico, 2023)	9
Gráfica 2: Porcentaje medio de uso de cada tipo de transporte (Mundo, 8 de noviembre 2016)	10
Gráfica 3: Porcentaje que conforma cada etiqueta	18
Gráfica 4: Número de servicios demandados (Madrid A. d.)	22
Gráfica 5: Distribución de demanda de porcentajes de los servicios (Madrid A. d.)	22
Gráfica 6: Evolución de emisiones del escenario continuista	33
Gráfica 7: Evolución de las emisiones del escenario de transición verde.....	36
Gráfica 8: Evolución de las emisiones del escenario HEV	39
Gráfica 9: Evolución de emisiones del escenario PHEV	41
Gráfica 10: Evolución de emisiones del escenario de la completa electrificación.....	43
Gráfica 11: Evolución de emisiones de CO ₂ para cada escenario	44
Gráfica 12: Evolución de emisiones de CO para cada escenario	46
Gráfica 13: Evolución de emisiones de NO _x para cada escenario	48
Gráfica 14: Evolución de emisiones de PM para cada escenario	49
Gráfica 15: Valores de las emisiones según el tipo de servicio	56
Gráfica 16: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario continuista	57
Gráfica 17: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario continuista	60
Gráfica 18: Comparación del escenario continuista con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1	61
Gráfica 19: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario de transición verde.....	62
Gráfica 20: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario de transición verde.....	66
Gráfica 21: Comparación del escenario de transición verde con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1	67

Gráfica 22: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario HEV	68
Gráfica 23: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario HEV	73
Gráfica 24: Comparación del escenario HEV con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1	74
Gráfica 25: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario PHEV	75
Gráfica 26: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario PHEV	78
Gráfica 27: Comparación del escenario PHEV con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1	79
Gráfica 28: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario de la completa electrificación	81
Gráfica 29: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario de la completa electrificación	83
Gráfica 30: Porcentaje de distribución de los VTC en el escenario de transición verde	91
Gráfica 31: Porcentaje de distribución de los taxis en el escenario de transición verde	92
Gráfica 32: Porcentaje de distribución de los taxis y VTC en el escenario de transición verde	92
Gráfica 33: Evolución de emisiones taxis y VTC (Emisiones CO ₂ . Escenarios Continuista y de Transición verde)	96

Índice de tablas

Tabla 1: Número y diferencia de licencias para Taxis y VTCs en la Com. Madrid (Madrid A. d.)	16
Tabla 2: Numero de vehículos VTC y Taxis por combustible y etiqueta.....	17
Tabla 3: Recorrido de Km semanales de un taxi (Madrid A. d.).....	19
Tabla 4: Recorrido de Km semanales de un VTC	20
Tabla 5: Numero y porcentaje de servicios demandados por hora (Madrid A. d.).....	21
Tabla 6: Número de emisiones por cada tipo de combustible y etiqueta medioambiental en g/Km (Vasco)	24
Tabla 7: Valores medios de kilómetros recorridos por tipo de servicio	25
Tabla 8: Número de gramos emitidos por cada tipo de vehículo	26
Tabla 9: Comparativa de emisiones entre Taxis y VTC	27
Tabla 10: Comparativa de emisiones entre HEV y PHEV	28
Tabla 11: Comparativa de emisiones entre Diesel, Gasolina y GLP.....	28
Tabla 12: Comparativa de emisiones entre Diesel y GNC.....	28
Tabla 13: Valores de emisiones de BEV.....	29
Tabla 14: Porcentaje de reducción de emisiones y fecha de matriculación por año	31
Tabla 15: Emisiones generadas por el Escenario Continuista.....	32
Tabla 16: Evolución de cada combustible en el escenario de transición verde.....	34
Tabla 17: Resultados del escenario de transición verde	34
Tabla 18: Evolución de cada combustible en el escenario HEV	37
Tabla 19: Resultados del escenario HEV	38
Tabla 20: Evolución de cada combustible en el escenario PHEV.....	40
Tabla 21: Resultados del escenario PHEV	40
Tabla 22: Resultados del escenario de la completa electrificación	42
Tabla 23: Porcentaje de reducción de CO ₂ para cada escenario	45
Tabla 24: Porcentaje de reducción de CO para cada escenario	46
Tabla 25: Porcentaje de reducción de NO _x para cada escenario.....	48
Tabla 26: Porcentaje de reducción de PM para cada escenario.....	50

Tabla 27: Emisiones generadas por los kilómetros ocupados para cada servicio	53
Tabla 28: Resultados de las emisiones según el FP para cada servicio	54
Tabla 29: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario continuista.....	58
Tabla 30: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario continuista.	59
Tabla 31: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario de transición verde ...	63
Tabla 32: Diferencia de porcentaje para cada FP con respecto a 2024 (FP=1) para el escenario de transición verde.....	64
Tabla 33: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario de transición verde.....	65
Tabla 34: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario HEV	69
Tabla 35: Valores totales de las emisiones generadas por combustible en el escenario HEV para FP=0	70
Tabla 36: Diferencia de porcentaje para cada FP con respecto a 2024 (FP=1) para el escenario HEV	71
Tabla 37: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario HEV	71
Tabla 38: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario PHEV.....	76
Tabla 39: Diferencia de porcentaje para cada FP con respecto a 2024 (FP=1) para el escenario PHEV	77
Tabla 40: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario PHEV.....	77
Tabla 41: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario de la completa electrificación	81
Tabla 42: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario de la completa electrificación	82
Tabla 43: Comparación del escenario de la completa electrificación con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1	84
Tabla 44: Distribución de VTC por etiqueta	86
Tabla 45: Distribución de taxis por etiqueta	87
Tabla 46: Valor de las emisiones en gramos por kilómetros de cada escenario	89
Tabla 47: Emisiones generadas por los VTC de cada vehículo en el escenario de transición verde 2035	90

Tabla 48: Emisiones generadas por los taxis de cada vehículo en el escenario de transición verde 2035	90
Tabla 49: Emisiones generadas por los VTC de cada vehículo en el escenario de PHEV 2035	90
Tabla 50: Emisiones generadas por los taxis de cada vehículo en el escenario de PHEV 2035	91
Tabla 51: Gramos por vehículo de cada servicio para cada escenario	93
Tabla 52: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo para cada escenario	94
Tabla 53: Número y tipo de combustible de taxis que solo experimentan un cambio	97
Tabla 54: Gramos por vehículo para cada valor de FP en 2024.....	100
Tabla 55: Diferencia entre los valores de FP con respecto a FP=1 en cada servicio	100
Tabla 56: Diferencia entre los valores de cada servicio para cada valor de FP	101
Tabla 57: Gramos por kilómetro para cada valor de FP en 2024	102
Tabla 58: Gramos por kilómetro para cada escenario, valor de FP, servicio y contaminante	105
Tabla 59: Gramos por vehículo para cada escenario, valor de FP, servicio y contaminante	106
Tabla 60: Diferencia de porcentaje entre los valores de FP para cada escenario	107

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: ODS empleados en este trabajo (Unidas)14

Acrónimos

UE: Unión Europea

VTC: Vehículos de transportes con conductor

CO₂: Dióxido de carbono

CO: Monóxido de carbono

NO_x: Óxido de nitrógeno

PM: Material particulado

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

CCAA: Comunidad Autónoma

GLP: Gas Licuado del petróleo

GNC: Gas Natural Comprimido

HEV: Hybrid Electric Vehicle

PHEV: Plug-in Hybrid Electric Vehicle

BEV: Battery Electric Vehicle

Km: Kilómetros

N: Número

FC: Factor de carga

LULUCF: Uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura

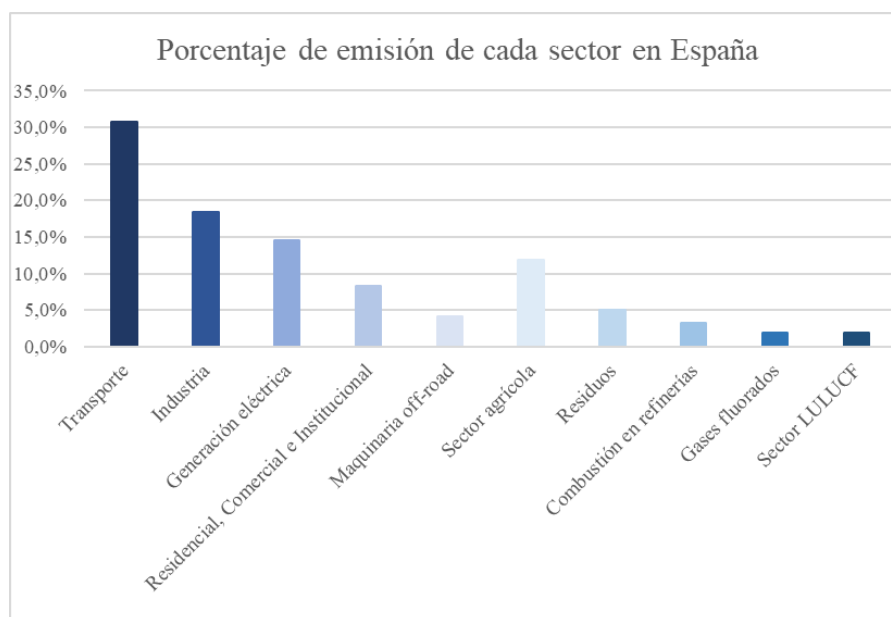
FP: Factor de potencia

Vehículos privados: Nomenclatura empleada para el conjunto de taxis y VTC

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO DETRÁS DEL TRABAJO

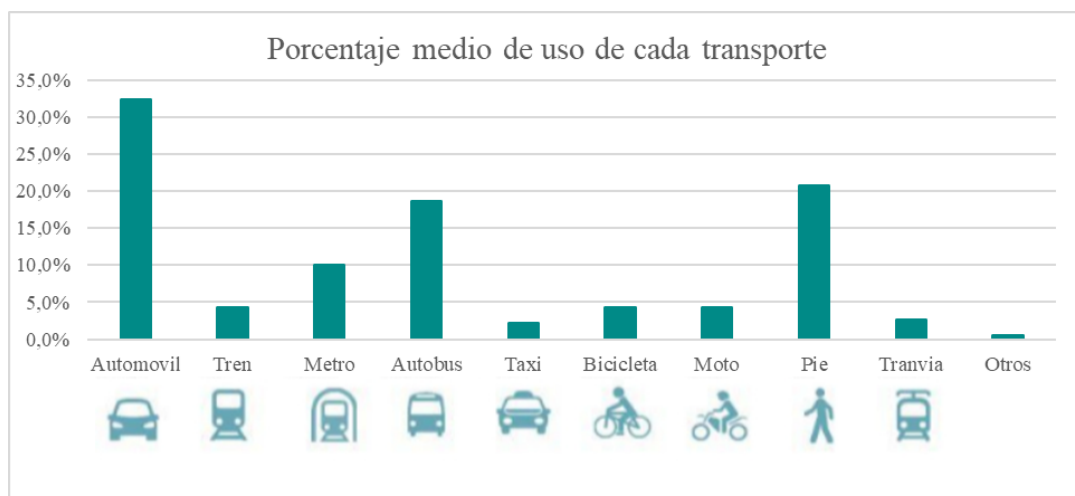
Es la concienciación sobre las emisiones generadas por el transporte la que motiva a buscar alternativas más sostenibles para desplazarse de un lugar a otro. Actualmente, en España, el sector del transporte es el principal responsable de las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo con un 30,7% de las emisiones totales generadas en el país. Esta realidad subraya la urgencia de adoptar medidas que reduzcan la huella ambiental del transporte. Si comparamos este dato con el porcentaje medio de emisiones totales contribuyentes al efecto invernadero en la Unión Europea (UE), obtenemos que España se sitúa por encima de la media de emisiones generadas por el transporte. Concretamente, la media en la UE es del 23%, lo que indica que España supera esta media en un 7,7%. Asimismo, el 92,5% de las emisiones generadas por el sector del transporte en España son ocasionadas por el transporte por carretera.



Gráfica 1: Porcentaje de emisiones de cada sector en España (Demográfico, 2023)

Es por este motivo, por el que se vuelve crucial comprender el funcionamiento y los impactos ambientales de diferentes modos de transporte para desarrollar estrategias de mitigación adecuadas. La problemática de las emisiones en el sector del transporte en España destaca la importancia de una transición hacia sistemas de transporte más limpios y eficientes, alineados con los objetivos de sostenibilidad a nivel europeo e internacional.

Las elevadas emisiones generadas por el sector del transporte son la principal motivación detrás de este proyecto. Surge la curiosidad por entender la situación de un tipo específico de transporte, identificar sus limitaciones y explorar el potencial impacto de su electrificación hacia un modelo más limpio y sostenible. Para elegir adecuadamente el tipo de transporte en el que enfocar este trabajo, es fundamental comprender primero cuáles son los medios más empleados diariamente.



Gráfica 2: Porcentaje medio de uso de cada tipo de transporte (Mundo, 8 de noviembre 2016)

Una vez obtenido el porcentaje medio de uso de cada tipo de transporte, se descartaron inmediatamente aquellas formas de desplazamiento que no generan ningún tipo de emisión, como la bicicleta y caminar. Del mismo modo, se decidió no centrarse en medios de transporte completamente regulados por el gobierno, como trenes, metro, autobuses y tranvías. Esto dejó únicamente los automóviles privados y los taxis y los vehículos de transportes con conductor (VTC) como opciones para el estudio.

Se optó por investigar los taxis y VTC por varias razones. En primer lugar, calcular las emisiones exactas de los automóviles privados sería complejo y extenso. Además, los taxis y VTC son menos numerosos, lo que facilita crear un escenario realista de la situación actual, dado que estos vehículos recorren significativamente más kilómetros diarios que los automóviles normales. Como resultado, generan emisiones diarias más altas y tienen un impacto más notable en términos de emisiones.

Para este trabajo, distinguiremos a los vehículos de transporte con conductor (VTC) como aquellos servicios de viajes como Uber, Cabify, Bolt, etc., en los que el cliente elige el punto de salida y de llegada, a diferencia del transporte público. Su funcionamiento es algo diferente al del taxi, el precio no se calcula in situ, sino que se fija de antemano, antes de que el cliente se suba al coche, y se paga con antelación, no al final del recorrido. Además, los chóferes de los vehículos de transporte con conductor no pueden parar para recoger a una persona que les solicite los servicios por la calle, con una señal, como ocurre con los servicios tradicionales. En cambio, sus servicios deben contratarse a través de las aplicaciones. Por este motivo, distinguiremos entre los VTC y los taxis. Asimismo, llamaremos “vehículos privados” al conjunto de los taxis y VTC.

Una vez definido que el proyecto se centrará en analizar los taxis y VTC, se opta por reducir aún más el ámbito de estudio. Por esta razón, se decide llevar a cabo la investigación exclusivamente sobre estos vehículos en la Comunidad de Madrid. La elección de enfocarse en esta región se justifica por su elevada densidad de tráfico, su relevancia como centro urbano y por ser la comunidad autónoma con mayor número de vehículos privados.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1. Representación de la Flota y Emisiones de Taxis y VTCs

- Se realizará un exhaustivo análisis de la composición de la flota de taxis y VTCs en Madrid, incluyendo datos como la fecha de matriculación, la etiqueta medioambiental con la que circulan y el tipo de combustible utilizado por cada vehículo.

- Se desarrollará un caso base para calcular las emisiones de CO₂, CO, NO_x y PM generadas por cada vehículo de la flota. Para ello, se emplearán datos sobre el número de vehículo según el tipo de combustible, las emisiones medias por kilómetro de cada vehículo y los kilómetros promedios diarios recorridos por un taxi o VTC.

2. Análisis de los Posibles Escenarios de Electrificación en un Medio Plazo (10 años)

- Se establecerá la vida útil promedio de un taxi y un VTC en la Comunidad de Madrid.
- Se desarrollarán varios casos escenarios que reflejen diferentes niveles de electrificación del parque automotor de taxis y VTCs en el medio plazo.
- Cada escenario será evaluado en términos de su impacto potencial en la reducción de emisiones contaminantes, la mejora de la calidad del aire y la sostenibilidad ambiental.

3. Análisis del Impacto de los Kilómetros Vacíos Recorridos

- Se examinará la diferencia en la cantidad de kilómetros vacíos recorridos por los VTCs en comparación con los taxis. Esto permitirá entender las causas y las implicaciones de esta discrepancia en términos de eficiencia energética y emisiones contaminantes.
- Se calculará el número de emisiones generadas por los kilómetros vacíos recorridos por los VTCs y los taxis.
- Se explorarán diversas alternativas y estrategias para reducir el número de kilómetros vacíos recorridos por los vehículos de transporte, con el objetivo de minimizar las emisiones asociadas a estos desplazamientos.

4. Obtención de un Escenario Óptimo para Reducir las Emisiones Generadas por Vehículos Privados

- Se elaborará un escenario detallado que describa cómo debería llevarse a cabo la electrificación de los vehículos privados en la Comunidad de Madrid para alcanzar el resultado óptimo.
- Se establecerá un resultado óptimo deseado para la electrificación de los vehículos privados, basado en criterios como la reducción de emisiones contaminantes, la mejora de la calidad del aire, la sostenibilidad ambiental y la viabilidad económica.

1.3 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

Este trabajo no solo busca avanzar en el conocimiento y la comprensión de las emisiones generados por los vehículos privados, sino que también tiene como objetivo primordial promover el bienestar de la salud de las personas y la búsqueda de un mejor medioambiente. En este sentido, se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por ello, se considerarán los siguientes ODS: ODS 3, al abordar el impacto de las emisiones de los vehículos en la salud humana y buscar estrategias para reducir el impacto, ODS 7 al promover la electrificación de los vehículos y el uso de combustibles más limpios, ODS 11 al enfocarse en la ciudad de Madrid y proponer medidas para reducir las emisiones de vehículos privados y ODS 13 al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover una movilidad más limpia.

- Objetivo 1. Fin de la pobreza
- Objetivo 2. Hambre cero
- **Objetivo 3. Garantía de salud y bienestar**
- Objetivo 4. Educación de calidad
- Objetivo 5. Igualdad de género
- Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento
- **Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante**
- Objetivo 8. Garantía de un trabajo decente y crecimiento económico

- Objetivo 9. Agua, industria, innovación e infraestructura
- Objetivo 10. Reducción de las desigualdades
- **Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles**
- Objetivo 12. Producción y consumos responsables
- **Objetivo 13. Acción por el clima**
- Objetivo 14. Vida submarina
- Objetivo 15. Vida de ecosistemas terrestres
- Objetivo 16. Paz, justicia e instituciones sólidas
- Objetivo 17. Alianzas para lograr los objetivos

 **OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**



Producido en colaboración con TROLLBACK + COMPANY | TheGlobalGoal@trollback.com | +1.212.829.1010
Para cualquier duda sobre la utilización, por favor comuníquese con: dptcampaig@un.org

Ilustración 1: ODS empleados en este trabajo (Unidas)

Capítulo 2. ANÁLISIS Y SITUACIÓN ACTUAL EN MADRID DE LOS VTC Y TAXIS

La idea de este proyecto surge a través de la preocupación por las emisiones generadas por el transporte y su aumento en las últimas décadas. Es aquí donde surge el interés por cuántas emisiones son generadas por vehículos privados debido a su alto número de kilómetros recorridos diarios. Para focalizar el estudio en un área más concreta, se realizará el estudio en la comunidad de Madrid al tratarse de una de las Comunidades Autónomas (CCAA) con mayor densidad de tráfico y su relevancia como centro urbano.

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio a medio plazo de cómo evolucionarán las emisiones, pero para ello, primero es necesario comprender cuál es la situación actual en la que se encuentran los VTC y los taxis. Para determinar la situación actual, es necesario identificar los parámetros que limitan y determinan el número de emisiones generadas por los vehículos privados. Una vez establecidos estos parámetros, se obtendrá el caso base, es decir, el escenario actual de emisiones generadas por los taxis y VTC.

2.1 IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS QUE LIMITAN Y DETERMINAN LAS EMISIONES DE VEHÍCULOS PRIVADOS

Para abordar de manera efectiva la reducción de emisiones generadas por los vehículos privados, es fundamental identificar y comprender los parámetros clave que influyen en estas emisiones. En esta sección, se analizarán los factores más relevantes que limitan y determinan las emisiones de los vehículos privados.

2.1.1 NÚMERO DE LICENCIAS

Para poder entender cuáles son las limitaciones que tienen los vehículos privados, es necesario comprender cuáles son las normativas que limitan el número de licencias que regulan los taxis y VTC. Con relación a los taxis, y recogido en el Decreto 74/2005, se detalla un número máximo de licencias a otorgar por cada municipio en función del número de habitantes. En concreto, se determina que se permiten 2 licencias por cada 100.000 habitantes de derecho en el caso de que un municipio tenga un valor superior a 500.000 habitantes.

En el caso de los VTC, el número de licencias no está regulado de la misma forma. La Ley 20/1998 permite a los VTC su uso como aplicación supletoria a los transportes urbanos en su municipio y a los transportes interurbanos, excepto en el caso de que haya una norma en la Comunidad de Madrid que lo contradiga. Es decir, actualmente no existe una norma que limite el número de VTC que puede haber.

Para poder observar en perspectiva cómo varía el número de licencias con los años, comparamos el número de licencias a partir del año en el que se limitó el número de licencias de taxis (2005) y 2022.

Numero de licencias en la Comunidad de Madrid			
Tipo de vehiculo	2005	2022	Diferencia en %
Licencias Taxis	16038	16062	0,15%
Autorizaciones VTC	584	7427	1171,75%

Tabla 1: Número y diferencia de licencias para Taxis y VTCs en la Com. Madrid (Madrid A. d.)

En la Tabla 1, podemos observar cómo el número de licencias de taxis no ha cambiado de forma significativa. Sin embargo, el número de autorizaciones de VTC se ha multiplicado casi por 12. Sin embargo, a pesar de haberse incrementado el número de autorizaciones de los VTC en un 1172%, únicamente representan el 32% del número total de vehículos privados. Tras realizar esta comparación del número de autorizaciones y licencias permitidas, podemos suponer que, en referencia a los taxis, a largo plazo el número

de licencias otorgadas no incrementará de forma significativa durante los próximos años. Sin embargo, hasta que no se determine una normativa exacta que indique la cantidad de licencias por habitante permitidas por los VTCs, estos continuarán incrementando con el tiempo.

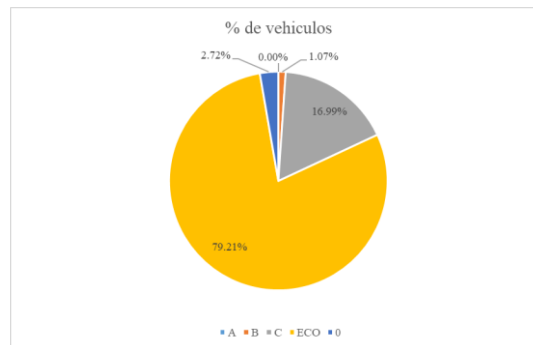
2.1.2 NÚMERO DE VEHÍCULOS

El Ayuntamiento de Madrid publica de forma anual el número de licencias de taxis y VTC. Asimismo, en este informe se incluyen la fecha de matriculación, la etiqueta del vehículo y el tipo de combustible que emplean. En la Tabla 2, se muestra tanto para taxis como VTC, el tipo de combustible, la etiqueta ecológica y la cantidad de vehículos que comparten estas características:

TAXIS			VTC		
Tipo de combustible	Etiqueta	N de vehículos	Tipo de combustible	Etiqueta	N de vehículos
Diesel	A	1	Diesel	B	164
Diesel	B	80	Diesel	C	2063
Diesel	C	1812	Diesel	ECO	0
Diesel	ECO	2	Gasolina	B	2
Diesel/GLP	ECO	13	Gasolina	C	20
Gasolina	B	0	Gasolina	ECO	0
Gasolina	C	1	Gasolina/GLP	ECO	688
Gasolina	ECO	7	Gasolina/GNC	ECO	40
Gasolina/GLP	ECO	2100	BEV	0	40
Gasolina/GNC	ECO	7	HEV Diesel	ECO	80
BEV	0	515	HEV Gasolina	ECO	3928
HEV Diesel	ECO	54	PHEV Diesel	0	3
HEV Gasolina	ECO	9016	PHEV Gasolina	0	17
PHEV Diesel	0	17	GLP	ECO	379
PHEV Gasolina	0	33	GNC	ECO	3
GLP	ECO	7	Total		7427
GNC	ECO	1552			
Gas Licuado Petroleo	ECO	6			
Diesel transformado a GLP	ECO	13			
Gasolina transformado en GLP	ECO	273			
Total		15509			

Tabla 2: Numero de vehículos VTC y Taxis por combustible y etiqueta

Actualmente, casi el 70% de los vehículos privados cuentan con una etiqueta ECO, lo cual representa una evolución positiva hacia la electrificación. Sin embargo, solo el 2,72% de los vehículos poseen una etiqueta de cero emisiones. Esto indica que hay un amplio margen de mejora y desarrollo hacia una mayor electrificación. A continuación, se puede observar una gráfica con el porcentaje que conforman cada etiqueta.



Gráfica 3: Porcentaje que conforma cada etiqueta

2.1.3 KILÓMETROS RECORRIDOS

Una vez definida la diferencia entre los taxis y VTC en cuanto a número de vehículos, tipo de combustible, etiqueta y licencias, resulta interesante destacar la diferencia en los kilómetros recorridos entre cada uno de ellos.

Los taxis, debido a su naturaleza de servicio público y la disponibilidad constante en las calles, tienden a recorrer más kilómetros diariamente en comparación con los VTC. Los VTC, aunque también operan de manera continua, generalmente tienen un uso más específico y pueden tener tiempos de inactividad más largos entre servicios. Esta diferencia en los kilómetros recorridos tiene un impacto significativo en las emisiones generadas, ya que los taxis, al recorrer más distancia, podrían contribuir más a la contaminación, aunque esto también depende de la eficiencia del combustible y de las características ecológicas de los vehículos.

Para poder entender la diferencia entre los kilómetros recorridos entre taxis y VTC, así como cuantificar la diferencia entre los kilómetros vacíos y ocupados de cada uno de ellos, se ha empleado el estudio del servicio de taxis del Ayuntamiento de Madrid. En este estudio, se detalla el número de kilómetros recorridos, ocupados y vacíos por un taxi para cada día de la semana. La siguiente tabla muestra los resultados:

Kilómetros diarios recorridos por un taxi en una semana

Día	Km Ocupados	Km Vacios	% entre Km Vacios/ Km Totales	Km Totales
Lunes	89,80	112,33	55,6%	202,13
Martes	85,72	110,79	56,4%	196,51
Miercoles	93,50	117,58	55,7%	211,08
Jueves	96,70	113,98	54,1%	210,68
Viernes	105,82	113,59	51,8%	219,41
Laborable	94,31	113,65	54,7%	207,96
Sabado	103,72	112,57	52,0%	216,29
Domingo	95,17	118,42	55,4%	213,59

Tabla 3: Recorrido de Km semanales de un taxi (Madrid A. d.)

Para obtener una tabla similar a la mostrada arriba, que detalla los kilómetros recorridos semanalmente por los VTC, se han realizado algunos cálculos y aplicado ciertas hipótesis. En primer lugar, se ha buscado la relación existente entre los taxis y VTC en la media de kilómetros recorridos en un día. Según información obtenida de un artículo específico, el número medio de kilómetros recorridos por los taxis es de 220 Km, mientras que para los VTC es de 174 Km. Contrastando estos datos con el estudio de servicios de taxis de Madrid, se ha verificado que la diferencia de información entre ambos estudios no supera el 5%.

Utilizando los datos mencionados y la tabla anterior como referencia, se ha calculado el número de kilómetros recorridos semanalmente por los VTC, la fórmula empleada se detalla a continuación. Estos cálculos permiten determinar el total de kilómetros recorridos por día de la semana.

$$Km\ Totales\ VTC\ [día\ semana] = \frac{174 * Km\ Totales\ Taxis\ [día\ semana]}{220}$$

Para obtener los valores de los kilómetros vacíos y ocupados, se ha seguido el siguiente procedimiento. Se ha calculado el porcentaje de kilómetros vacíos en relación con los kilómetros totales. Este porcentaje es crucial para comprender la eficiencia del uso del vehículo en términos de servicio prestado. Una vez conocida la relación entre kilómetros vacíos y totales de los taxis, se ha supuesto que los VTC tendrán un 2% menos de kilómetros vacíos que los taxis. Esta hipótesis se basa en las diferencias operativas entre ambos tipos de

vehículos. Los VTC suelen tener un servicio más continuo que los taxis, sin embargo, hay ocasiones en las que puede no haber demanda suficiente de VTC, o estos vehículos tienen que recorrer grandes distancias para llegar a un punto de recogida. Por otro lado, los taxis cuentan con paradas autorizadas donde pueden esperar a encontrar servicios, lo que reduce sus kilómetros vacíos.

Estas hipótesis y cálculos han permitido obtener una aproximación del valor de número de kilómetros recorridos semanalmente por parte de los VTC, mostrados en la siguiente tabla:

Kilómetros diarios recorridos por un VTC en una semana				
Día	Km Ocupados	Km Vacíos	% entre Km Vacíos/ Km Totales	Km Totales
Lunes	74,38	85,49	53,5%	159,87
Martes	71,06	84,36	54,3%	155,42
Miércoles	77,46	89,49	53,6%	166,95
Jueves	79,98	86,65	52,0%	166,63
Viernes	87,34	86,20	49,7%	173,53
Laborable	78,04	86,44	52,6%	164,48
Sábado	85,63	85,44	49,9%	171,07
Domingo	78,82	90,11	53,3%	168,93

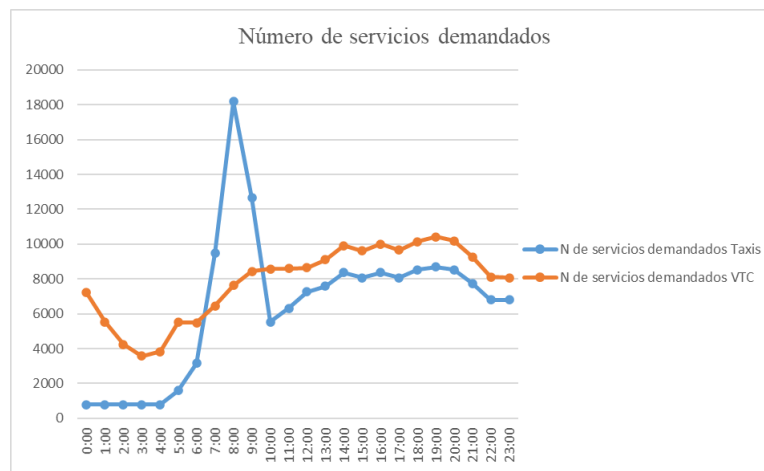
Tabla 4: Recorrido de Km semanales de un VTC

Por otro lado, y como parte del estudio, es interesante destacar la diferencia entre el número de servicios demandados durante un día entre VTC y taxis, así como el porcentaje de servicios realizados en cada hora del día en comparación con los totales realizados en un día. En la siguiente tabla se puede observar esta diferencia:

Distribucion horaria de servicios de Taxi			Distribucion horaria de servicios de VTC		
Hora	% Servicios	N de servicios horarios demandados	Hora	% Servicios	N de servicios horarios demandados
0:00	0.5%	790	0:00	3.80%	7206
1:00	0.5%	790	1:00	2.90%	5541
2:00	0.5%	790	2:00	2.30%	4236
3:00	0.5%	790	3:00	1.90%	3581
4:00	0.5%	790	4:00	2.00%	3832
5:00	1.0%	1580	5:00	2.90%	5516
6:00	2.0%	3160	6:00	2.90%	5478
7:00	6.0%	9480	7:00	3.40%	6462
8:00	11.5%	18170	8:00	4.10%	7620
9:00	8.0%	12640	9:00	4.50%	8432
10:00	3.5%	5530	10:00	4.60%	8577
11:00	4.0%	6320	11:00	4.60%	8601
12:00	4.6%	7268	12:00	4.60%	8641
13:00	4.8%	7584	13:00	4.80%	9096
14:00	5.3%	8374	14:00	5.30%	9900
15:00	5.1%	8058	15:00	5.10%	9605
16:00	5.3%	8374	16:00	5.30%	9996
17:00	5.1%	8058	17:00	5.10%	9666
18:00	5.4%	8532	18:00	5.40%	10129
19:00	5.5%	8690	19:00	5.50%	10409
20:00	5.4%	8532	20:00	5.40%	10184
21:00	4.9%	7742	21:00	4.90%	9261
22:00	4.3%	6794	22:00	4.30%	8102
23:00	4.3%	6794	23:00	4.30%	8064
Total		155630	Total		188135

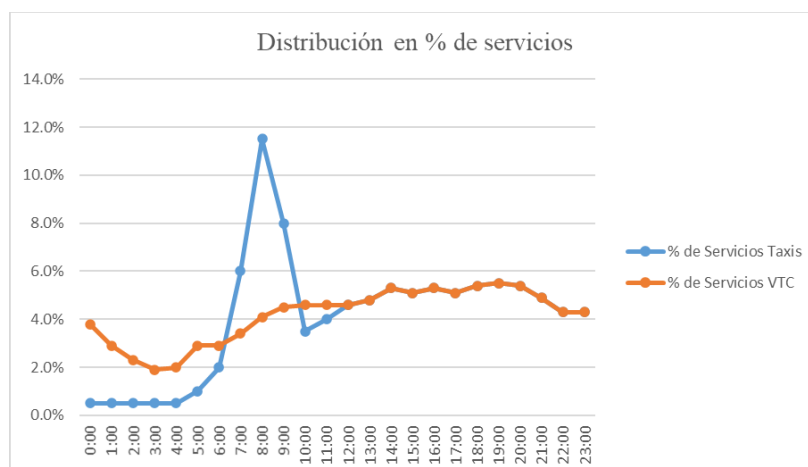
Tabla 5: Numero y porcentaje de servicios demandados por hora (Madrid A. d.)

Asimismo, al representar los valores en una gráfica se puede observar cómo evoluciona la demanda de servicios para ambos tipos de vehículos privados a lo largo del día. En ellas, se puede ver claramente cómo el número de servicios demandados para VTC es superior durante todo el día, a excepción de las 7 a 9 de la mañana, cuando el servicio de los taxis es más demandado. Uno de los motivos por lo que se ocasiona este pico de demanda, es que durante estas horas del día, el pico de demanda de taxis se debe al gran número de personas que deben llegar puntualmente a destinos específicos. A diferencia de los VTC, los taxis minimizan el tiempo de espera, lo que los hace más rápidos y eficientes para quienes requieren un transporte inmediato.



Gráfica 4: Número de servicios demandados (Madrid A. d.)

Por otro lado, a pesar de que el número de servicios durante el día es mayor para los VTC, si se considera el porcentaje de servicios para cada tipo de vehículo privado en cada franja horaria del día (es decir, el valor de servicios demandados a cada hora en comparación con los totales demandados en un día por cada tipo de servicio), se observaría que el porcentaje superior en los VTC durante las primeras horas de la mañana a excepción de las 7 a 9 de la mañana. Sin embargo, este porcentaje se igualaría a partir de la 1 de la tarde. Por lo tanto, aunque los VTC tienen una mayor demanda de servicios en términos absolutos, al comparar con los totales demandados en el día, el porcentaje de servicios demandados sería el mismo para ambos tipos de vehículos a partir de la 1 de la tarde.



Gráfica 5: Distribución de demanda de porcentajes de los servicios (Madrid A. d.)

2.1.4 NÚMERO DE EMISIONES

Para poder entender la repercusión que tiene cada tipo de vehículo (BEV, PHEV, HEV y los vehículos de combustión interna) es crucial analizar varios factores que influyen en su impacto ambiental. Esto incluye conocer las emisiones en gramos por kilómetro (g/Km) que emite de cada tipo de combustible, alineado a la etiqueta medioambiental del vehículo. Con esta información, podemos determinar las emisiones generadas por cada vehículo según su tecnología, calcular las emisiones totales emitidas por los vehículos privados actualmente y predecir cómo podrían evolucionar estas emisiones en el futuro. La siguiente tabla recoge el valor aproximado de cada tipo de combustible según la etiqueta. Los contaminantes que estudiaremos en este trabajo son los siguientes:

CO₂ (Dióxido de Carbono): se genera principalmente durante la combustión de combustibles fósiles y es emitida de forma proporcional a la cantidad de combustible quemado. En este estudio solo tendremos en cuenta la cantidad de CO₂ en gramos por kilómetros cuando el vehículo circula. Es uno de los principales gases que crean el efecto invernadero y son participes del calentamiento global y del cambio climático.

CO (Monóxido de Carbono): se forma durante la combustión incompleta de los combustibles fósiles en los motores de los vehículos. Es decir, cuando hay una falta de suficiente oxígeno para la combustión completa se genera CO en lugar de CO₂. LA generación de CO impide que la sangre transporte oxígeno a las células y tejidos del cuerpo humano, además de contribuir a la formación de ozono troposférico que es un contaminante del aire nocivo

NO_x (Óxidos de Nitrógeno): se generan en los motores de combustión interna cuando se emplean altas temperaturas y cuando el nitrógeno del aire reacción con el nitrógeno. La generación de NO_x contribuye a la formación de lluvia acida y ozono troposférico, además puede generar problemas respiratorios.

PM (Material Particulado): los vehículos emiten estas partículas a través de la combustión de los combustibles fósiles y el desgaste de frenos y neumáticos. La emisión de

PM puede penetrar en los pulmones y el sistema circulatorio provocando problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer. Asimismo, afectan a la visibilidad y contribuyen a la contaminación del aire.

La siguiente tabla detalla el valor que emite cada tipo de emisor únicamente cuando el vehículo está circulando, las unidades de los valores son gramos por kilómetro:

Tipo de combustible	Etiqueta	CO ₂	CO	Nox	PM
Diesel	A	261	0,66	0,5	0,05
Diesel	B	261	0,5	0,18	0,0045
Diesel	C	261	0,5	0,08	0,0045
Diesel	ECO	193	0,5	0,08	0,0045
Diesel/GLP	ECO	264	0,5	0,08	0,0045
Gasolina	B	309	2,3	0,15	0,0045
Gasolina	C	309	1	0,06	0,0045
Gasolina	ECO	212	1	0,06	0,0045
Gasolina/GLP	ECO	313	1	0,06	0,0045
Gasolina/GNC	ECO	336	1	0,06	0,0045
BEV	0	0	0,6	0	0
HEV Diesel	ECO	170	0,85	0,045	0,004
HEV Gasolina	ECO	179	0,85	0,045	0,004
PHEV Diesel	0	67	0,69	0,00655	0,0012
PHEV Gasolina	0	79	0,69	0,00655	0,0012
GLP	ECO	289	0,65	0,08	0,004
GNC	ECO	336	0,65	0,08	0,004
Gas Licuado Petroleo	ECO	289	0,65	0,08	0,004
Diesel transformado a GLP	ECO	289	0,65	0,08	0,004
Gasolina transformado en GLP	ECO	289	0,65	0,08	0,004

Tabla 6: Número de emisiones por cada tipo de combustible y etiqueta medioambiental en g/Km (Vasco)

Con la determinación de estos parámetros, es posible comprender cuáles son los puntos críticos que limitan las emisiones de estos vehículos. Además, son fundamentales para obtener el caso base, que establece el número total de emisiones generadas por cada tipo de vehículo. En la tabla que recoge el número de emisiones generadas por cada contaminante, por tipo de combustible y etiqueta medioambiental en gramos por kilómetro, se ha considerado el máximo límite de emisiones que pueden generar por combustible para pertenecer a la etiqueta asignada. En el caso de CO₂, se ha optado por obtener la media de emisiones generadas por combustible y etiqueta, considerando únicamente las emisiones generadas cuando el vehículo está circulando.

2.2 ESTADO ACTUAL DE EMISIONES DE VTC Y TAXIS

Para obtener el valor total de emisiones emitidas por cada servicio, es necesario considerar todos los parámetros discutidos anteriormente. El cálculo total de emisiones emitidas por cada tipo de servicio implica separar y calcular individualmente para cada tecnología, tipo de combustible y etiqueta medioambiental.

Para ello, se debe tener en cuenta el número de vehículos en cada servicio, especificando su tipo de combustible y etiqueta [Tabla 2]. Una vez conocido el número de vehículos, se multiplica por los kilómetros recorridos diariamente, ajustando este valor según la media de kilómetros recorridos en un día laboral, que varía entre taxis y VTC:

TAXIS				
	Km Ocupados	Km Vacios	FC	Km Totales
Laborable	94,31	113,65	0,55	207,96

VTC				
	Km Ocupados	Km Vacios	FC	Km Totales
Laborable	78,04	86,44	0,53	164,48

Tabla 7: Valores medios de kilómetros recorridos por tipo de servicio

Finalmente, se multiplica por el correspondiente valor de g/Km de cada tipo de contaminante, el cual depende del tipo de combustible y la etiqueta ambiental de los vehículos [¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.]. La fórmula empleada para el cálculo total de emisiones es la siguiente

$$g \text{ de emisiones } [X] = N \text{ de vehiculos } [A] * Km \text{ recorridos } [B] * \frac{g}{km} \text{ de comb. } [E]$$

X: El tipo de contaminante: CO, CO2, NOx, PM

A: Tipo de combustible y Tipo de etiqueta del vehículo

B: Número de kilómetros recorridos dependiendo del servicio (Taxi o VTC)

$$E: \frac{g}{Km} \text{ del tipo de combustible y etiqueta del vehículo}$$

Una vez obtenida la fórmula necesaria para determinar el total de emisiones emitidas por cada tipo de servicio, se obtienen los siguientes resultados del número de emisiones generadas por los vehículos privados en 2024 y, lo que consideraremos como el caso base:

Tipo de combustible	Tipo de vehículo	Etiqueta	N de vehículos	CO2	CO	NOx	PM
Diesel	Taxi	A	1	54.278,1	137,3	104,0	10,4
Diesel	Taxi	B	80	4.342.246,6	8.318,5	2.994,7	74,9
Diesel	Taxi	C	1812	98.351.884,6	188.413,6	30.146,2	1.695,7
Diesel	Taxi	ECO	2	80.107,0	208,0	33,3	1,9
Diesel	VTC	B	164	7.040.360,7	13.487,3	4.855,4	121,4
Diesel	VTC	C	2063	89.579.559,7	169.660,1	27.145,6	1.526,9
Diesel/GLP	Taxi	ECO	13	713.725,6	1.351,8	216,3	12,2
Gasolina	Taxi	C	1	64.260,3	208,0	12,5	0,9
Gasolina	Taxi	ECO	7	308.324,5	1.455,7	87,3	6,6
Gasolina	VTC	B	2	101.648,0	756,6	49,3	1,5
Gasolina	VTC	C	20	1.016.480,4	3.289,6	197,4	14,8
Gasolina/GLP	Taxi	ECO	2100	136.693.422,6	436.720,2	26.203,2	1.965,2
Gasolina/GLP	VTC	ECO	688	35.419.573,6	113.161,6	6.789,7	509,2
Gasolina/GNC	Taxi	ECO	7	489.126,6	1.455,7	87,3	6,6
Gasolina/GNC	VTC	ECO	40	2.210.598,2	6.579,2	394,7	29,6
BEV	Taxi	0	515	-	39.554,4	-	-
BEV	VTC	0	40	-	3.947,5	-	-
HEV Diesel	Taxi	ECO	54	1.906.845,2	9.545,5	505,3	44,9
HEV Diesel	VTC	ECO	80	2.234.283,2	11.184,6	592,1	52,6
HEV Gasolina	Taxi	ECO	9016	336.372.379,3	1.593.737,6	84.374,3	7.499,9
HEV Gasolina	VTC	ECO	3928	115.905.613,7	549.162,6	29.073,3	2.584,3
PHEV Diesel	Taxi	0	17	236.868,7	2.439,4	23,2	4,2
PHEV Diesel	VTC	0	3	33.060,3	340,5	3,2	0,6
PHEV Gasolina	Taxi	0	33	544.365,6	4.735,3	45,0	8,2
PHEV Gasolina	VTC	0	17	221.795,3	1.929,3	18,3	3,4
GLP	Taxi	ECO	7	419.979,3	946,2	116,5	5,8
GLP	VTC	ECO	379	18.270.989,3	45.412,7	4.707,4	256,3
GNC	Taxi	ECO	1552	108.446.360,1	209.792,1	25.820,6	1.291,0
GNC	VTC	ECO	3	165.794,9	320,7	39,5	2,0
Gas Licuado Petroleo	Taxi	ECO	6	359.982,2	811,1	99,8	5,0
Diesel transformado a GLP	Taxi	ECO	13	779.961,5	1.757,3	216,3	10,8
Gasolina transformado en GLP	Taxi	ECO	273	16.379.191,1	36.902,9	4.541,9	227,1
Total	Taxis		15.509	706.543.308,7	2.538.490,2	175.627,5	12.871,4
Total	VTC		7.427	272.199.757,3	919.232,2	73.866,1	5.102,6
Total			22.936,0	978.743.066,0	3.457.722,4	249.493,6	17.974,0

Tabla 8: Número de gramos emitidos por cada tipo de vehículo

La Tabla 8 muestra el valor en gramos de cada tipo de contaminante, separado en tipo de combustible, servicio y etiqueta.

2.2.1 CONCLUSIONES DEL ESTADO ACTUAL DE EMISIONES DE LOS VEHÍCULOS PRIVADOS

Para analizar los datos del caso base, hemos comparado el número de emisiones generadas por cada tipo de servicio. Dado que los taxis son más numerosos y recorren mayor cantidad de kilómetros, hemos calculado el valor total de gramos por kilómetro y gramos por vehículo generados por cada uno, según se muestra en la tabla siguiente.

Gramos por vehículo				
	CO ₂	CO	NO _x	PM
Total Taxis	45.557,0	163,7	11,3	0,8
Total VTC	36.650,0	123,8	9,9	0,7

Gramos por kilómetro				
	CO ₂	CO	NO _x	PM
Total Taxis	3.397.463,5	12.206,5	844,5	61,9
Total VTC	1.654.920,7	5.588,8	449,1	31,0

Tabla 9: Comparativa de emisiones entre Taxis y VTC

A partir de estos resultados, se observa que, en todos los tipos de emisores, los taxis generan un mayor número de emisiones en comparación con los VTC. Esto se debe a que, aunque los taxis son más numerosos y recorren más kilómetros, emiten significativamente más emisiones que los VTC.

Asimismo, el tipo de vehículo que emite más emisiones totales son los HEV de Gasolina. Esto se debe a que son los más utilizados por los conductores de vehículos privados. Los valores de emisiones de CO son especialmente altos en estos vehículos, ya que, exceptuando a los vehículos de gasolina, tienen los valores más elevados de gramos de CO por kilómetro. Además, observamos que los PHEV tienen valores de emisiones más

bajos en comparación con los HEV. Esto se debe a que los PHEV representan una tecnología mucho más limpia.

Tipo de combustible	N de vehiculos	CO2	CO	NOx	PM
HEV Diesel	134	4.141.128,4	20.730,0	1.097,5	97,6
HEV Gasolina	12944	452.277.993,0	2.142.900,2	113.447,7	10.084,2
PHEV Diesel	20	269.929,0	2.779,9	26,4	4,8
PHEV Gasolina	50	766.160,9	6.664,6	63,3	11,6

Gramos por vehículo					
		CO2	CO	NOx	PM
HEV		34.899,8	165,4	8,8	0,8
PHEV		14.801,3	134,9	1,3	0,2

Tabla 10: Comparativa de emisiones entre HEV y PHEV

Por otro lado, podemos observar que tanto los taxis convertidos a GLP como los que emplean GLP emiten un menor número de emisiones de NOx y PM en comparación con los vehículos de gasolina y diésel tradicionales.

Tipo de combustible	N de vehiculos	CO2	CO	NOx	PM
Diesel	4122	199.448.436,5	380.224,7	65.279,1	3.431,2
Gasolina	30	1.490.713,2	5.709,9	346,5	23,8
Gas Licuado Petroleo	6	359.982,2	811,1	99,8	5,0
Diesel transformado a GLP	13	779.961,5	1.757,3	216,3	10,8
Gasolina transformado en GLP	273	16.379.191,1	36.902,9	4.541,9	227,1
GLP	386	18.690.968,5	46.358,9	4.823,8	262,2
Total Gasolina & Diesel	4152	200.939.149,7	385.934,6	65.625,7	3.455,0
Total GLP	678	36.210.103,3	85.830,1	9.681,8	505,1

Tabla 11: Comparativa de emisiones entre Diesel, Gasolina y GLP

Además, a pesar de que los vehículos a GNC generan altas emisiones, estas son inferiores a las emitidas por los vehículos diésel en cuanto a los contaminantes NOx y PM. Por ello, los vehículos a GNC son una alternativa más limpia en cuanto a los combustibles fósiles.

Tipo de combustible	N de vehiculos	CO2	CO	NOx	PM
Diesel	4122	199.448.436,5	380.224,7	65.279,1	3.431,2
GNC	1555	108.612.154,9	210.112,8	25.860,0	1.293,0

Tabla 12: Comparativa de emisiones entre Diesel y GNC

Por último, debido a que los vehículos BEV no generan emisiones de CO₂ ni NO_x y, además, tienen emisiones de CO significativamente bajas, son sin duda la mejor tecnología para mejorar la calidad del aire.

Tipo de combustible	N de vehiculos	CO ₂	CO	NO _x	PM
BEV	555	0	68207,75487	0	0

Tabla 13: Valores de emisiones de BEV

Capítulo 3. ANÁLISIS DE LOS DIFERENTES

ESCENARIOS A MEDIO PLAZO (10 AÑOS)

Tras haber realizado un análisis de la situación actual de los vehículos privados, surge la curiosidad de cómo podrían evolucionar en un medio plazo de 10 años dependiendo de diferentes escenarios. Para poder analizar cómo evolucionarán el número de emisiones en 10 años de 2025 a 2035, se han tenido en cuenta posibles cinco escenarios.

Asimismo, dado que la vida útil de los taxis se encuentra en torno a los 4,7 años y la de los VTC a los 4,2 años, se ha considerado para todos los escenarios que la vida útil de los vehículos es de 5 años. Al tener publicada por el Ayuntamiento de Madrid la fecha de matriculación de cada vehículo, se considerará que aquellos vehículos con una fecha de matriculación anterior a 2020 tendrán que ser cambiados en 2025. Es decir, aquellos vehículos con una fecha de matriculación cinco años anterior al año en análisis serán reemplazados por otros, ya que habrán superado su vida útil.

Además, para simplificar los datos y realizar escenarios más realistas, se ha optado por suponer que el número de vehículos no cambiará en los próximos 10 años, por lo que toda la información se obtendrá del caso base, comentado en el capítulo anterior. A continuación, se realizará una explicación y un pequeño análisis de cada uno de los escenarios.

3.1 ESCENARIO CONTINUISTA

El escenario continuista se basa en un enfoque donde el número de emisiones se reduce con el tiempo. Para ello, se ha considerado que, para cada año que pasa, el número de emisiones de cada vehículo se reduce en un 1% para todos los tipos de combustibles. El impacto de reducir las emisiones en un 1% solo se considerará si el vehículo ha superado

una vida útil de cinco años y ha sido reemplazado. Es decir, un vehículo que haya superado su vida útil en 2027 reducirá sus emisiones en un 3% con respecto al caso base (2024). Hasta 2033, emitirá el mismo número de emisiones y, tras superar los cinco años de vida útil, pasará a emitir un 9% menos de emisiones con respecto a 2024.

La siguiente tabla muestra la fecha límite de matriculación para que un vehículo no supere su vida útil. Es decir, si la fecha de matriculación es anterior a la indicada, este vehículo deberá ser cambiado al superar su vida útil. Además, también se muestra la reducción porcentual de emisiones con respecto al caso base (2024) que se logrará al realizar el cambio de vehículo.

Año	Limite de fecha de matriculacion	Porcentaje de reduccion de emisiones
2024	-	0%
2025	<2020	1%
2026	<2021	2%
2027	<2022	3%
2028	<2023	4%
2029	<2024	5%
2030	<2025	6%
2031	<2026	7%
2032	<2027	8%
2033	<2028	9%
2034	<2029	10%
2035	<2030	11%

Tabla 14: Porcentaje de reducción de emisiones y fecha de matriculación por año

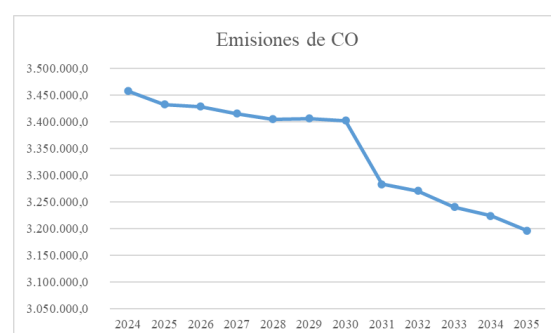
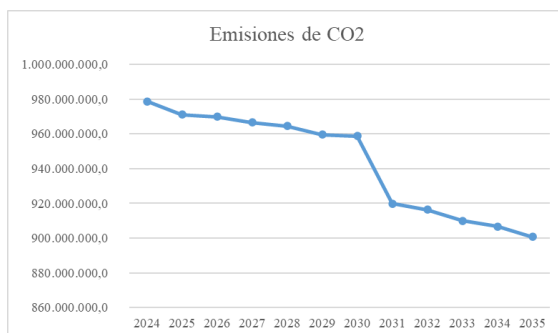
A continuación, se mostrarán el valor total de emisiones generadas por cada contaminante por año.

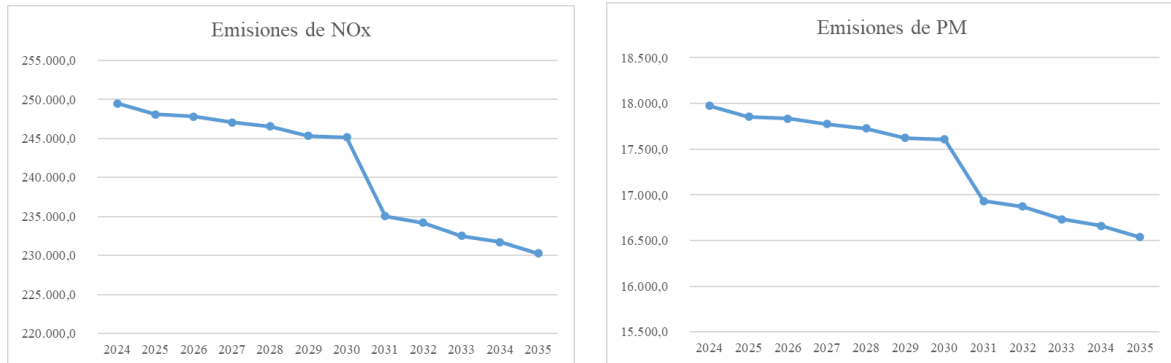
Emisiones generadas por el Escenario Contiuista

Año	CO2	CO	Nox	PM
2024	978.743.066,0	3.457.722,4	249.493,6	17.974,0
2025	971.010.877,6	3.432.903,5	248.090,1	17.855,0
2026	969.800.625,5	3.428.712,2	247.801,5	17.834,1
2027	966.643.542,4	3.416.066,9	247.091,6	17.775,6
2028	964.452.032,0	3.405.036,8	246.551,1	17.727,9
2029	959.472.894,0	3.406.409,9	245.354,8	17.624,6
2030	958.671.520,9	3.402.643,0	245.157,9	17.607,3
2031	919.918.243,1	3.283.088,9	235.059,0	16.935,2
2032	916.309.691,3	3.270.515,1	234.193,2	16.872,6
2033	909.929.556,3	3.240.841,2	232.535,4	16.733,7
2034	906.642.290,6	3.224.296,0	231.724,6	16.662,1
2035	900.667.325,1	3.196.374,8	230.289,1	16.538,2

Tabla 15: Emisiones generadas por el Escenario Continuista

Para todas las emisiones, CO, CO₂, NO_x y PM, podemos observar una similitud en la evolución del número de emisiones. En los cuatro casos, el número de emisiones disminuye de 2025 a 2035. Sin embargo, en el año 2031 se observa un cambio notable, ya que el número de emisiones se reduce de manera más pronunciada. Este salto se debe a que se ha considerado que la vida útil de los vehículos privados es de cinco años. Actualmente, es decir en 2024, la mayoría de los vehículos privados tienen fechas de matriculación anteriores a 2020, por lo que fueron reemplazados en 2025. Consecuentemente, a principios de 2031, estos mismos vehículos deben ser reemplazados nuevamente al superar su vida útil de cinco años. Debido a que la mayoría de los vehículos deben ser cambiados en el año 2031, el nivel de emisiones se reduce un 7% con respecto al caso base inicial de 2024, lo que supone una gran disminución en el número de emisiones.





Gráfica 6: Evolución de emisiones del escenario continuista

3.2 ESCENARIO DE TRANSICIÓN VERDE

El escenario de transición verde busca un enfoque en el que el número de emisiones se reduzca de forma progresiva con el tiempo. Para lograr esto, se ha tenido en cuenta que cada vez que un vehículo supere su vida útil será cambiado a un vehículo que emita menos emisiones que el que se cambia. El cambio de vehículo se hará manteniendo el tipo de combustible del vehículo inicial e irá progresando de forma escalonada. Es decir, en primer lugar, se mantendrá el tipo de combustible y cambiará de etiqueta, teniendo en cuenta que la etiqueta A es la que más consume y la ECO la que menos. Si el vehículo que se desea cambiar es ECO pasará a ser un vehículo que permita mayor kilometraje eléctrico. Un ejemplo de esto sería, si un vehículo en 2024 tiene una combustible gasolina con una etiqueta C y necesita ser cambiado en 2025 tras haber superado su vida útil, pasará a ser un vehículo gasolina de etiqueta ECO. De la misma forma, tras superar su vida útil en 2031 el vehículo gasolina con etiqueta ECO volverá a ser cambiado por un HEV Gasolina.

En la siguiente tabla, podemos observar cuáles serían los cambios de vehículos para cada vehículo en el caso de que este tuviese que ser cambiado dos veces en los 10 años analizados.

Estado inicial	1º Cambio	2º Cambio
Diesel A	Diesel B	Diesel C
Diesel B	Diesel C	Diesel ECO
Diesel C	Diesel ECO	HEV Diesel ECO
Diesel ECO	HEV Diesel ECO	PHEV Diesel 0
Diesel/GLP ECO	HEV Diesel ECO	PHEV Diesel 0
Gasolina B	Gasolina C	Gasolina ECO
Gasolina C	Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO	PHEV Gasolina 0
Gasolina/GLP ECO	HEV Gasolina ECO	PHEV Gasolina 0
Gasolina/GNC ECO	HEV Gasolina ECO	PHEV Gasolina 0
BEV 0	BEV 0	BEV 0
HEV Diesel ECO	PHEV Diesel 0	BEV 0
HEV Gasolina ECO	PHEV Gasolina 0	BEV 0
PHEV Diesel 0	BEV 0	BEV 0
PHEV Gasolina 0	BEV 0	BEV 0
GLP ECO	HEV Diesel ECO	PHEV Diesel 0
GNC ECO	HEV Gasolina ECO	PHEV Gasolina 0
Gasolina Licuado Petroleo ECO	HEV Diesel ECO	PHEV Diesel 0
Diesel transformado a GLP ECO	HEV Diesel ECO	PHEV Diesel 0
Gasolina transformado en GLP ECO	HEV Gasolina ECO	PHEV Gasolina 0

Tabla 16: Evolución de cada combustible en el escenario de transición verde

Los resultados obtenidos tras realizar este análisis quedan recogidos en la siguiente tabla:

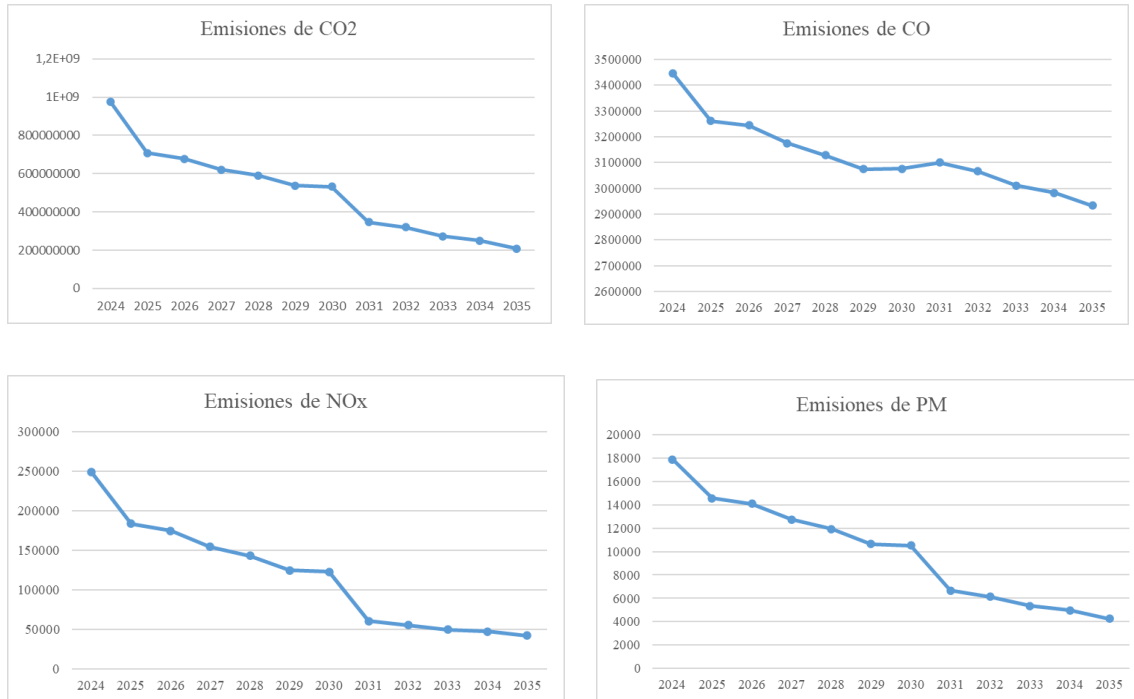
Emisiones generadas por el Escenario de Transición Verde				
Año	CO2	CO	Nox	PM
2024	449.564.793,8	1.587.342,0	114.693,5	8.258,2
2025	326.021.590,6	1.502.226,1	84.768,4	6.717,2
2026	312.387.788,4	1.494.795,4	80.742,0	6.507,2
2027	285.967.716,1	1.462.651,5	71.302,5	5.880,7
2028	272.235.518,7	1.441.279,9	66.243,9	5.514,6
2029	248.058.488,5	1.416.682,0	57.959,2	4.931,0
2030	244.740.511,6	1.411.483,6	56.745,1	4.843,5
2031	159.573.680,5	1.423.621,5	28.112,8	3.066,6
2032	147.334.913,4	1.408.592,6	25.773,8	2.827,5
2033	125.653.432,4	1.382.650,9	23.089,7	2.461,4
2034	114.917.619,0	1.370.222,7	22.051,2	2.292,4
2035	95.940.771,4	1.347.370,4	19.652,4	1.969,4

Tabla 17: Resultados del escenario de transición verde

Durante el período de 2024 a 2035, se observa una disminución en las emisiones de todos los contaminantes analizados (CO, CO₂, NO_x y PM), variando en su magnitud. Se observa que las reducciones más significativas se encuentran en las emisiones de CO₂ y NO_x. Específicamente, la reducción porcentual de estas emisiones durante este período es del 78.3% y 82.8%, respectivamente. Asimismo, podemos ver como las reducciones de emisiones son más pronunciadas en los primeros años. Esto se debe en parte a que los vehículos iniciales funcionaban con combustibles más contaminantes. Por lo que, al reemplazar los vehículos más contaminantes por vehículos más limpios se observa un mayor impacto en la reducción de emisiones. Sin embargo, conforme más vehículos son sustituidos y las tecnologías limpias se generalizan, la tasa de reducción de emisiones tiende a estabilizarse. Esto se debe a que las nuevas tecnologías tienen valores de emisiones por kilómetro más similares entre sí y más bajos que las tecnologías antiguas.

En cuanto a las emisiones de CO y PM, se observa una reducción del 13.9% y 14.8%, respectivamente. Esta disminución es menor en comparación con las reducciones de NO_x y CO₂, debido a que el nivel de emisiones de cada tecnología no influye tanto como en el caso de estos últimos contaminantes. Sin embargo, se observa un ligero aumento en las emisiones de CO en el año 2031. Este incremento se atribuye al cambio de muchos vehículos desde el uso de combustible diésel, que emite 0,5 gramos por kilómetro, hacia vehículos HEV Diesel que emiten 0,85 gramos por kilómetro. Este cambio provoca un leve aumento en el nivel de emisiones durante ese año.

En el escenario de transición verde, las emisiones experimentan un fuerte impacto en los primeros años, cuando se sustituyen los vehículos más contaminantes por otros más limpios. Sin embargo, una vez realizado este cambio inicial, el impacto en las emisiones no disminuye de manera tan marcada. Además, al igual que en el escenario continuista, se observa un cambio significativo en las emisiones para el año 2031. Esto se debe a que la mayoría de los vehículos llegan al final de su vida útil en 2025, lo que conlleva a un cambio notable en 2031. A continuación, podemos observar la tendencia en la gráfica de cada tipo de emisión.



Gráfica 7: Evolución de las emisiones del escenario de transición verde

3.3 ESCENARIO HEV

El escenario HEV tiene un enfoque distinto al que hemos visto hasta ahora, ya que en este caso se busca una evolución hacia los vehículos HEV. En este escenario, la idea es que únicamente haya un cambio de tipo de combustible, es decir, que todos los vehículos de combustión interna pasen a ser vehículos HEV para poder analizar el impacto que tienen en términos de emisiones. En el caso de que estos vehículos tengan que ser cambiados dos veces al haber llegado al final de su vida útil en dos ocasiones, seguirán siendo HEV. Si un vehículo es PHEV o BEV, no cambiará de tecnología hasta el final de 2035. La razón de este escenario es analizar el impacto que tienen los HEV durante los primeros años y, debido a que a partir de 2031 no se experimentarán cambios, cuál sería su impacto en 2035.

En la siguiente tabla se recogen cuáles serían los cambios que se realizarían durante los 10 años de análisis en el caso de que un vehículo realice dos cambios.

Estado inicial	1º Cambio	2º Cambio
Diesel A	HEV Diesel ECO	HEV Diesel ECO
Diesel B	HEV Diesel ECO	HEV Diesel ECO
Diesel C	HEV Diesel ECO	HEV Diesel ECO
Diesel ECO	HEV Diesel ECO	HEV Diesel ECO
Diesel/GLP ECO	HEV Diesel ECO	HEV Diesel ECO
Gasolina B	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
Gasolina C	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
Gasolina/GLP ECO	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
Gasolina/GNC ECO	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
BEV 0	BEV 0	BEV 0
HEV Diesel ECO	HEV Diesel ECO	HEV Diesel ECO
HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
GLP ECO	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
GNC ECO	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
Gasolina Licuado Petroleo ECO	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO
Diesel transformado a GLP ECO	HEV Diesel ECO	HEV Diesel ECO
Gasolina transformado en GLP ECO	HEV Gasolina ECO	HEV Gasolina ECO

Tabla 18: Evolución de cada combustible en el escenario HEV

Los resultados obtenidos del escenario HEV son los siguientes:

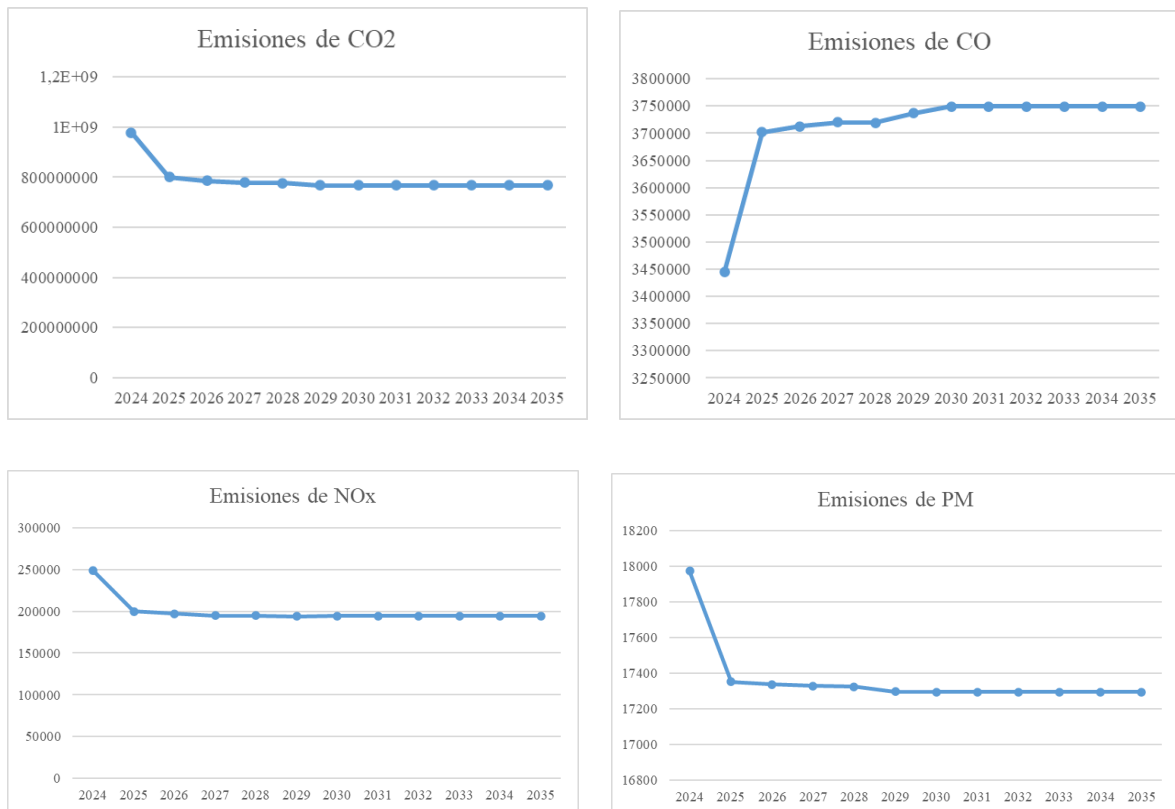
Emisiones generadas por el Escenario HEV				
Año	CO2	CO	NOx	PM
2024	978.511.693,1	3.444.934,1	248.811,4	17.974,0
2025	801.085.657,6	3.415.510,6	199.856,6	17.352,3
2026	787.035.962,3	3.426.460,3	196.996,0	17.337,1
2027	778.216.690,2	3.434.049,8	195.048,3	17.329,3
2028	776.759.167,7	3.432.854,0	194.862,2	17.324,0
2029	768.609.844,0	3.450.645,1	193.838,0	17.296,2
2030	768.368.893,5	3.462.903,2	194.467,2	17.294,4
2031	768.368.893,5	3.749.228,3	194.467,2	17.294,4
2032	768.368.893,5	3.749.228,3	194.467,2	17.294,4
2033	768.368.893,5	3.749.228,3	194.467,2	17.294,4
2034	768.368.893,5	3.749.228,3	194.467,2	17.294,4
2035	768.368.893,5	3.749.228,3	194.467,2	17.294,4

Tabla 19: Resultados del escenario HEV

De los resultados obtenidos, podemos observar una reducción en el valor del número de emisiones de CO₂, NO_x y PM de 2024 a 2035. Sin embargo, en el caso de las emisiones de CO, existe un incremento en el valor de las emisiones. Este incremento se debe a que el valor de gramos por kilómetro de CO de los vehículos HEV es mayor que el de los diésel, GLP y GNC, por lo que al cambiar estos por vehículos HEV se incrementa el valor total de las emisiones de CO.

Asimismo, observamos para todas las emisiones que, a partir de 2031, el valor total de las emisiones se estabiliza, siendo constante en todos los años hasta 2035. El motivo de esta estabilización se debe a que únicamente se realiza un cambio en el tipo de combustible de los vehículos. Es decir, como se comentó anteriormente, el tipo de vehículo deja de ser cambiado a partir de 2031.

Por último, podemos observar cómo existe un pico en el nivel de emisiones de 2024 a 2025. Este pico se debe a que, en 2025, la mayoría de los vehículos privados han superado su vida útil, por lo que, al ser cambiados por una tecnología más limpia, a excepción de las emisiones de CO, se observa este impacto en las emisiones. A continuación, obtenemos las gráficas de evolución de cada tipo de emisión.



Gráfica 8: Evolución de las emisiones del escenario HEV

3.4 ESCENARIO PHEV

El escenario PHEV es similar al HEV, ya que, únicamente se realiza un único cambio de tipo de combustible. En este caso, el objetivo es que los vehículos de combustión interna y HEV pasen a ser PHEV para así poder analizar el impacto que tienen en términos de emisiones. Al igual que el escenario anterior, al hacer un estudio de la evolución de vehículos privados a 10 años y al ser la vida útil de los vehículos de 5 años, solo experimentaremos cambios en la evolución de los vehículos privados hasta 2030. Es decir, a partir de 2031 no habrá cambios ya que a pesar de que un vehículo supere su vida útil, este será cambiado por el mismo vehículo con el que circulaba antes, por lo que, las emisiones de los emisores serán las mismas. A continuación, se muestran los cambios que realizaría cada vehículo en el caso de tener que realizar dos cambios tras superar su vida útil:

Estado inicial	1º Cambio	2º Cambio
Diesel A	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
Diesel B	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
Diesel C	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
Diesel ECO	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
Diesel/GLP ECO	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
Gasolina B	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
Gasolina C	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
Gasolina ECO	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
Gasolina/GLP ECO	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
Gasolina/GNC ECO	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
BEV 0	BEV 0	BEV 0
HEV Diesel ECO	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
HEV Gasolina ECO	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
GLP ECO	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
GNC ECO	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
Gasolina Licuado Petroleo ECO	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0
Diesel transformado a GLP ECO	PHEV Diesel 0	PHEV Diesel 0
Gasolina transformado en GLP ECO	PHEV Gasolina 0	PHEV Gasolina 0

Tabla 20: Evolución de cada combustible en el escenario PHEV

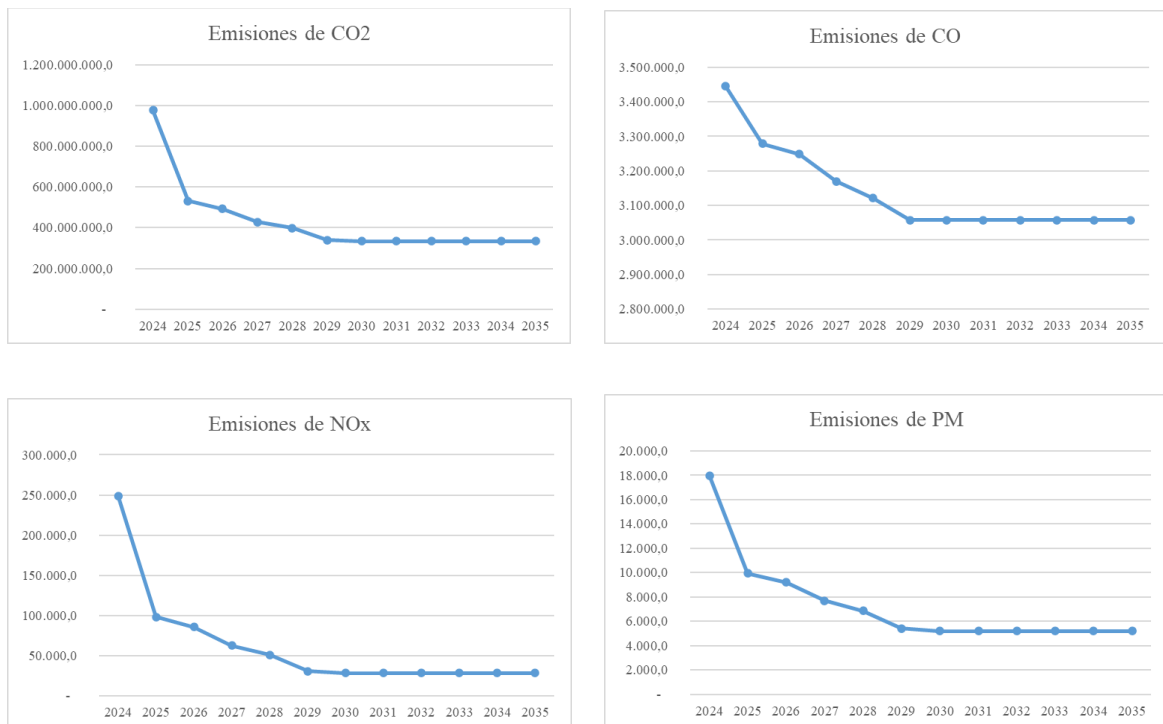
En la siguiente tabla podemos observar los resultados obtenidos tras el análisis:

Emisiones generadas por el Escenario PHEV				
Año	CO2	CO	Nox	PM
2024	975.968.618,1	3.444.934,1	248.811,4	17.974,0
2025	531.654.534,5	3.278.486,2	98.120,4	9.943,7
2026	491.869.409,7	3.248.313,8	85.377,7	9.208,9
2027	428.891.855,3	3.169.367,9	62.627,5	7.686,2
2028	397.851.344,4	3.120.889,9	51.078,9	6.853,4
2029	338.813.174,3	3.057.359,5	30.512,1	5.402,5
2030	333.933.870,0	3.058.138,1	28.382,7	5.199,9
2031	333.933.870,0	3.058.138,1	28.382,7	5.199,9
2032	333.933.870,0	3.058.138,1	28.382,7	5.199,9
2033	333.930.420,9	3.058.108,1	28.382,4	5.199,8
2034	333.930.420,9	3.058.108,1	28.382,4	5.199,8
2035	333.930.420,9	3.058.108,1	28.382,4	5.199,8

Tabla 21: Resultados del escenario PHEV

Tras haber realizado el análisis del escenario PHEV, podemos observar una notable reducción en las emisiones de CO₂, CO, NO_x y PM. A diferencia del escenario anterior, el nivel de emisiones de CO disminuye debido a que los gramos por kilómetro de los vehículos PHEV son inferiores a los del resto de tecnologías, a excepción de los BEV.

Debido a que únicamente se realiza un cambio en el tipo de combustible, a partir de 2030 observamos una estabilización en el número de emisiones. Por último, al tener que ser cambiados la mayoría de los vehículos en 2025 debido a que han alcanzado su vida útil y debido a que, en el instante inicial, las tecnologías empleadas son más antiguas y se cambian a tecnologías más limpias, de 2024 a 2025 es donde experimentamos la mayor reducción de emisiones. Las gráficas que muestran la evolución de cada tipo de emisor son las siguientes:



Gráfica 9: Evolución de emisiones del escenario PHEV

3.5 ESCENARIO DE LA COMPLETA ELECTRIFICACIÓN

Por último, tenemos el escenario de la completa electrificación, en el que se analizara que sucedería si todos los vehículos, tras superar su vida útil, pasaran a ser BEV. Este escenario es el óptimo a la hora de reducir el valor de las emisiones, debido a que la tecnología BEV es la que presenta menores valores de gramos por kilómetros para cada tipo de emisor.

El objetivo de este escenario es evaluar el impacto en las emisiones si se sustituyen todos los vehículos de combustión interna, HEV y PHEV por BEV. Al igual que en los escenarios HEV y PHEV, se realiza un único cambio en el tipo de combustible de los vehículos. Por este motivo, se experimentan cambios en las emisiones hasta 2030, y después de este año, las emisiones se estabilizarán. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para el escenario de la completa electrificación.

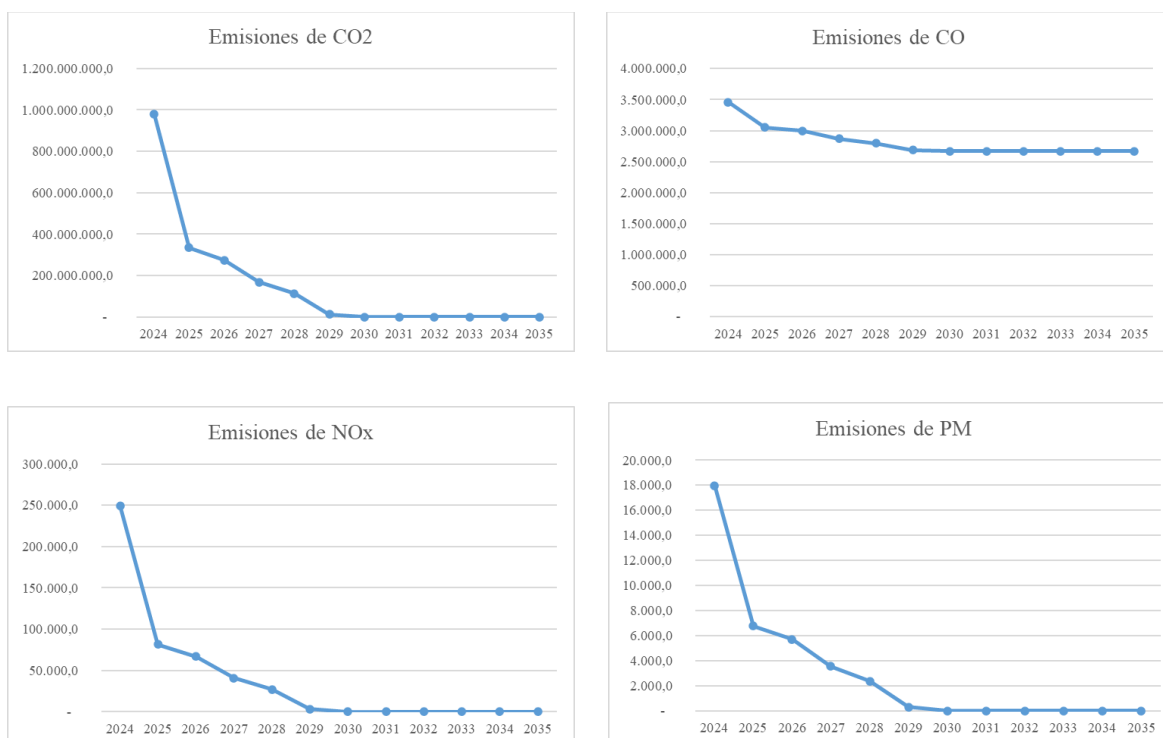
Emisiones generadas por el Escenario de la Completa Electrificación				
Año	CO ₂	CO	Nox	PM
2024	978.743.066,0	3.457.722,4	249.493,6	17.974,0
2025	333.845.759,5	3.052.954,9	81.458,3	6.766,1
2026	273.695.828,9	2.999.595,3	67.028,0	5.722,1
2027	167.726.739,0	2.871.759,5	40.721,7	3.547,9
2028	112.938.978,0	2.796.273,5	27.207,5	2.355,0
2029	13.356.218,4	2.686.606,8	3.283,0	289,0
2030	-	2.668.121,1	-	-
2031	-	2.668.121,1	-	-
2032	-	2.668.121,1	-	-
2033	-	2.668.121,1	-	-
2034	-	2.668.121,1	-	-
2035	-	2.668.121,1	-	-

Tabla 22: Resultados del escenario de la completa electrificación

De los resultados obtenidos en el análisis, observamos que las emisiones de CO₂, NOx y PM en 2030 se reducen a cero debido a que los vehículos eléctricos puros (BEV) no emiten gramos por kilómetro de estos contaminantes. La velocidad de reducción en la gráfica depende del número de vehículos que se cambian cada año y del tipo de combustible que

usaban antes de convertirse en BEV. Cuanto mayor sea el número de vehículos cambiados y más contaminante sea el vehículo anterior, mayor será la pendiente de la reducción.

En el caso de las emisiones de CO, observamos una notable disminución con respecto a 2024, aunque estas no llegan a ser cero ya que se emiten 0,6 gramos por kilómetro. Es evidente que al adoptar tecnología BEV, que es la más limpia disponible, el escenario de completa electrificación es el óptimo de los estudiados para lograr la reducción de emisiones.



Gráfica 10: Evolución de emisiones del escenario de la completa electrificación

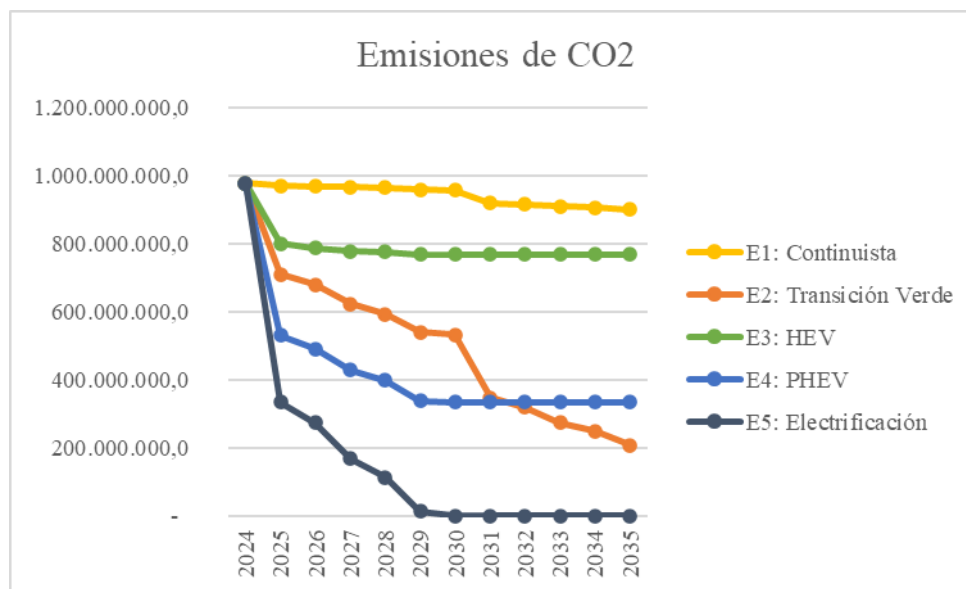
3.6 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIFERENTES ESCENARIOS

Con el fin de mitigar el impacto medioambiental ocasionado por los vehículos privados, se han planteado diversos escenarios que buscan la reducción de emisiones contaminantes. A continuación, compararemos los cinco escenarios planteados anteriormente: Escenario Continuista, Escenario de transición verde, Escenario HEV, Escenario PHEV y Escenario de la Completa Electrificación. Cada uno de estos escenarios

presenta diferentes enfoques para disminuir las emisiones de CO₂, CO, NO_x y PM desde el caso base (2024) hasta 2035. A través de esta comparación, evaluaremos las diferencias en la efectividad de cada estrategia, indicando qué escenario ofrece mayores ventajas en términos de reducción de contaminantes y cuáles contribuyen de manera más significativa a la sostenibilidad ambiental. A continuación, analizaremos la evolución de los diferentes escenarios para cada contaminante.

3.6.1 EVOLUCIÓN DE EMISIONES DE CO₂

En primer lugar, analizaremos la evolución para cada escenario de las emisiones de CO₂ a través de la siguiente gráfica:



Gráfica 11: Evolución de emisiones de CO₂ para cada escenario

A partir de esta gráfica, podemos observar cómo varían las emisiones de CO₂ en cada escenario desde el caso base en 2024 hasta el año 2035, proporcionando una visión clara de la efectividad de cada estrategia en la reducción de este contaminante. La siguiente tabla muestra el porcentaje de reducción de emisiones:

Diferencia de CO₂ de 2024 a 2035

Escenario	Porcentaje de reducción de CO ₂
Continuista	8,0%
Transición Verde	78,7%
HEV	21,5%
PHEV	65,8%
Electrificación	100,0%

Tabla 23: Porcentaje de reducción de CO₂ para cada escenario

En el caso de las emisiones de CO₂, el escenario de la completa electrificación es el que mayor reducción logra. Este resultado es evidente debido a que este escenario busca una transformación completa hacia los BEV, los cuales no emiten CO₂ durante su operación. Alcanza una reducción del 100% de las emisiones de CO₂ para el año 2030 en adelante, eliminando completamente las emisiones de CO₂ para 2035.

El escenario de transición verde es el segundo más efectivo, con una reducción significativa y rápida. Aunque en 2025 las emisiones son más altas comparadas con el escenario PHEV, a partir de ese año las emisiones en el escenario de transición verde comienzan a disminuir rápidamente, casi igualándose con el PHEV en 2031. Después de 2031, las emisiones en el escenario de transición verde continúan disminuyendo, logrando una reducción del 78.7% para 2035.

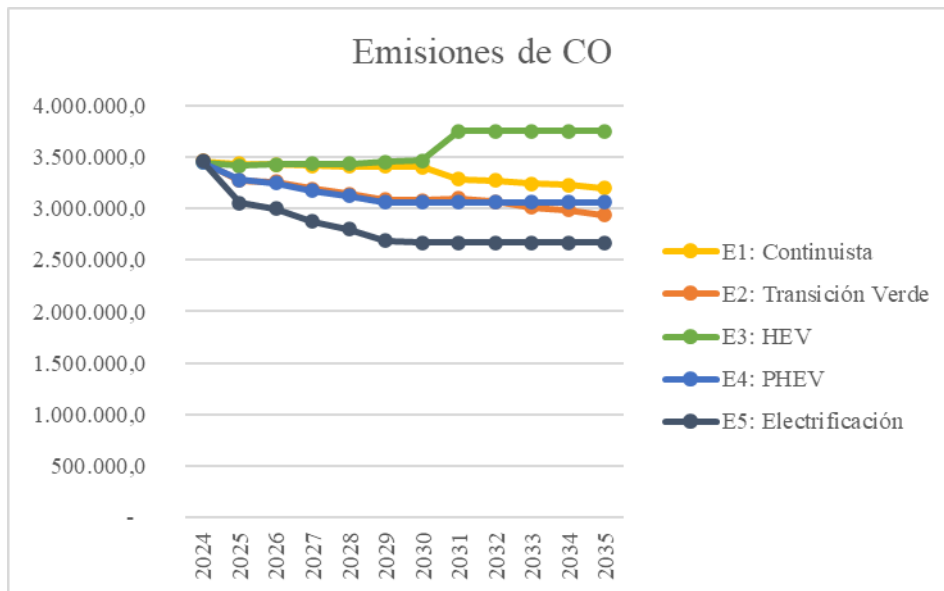
El escenario PHEV reduce las emisiones en un 65.8% para 2035. Aunque tiene una reducción significativa inicial, sus emisiones se estabilizan después de 2031, manteniendo un nivel constante sin mayores disminuciones.

El escenario HEV tiene una mayor reducción en 2025 pero se estabiliza a niveles similares durante el resto del período, alcanzando una reducción del 21.5% para 2035. Este escenario es menos efectivo que el de transición verde y el PHEV, pero más efectivo que el continuista.

Por último, el escenario continuista, al reducir las emisiones en un 1% cada año, logra una reducción del 8,0 % para 2035, convirtiéndose en el escenario más lento y en el que menor emisiones se reducen.

3.6.2 EVOLUCIÓN DE EMISIONES DE CO

A continuación, se representan las evoluciones de las emisiones de CO para cada uno de los escenarios comentados:



Gráfica 12: Evolución de emisiones de CO para cada escenario

La siguiente tabla muestra el porcentaje de reducción de emisiones de CO para cada uno de los escenarios:

Diferencia de CO de 2024 a 2035	
Escenario	Porcentaje de reducción de CO
Continuista	7,6%
Transición Verde	15,2%
HEV	-8,8%
PHEV	11,2%
Electrificación	22,8%

Tabla 24: Porcentaje de reducción de CO para cada escenario

Para las emisiones de CO, el escenario de la completa electrificación es el que logra el mayor porcentaje de reducción. Sin embargo, es el único caso en el que, durante el periodo estudiado, no se obtiene una reducción del 100%. En este caso, solo se logra una reducción del 22.8%, y esta disminución se alcanza en los primeros años, ya que a partir de 2030 los valores de las emisiones se estabilizan.

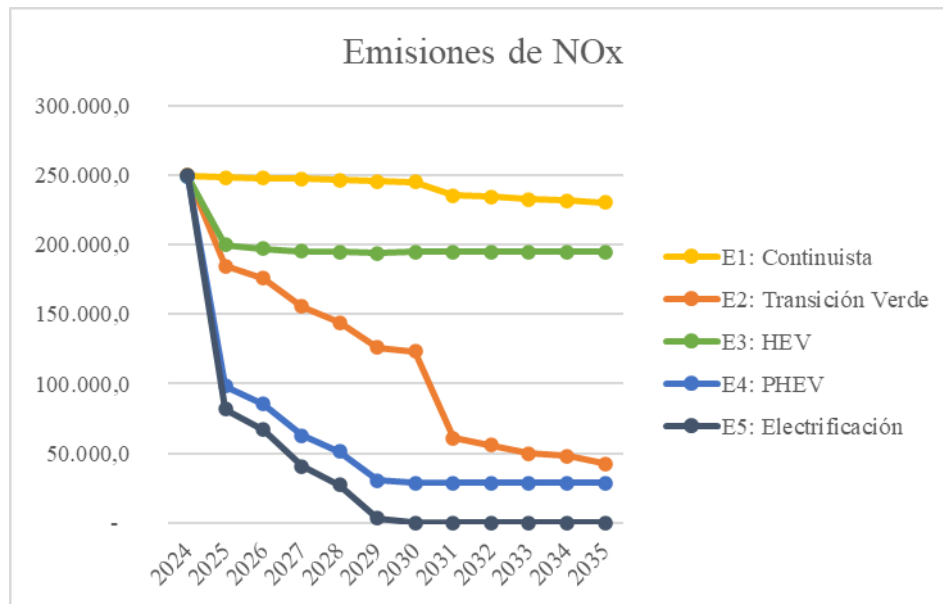
El escenario de transición verde sería el segundo con mayor porcentaje de reducción de emisiones. En comparación con el escenario PHEV, ambos tendrían un nivel de emisiones muy similar hasta 2032. A partir de 2032, las emisiones de CO en el caso de transición verde continúan disminuyendo, superando el nivel de reducción de emisiones del escenario PHEV debido a que a partir de 2030 las emisiones en el escenario PHEV se estabilizan.

El escenario continuista presenta una reducción mínima de emisiones hasta 2030. Sin embargo, en 2031 experimenta una mayor reducción de emisiones debido al reemplazo de vehículos que han superado su vida útil.

Por último, el escenario HEV es el único en el que se observa un aumento de emisiones. Esto se debe a que los HEV tienen un valor mayor de gramos de CO por kilómetro en comparación con los vehículos de combustión interna, a excepción de los vehículos de gasolina. Por este motivo, se observa un porcentaje negativo del 8.8%, indicando un aumento de emisiones de CO respecto al caso base.

3.6.3 EVOLUCIÓN DE EMISIONES DE NOX

Seguidamente, observaremos la evolución de las emisiones de NOx. La siguiente grafica muestra la evolución de emisiones en el periodo de tiempo estudiado.



Gráfica 13: Evolución de emisiones de NOx para cada escenario

La siguiente tabla muestra el porcentaje de reducción para cada uno de los escenarios:

Diferencia de NOx de 2024 a 2035	
Escenario	Porcentaje de reducción de Nox
Continuista	7,7%
Transición Verde	83,0%
HEV	21,8%
PHEV	88,6%
Electrificación	100,0%

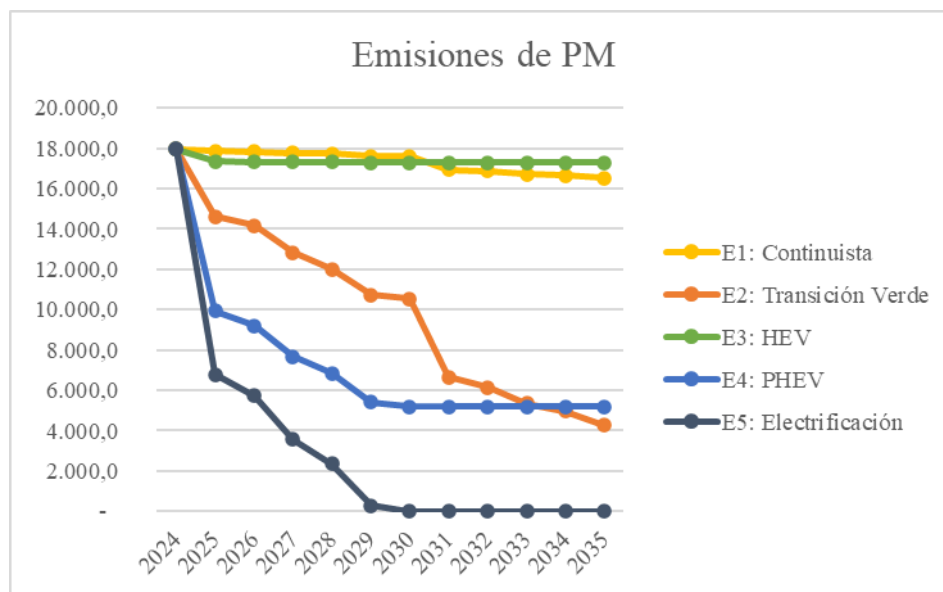
Tabla 25: Porcentaje de reducción de NOx para cada escenario

Una vez más, es el escenario de la completa electrificación el que logra el mayor porcentaje de reducción de emisiones de NOx. En este caso, el segundo escenario con mayor reducción de emisiones es el PHEV, en el que se observa una pronunciada disminución en el año 2025. A pesar de que el valor de las emisiones se estabilice en 2030, el escenario de transición verde no consigue reducir el mismo valor de emisiones de NOx que el escenario PHEV. Sin embargo, se observa una rápida reducción de emisiones en el escenario de transición verde, especialmente en el año 2031.

Al igual que en las emisiones de CO₂, el escenario HEV muestra una reducción significativa en el primer año. Sin embargo, a partir de 2025, el valor de las emisiones se mantiene similar, sin mayores disminuciones. Por último, el escenario continuista presenta una reducción prácticamente insignificante en los primeros años, hasta que en 2031 experimenta una reducción más pronunciada, pero, aun así, no logra una gran reducción de emisiones de NO_x.

3.6.4 EVOLUCIÓN DE EMISIONES DE PM

Por último, analizaremos la gráfica de emisiones de PM para cada uno de los escenarios propuestos:



Gráfica 14: Evolución de emisiones de PM para cada escenario

La tabla mostrada continuación muestra el nivel de reducción de emisiones para cada escenario:

Diferencia de PM de 2024 a 2035

Escenario	Porcentaje de reducción de PM
Continuista	8,0%
Transición Verde	76,3%
HEV	3,8%
PHEV	71,1%
Electrificación	100,0%

Tabla 26: Porcentaje de reducción de PM para cada escenario

Para las emisiones de PM, el escenario de la completa electrificación vuelve a conseguir una reducción de emisiones del 100%. Los escenarios de transición verde y PHEV tienen una evolución similar a las emisiones de CO₂; sin embargo, en este caso, es en 2033 donde se igualan. A partir de este año, el escenario de transición verde continúa disminuyendo, consiguiendo una mayor reducción de emisiones debido a que en 2030 el escenario PHEV se mantiene generando el mismo número de emisiones.

Como en el resto de las emisiones, el escenario continuista obtiene una mayor reducción de emisiones en el año 2031. Esta reducción hace que emita menos emisiones que el escenario HEV, que se mantiene en un nivel similar de emisiones durante todo el periodo estudiado.

3.6.5 CONCLUSIONES

Tras haber realizado el análisis íntegro de los diferentes escenarios, podemos afirmar que el escenario óptimo sería el de la completa electrificación. Este escenario es el que menores emisiones emite para todos los contaminantes. Sin embargo, es el caso menos realista ya que implicaría que todos los vehículos privados pasasen a ser BEV a finales de 2030. No obstante, el escenario de transición verde ha demostrado ser una alternativa muy eficaz. Aunque no logra la reducción total de emisiones como el escenario de completa electrificación, consigue una disminución significativa de las emisiones de CO₂, CO, NO_x y PM a lo largo del periodo estudiado.

El escenario de transición verde destaca por su enfoque gradual y escalonado en la sustitución de vehículos, lo que permite una reducción progresiva de las emisiones. A diferencia del escenario PHEV, que estabiliza sus emisiones a partir de 2030, el escenario de transición verde consigue disminuir las emisiones más allá de esta fecha, logrando así mayores beneficios ambientales a largo plazo.

Por otro lado, los escenarios HEV y continuista presentan menores reducciones en comparación con los escenarios anteriores. El escenario HEV, aunque inicialmente presenta una disminución notable de emisiones, se estabiliza rápidamente y no muestra una mejora continua a lo largo del tiempo. Asimismo, el escenario continuista muestra reducciones más pronunciadas a partir de 2031, pero en general, ofrece menos beneficios en términos de reducción de emisiones en comparación con el escenario de transición verde y PHEV.

Con todo esto podemos concluir que mientras que la completa electrificación representa el escenario ideal para la reducción de emisiones, el escenario de transición verde muestra una solución más práctica y realista. En la que ofrece, una mejora continua en la calidad del aire y contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

Capítulo 4. IMPACTO DE KILÓMETROS VACÍOS

Una de las grandes diferencias entre taxis y VTC es la cantidad de kilómetros recorridos. Como mencionamos anteriormente, los taxis recorren un mayor número de kilómetros debido a su disponibilidad constante en las calles y su disposición al servicio público. Por este motivo, los taxis acumulan más kilómetros, muchos de los cuales son kilómetros vacíos, es decir, recorridos sin pasajeros. Estos kilómetros vacíos crean una gran diferencia en las emisiones generadas por cada tipo de vehículo. Por este motivo, surge el interés de conocer cómo evolucionarían las emisiones en el caso de que los kilómetros vacíos recorridos se redujeran.

4.1 ANÁLISIS DE EMISIONES SEGÚN EL FP APLICADO AL CASO BASE

Para poder analizar el impacto que tienen los kilómetros vacíos, se ha optado por analizar el caso base. Este análisis permitirá estudiar cómo disminuyen las emisiones de contaminantes como CO₂, CO, NO_x y PM al reducir los kilómetros recorridos sin pasajeros, proporcionando una perspectiva más completa sobre posibles estrategias de optimización del uso de vehículos privados y su impacto ambiental.

En referencia al estudio que se llevará a cabo, en el caso base se ha considerado las siguientes medidas en relación con los kilómetros recorridos [Tabla 7]:

- Cada taxi recorre una media de 207,96 km diarios, de los cuales 94,31 km son ocupados y los 113,65 km restantes son vacíos.
- Cada VTC recorre una media de 164,48 km diarios, de los cuales 78,04 km son ocupados y los 86,44 km restantes son vacíos.

En este análisis, se establece que el número de kilómetros ocupados que circula cada vehículo eléctrico no cambiará respecto al valor establecido en el caso base inicial. Sin

embargo, para poder evaluar cómo afecta el valor de los kilómetros vacíos a las emisiones generadas por cada uno de los contaminantes, se ha optado por utilizar un concepto similar al factor de potencia. Este factor de potencia determinará los kilómetros totales recorridos para cada tipo de servicio, dependiendo de su valor.

$$Km\ Totales = Km\ Ocupados + Km\ Vacíos * FP$$

Es importante destacar que el valor del Factor de Potencia (FP) variará de 0 a 1. Cuando el FP es igual a 0, significa que no habrá kilómetros vacíos y los kilómetros totales recorridos serán únicamente los kilómetros ocupados por cada tipo de servicio. En cambio, si el FP es igual a 1, los kilómetros totales recorridos serán los mismos que los establecidos en el caso base para cada tipo de servicio. Por lo que la formula de FP será la siguiente:

$$FP = \frac{Km\ Totales - Km\ Ocupados}{Km\ Vacíos}$$

$$FP \in [0,1]$$

Como se ha comentado anteriormente, para este análisis el valor de los kilómetros ocupados para cada tipo de servicio no variará. Por lo tanto, las emisiones asociadas a los kilómetros ocupados serán constantes, independientemente del valor que tenga el FP. La siguiente tabla muestra el valor total de las emisiones para cada servicio.

Kilometros ocupados				
	CO2	CO	Nox	PM
Taxis	320.414.784,6	1.151.196,0	79.646,4	5.837,1
VTC	129.150.009,2	436.146,1	35.047,1	2.421,0
Total	449.564.793,8	1.587.342,0	114.693,5	8.258,2

Tabla 27: Emisiones generadas por los kilómetros ocupados para cada servicio

Añadiendo el valor de los kilómetros vacíos según el valor del FP, obtenemos los siguientes resultados:

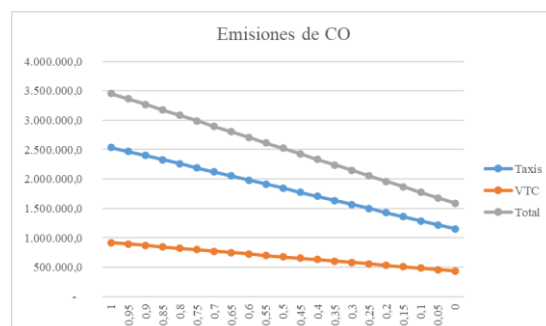
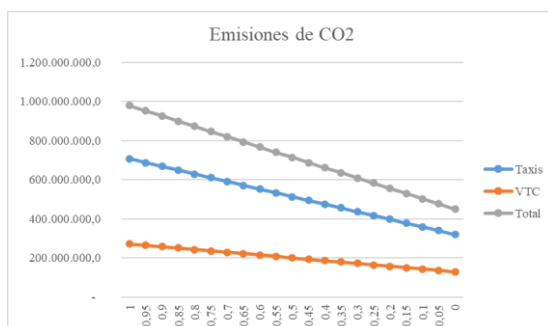
FC	Tipo de vehiculo	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxis	706.536.513,8	2.538.465,8	175.625,9	12.871,3
	VTC	272.201.352,0	919.237,6	73.866,5	5.102,7
	Total	978.737.865,8	3.457.703,4	249.492,3	17.973,9
0,95	Taxis	687.230.427,3	2.469.102,3	170.826,9	12.519,6
	VTC	265.048.784,9	895.083,0	71.925,5	4.968,6
	Total	952.279.212,2	3.364.185,3	242.752,4	17.488,1
0,9	Taxis	667.924.340,8	2.399.738,8	166.027,9	12.167,9
	VTC	257.896.217,7	870.928,4	69.984,5	4.834,5
	Total	925.820.558,6	3.270.667,3	236.012,5	17.002,4
0,85	Taxis	648.618.254,4	2.330.375,3	161.228,9	11.816,1
	VTC	250.743.650,6	846.773,9	68.043,6	4.700,4
	Total	899.361.905,0	3.177.149,2	229.272,5	16.516,6
0,8	Taxis	629.312.167,9	2.261.011,8	156.430,0	11.464,4
	VTC	243.591.083,4	822.619,3	66.102,6	4.566,3
	Total	872.903.251,4	3.083.631,1	222.532,6	16.030,8
0,75	Taxis	610.006.081,5	2.191.648,4	151.631,0	11.112,7
	VTC	236.438.516,3	798.464,7	64.161,6	4.432,3
	Total	846.444.597,8	2.990.113,1	215.792,6	15.545,0
0,7	Taxis	590.699.995,0	2.122.284,9	146.832,0	10.761,0
	VTC	229.285.949,2	774.310,1	62.220,7	4.298,2
	Total	819.985.944,2	2.896.595,0	209.052,7	15.059,2
0,65	Taxis	571.393.908,6	2.052.921,4	142.033,1	10.409,3
	VTC	222.133.382,0	750.155,6	60.279,7	4.164,1
	Total	793.527.290,6	2.803.076,9	202.312,8	14.573,4
0,6	Taxis	552.087.822,1	1.983.557,9	137.234,1	10.057,6
	VTC	214.980.814,9	726.001,0	58.338,7	4.030,0
	Total	767.068.637,0	2.709.558,9	195.572,8	14.087,6
0,55	Taxis	532.781.735,7	1.914.194,4	132.435,1	9.705,9
	VTC	207.828.247,7	701.846,4	56.397,7	3.895,9
	Total	740.609.983,4	2.616.040,8	188.832,9	13.601,8
0,5	Taxis	513.475.649,2	1.844.830,9	127.636,2	9.354,2
	VTC	200.675.680,6	677.691,8	54.456,8	3.761,8
	Total	714.151.329,8	2.522.522,7	182.092,9	13.116,0
0,45	Taxis	494.169.562,7	1.775.467,4	122.837,2	9.002,5
	VTC	193.523.113,5	653.537,2	52.515,8	3.627,8
	Total	687.692.676,2	2.429.004,6	175.353,0	12.630,3
0,4	Taxis	474.863.476,3	1.706.103,9	118.038,2	8.650,8
	VTC	186.370.546,3	629.382,7	50.574,8	3.493,7
	Total	661.234.022,6	2.335.486,6	168.613,0	12.144,5
0,35	Taxis	455.557.389,8	1.636.740,4	113.239,2	8.299,1
	VTC	179.217.979,2	605.228,1	48.633,9	3.359,6
	Total	634.775.369,0	2.241.968,5	161.873,1	11.658,7
0,3	Taxis	436.251.303,4	1.567.376,9	108.440,3	7.947,4
	VTC	172.065.412,0	581.073,5	46.692,9	3.225,5
	Total	608.316.715,4	2.148.450,4	155.133,2	11.172,9
0,25	Taxis	416.945.216,9	1.498.013,4	103.641,3	7.595,7
	VTC	164.912.844,9	556.918,9	44.751,9	3.091,4
	Total	581.858.061,8	2.054.932,4	148.393,2	10.687,1
0,2	Taxis	397.639.130,5	1.428.649,9	98.842,3	7.244,0
	VTC	157.760.277,8	532.764,4	42.810,9	2.957,4
	Total	555.399.408,2	1.961.414,3	141.653,3	10.201,3
0,15	Taxis	378.333.044,0	1.359.286,4	94.043,4	6.892,2
	VTC	150.607.710,6	508.609,8	40.870,0	2.823,3
	Total	528.940.754,6	1.867.896,2	134.913,3	9.715,5
0,1	Taxis	359.026.957,5	1.289.922,9	89.244,4	6.540,5
	VTC	143.455.143,5	484.455,2	38.929,0	2.689,2
	Total	502.482.101,0	1.774.378,1	128.173,4	9.229,7
0,05	Taxis	339.720.871,1	1.220.559,5	84.445,4	6.188,8
	VTC	136.302.576,3	460.300,6	36.988,0	2.555,1
	Total	476.023.447,4	1.680.860,1	121.433,4	8.744,0
0	Taxis	320.414.784,6	1.151.196,0	79.646,4	5.837,1
	VTC	129.150.009,2	436.146,1	35.047,1	2.421,0
	Total	449.564.793,8	1.587.342,0	114.693,5	8.258,2

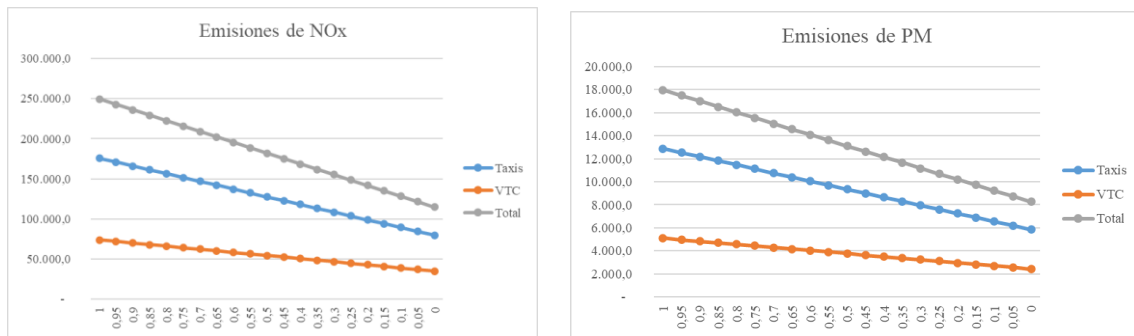
Tabla 28: Resultados de las emisiones según el FP para cada servicio

De los resultados obtenidos podemos contrastar la predicción inicial: cuanto menor es el valor del FP, menores son las emisiones emitidas por cada vehículo. Asimismo, debido a la fórmula empleada para calcular el valor de los kilómetros totales, obtenemos un impacto del FP proporcional y lineal a la reducción de emisiones. Es decir, cada vez que reducimos el valor del FP en un 0,05, reducimos un valor fijo de las emisiones. Este valor fijo varía según el tipo de servicio y el contaminante (CO₂, CO, NO_x y PM) que se esté estudiando.

Si comparamos las emisiones emitidas por los diferentes tipos de servicio, observamos que, para todos los contaminantes, los taxis emiten un mayor número de emisiones. El motivo de que los taxis generen más emisiones, no solo se debe a que los kilómetros ocupados que recorren son mayores, sino también a que son más numerosos.

Sin embargo, en términos de porcentaje de reducción, observamos que a medida que se reduce el valor del FP, las emisiones de los taxis disminuyen a mayor velocidad. Esto se puede observar claramente en las gráficas de cada contaminante, ya que la pendiente de las emisiones de los taxis es más pronunciada que la de los VTC. Asimismo, estas gráficas nos permiten visualizar cómo existe la misma tendencia para todas las emisiones estudiadas, ya que todas las gráficas tienen la misma pendiente.





Gráfica 15: Valores de las emisiones según el tipo de servicio

En este análisis, observamos la importancia de reducir los kilómetros vacíos, especialmente para los servicios de taxis, ya que una mayor optimización en la reducción del FP conlleva una disminución significativa en las emisiones contaminantes.

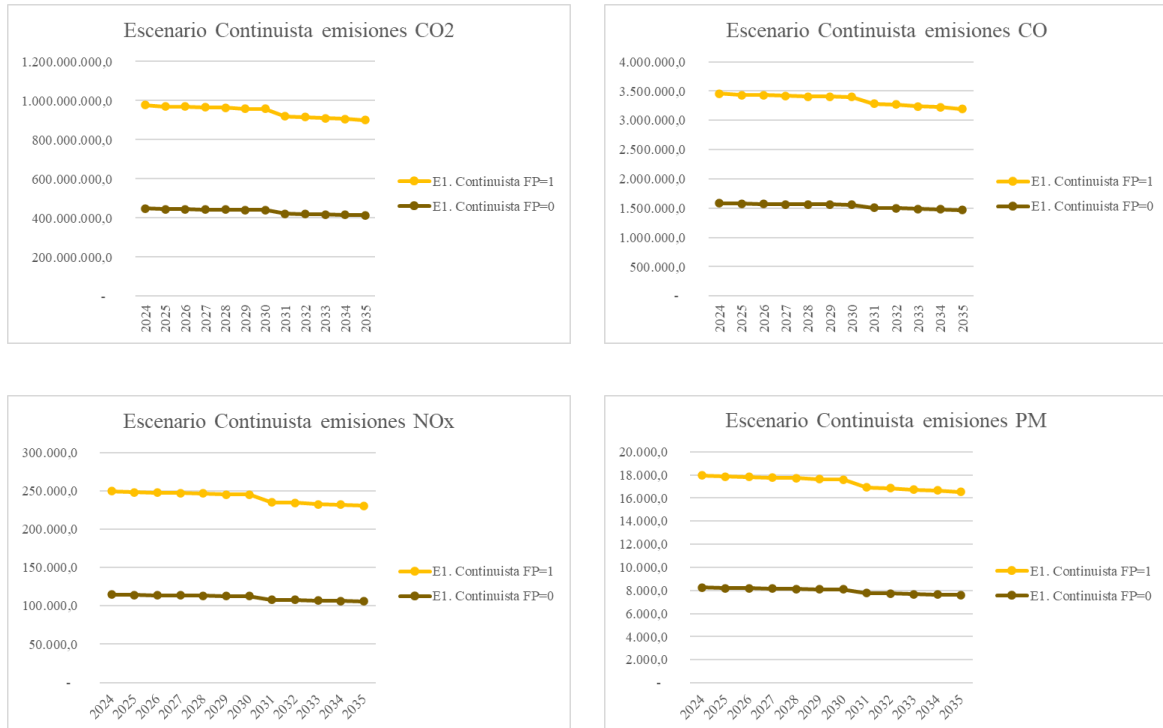
4.2 COMPARATIVA DE EMISIONES SEGÚN EL FP PARA CADA TIPO DE ESCENARIO

Para cada uno de los escenarios planteados, estudiaremos las gráficas de emisiones de cada contaminante, el porcentaje de reducción de emisiones y haremos una comparativa del valor de emisiones para el valor de FP igual a 0 de cada escenario en comparación con el valor de emisiones generadas para todos los escenarios analizados en el capítulo anterior. La idea de este análisis es medir el impacto que tendría eliminar los kilómetros vacíos recorridos y analizar cómo afectaría en las emisiones generadas. Asimismo, analizaremos cómo afecta a cada servicio reducir los kilómetros recorridos.

4.2.1 ESCENARIO CONTINUISTA

4.2.1.1 Análisis de Gráficas de Emisiones de Cada Contaminante

Con el fin de poder comparar los dos valores del FP para el escenario continuista, se ha optado por representar los valores obtenidos en una gráfica, como se muestra a continuación.



Gráfica 16: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario continuista

Tras analizar las gráficas obtenidas del escenario continuista, observamos un mismo patrón en la evolución de las emisiones a lo largo de los años para todos los contaminantes. En este caso, la diferencia de emisiones para cada valor de FP es casi constante para todos los años. Este comportamiento se debe a que la reducción en un pequeño porcentaje del valor de las emisiones por año no genera grandes variaciones en las emisiones de un año a otro. Por lo tanto, reducir el valor del FP provoca una reducción de emisiones, pero sin modificar significativamente la forma de la recta a lo largo del tiempo.

4.2.1.2 Evaluación del Porcentaje de Reducción de Emisiones

Para poder analizar cuál es el impacto de reducción de emisiones que se experimenta cada año según el valor del FP, se ha obtenido la diferencia de porcentaje que compara el nivel de emisiones de los valores con FP igual a cero en un determinado año en comparación con el valor inicial (2024) de cada contaminante con un valor de FP igual a 1.

$$\% \text{ red. emisiones } X = \frac{\text{Emisiones } 2024 \text{ FP} = 1 [A] - \text{Emisiones } X \text{ FP} = 0 [A]}{\text{Emisiones } 2024 \text{ FP} = 1 [A]}$$

siendo [A] un contaminante CO₂, CO, NO_x, PM

siendo X el año que se este estudiando

Los resultados de la reducción de emisiones se muestran en la tabla mostrada a continuación:

Escenario 1: Continuista				
Año	CO ₂	CO	Nox	PM
2024	54,1%	54,1%	54,0%	54,1%
2025	54,4%	54,4%	54,3%	54,4%
2026	54,5%	54,5%	54,3%	54,4%
2027	54,6%	54,7%	54,5%	54,6%
2028	54,7%	54,8%	54,6%	54,7%
2029	55,0%	54,8%	54,8%	54,9%
2030	55,0%	54,8%	54,8%	55,0%
2031	56,8%	56,4%	56,7%	56,7%
2032	57,0%	56,6%	56,8%	56,9%
2033	57,3%	57,0%	57,2%	57,2%
2034	57,5%	57,2%	57,3%	57,4%
2035	57,7%	57,6%	57,6%	57,7%

Tabla 29: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario continuista

En el escenario continuista podemos observar cómo el porcentaje de reducción de emisiones es muy parecido cada año para cada contaminante. Asimismo, cabe destacar que al eliminar los kilómetros vacíos (FP=0), en el primer año se obtiene una reducción aproximada del 54% de emisiones para cada contaminante, en comparación con las emisiones generadas en el caso base en 2024. Sin embargo, cada vez que los años pasan se observa únicamente una pequeña reducción de emisiones en comparación con la gran reducción de emisiones al comienzo del periodo de estudio, como comentado en las gráficas. Al final de 2035, obtenemos una reducción final del 57,7% para el CO₂ y PM y del 57,6% para el CO y NO_x, representando el impacto positivo en la reducción de emisiones que tiene reducir el FP.

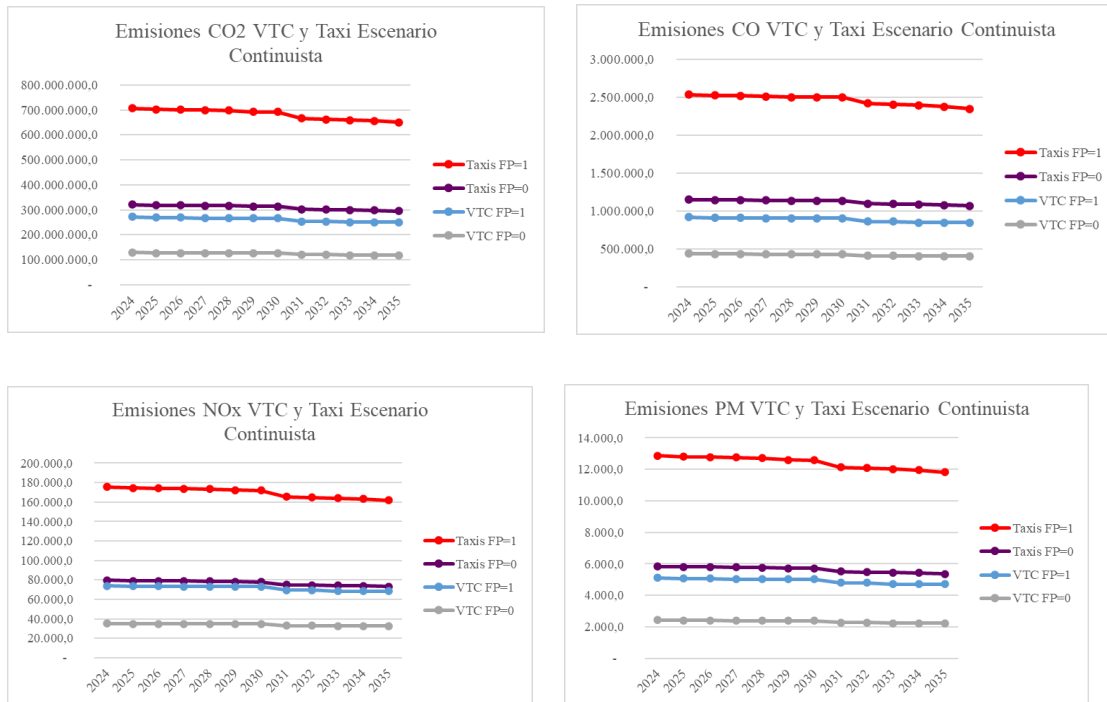
Para comparar cuál es la reducción de emisiones obtenida para cada servicio, hemos empleado el mismo concepto de fórmula que cuando calculamos el porcentaje de reducción de emisiones.

Porcentaje de reducción de emisiones de VTC					
Año	Servicio	CO2	CO	NOx	PM
2024	VTC	52,6%	52,6%	52,6%	52,6%
2025	VTC	53,2%	53,1%	52,8%	53,0%
2026	VTC	53,2%	53,1%	52,8%	53,0%
2027	VTC	53,5%	53,5%	53,0%	53,3%
2028	VTC	53,5%	53,5%	53,0%	53,3%
2029	VTC	53,5%	53,5%	53,0%	53,3%
2030	VTC	53,5%	53,5%	53,0%	53,3%
2031	VTC	55,7%	55,5%	55,3%	55,4%
2032	VTC	55,7%	55,5%	55,3%	55,4%
2033	VTC	56,3%	56,4%	55,9%	56,2%
2034	VTC	56,3%	56,4%	55,9%	56,2%
2035	VTC	56,3%	56,4%	55,9%	56,2%

Porcentaje de reducción de emisiones de Taxis					
Año	Servicio	CO2	CO	NOx	PM
2024	Taxis	54,7%	54,7%	54,7%	54,7%
2025	Taxis	54,9%	54,9%	54,9%	54,9%
2026	Taxis	55,0%	55,0%	55,0%	55,0%
2027	Taxis	55,1%	55,1%	55,1%	55,1%
2028	Taxis	55,2%	55,3%	55,2%	55,3%
2029	Taxis	55,6%	55,2%	55,5%	55,6%
2030	Taxis	55,6%	55,3%	55,6%	55,7%
2031	Taxis	57,3%	56,8%	57,3%	57,2%
2032	Taxis	57,5%	57,0%	57,5%	57,4%
2033	Taxis	57,7%	57,2%	57,7%	57,7%
2034	Taxis	57,9%	57,5%	57,9%	57,9%
2035	Taxis	58,3%	58,0%	58,3%	58,3%

Tabla 30: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario continuista

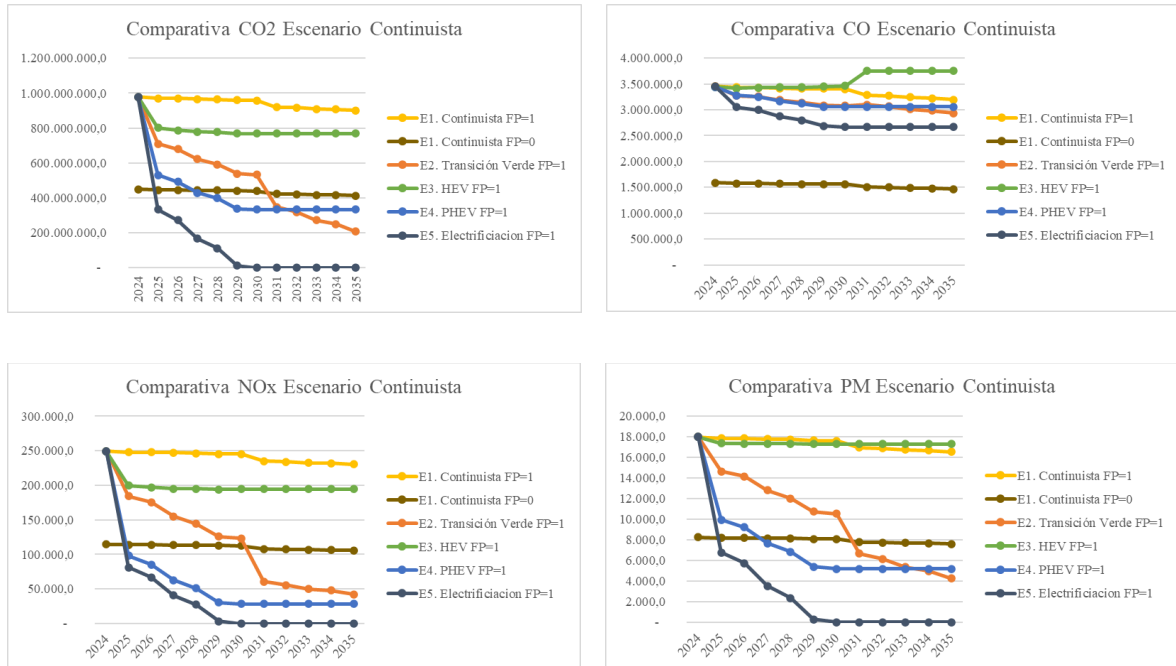
En el caso del escenario continuista, obtenemos que el servicio de taxis logra una mayor reducción de emisiones en cada año al igualar los kilómetros totales a los kilómetros ocupados (FP=0). La diferencia de porcentaje en la reducción de emisiones para cada contaminante en 2035 en comparación con 2024 se encuentra en torno al 2%. Además, en las gráficas mostradas a continuación, se observa la evolución del valor absoluto de emisiones generadas por cada servicio, valor de FP y contaminante.



Gráfica 17: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario continuista

Un aspecto interesante de estas gráficas es la diferencia constante en el valor de las emisiones de un año a otro. Al reducir el valor de los kilómetros recorridos, observamos que las emisiones de los taxis son ligeramente superiores a las emisiones generadas por los VTC cuando el FP es igual a cero, a pesar de que el número de taxis es casi el doble que el de los VTC. Esta observación recalca la eficacia de la reducción de kilómetros vacíos en la disminución de emisiones, mostrando que optimizar la eficiencia de los viajes tiene un impacto significativo en las emisiones totales.

4.2.1.3 Comparativa del Valor de Emisiones para FP Igual a 0 Frente a Otros Escenarios



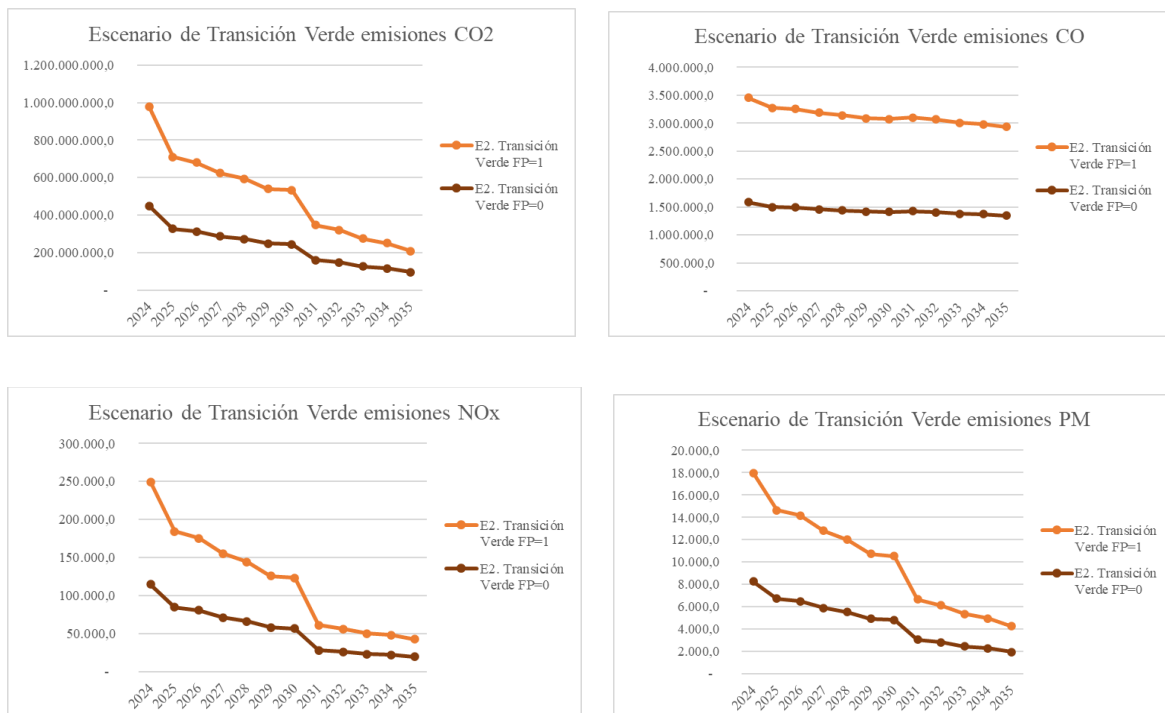
Gráfica 18: Comparación del escenario continuista con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1

Si comparáramos los valores obtenidos de emisiones para un valor de FP igual a cero del escenario continuista, con los de todos los escenarios teniendo estos un valor de FP igual a 1, incluyendo los del escenario continuista, observaremos un patrón similar para CO₂, NO_x y PM. A pesar de haber reducido los kilómetros totales, ya que como sabemos un FP=0 implica eliminar los kilómetros vacíos, no se consigue superar la reducción de emisiones de los escenarios de la completa electrificación, transición verde y PHEV en 2035, aunque estos sí que tengan en cuenta los kilómetros vacíos. Sin embargo, eliminar los kilómetros vacíos en el escenario continuista sí tiene un impacto positivo a la hora de analizar las emisiones de CO, ya que, cuando se emplea un FP igual a cero, se convierte en el escenario con menores emisiones de CO generadas.

4.2.2 ESCENARIO DE TRANSICIÓN VERDE

4.2.2.1 Análisis de Gráficas de Emisiones de Cada Contaminante

A continuación, compararemos el valor de las emisiones para los distintos niveles del factor de emisión de cada contaminante.



Gráfica 19: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario de transición verde

Al comparar los distintos valores de emisiones generados por cada contaminante, podemos observar que cuando el FP se iguala a cero, las emisiones generadas son menores que cuando FP es igual a uno.

Analizando las gráficas de cada contaminante, observamos un patrón similar en las emisiones de CO₂, NO_x y PM. En 2024, existe una gran diferencia en las emisiones entre FP=0 y FP=1. A partir de ese año, la diferencia entre los kilómetros totales siendo iguales a los ocupados (FP=0) y los kilómetros totales siendo la suma de los ocupados y vacíos (FP=1) comienza a volverse menor a medida que pasan los años. Es decir, la pendiente de reducción de las emisiones es más rápida cuando el valor de FP es igual a uno. Asimismo, en 2031

observamos una mayor reducción de emisiones comparado con el año anterior (2030) cuando FP=1. La razón por la que no hay una diferencia tan significativa de emisiones entre estos años cuando FP es igual a cero se debe a que al reducir el valor de los kilómetros totales, el impacto de emisiones entre cada año es menor. Como mencionamos anteriormente, debido que la vida útil de los vehículos es solo de 5 años y, sabiendo que la mayoría de los vehículos superan esta vida útil en 2025, sabemos que estos vehículos necesitarían volver a ser reemplazados de nuevo en 2031. Al cambiar la mayoría de los vehículos en 2031 obtendremos una mayor reducción de emisiones en este año. Dado que los kilómetros totales son mayores cuando FP=1, la diferencia en emisiones es mayor para este valor de FP que cuando vale cero.

Por otro lado, en el caso de las emisiones de CO, la diferencia entre los escenarios estudiados se mantiene medianamente constante a lo largo del periodo analizado.

4.2.2.2 Evaluación del Porcentaje de Reducción de Emisiones

Considerando la fórmula desarrollada anteriormente, en la que se comparan las emisiones generadas para FP=1 en 2024 con las generadas en cada año para FP=0, obtenemos los siguientes resultados:

Escenario 2: Transición Verde				
Año	CO2	CO	Nox	PM
2024	54,1%	54,1%	54,0%	54,1%
2025	66,7%	56,6%	66,0%	62,6%
2026	68,1%	56,8%	67,6%	63,8%
2027	70,8%	57,7%	71,4%	67,3%
2028	72,2%	58,3%	73,4%	69,3%
2029	74,7%	59,0%	76,8%	72,6%
2030	75,0%	59,2%	77,3%	73,1%
2031	83,7%	58,8%	88,7%	82,9%
2032	84,9%	59,3%	89,7%	84,3%
2033	87,2%	60,0%	90,7%	86,3%
2034	88,3%	60,4%	91,2%	87,2%
2035	90,2%	61,0%	92,1%	89,0%

Tabla 31: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario de transición verde

Como hemos destacado previamente en las gráficas de cada contaminante, observamos un patrón similar en las emisiones de CO₂, NO_x y PM. Se ha mencionado que a medida que transcurren los años, la diferencia en el valor de las emisiones entre cada FP tiende a reducirse. En 2035, el total de las emisiones para FP=0 es menor que para FP=1. Por lo tanto, al comparar el porcentaje de reducción de emisiones a finales de 2035 con el inicial para FP=1 en 2024, encontramos que la reducción de emisiones es mayor para FP=0, aunque la diferencia entre ambos valores no es significativa, aproximadamente un 11% (varía dependiendo del contaminante). En cambio, para las emisiones de CO, la cual como hemos observado en las gráficas, la diferencia entre los diferentes FP es prácticamente constante durante todo el periodo estudiado. Por lo tanto, la reducción de emisiones entre los valores de FP es mucho mayor, reduciéndose cuando FP=0 un 45,8% más que cuando FP=1, en 2035.

	CO ₂	CO	No _x	PM
FP=1	78,7%	15,2%	83,0%	76,3%
FP=0	90,2%	61,0%	92,1%	89,0%
Diferencia FP	11,4%	45,8%	9,1%	12,8%

Tabla 32: Diferencia de porcentaje para cada FP con respecto a 2024 (FP=1) para el escenario de transición verde

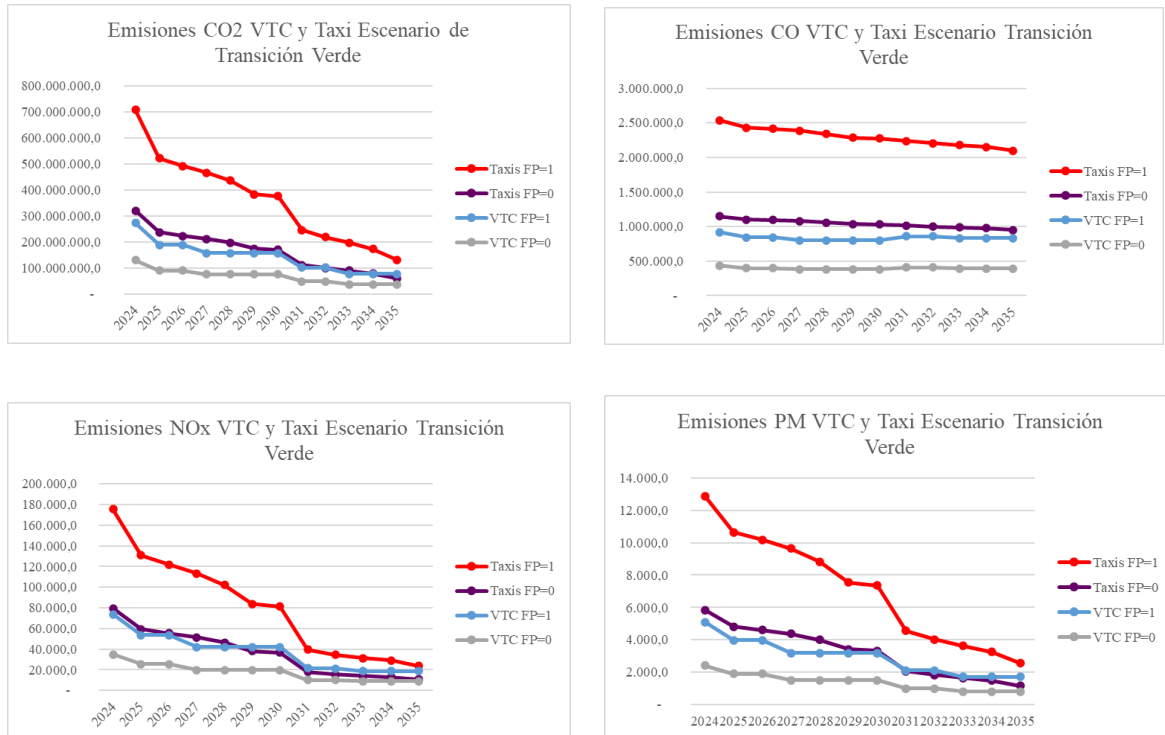
Para analizar el impacto de reducir el número de kilómetros totales en cada servicio, hemos obtenido el porcentaje de reducción en cada año en comparación con el valor del caso base en 2024, así como las gráficas de evolución de emisiones para cada tipo de servicio y valor de FP.

Porcentaje de reducción de emisiones de VTC					
Año	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
2024	VTC	52,6%	52,6%	52,6%	52,6%
2025	VTC	67,1%	56,4%	65,5%	62,9%
2026	VTC	67,2%	56,4%	65,5%	62,9%
2027	VTC	72,5%	58,6%	73,0%	70,4%
2028	VTC	72,5%	58,6%	73,0%	70,4%
2029	VTC	72,5%	58,6%	73,0%	70,4%
2030	VTC	72,5%	58,6%	73,0%	70,4%
2031	VTC	82,3%	55,6%	86,2%	80,4%
2032	VTC	82,3%	55,6%	86,3%	80,4%
2033	VTC	86,5%	57,0%	87,9%	84,1%
2034	VTC	86,5%	57,0%	87,9%	84,1%
2035	VTC	86,5%	57,0%	87,9%	84,1%

Porcentaje de reducción de emisiones de Taxis					
Año	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
2024	Taxis	54,7%	54,7%	54,7%	54,7%
2025	Taxis	66,5%	56,6%	66,2%	62,5%
2026	Taxis	68,4%	56,9%	68,5%	64,1%
2027	Taxis	70,1%	57,4%	70,8%	66,1%
2028	Taxis	72,0%	58,2%	73,6%	68,9%
2029	Taxis	75,5%	59,2%	78,4%	73,4%
2030	Taxis	75,9%	59,4%	79,1%	74,1%
2031	Taxis	84,2%	60,0%	89,8%	83,9%
2032	Taxis	86,0%	60,6%	91,1%	85,8%
2033	Taxis	87,4%	61,1%	91,9%	87,2%
2034	Taxis	88,9%	61,6%	92,5%	88,5%
2035	Taxis	91,6%	62,5%	93,9%	91,0%

Tabla 33: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario de transición verde

Por un lado, al examinar el porcentaje de reducción, se observa que la disminución de emisiones en 2025 para los contaminantes CO₂, NO_x y PM es mayor para los VTC que para los taxis. No obstante, con el transcurso de los años, los taxis comienzan a reducir significativamente sus emisiones, logrando en 2035 un porcentaje de reducción superior al de los VTC. Esto destaca el impacto de reducir los kilómetros vacíos en los taxis y la importancia de sustituir tecnologías más antiguas por vehículos más limpios y sostenibles. En cuanto a las emisiones de CO, observamos como el porcentaje de reducción de los taxis incrementa conforme pasan los años, a diferencia de los VTC que experimentan un aumento de emisiones en el año 2031, provocando una disminución en el valor del porcentaje de reducción de emisiones. Por este motivo, en 2035, son los taxis los que experimentan un porcentaje superior en la reducción de emisiones



Gráfica 20: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario de transición verde

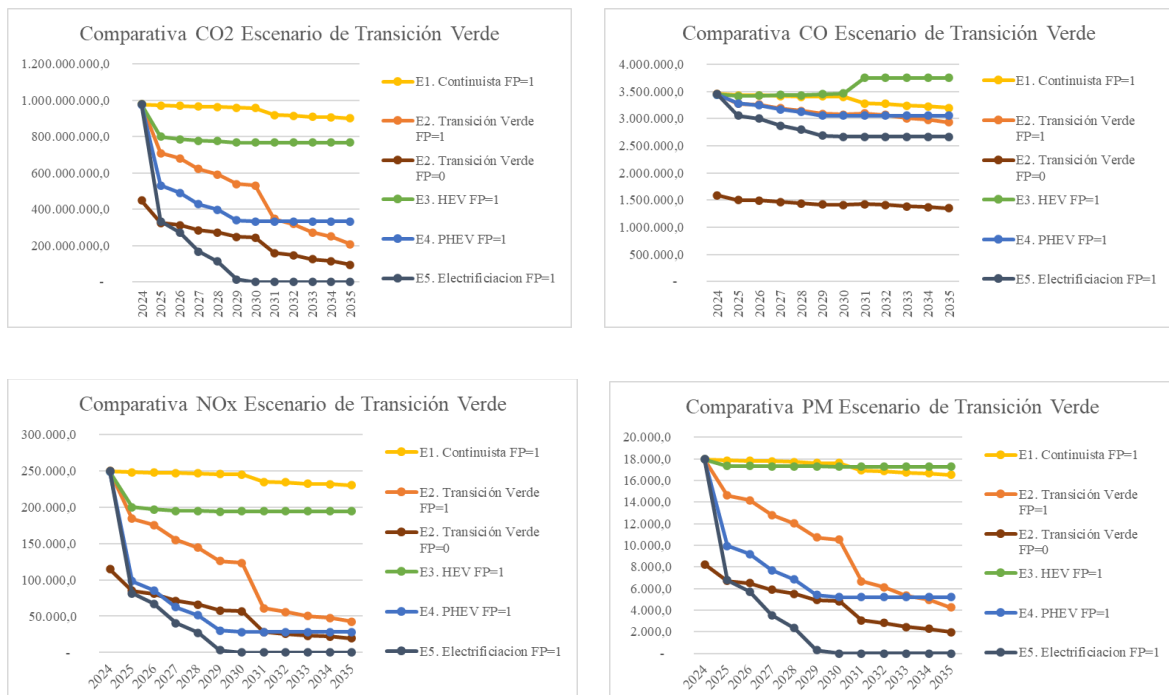
Por otro lado, al analizar el valor absoluto de las emisiones anuales de cada servicio para cada valor de FP, se observa una gran diferencia en las emisiones de CO entre taxis y VTC. Comparando las curvas de emisiones de ambos servicios, se nota un aumento en las emisiones de los VTC a partir del año 2031. Este incremento se debe a que, a partir de ese año, la mayoría de los VTC habrán pasado de vehículos de combustión interna a HEV, lo que resulta en mayores emisiones de CO en total. Sin embargo, las emisiones de los taxis disminuyen con el tiempo, independientemente del valor de FP.

En el caso de las emisiones de CO₂, NO_x y PM, la reducción de kilómetros totales tiene un impacto muy significativo en los taxis. Las curvas de emisiones de VTC con FP igual a uno y las de taxis con FP igual a cero son muy similares en todos los años, hasta el punto en que, en 2035, los taxis con FP igual a cero generan menos emisiones que los VTC con FP igual a uno. Para NO_x y PM, el impacto es aún más notable, ya que, al final del periodo de estudio, el valor de las emisiones de taxis con FP igual a cero es casi igual al de los VTC con FP igual a cero.

Estos resultados son sorprendentes, ya que el número de taxis es casi el doble que el de los VTC. Sin embargo, al haber más vehículos, hay más unidades que pueden pasar a tecnologías más limpias, generando menos emisiones. Además, eliminar los kilómetros vacíos en los taxis resulta en la eliminación del 55% de los kilómetros que recorren diariamente, provocando una significativa reducción de emisiones.

4.2.2.3 Comparativa del Valor de Emisiones para FP Igual a 0 Frente a Otros Escenarios

En el análisis previo donde comparamos todos los escenarios y su impacto en cada contaminante, encontramos que el escenario de transición verde era el segundo que más reducía el valor de las emisiones, después del escenario de completa electrificación, con la excepción de las emisiones de NOx, donde el escenario PHEV lo superaba.



Gráfica 21: Comparación del escenario de transición verde con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1

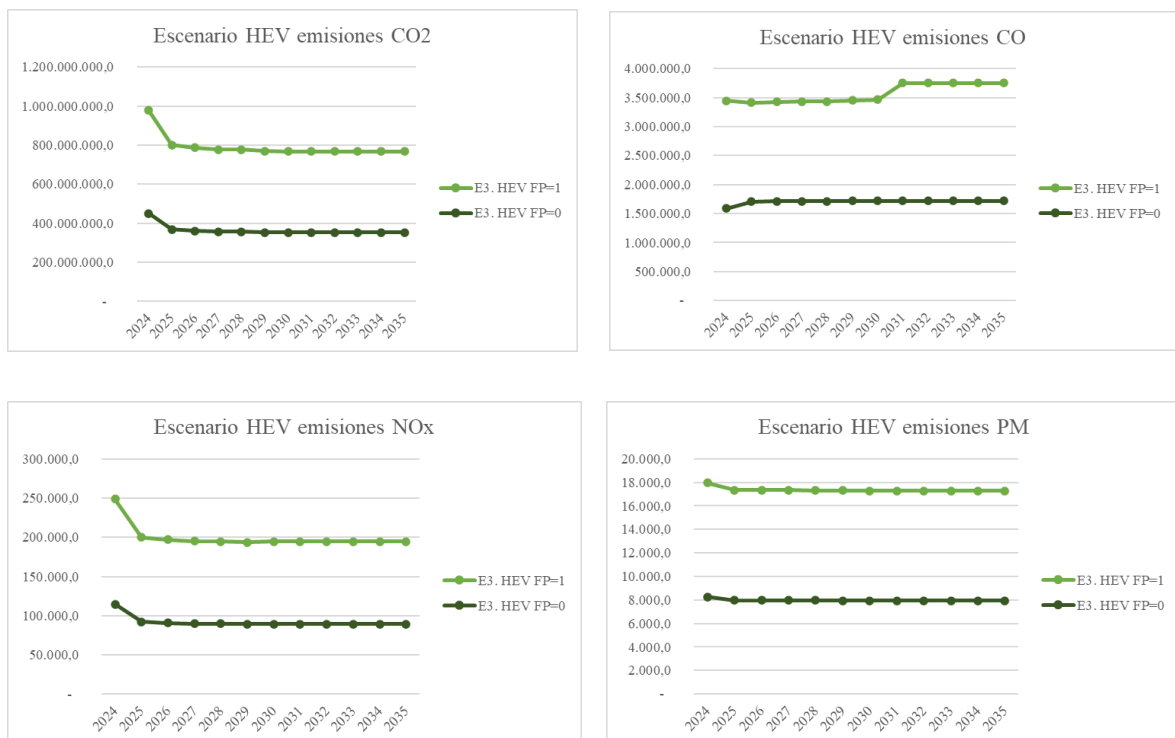
Al reducir el valor de los kilómetros totales, igualándolos únicamente a los kilómetros ocupados, obtenemos una mayor reducción en cada uno de los contaminantes analizados. Cuando el valor de FP es igual a cero para el escenario de transición verde,

obtenemos una reducción superior al resto de escenarios, posicionándose como el segundo escenario con mayor reducción de emisiones en comparación con 2024 (siendo el primero el escenario de completa electrificación), con la excepción de las emisiones de CO, donde se posiciona en primer lugar como el máximo reductor de emisiones.

4.2.3 ESCENARIO HEV

4.2.3.1 Análisis de Gráficas de Emisiones de Cada Contaminante

La representación de los resultados obtenidos por cada tipo de contaminante se muestra en las gráficas a continuación.



Gráfica 22: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario HEV

Para el escenario HEV, y como es evidente, se obtiene una reducción de emisiones al reducir el valor del FP. En esta ocasión, las emisiones de CO₂, NO_x y PM muestran una diferencia en el total de emisiones generadas por cada año para cada valor de FP prácticamente constante. En el caso de las emisiones de CO es diferente, como hemos

comentado en el capítulo anterior, el escenario de HEV es el único escenario en el que se obtiene un incremento en el valor de las emisiones de CO durante el periodo de tiempo estudiado de las emisiones. Este incremento se debe al elevado valor de emisiones de CO generadas por gramo por kilómetro. Por este motivo, para el valor de FP=0, observamos un incremento en el valor de las emisiones de CO, sin embargo, el valor total de las emisiones es menor que el obtenido cuando FP=1. La diferencia de emisiones generadas de CO entre los valores de FP es prácticamente constante. Sin embargo, en 2031 se observa un incremento superior en el valor de las emisiones cuando FP es igual a uno. Este incremento no es tan pronunciado cuando FP es igual a cero, motivo por el cual a partir de este año la diferencia de emisiones generadas entre ambos valores de FP es superior.

4.2.3.2 Evaluación del Porcentaje de Reducción de Emisiones

Si comparamos el valor de las emisiones generadas cada año cuando el valor de FP es igual a cero, con el valor total de las emisiones generadas en el año 2024 para cada tipo de contaminante, obtenemos los siguientes resultados:

Escenario 3: HEV				
Año	CO ₂	CO	NO _x	PM
2024	54,1%	53,9%	53,9%	54,1%
2025	62,4%	50,5%	63,0%	55,7%
2026	63,1%	50,3%	63,5%	55,7%
2027	63,5%	50,2%	63,9%	55,7%
2028	63,5%	50,2%	63,9%	55,7%
2029	63,9%	50,0%	64,1%	55,8%
2030	63,9%	50,0%	64,1%	55,8%
2031	63,9%	50,0%	64,1%	55,8%
2032	63,9%	50,0%	64,1%	55,8%
2033	63,9%	50,0%	64,1%	55,8%
2034	63,9%	50,0%	64,1%	55,8%
2035	63,9%	50,0%	64,1%	55,8%

Tabla 34: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario HEV

Como se explicó en el capítulo anterior, al realizar un único cambio de vehículo, a partir del año 2030, el valor de las emisiones se mantiene constante hasta el año 2035. Si nos

fijamos en el porcentaje de reducción de cada año con respecto a las emisiones generadas en el año 2024 para un valor de FP igual a uno, observamos cómo el valor se mantiene constante a partir de 2029. Esto se debe a que no hay casi diferencia en el valor de las emisiones del año 2029 al 2030, como se puede observar en la siguiente tabla.

Escenario 3: HEV				
Año	CO2	CO	NOx	PM
2024	449.564.793,8	1.587.342,0	114.693,5	8.258,2
2025	367.930.201,0	1.706.217,5	92.102,1	7.971,0
2026	361.553.842,0	1.711.201,3	90.803,0	7.964,1
2027	357.511.092,7	1.714.705,9	89.907,1	7.960,5
2028	356.850.111,7	1.714.163,6	89.822,7	7.958,1
2029	353.154.423,4	1.722.231,8	89.358,2	7.945,5
2030	352.940.226,6	1.721.991,3	89.334,1	7.944,7
2031	352.940.226,6	1.721.991,3	89.334,1	7.944,7
2032	352.940.226,6	1.721.991,3	89.334,1	7.944,7
2033	352.940.226,6	1.721.991,3	89.334,1	7.944,7
2034	352.940.226,6	1.721.991,3	89.334,1	7.944,7
2035	352.940.226,6	1.721.991,3	89.334,1	7.944,7

Tabla 35: Valores totales de las emisiones generadas por combustible en el escenario HEV para FP=0

Asimismo, observando la tabla que muestra la reducción de porcentajes, podemos contrastar toda la información indicada en las gráficas que muestran la evolución de los contaminantes. En el caso de las emisiones de CO, observamos un incremento de emisiones con respecto al año 2024 cuando el valor del FP es cero. Sin embargo, si comparamos el porcentaje de reducción en 2035 con respecto a 2024 cuando FP es igual a uno (-8,8%) y el porcentaje de reducción cuando FP=0 en 2035 con respecto a 2024 cuando FP=1 (50%), obtendríamos una diferencia de reducción de emisiones entre los valores de FP de 58,8%.

En el caso de las emisiones de CO2, NOx y PM, implementar un FP igual a cero consigue reducir las emisiones en más de un 50%, lo cual resulta significativo.

	CO2	CO	NOx	PM
FP=1	21,5%	-8,8%	21,8%	3,8%
FP=0	63,9%	50,0%	64,1%	55,8%
Diferencia FP	42,5%	58,8%	42,3%	52,0%

Tabla 36: Diferencia de porcentaje para cada FP con respecto a 2024 (FP=1) para el escenario HEV

Para analizar la evolución de emisiones de los taxis y VTC en el escenario HEV, estudiaremos el porcentaje de reducción de emisiones cuando FP es igual a cero, en comparación con los valores obtenidos en el caso base con FP igual a 1.

Porcentaje de reducción de emisiones de VTC					
Año	Servicio	CO2	CO	NOx	PM
2024	VTC	52,6%	52,6%	52,6%	52,6%
2025	VTC	62,3%	46,7%	64,5%	54,9%
2026	VTC	62,3%	46,7%	64,6%	54,9%
2027	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%
2028	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%
2029	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%
2030	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%
2031	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%
2032	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%
2033	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%
2034	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%
2035	VTC	62,7%	46,5%	65,0%	54,9%

Porcentaje de reducción de emisiones de Taxis					
Año	Servicio	CO2	CO	NOx	PM
2024	Taxis	54,6%	54,4%	54,5%	54,7%
2025	Taxis	62,4%	51,8%	62,3%	56,0%
2026	Taxis	63,3%	51,7%	63,1%	56,0%
2027	Taxis	63,8%	51,6%	63,4%	56,0%
2028	Taxis	63,9%	51,6%	63,5%	56,1%
2029	Taxis	64,4%	51,3%	63,7%	56,2%
2030	Taxis	64,4%	51,3%	63,7%	56,2%
2031	Taxis	64,4%	51,3%	63,7%	56,2%
2032	Taxis	64,4%	51,3%	63,7%	56,2%
2033	Taxis	64,4%	51,3%	63,7%	56,2%
2034	Taxis	64,4%	51,3%	63,7%	56,2%
2035	Taxis	64,4%	51,3%	63,7%	56,2%

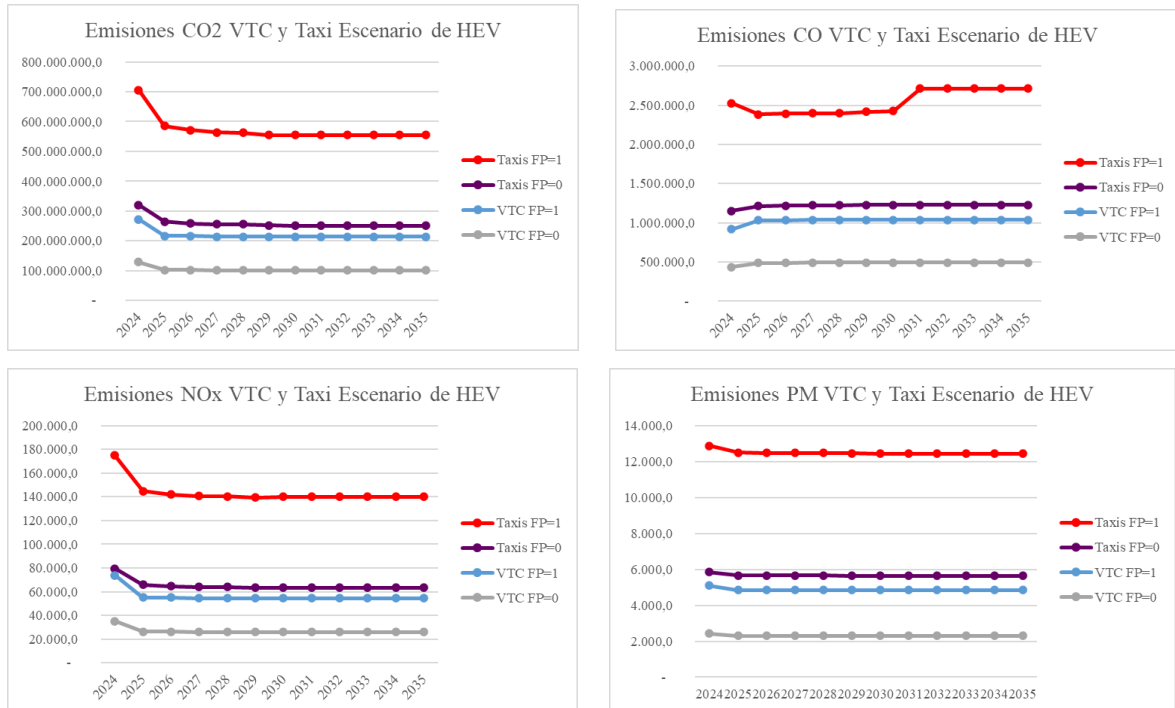
Tabla 37: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario HEV

Como se ha comentado anteriormente, existe un incremento en los valores de CO debido a su alta contaminación por kilómetro recorrido. Esto explica que, con el transcurso de los años, el valor del porcentaje de reducción disminuya, indicando un aumento en el valor de las emisiones. Asimismo, observamos que, en el año 2035, el porcentaje de

reducción de emisiones es superior para los taxis, lo que indica que los VTC generan más emisiones en términos relativos con el transcurso de los años. Siendo en 2025, el año en el que ambos servicios se ven más afectados por las emisiones de CO.

Como sabemos, el escenario HEV transforma a los vehículos de combustión en HEV y, en el caso de que un vehículo supere por segunda vez su vida útil será sustituido por el mismo vehículo al que había sido cambiado. Por este motivo, a partir de 2030, el valor de las emisiones será constante, ya que cualquier cambio de vehículo que se haga a partir de esa fecha será sustituido por la misma tecnología. Este dato nos permite identificar cuándo cada servicio deja de sustituir el vehículo inicialmente obtenido por uno HEV (a excepción de los PHEV y BEV). Si observamos la tabla que muestra el porcentaje de reducción de emisiones de VTC, notamos que el porcentaje de reducción de emisiones se estabiliza en 2027, indicando que los VTC son cambiados en los primeros años de estudio. En cambio, el valor de emisiones de taxis no se estabiliza hasta 2030. Por este motivo, sabemos que todas las emisiones totales generadas entre estos años son provocadas por los taxis.

En el caso del resto de contaminantes, se observa una reducción de emisiones respecto al caso base. A excepción de NOx, los taxis obtienen un mayor porcentaje de reducción de emisiones.

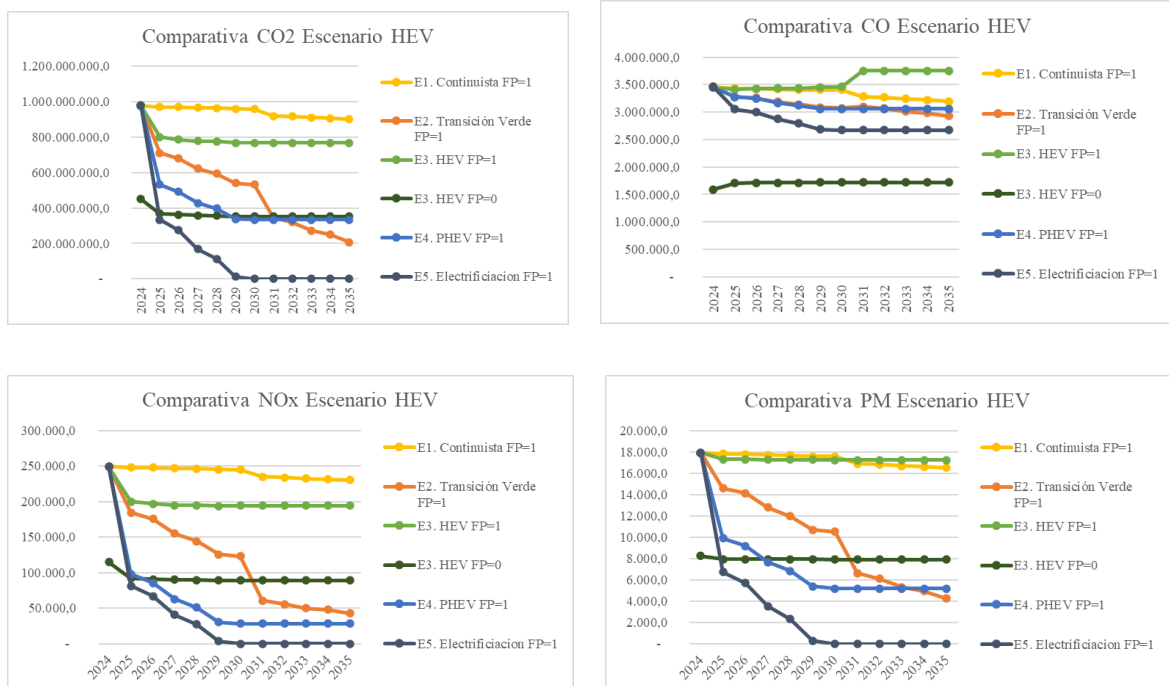


Gráfica 23: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario HEV

Al analizar las gráficas que muestran el valor absoluto de emisiones generadas por año para cada servicio y para ambos valores de FP, se observa un patrón similar para cada contaminante, a excepción de CO, como se ha mencionado anteriormente. En todos los contaminantes, hay un salto significativo en las emisiones en 2025. Sin embargo, a partir de ese año, el valor de las emisiones se mantiene prácticamente constante. La excepción es el contaminante CO, donde se observa un incremento de emisiones en 2032 para los taxis, lo que explica el pico en los valores totales del escenario HEV.

4.2.3.3 Comparativa del Valor de Emisiones para FP Igual a 0 Frente a Otros Escenarios

Comparando los diferentes escenarios cuando el valor de FP es 1 con los resultados obtenidos cuando el escenario HEV emplea un FP igual a cero obtenemos los siguientes resultados.



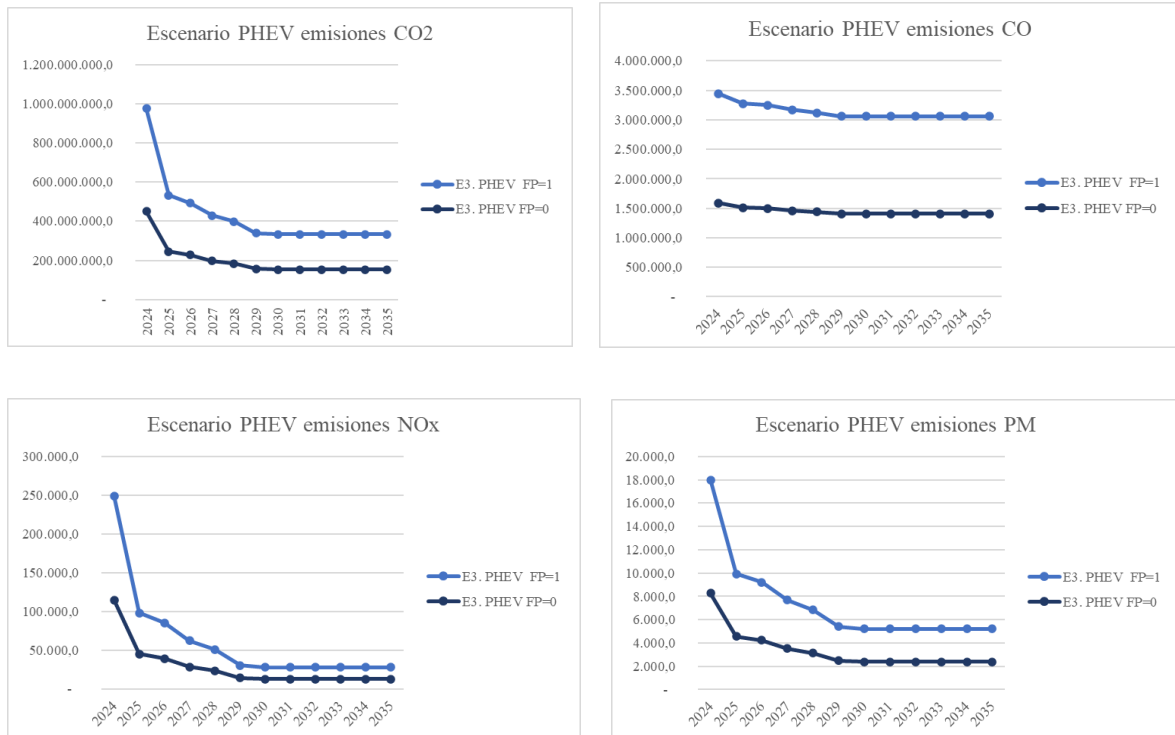
Gráfica 24: Comparación del escenario HEV con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1

En el caso de las emisiones de CO₂, NO_x y PM, observamos que, a pesar de haber reducido en más de un 50% los valores de las emisiones de estos contaminantes, los escenarios PHEV, transición verde y de completa electrificación consiguen reducir aún más las emisiones que el escenario HEV reduciendo el número total de kilómetros recorridos en 2035. Sin embargo, en el caso de las emisiones de CO, la reducción es tan significativa que, al igualar el valor de los kilómetros totales a los ocupados, el escenario HEV con FP=0 se convierte en el escenario que más reduce las emisiones de CO para todos los años estudiados.

4.2.4 ESCENARIO PHEV

4.2.4.1 Análisis de Gráficas de Emisiones de Cada Contaminante

Al realizar la comparación entre los diferentes valores de FP, obtenemos las siguientes gráficas.



Gráfica 25: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario PHEV

Como hemos estado viendo hasta ahora, las emisiones de CO muestran una reducción mucho más significativa que el resto de los contaminantes. Además, existe una diferencia mucho más constante entre el valor de las emisiones de cada valor de FP durante todos los años del periodo estudiado.

En este caso, las emisiones de CO₂ y PM muestran un mismo patrón en la diferencia entre los valores de las emisiones generadas. A diferencia de las emisiones de NO_x, que a pesar de que las curvas de las emisiones son parecidas a las de CO₂ y PM, la diferencia entre los valores de FP es menor. Asimismo, debido a que únicamente se realiza un cambio de vehículo, a partir de 2030 el valor de las emisiones generadas hasta el año 2035 se mantiene constante durante estos años.

4.2.4.2 Evaluación del Porcentaje de Reducción de Emisiones

El valor de la reducción de las emisiones cuando FP=0 con respecto a 2024 cuando el valor del FP es igual a uno está representado en la siguiente tabla:

Escenario 4: PHEV				
Año	CO ₂	CO	Nox	PM
2024	53,9%	53,9%	53,9%	54,1%
2025	74,9%	56,1%	81,8%	74,6%
2026	76,7%	56,5%	84,1%	76,5%
2027	79,7%	57,6%	88,4%	80,4%
2028	81,2%	58,2%	90,5%	82,5%
2029	83,9%	59,1%	94,2%	86,2%
2030	84,3%	59,2%	94,8%	86,7%
2031	84,3%	59,2%	94,8%	86,7%
2032	84,3%	59,2%	94,8%	86,7%
2033	84,3%	59,2%	94,8%	86,7%
2034	84,3%	59,2%	94,8%	86,7%
2035	84,3%	59,2%	94,8%	86,7%

Tabla 38: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario PHEV

Estos porcentajes nos permiten analizar cómo al eliminar el número de kilómetros vacíos conseguimos reducir todas las emisiones de todos los contaminantes en más de un 59% con respecto al caso base inicial en 2024. Asimismo, se puede contrastar todo lo comentado en las gráficas. La diferencia de emisiones de CO para cada valor de FP es prácticamente constante durante todo el año, ya que, a lo largo del periodo estudiado, únicamente se reduce en un 5,1%. Sin embargo, es el contaminante con la mayor diferencia de emisiones cuando se emplea un FP igual a cero, con respecto a cuando se emplea un FP de 1. La diferencia de porcentaje entre la reducción de emisiones generadas entre un valor y otro es del 47,8%. Por otro lado, observamos también una menor diferencia de emisiones generadas entre los valores de FP para el contaminante NO_x, siendo la diferencia de 5,7%. Por último, en el caso de CO₂ y PM, observamos una diferencia de emisiones entre ambos valores de FP de 18,1% y 15,1%, respectivamente. Esta diferencia no es tan abismal como para el contaminante CO, pero es más significativa que para NO_x.

	CO2	CO	NOx	PM
FP=1	65,8%	11,2%	88,6%	71,1%
FP=0	84,3%	59,2%	94,8%	86,7%
Diferencia FP	18,1%	47,8%	5,7%	15,1%

Tabla 39: Diferencia de porcentaje para cada FP con respecto a 2024 (FP=1) para el escenario PHEV

Con el fin de comparar la evolución de emisiones para cada tipo de servicio según el valor de FP, analizaremos el porcentaje de reducción de emisiones con respecto al caso base y las gráficas de evolución de emisiones para cada año, tipo de servicio y valor de FP.

Porcentaje de reducción de emisiones de VTC					
Año	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
2024	VTC	52,6%	52,6%	52,6%	52,6%
2025	VTC	78,3%	54,2%	86,9%	78,4%
2026	VTC	78,4%	54,2%	87,0%	78,5%
2027	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%
2028	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%
2029	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%
2030	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%
2031	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%
2032	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%
2033	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%
2034	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%
2035	VTC	84,0%	56,5%	94,9%	86,4%

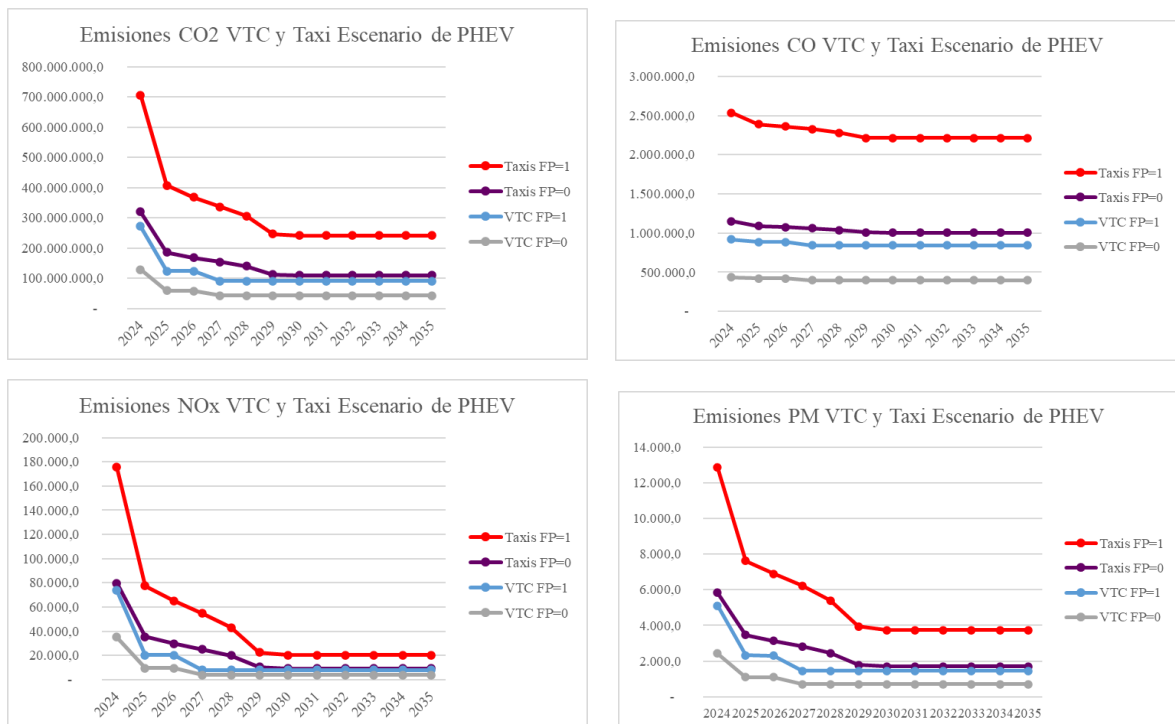
Porcentaje de reducción de emisiones de Taxis					
Año	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
2024	Taxis	54,7%	54,7%	54,7%	54,7%
2025	Taxis	73,7%	57,1%	79,8%	73,1%
2026	Taxis	76,2%	57,6%	83,0%	75,7%
2027	Taxis	78,2%	58,2%	85,7%	78,1%
2028	Taxis	80,2%	59,1%	88,7%	81,0%
2029	Taxis	84,0%	60,2%	94,0%	86,1%
2030	Taxis	84,5%	60,4%	94,7%	86,8%
2031	Taxis	84,5%	60,4%	94,7%	86,8%
2032	Taxis	84,5%	60,4%	94,7%	86,8%
2033	Taxis	84,5%	60,4%	94,7%	86,8%
2034	Taxis	84,5%	60,4%	94,7%	86,8%
2035	Taxis	84,5%	60,4%	94,7%	86,8%

Tabla 40: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario PHEV

En primer lugar, observamos un aumento en el porcentaje de reducción de emisiones para todos los contaminantes y servicios en cada año, indicando una reducción de emisiones notable en cada contaminante. A excepción de NOx, los taxis obtienen una mayor reducción de emisiones en comparación con los VTC, debido a que en 2035 presentan un valor más

alto en el porcentaje de reducción. En el escenario HEV también observamos un porcentaje superior de los VTC en la reducción de emisiones de NOx. Como sabemos, en ambos escenarios se realiza un único cambio de vehículo, por lo tanto, obtener una mayor reducción de emisiones de NOx en los VTC puede indicar que los VTC presentan tecnologías más antiguas que los taxis y que generan más emisiones de NOx. Al reducir esas tecnologías a unas que generan menos emisiones de NOx, se obtiene una mayor reducción de emisiones.

Como hemos podido comprobar en el resto de los escenarios, las emisiones de CO muestran una tendencia diferente al resto de contaminantes. En este caso, son las emisiones con menor porcentaje de reducción en 2035 para ambos servicios.



Gráfica 26: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario PHEV

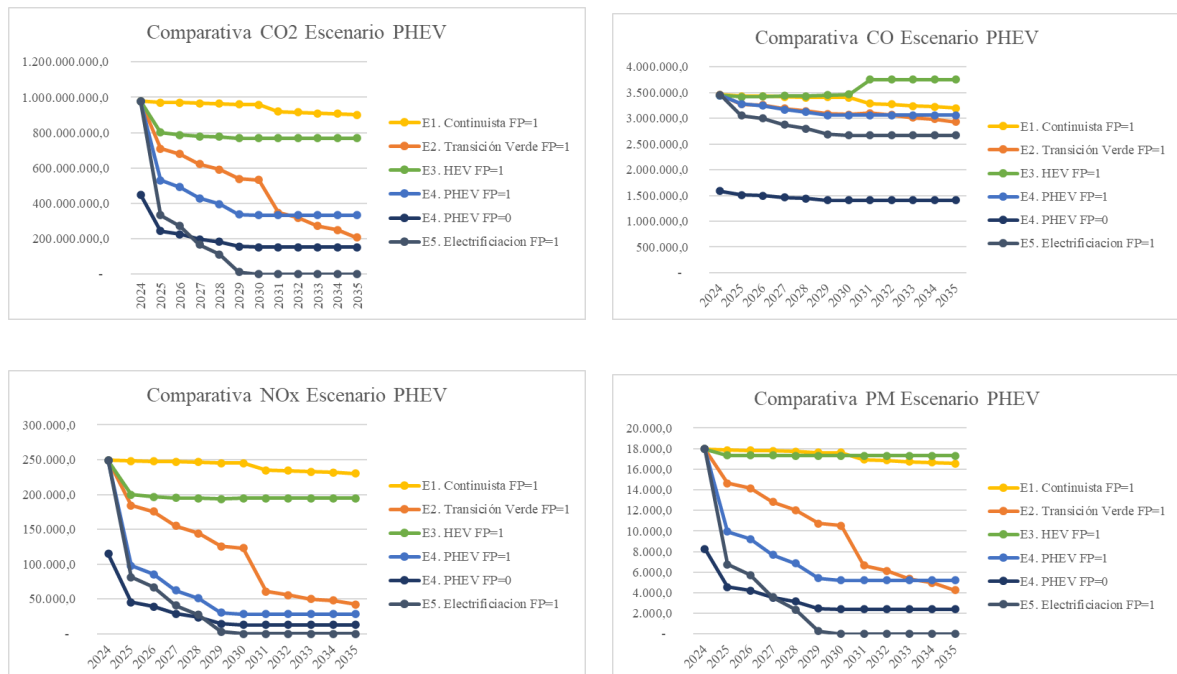
Por otro lado, al analizar las gráficas de los contaminantes, observamos un patrón similar en las emisiones de CO₂, NO_x y PM. Teniendo en cuenta que la mayoría de los vehículos VTC superan su vida útil en los primeros años y al realizar únicamente un cambio de vehículo, observamos una reducción más pronunciada al comienzo del estudio. En 2027,

los valores de las emisiones se estabilizan, indicando que en 2027 todos los vehículos VTC han sido cambiados por primera vez a PHEV.

En el caso de los taxis, se observa una mayor reducción de emisiones en 2025 en comparación con 2024. Sin embargo, a partir de ese año, la reducción de emisiones por año es más proporcional. En 2030, las emisiones de los taxis se estabilizan, lo que indica que en este año, todos los taxis han realizado su primer cambio a PHEV. En referencia a las emisiones de CO, observamos una diferencia de emisiones prácticamente constante para cada servicio y valor de FP.

4.2.4.3 Comparativa del Valor de Emisiones para FP Igual a 0 Frente a Otros Escenarios

Si comparamos el escenario PHEV con un valor de FP igual a cero, con el resto de los escenarios obtenemos los siguientes resultados:



Gráfica 27: Comparación del escenario PHEV con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1

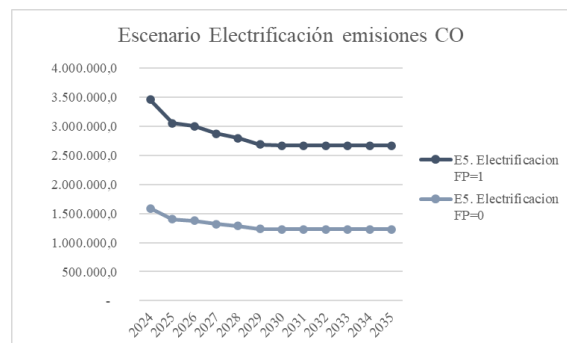
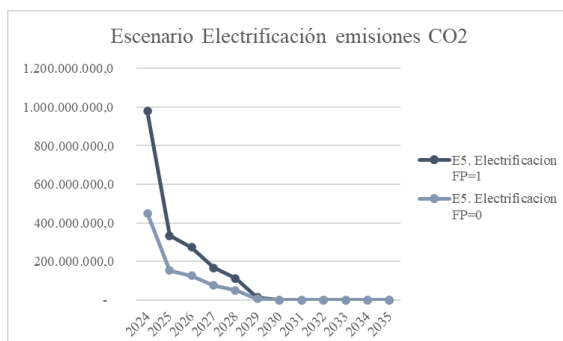
En esta ocasión, observamos cómo el escenario PHEV consigue reducir las emisiones hasta el punto de posicionarse como el segundo escenario con menor valor de emisiones de

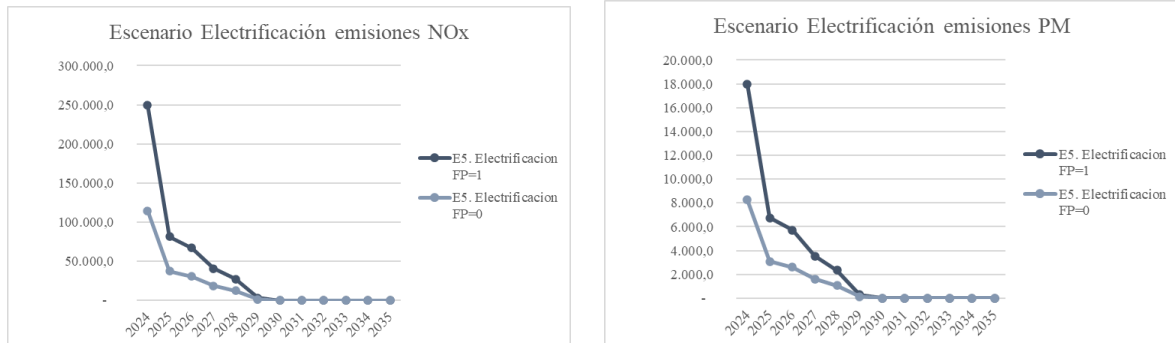
cada contaminante, a excepción de CO que se posiciona en primer lugar. Como hemos estado viendo en la comparativa de cada escenario, es el contaminante CO el que mejor impacto genera al reducir los kilómetros totales recorridos. Hasta ahora, todos los escenarios que han reducido su valor de FP a cero han conseguido ser el escenario con menor valor de emisiones durante el periodo de tiempo estudiado con respecto al resto de escenario. En este caso, al implementar un FP de cero, el escenario PHEV consigue superar al escenario de transición verde con FP=1, el cual superaba al escenario PHEV con FP igual a 1 para los contaminantes CO₂ y PM. En el caso de NO_x, era el escenario PHEV con FP igual a 1 el segundo que menos emisiones generaba en 2035, pero al reducir el FP hasta un valor nulo, consigue reducir aún más las emisiones al final del año, superando la reducción que había cuando los kilómetros totales incluían los kilómetros vacíos.

4.2.5 ESCENARIO DE LA COMPLETA ELECTRIFICACIÓN

4.2.5.1 Análisis de Gráficas de Emisiones de Cada Contaminante

Las gráficas que comparan el valor del FP para el escenario de la completa electrificación son las siguientes:





Gráfica 28: Comparación de emisiones según el FP y combustible para el escenario de la completa electrificación

En el caso de las emisiones de CO₂, NO_x y PM, observamos el mismo patrón. Para estos contaminantes, existe un salto más pronunciado en el año 2024. Sin embargo, para ambos valores del FP, las emisiones consiguen reducirse a cero en 2030. Además, una vez más, observamos que las emisiones de CO muestran una diferencia de reducción de emisiones prácticamente constante en cada año durante el periodo estudiado.

4.2.5.2 Evaluación del Porcentaje de Reducción de Emisiones

El porcentaje de reducción de cada año del escenario de electrificación con FP igual a uno, en comparación con el caso base en 2024, es el siguiente:

Escenario 5: Electrificación				
Año	CO ₂	CO	Nox	PM
2024	54,1%	54,1%	54,0%	54,1%
2025	84,4%	59,5%	85,1%	82,8%
2026	87,2%	60,2%	87,7%	85,4%
2027	92,2%	61,9%	92,6%	91,0%
2028	94,8%	62,9%	95,1%	94,1%
2029	99,4%	64,3%	99,4%	99,3%
2030	100,0%	64,6%	100,0%	100,0%
2031	100,0%	64,6%	100,0%	100,0%
2032	100,0%	64,6%	100,0%	100,0%
2033	100,0%	64,6%	100,0%	100,0%
2034	100,0%	64,6%	100,0%	100,0%
2035	100,0%	64,6%	100,0%	100,0%

Tabla 41: Reducción de emisiones según el FP=0 para el escenario de la completa electrificación

Como hemos comentado anteriormente, para las emisiones de CO₂, NO_x y PM existe una mayor reducción de emisiones en 2024. A partir de este año, las emisiones comienzan a reducirse hasta que en 2030 se eliminan por completo. Si comparamos el valor de FP para estos contaminantes, observamos que la reducción de emisiones para un valor de FP igual a uno es más rápida que cuando el valor es nulo. Por otro lado, las emisiones de CO son las únicas que no consiguen reducirse a cero en el año 2035. Sin embargo, si comparamos los resultados obtenidos con todo el resto de los escenarios con FP igual a cero, es en las que mayor porcentaje de reducción se obtiene, disminuyendo en un 64,6% en comparación con el caso base en 2024.

Por último, analizaremos la evolución de los taxis y VTC según el porcentaje de reducción de emisiones con respecto al caso base y la evolución de las emisiones para ambos valores de FP.

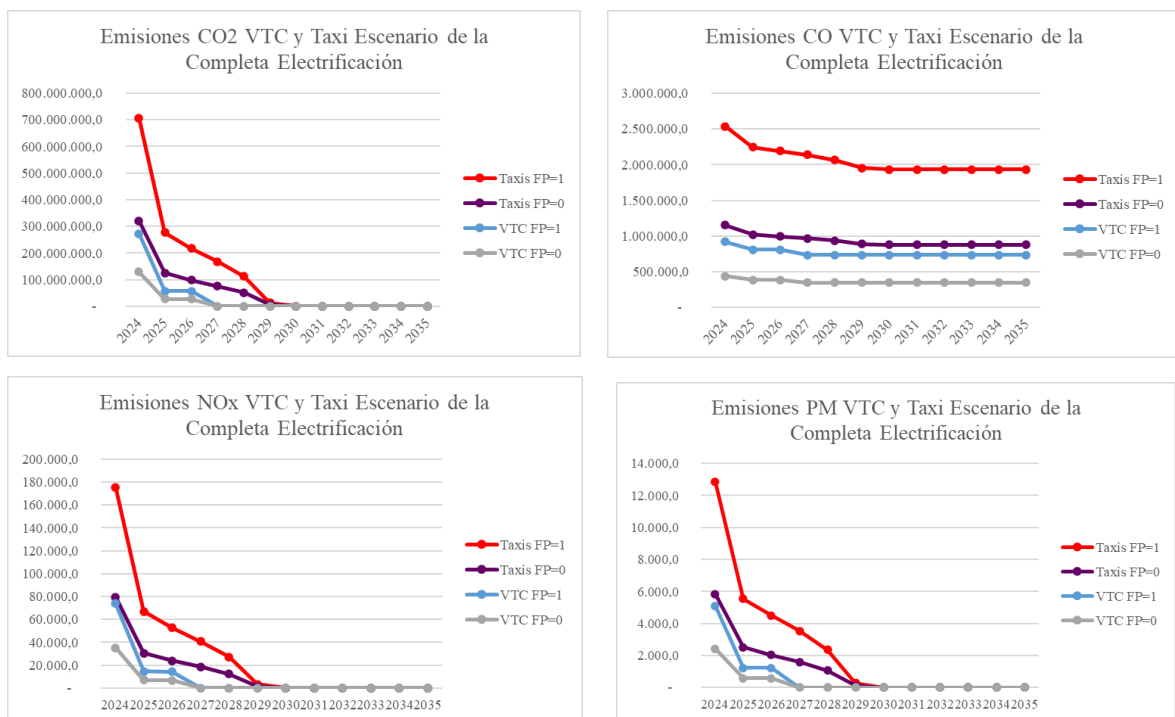
Porcentaje de reducción de emisiones de Taxis					
Año	Servicio	CO ₂	CO	Nox	PM
2024	VTC	52,6%	52,6%	52,6%	52,6%
2025	VTC	90,0%	58,4%	90,7%	88,6%
2026	VTC	90,1%	58,4%	90,8%	88,7%
2027	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%
2028	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%
2029	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%
2030	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%
2031	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%
2032	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%
2033	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%
2034	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%
2035	VTC	100,0%	62,2%	100,0%	100,0%

Porcentaje de reducción de emisiones de Taxis					
Año	Servicio	CO ₂	CO	Nox	PM
2024	Taxis	54,7%	54,7%	54,7%	54,7%
2025	Taxis	82,3%	59,9%	82,7%	80,5%
2026	Taxis	86,1%	60,8%	86,4%	84,1%
2027	Taxis	89,2%	61,8%	89,5%	87,5%
2028	Taxis	92,8%	63,1%	93,0%	91,7%
2029	Taxis	99,1%	65,1%	99,2%	99,0%
2030	Taxis	100,0%	65,4%	100,0%	100,0%
2031	Taxis	100,0%	65,4%	100,0%	100,0%
2032	Taxis	100,0%	65,4%	100,0%	100,0%
2033	Taxis	100,0%	65,4%	100,0%	100,0%
2034	Taxis	100,0%	65,4%	100,0%	100,0%
2035	Taxis	100,0%	65,4%	100,0%	100,0%

Tabla 42: Porcentaje de reducción de emisiones para cada servicio escenario de la completa electrificación

Como hemos comentado anteriormente, los vehículos BEV no generan emisiones de CO₂, NO_x y PM cuando están circulando, por lo que cuando todos los vehículos de cada servicio superen su vida útil en los primeros 5 años de estudio, los valores de emisiones generadas para esos contaminantes serán cero. Dado que los VTC superan su vida útil en 2026 y los taxis en 2029, todas las emisiones generadas de 2027 a 2029 pertenecen a los taxis. Por lo tanto, a partir de 2030, no se generan emisiones de estos contaminantes y se obtiene un porcentaje de reducción de emisiones del 100%.

Como hemos observado hasta ahora, las emisiones de CO actúan de forma distinta al resto de contaminantes debido a que los valores de emisión de gramos por kilómetro son más parecidos entre cada tecnología. Esto explica por qué no se obtiene una gran diferencia de emisiones en 2035 en comparación con 2024. Además, observamos una reducción de porcentaje de emisiones superior para los taxis que para los VTC.



Gráfica 29: Evolución de emisiones para cada servicio según el valor de FP escenario de la completa electrificación

4.2.5.3 Comparativa del Valor de Emisiones para FP Igual a 0 Frente a Otros Escenarios

Por último, los gráficos que comparan los diferentes escenarios con FP igual a uno y el escenario de la completa electrificación.

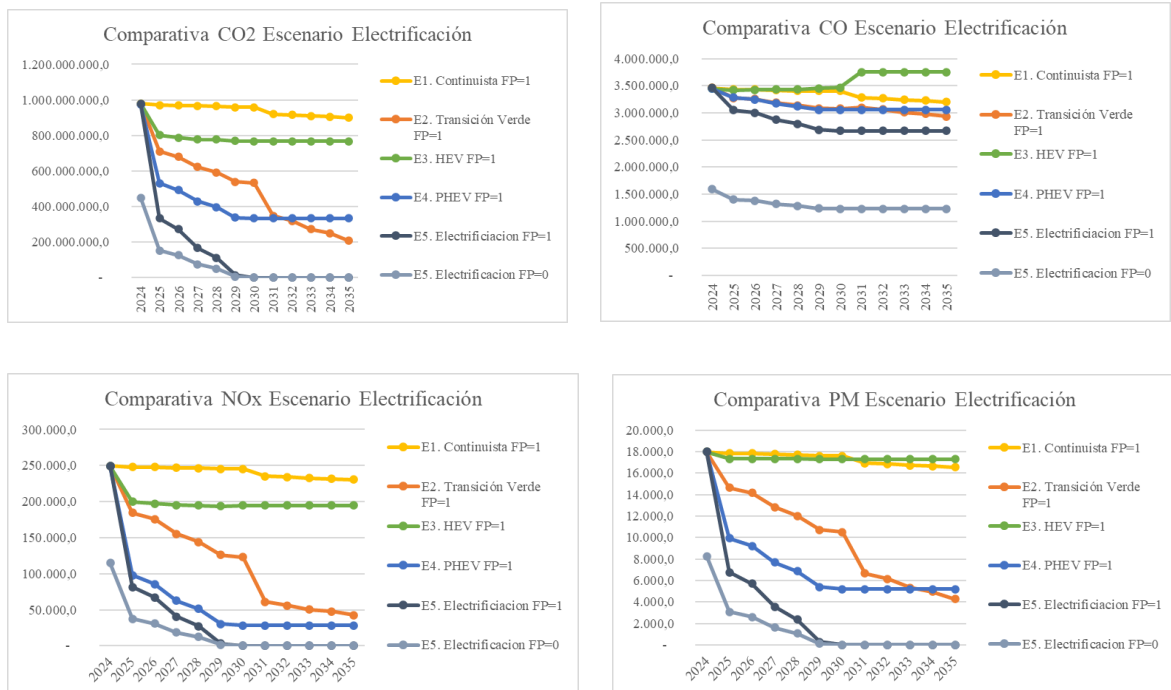


Tabla 43: Comparación del escenario de la completa electrificación con FP=0 y el resto de los escenarios con FP=1

El escenario de la completa electrificación con FP igual a cero es el escenario con menor número de emisiones durante todos los años para cada contaminante. Sin embargo, el impacto de emisiones de CO₂, NO_x y PM no se ve tan afectado con respecto al escenario de la completa electrificación con FP igual a uno. Es decir, a pesar de que sea el escenario con menor número de emisiones generadas, es el escenario que menos varía el número de emisiones si cambiamos el valor de FP. El motivo de esto es que cuando el valor de FP es igual a uno, en 2030, ya se conseguía una reducción total de emisiones para estos contaminantes, por lo que deja poco margen de mejora.

Capítulo 5. CONCLUSIONES Y USO DE POLÍTICAS DE DESCARBONIZACIÓN

Una vez realizado un análisis exhaustivo de la situación actual en la que se encuentran los taxis y VTC, se han podido identificar diversos retos y oportunidades en términos de emisiones y sostenibilidad. Tras haber realizado este análisis, se optó por realizar la evaluación de cinco escenarios diferentes para entender cómo evolucionarían las emisiones en un período de 10 años, en el caso de que se emplearán las logísticas específicas y sostenibles de cada uno de los escenarios.

Tras haber analizado los efectos de los cinco escenarios, se estudió en detalle cuál sería el resultado en el caso base si se redujeran los kilómetros totales únicamente a los kilómetros ocupados, diferenciando entre el efecto en taxis y VTC. Esta reducción de kilómetros vacíos mostró diferencias significativas en las emisiones generadas por ambos tipos de servicios, demostrando la importancia de una gestión eficiente de los viajes.

Asimismo, se analizó individualmente cada escenario, evaluando específicamente el impacto que tendría en las emisiones de los VTC y taxis si se eliminaran de los kilómetros totales, los kilómetros vacíos. Cada escenario presentó distintos niveles de reducción de emisiones, demostrando cómo diferentes enfoques logísticos y tecnológicos pueden contribuir a la descarbonización del sector.

Con base en estos estudios, se procederá a realizar una serie de conclusiones sobre todos los puntos indicados. Estas conclusiones servirán como fundamento para el desarrollo de una serie de políticas de descarbonización, orientadas a lograr los objetivos de reducción de emisiones y mejorar la sostenibilidad del transporte urbano de taxis y VTC.

5.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS TAXIS Y VTC

Debido a las licencias permitidas por la Comunidad de Madrid, nos encontramos en una situación en la que el incremento de taxis por año se ve limitado. Sin embargo, al no haber establecido una política fija que limite el número de VTC, estos tienen un margen más amplio para poder crecer. Una vez conocido el número de vehículos actuales por cada tipo de servicio, etiqueta y tipo de combustible, se ha podido contrastar una serie de argumentos.

Analizando el margen que existe para promover los vehículos hacia la electrificación, observamos cómo predominan las etiquetas ECO en los VTC y taxis. Sin embargo, el porcentaje de vehículos con etiqueta cero es de 2,72%, lo que indica que existe un amplio margen para la electrificación y movilidad más sostenible. Además, analizando el margen de electrificación de cada uno de los servicios en relación con la etiqueta que emplean, observamos cómo los taxis en 2024 hacen uso de tecnologías más sostenibles. En los taxis predomina la etiqueta ECO en un 84,1% y el resto de los vehículos se distribuyen entre las etiquetas C (11,7%) y cero (3,6%). Sin embargo, a pesar de que en los VTC también predomine la etiqueta ECO, el porcentaje es menor, 68,9%. Además, el resto de los porcentajes se distribuyen en mayor medida entre la etiqueta B (2,2%) y C (28,0%), siendo únicamente un 0,8% de los vehículos de etiqueta cero.

Distribución de VTC por etiqueta		
Etiqueta	N de vehiculos	Porcentaje de cada etiqueta
A	0	0,0%
B	166	2,2%
C	2083	28,0%
ECO	5118	68,9%
0	60	0,8%
Total	7427	100,0%

Tabla 44: Distribución de VTC por etiqueta

Distribución de taxis por etiqueta		
Etiqueta	N de vehiculos	Porcentaje de cada etiqueta
A	1	0,0%
B	80	0,5%
C	1813	11,7%
ECO	13050	84,1%
0	565	3,6%
Total	15509	100,0%

Tabla 45: Distribución de taxis por etiqueta

Asimismo, los vehículos más empleados como vehículos privados son los HEV Gasolina, generando altas emisiones de CO y contribuyendo a emplear vehículos con etiqueta ECO. Sin embargo, los PHEV tienen menos uso como vehículos de transporte, a pesar de presentar valores de emisiones más reducidos, ya que es una tecnología más limpia y con etiqueta cero. Lo mismo sucede con los GNC que, a pesar de ser una alternativa más limpia que las tecnologías de combustibles fósiles, son menores en número.

En 2024, tanto los kilómetros recorridos como los kilómetros vacíos son superiores en los taxis que en los VTC. Tras haber analizado la demanda de servicio diaria para cada servicio, ha surgido una preocupación, ya que, a pesar de que los taxis recorren más kilómetros diarios, superiores en número y emplean tecnologías más sostenibles, los VTC tienen mayor demanda de servicios.

5.2 ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DE LOS CINCO ESCENARIOS

Tras haber realizado el análisis íntegro de los diferentes escenarios, podemos afirmar que el escenario óptimo sería el de la completa electrificación. Este escenario es el que menores emisiones emite para todos los contaminantes. Sin embargo, es el caso menos realista ya que implicaría que todos los vehículos privados pasasen a ser BEV a finales de 2030. No obstante, el escenario de transición verde ha demostrado ser una alternativa muy eficaz. Aunque no logra la reducción total de emisiones como el escenario de completa electrificación, consigue una disminución significativa de las emisiones de CO₂, CO, NO_x y PM a lo largo del periodo estudiado.

El escenario de transición verde destaca por su enfoque gradual y escalonado en la sustitución de vehículos, lo que permite una reducción progresiva de las emisiones. A diferencia del escenario PHEV, que estabiliza sus emisiones a partir de 2030, el escenario de transición verde consigue disminuir las emisiones más allá de esta fecha, logrando así mayores beneficios ambientales a largo plazo.

Por otro lado, los escenarios HEV y continuista presentan menores reducciones en comparación con los escenarios anteriores. El escenario HEV, aunque inicialmente presenta una disminución notable de emisiones, se estabiliza rápidamente y no muestra una mejora continua a lo largo del tiempo. Asimismo, el escenario continuista muestra reducciones más pronunciadas a partir de 2031, pero en general, ofrece menos beneficios en términos de reducción de emisiones en comparación con el escenario de transición verde y PHEV.

Con todo esto podemos concluir que mientras que la completa electrificación representa el escenario ideal para la reducción de emisiones, el escenario de transición verde muestra una solución más práctica y realista. En la que ofrece, una mejora continua en la calidad del aire y contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

Para comprender la repercusión de los taxis y VTC en cada escenario, se han calculado las emisiones en gramos por kilómetro generadas por cada servicio al final de 2035. Las emisiones en gramos por kilómetro permiten distinguir de manera equitativa las

emisiones generadas por cada tipo de servicio. No obstante, debido a que los taxis recorren más kilómetros que los VTC, sus emisiones son superiores en todos los escenarios.

Escenario Continuista: Gramos por kilómetro				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxis	3.125.647,3	11.306,1	777,2	56,9
VTC	1.523.940,4	5.138,3	417,5	28,7

Escenario de Transición Verde: Gramos por kilómetro				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxis	628.979,9	10.098,6	113,8	12,3
VTC	469.272,7	5.061,3	114,2	10,4

Escenario HEV: Gramos por kilómetro				
Servicio	CO2	CO	NOx	PM
Taxis	2.665.769,8	13.046,0	672,8	59,8
VTC	1.301.042,1	6.299,8	331,6	29,5

Escenario PHEV: Gramos por kilómetro				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxis	1.164.815,2	10.654,9	98,2	18,0
VTC	557.487,0	5.121,0	48,4	8,9

Escenario de la Completa Electrificación: Gramos por kilómetro				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxis	-	9.305,5	-	-
VTC	-	4.456,2	-	-

- Escenario Óptimo
- Escenario más realista con menor emisiones generadas
- Escenario más Crítico

Tabla 46: Valor de las emisiones en gramos por kilómetros de cada escenario

Aunque el escenario de completa electrificación es el óptimo en términos de reducción de emisiones, su implementación implicaría una inversión significativa por parte de los propietarios de vehículos privados. Además, el escenario de electrificación total solo proporciona una alternativa de vehículo (BEV), que no genera emisiones de CO2, NOx y PM durante su circulación, lo que dificulta la comparación entre diferentes tipos de combustibles. Por este motivo, se han comparado los escenarios de transición verde y PHEV, que presentan menores emisiones en 2035.

Emisiones del escenario de transición verde por servicio en 2035:

Emisiones Escenario de Transición Verde: VTC

2035	N de vehiculos	CO2	CO	Nox	PM
Diesel ECO	164	5.195.331,1	13.487,4	2.158,0	121,4
Gasolina ECO	2	69.673,7	329,0	19,7	1,5
HEV Gasolina ECO	20	590.154,2	2.796,2	148,0	13,2
HEV Diesel ECO	2063	57.616.916,4	288.423,9	15.269,5	1.357,3
PHEV Gasolina 0	731	9.537.251,8	82.962,1	787,5	144,3
PHEV Diesel 0	379	4.176.640,6	43.013,2	408,3	74,8
BEV 0	4068	-	401.462,8	-	-
Total VTC	7.427,0	77.185.967,8	832.474,4	18.791,1	1.712,4

Tabla 47: Emisiones generadas por los VTC de cada vehículo en el escenario de transición verde 2035

Emisiones Escenario de Transición Verde: Taxi

2035	N de vehiculos	CO2	CO	Nox	PM
Diesel C	1	54.277,6	104,0	16,6	0,9
Diesel ECO	80	3.204.247,7	8.318,4	1.330,9	74,9
HEV Diesel ECO	1812	63.984.633,7	320.300,0	16.957,1	1.507,3
HEV Gasolina ECO	18	671.544,4	3.181,8	168,4	15,0
PHEV Diesel 0	43	599.132,8	6.170,2	58,6	10,7
PHEV Gasolina 0	3776	62.288.026,2	541.827,3	5.143,4	942,3
BEV 0	9779	-	1.220.184,5	-	-
Total Taxi	15509	130.801.862,3	2.100.086,1	23.675,1	2.551,1
Total	22936	207.987.830,2	2.932.560,5	42.466,2	4.263,5

Tabla 48: Emisiones generadas por los taxis de cada vehículo en el escenario de transición verde 2035

Emisiones del escenario PHEV por servicio en 2035:

Emisiones Escenario PHEV: VTC

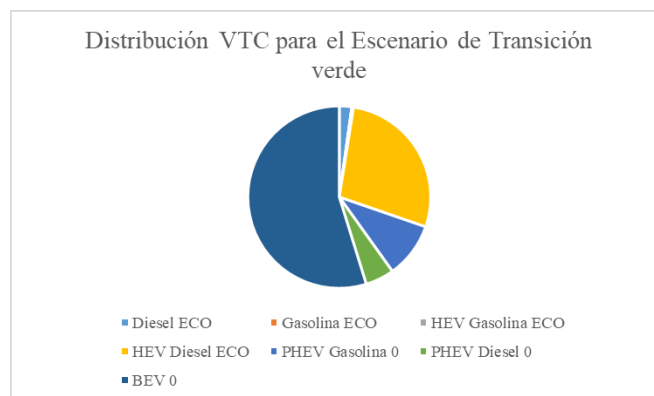
2035	N de vehiculos	CO2	CO	Nox	PM
PHEV Diesel 0	2310	25.456.569,6	262.164,7	2.488,7	455,9
PHEV Gasolina 0	5077	66.238.888,4	576.194,8	5.469,7	1.002,1
BEV 0	40	-	3.947,5	-	-
Total VTC	7.427,0	91.695.458,0	842.307,0	7.958,3	1.458,0

Tabla 49: Emisiones generadas por los VTC de cada vehículo en el escenario de PHEV 2035

Emisiones Escenario PHEV: Taxi					
2035	N de vehiculos	CO2	CO	Nox	PM
PHEV Diesel 0	1992	27.755.173,4	285.836,9	2.713,4	497,1
PHEV Gasolina 0	13002	214.477.997,1	1.865.688,2	17.710,5	3.244,7
BEV 0	515	-	64.259,6	-	-
Total Taxi	15.509,0	242.233.170,5	2.215.784,7	20.423,9	3.741,8
Total	22.936,0	333.928.628,5	3.058.091,7	28.382,2	5.199,8

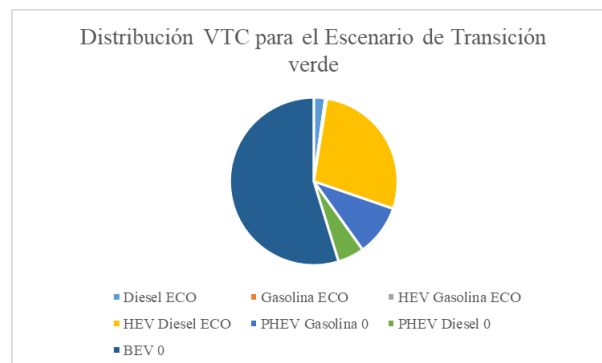
Tabla 50: Emisiones generadas por los taxis de cada vehículo en el escenario de PHEV 2035

5.2.1 EMISIONES DE VTC



Gráfica 30: Porcentaje de distribución de los VTC en el escenario de transición verde

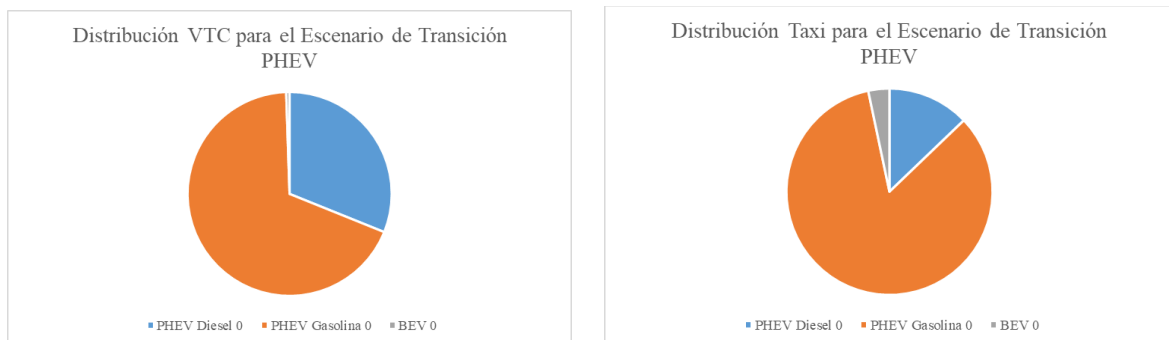
Al comparar las emisiones generadas por los VTC en los escenarios de transición verde y PHEV, observamos diferencias significativas. En el escenario de transición verde, predominan los BEV, representando el 55% del total. Esta alta proporción de BEV, que no contribuyen a las emisiones de CO₂, permite una reducción significativa de este contaminante en comparación con el escenario PHEV, donde solo el 1% de los vehículos son BEV. Además, en el caso de las emisiones de CO, la combinación de un pequeño porcentaje de vehículos diésel (2%) y una mayoría de BEV resulta en menores emisiones de CO en el escenario de transición verde. Sin embargo, los vehículos HEV diésel, que representan más de un cuarto del total, generan una cantidad considerable de CO, lo que hace que las emisiones de CO sean solo ligeramente menores en este escenario en comparación con el escenario PHEV.



Gráfica 31: Porcentaje de distribución de los taxis en el escenario de transición verde

Por otro lado, el escenario PHEV presenta menores emisiones de NO_x y PM. Esto se debe a que las tecnologías PHEV emiten menores cantidades de estos contaminantes en comparación con los HEV diésel presentes en el escenario de transición Verde. Incluso, las emisiones generadas solo por los HEV diésel en el escenario de transición Verde superan las emisiones de NO_x y se aproximan al total de PM del escenario PHEV.

5.2.2 EMISIONES DE TAXIS



Gráfica 32: Porcentaje de distribución de los taxis y VTC en el escenario de transición verde

Para los taxis, en el escenario de transición verde, el 63% de los vehículos son BEV, seguidos por un 24% de PHEV gasolina y un 12% de HEV diésel. Como se puede observar, los taxis presentan tecnologías más limpias a finales de 2035 debido a que, actualmente en 2024, los taxis ya emplean tecnologías más sostenibles en comparación con los VTC. Esta composición de vehículos más limpios permite que las emisiones de CO₂, CO y PM sean menores que en el escenario PHEV, donde predominan los PHEV gasolina (84%), seguidos

por los PHEV diésel (13%) y un mínimo porcentaje de BEV (3%). Sin embargo, la presencia de un 12% de HEV diésel en el escenario de transición verde resulta en emisiones de NOx mayores que las obtenidas en el escenario PHEV, debido a las altas emisiones de NOx de los HEV diésel.

Asimismo, una vez conocido cual es escenario que consigue generar menos emisiones por kilómetros calcularemos cuantos son los gramos generados por cada vehículo en cada escenario.

Escenario Continuista: Gramos por vehículo				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxi	41.911,8	151,6	10,4	0,76
VTC	33.749,5	113,8	9,2	0,63

Escenario de Transición Verde: Gramos por vehículo				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxi	8.434,0	135,4	1,5	0,16
VTC	10.392,6	112,1	2,5	0,23

Escenario HEV: Gramos por vehículo				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxi	35.745,3	174,9	9,0	0,80
VTC	28.813,2	139,5	7,3	0,65

Escenario PHEV: Gramos por vehículo				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxi	15.619,0	142,9	1,3	0,24
VTC	12.346,2	113,4	1,1	0,20

Escenario de la Completa Electrificación: Gramos por vehículo				
Servicio	CO2	CO	Nox	PM
Taxi	-	124,8	-	-
VTC	-	98,7	-	-

- Escenario Óptimo
- Escenario más realista con menor emisiones generadas
- Escenario más Crítico

Tabla 51: Gramos por vehículo de cada servicio para cada escenario

Tras haber obtenido los gramos por vehículo de cada escenario, hemos contrastado que los contaminantes que conseguían reducir en mayor medida las emisiones para cada escenario y servicio son los mismos que los gramos por kilómetro. Analizar estos parámetros nos permite obtener que escenario obtiene de media menor número de gramos por kilómetros para cada combustible y servicio.

Además, al calcular la diferencia de emisiones generada por vehículo de cada uno de los escenarios se ha obtenido los siguientes resultados:

Escenario Continuista: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo			
CO2	CO	Nox	PM
10,8%	14,2%	6,0%	9,1%

Escenario de Transición verde: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo			
CO2	CO	Nox	PM
-10,4%	9,4%	-24,7%	-16,7%

Escenario HEV: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo			
CO2	CO	NOx	PM
10,7%	11,3%	10,2%	10,3%

Escenario PHEV: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo			
CO2	CO	Nox	PM
11,7%	11,5%	10,3%	10,3%

Escenario de la Electrificación: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo			
CO2	CO	Nox	PM
0	11,7%	0	0

Tabla 52: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo para cada escenario

Este porcentaje permite comparar la diferencia que existe entre las emisiones generadas por los taxis y los VTC. En todos los escenarios y en la mayoría de los contaminantes observamos una diferencia del 10% de emisiones entre los taxis y VTC. Sin embargo, resalta la atención que la diferencia entre taxi y VTC es negativa en el escenario de la transición verde, para todos los contaminantes menos CO. Para que la diferencia de VTC y taxis sea negativa se tiene que cumplir que los g/km generados por cada contaminante

de los taxis tiene que ser menor que los g/km de VTC multiplicado por 164.84 y dividido por 207.96.

$$\frac{g}{veh} VTC > \frac{g}{veh} Taxis$$

$$X \left[\frac{g}{km} \right] * 164,84 > Y \left[\frac{g}{km} \right] * 207,96$$

$$\frac{X \left[\frac{g}{km} \right] * 164,84}{207,96} > Y \left[\frac{g}{km} \right]$$

Por ese motivo que la diferencia de gramos por vehículo entre los VTC y taxis sean negativa implica que las tecnologías empleadas por los taxis son más eficientes que los VTC.

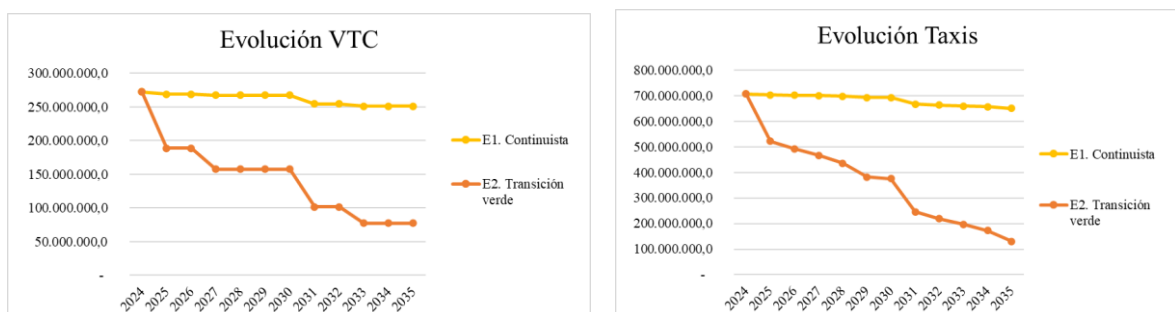
En conclusión, en el escenario de transición verde, los VTC presentan menores emisiones de CO₂ y CO debido a la alta proporción de vehículos eléctricos. Sin embargo, las emisiones de NO_x y PM son elevadas en este escenario debido al alto porcentaje de HEV diésel que todavía emplean motores de combustión interna. Por otro lado, en el escenario PHEV, aunque los VTC tienen una menor proporción de BEV, logran menores emisiones de NO_x y PM gracias a las tecnologías PHEV, que emiten menos de estos contaminantes.

En el escenario de transición verde, los taxis obtienen una mayor reducción de emisiones de CO₂, CO y PM en comparación al escenario PHEV, ya que, al emplear tecnologías más limpias en 2024 consiguen un alto porcentaje de BEV. Sin embargo, las emisiones de NO_x siguen siendo altas debido a los HEV diésel.

Asimismo, analizando las emisiones absolutas de cada tipo de servicio, se observa lo siguiente: en los VTC, las emisiones varían de 2024 a 2027. A partir de 2027, las emisiones se estabilizan, lo que se debe a que los VTC tienen tecnologías más antiguas a los taxis en 2024. Los vehículos que superan su vida útil son sustituidos, y las fechas de matriculación pasan a ser las del año en el que se cambian. Esta dinámica implica que todos los VTC son reemplazados por primera vez entre 2025 y 2027. Al ser sustituidos por primera vez en los primeros dos años de estudio, los vehículos cambiados por primera vez en 2025 serán

cambiados de nuevo en 2031. Por este motivo, todos los VTC serán cambiados por segunda durante los años 2031 a 2033, manteniendo el valor de sus emisiones constantes después de 2033 hasta el final del periodo estudiado.

En el caso de los taxis, la última fecha de matriculación será del mismo año, y las más antiguas son anteriores a 2020. Por esta razón, siempre habrá taxis que deberán ser reemplazados por vehículos más limpios durante los primeros cinco años del estudio. Los taxis matriculados en 2024 llegarán al final de su vida útil en 2030 y serán reemplazados, actualizando su fecha de matriculación a 2030. En los años siguientes, experimentarán un segundo cambio, pero aquellos reemplazados en 2030 no serán cambiados nuevamente, ya que, en 2035 únicamente serán cambiados aquellos vehículos con una fecha de matriculación inferior a 2030. Por lo que, al no cumplir con esta condición, los taxis matriculados en 2024 solo experimentarán un cambio de vehículo en el periodo estudiado. Este último cambio afecta únicamente a los escenarios de transición verde y continuista, siendo menos significativo en el continuista, ya que, en el resto de los escenarios solo se realiza un cambio de tipo de tecnología. En las siguientes gráficas, se observa la evolución de las emisiones para el escenario continuista y de transición verde en el periodo estudiado.



Gráfica 33: Evolución de emisiones taxis y VTC (Emisiones CO₂. Escenarios Continuista y de Transición verde)

Asimismo, los taxis que únicamente experimentan un cambio en el periodo estudiado son los siguientes:

Tipo de combustible	Número de vehículos
Gasolina/GLP ECO	17
BEV 0	9
HEV Diesel ECO	2
HEV Gasolina ECO	326
PHEV Gasolina 0	1

Tabla 53: Número y tipo de combustible de taxis que solo experimentan un cambio

Para lograr una reducción efectiva de las emisiones generadas por los vehículos privados en cada escenario, se pueden emplear tres políticas generales.

En primer lugar, se deben crear normativas de eficiencia energética que implementen regulaciones obligando a los fabricantes a mejorar la eficiencia de los nuevos modelos. Estas normativas deberían exigir que cada nuevo modelo genere un cierto porcentaje menos de emisiones que sus predecesores. Además, se pueden ofrecer subsidios e incentivos fiscales tanto a empresas como a propietarios para incentivar la renovación de flotas, permitiendo reemplazar vehículos antiguos por modelos más limpios y sostenibles antes de que superen su vida útil. Por último, sería crucial implementar programas de inspecciones obligatorias y mantenimientos regulares para asegurar que los vehículos en circulación mantengan niveles bajos de emisión durante toda su vida útil.

Para el escenario de transición verde, se deben crear programas que incentiven la sustitución progresiva de vehículos según su etiqueta, promoviendo una transición gradual hacia tecnologías más limpias. Además, es fundamental establecer convenios que ofrezcan subsidios a quienes sustituyan sus vehículos antiguos por modelos más eficientes y menos contaminantes.

En el escenario HEV, se deben establecer zonas de bajas emisiones en áreas urbanas donde solo se permita la circulación de vehículos híbridos y eléctricos, ampliando iniciativas como Madrid Central a otras zonas con alta concentración de emisiones.

Para los escenarios PHEV y BEV, es esencial invertir en la construcción de infraestructura de recarga, asegurando la disponibilidad de estaciones de carga accesibles

tanto en áreas urbanas como rurales. Debido a los altos kilómetros recorridos por los vehículos privados, sería necesario implementar puntos de recarga ultrarrápida con altas potencias para reducir el tiempo de carga. Adicionalmente, se deberían ofrecer subsidios que faciliten la adquisición de vehículos PHEV y BEV, haciendo estas tecnologías más accesibles para propietarios y empresas.

5.3 IMPACTO DE LOS KILÓMETROS VACÍOS EN EL CASO BASE

En el caso base inicial, hemos analizado el valor de los gramos por kilómetro y gramos por vehículo de las emisiones de cada uno de los servicios. A pesar de que los taxis emplean tecnologías más limpias y sostenibles que los VTC, los valores de las emisiones han sido superiores, lo que nos lleva a preguntarnos por qué se da esta situación.

Cuando analizamos los gramos por kilómetro, observamos que los taxis recorren más kilómetros que los VTC, por lo que eliminar este parámetro nos deja únicamente dos parámetros para analizar. El primero sería los gramos de emisiones generadas por kilómetro de cada contaminante, un valor que en el caso base no se puede modificar debido a que las emisiones que genera cada tecnología es un valor fijo. El segundo parámetro sería el número de vehículos, un dato que también es fijo.

Sin embargo, al examinar los gramos por vehículo, eliminamos de la ecuación el valor fijo del número de vehículos y nos centramos únicamente en los gramos por kilómetro emitidos por cada contaminante, valor invariable, y los kilómetros totales, que sí pueden variar.

Al analizar los kilómetros totales de ambos servicios, notamos que los kilómetros totales se dividen en dos categorías: los kilómetros ocupados, que son aquellos recorridos con un cliente, y los kilómetros vacíos, recorridos sin cliente.

Especialmente en los taxis, existe un alto número de kilómetros recorridos sin cliente. Este hecho lleva a la creación del término factor de potencia (FP) para determinar qué pasaría con las emisiones generadas si los kilómetros totales fueran la suma de los kilómetros ocupados y los kilómetros vacíos multiplicados por el FP, donde el FP varía de cero a uno.

Al analizar cómo varían las emisiones según el FP, observamos que existe una relación lineal y proporcional cuando se varía el valor de FP en un valor fijo. Este comportamiento lineal sugiere que cualquier reducción del FP, resultaría en una reducción directa y proporcional de las emisiones totales de los vehículos.

Además, surge el interés de saber qué pasaría si se eliminan los kilómetros totales y únicamente se consideran los kilómetros ocupados en cada tipo de servicio. Al centrarnos solo en los kilómetros ocupados, podríamos obtener una visión más precisa de las emisiones efectivas que se generan directamente por el servicio prestado, eliminando el impacto de los desplazamientos sin cliente. Analizando los gramos por vehículo de cada servicio según el valor de FP en el caso base, obtenemos las siguientes conclusiones:

Gramos por vehículo FP=0 en 2024				
	CO ₂	CO	NO _x	PM
Total Taxis	20.659,9	74,2	5,1	0,4
Total VTC	17.389,3	58,7	4,7	0,3

Gramos por vehículo FP=1 en 2024				
	CO ₂	CO	NO _x	PM
Total Taxis	45.557,0	163,7	11,3	0,8
Total VTC	36.650,0	123,8	9,9	0,7

Tabla 54: Gramos por vehículo para cada valor de FP en 2024

Si comparamos las emisiones generadas en cada valor de FP en cada servicio con respecto al valor inicial (FP=1), observamos que la diferencia de emisiones está directamente relacionada con los kilómetros recorridos. Por ejemplo, los kilómetros totales de los taxis cuando FP=1 son 207.96, y cuando FP=0 son 94.31. La diferencia de emisiones en porcentaje entre los dos valores de FP sería del $100 - (94.31 / 207.96)$, es decir, el porcentaje de kilómetros vacíos respecto a los totales.

Diferencia entre valores de FP [Gramos por vehículo]				
	CO ₂	CO	NO _x	PM
Total Taxis	54,7%	54,7%	54,7%	54,7%
Total VTC	52,6%	52,6%	52,6%	52,6%

Tabla 55: Diferencia entre los valores de FP con respecto a FP=1 en cada servicio

La fórmula empleada para el cálculo anterior es la siguiente:

$$\% \text{ dif. ser. } [X] = \frac{\frac{g}{veh} \cdot [X] \text{ para cont. } [Y] \text{ FP} = 1 - \frac{g}{veh} \cdot [X] \text{ para cont. } [Y] \text{ FP} = 0}{\frac{g}{veh} \cdot [X] \text{ para cont. } [Y] \text{ FP} = 1}$$

Siendo [X]: Taxi o VTC

Siendo [Y]: CO₂, CO, NO_x o PM

Además, si observamos las emisiones generadas entre taxis y VTC, notamos que la diferencia de emisiones entre ellos es mucho menor. Sin embargo, los taxis siguen generando más emisiones por vehículo, ya que los kilómetros ocupados que recorren son superiores a los que recorren los VTC. La diferencia de emisiones generadas entre cada servicio para cada valor de FP es la siguiente:

Diferencia entre valores de Taxis y VTC [Gramos por vehículo]				
	CO ₂	CO	NO _x	PM
FP=0	8,6%	11,7%	4,2%	7,2%
FP=1	10,8%	13,9%	6,5%	9,4%

Tabla 56: Diferencia entre los valores de cada servicio para cada valor de FP

La fórmula empleada es la siguiente:

$$\% \text{ dif. FP } [Z] = \frac{\frac{g}{veh} \cdot \text{Taxi para FP}[Z] - \frac{g}{veh} \cdot \text{VTC para FP } [Z]}{\frac{g}{veh} \cdot \text{Taxi para FP}[Z] + \frac{g}{veh} \cdot \text{VTC para FP } [Z]}$$

Siendo [Z]: Taxi o VTC

La reducción del porcentaje entre los taxis y VTC al disminuir el valor de FP indica que, al eliminar los kilómetros vacíos, las emisiones generadas por los taxis se están reduciendo en mayor medida que las de los VTC. Esta reducción es consecuente, ya que, a pesar de que los taxis son mayores en número, emplean tecnologías más sostenibles.

Al analizar los gramos por kilómetro de cada valor de FP, obtenemos el mismo resultado. Como hemos mencionado anteriormente, al eliminar el valor de los kilómetros

totales de la ecuación, y dado que el número de vehículos y el valor de los gramos emitidos por kilómetro de cada contaminante es fijo, el valor no variará según el FP.

Gramos por kilómetro FP=0 en 2024				
	CO2	CO	NOx	PM
Total Taxis	3.397.463,5	12.206,5	844,5	61,9
Total VTC	1.654.920,7	5.588,8	449,1	31,0

Gramos por kilómetro FP=1 en 2024				
	CO2	CO	NOx	PM
Total Taxis	3.397.496,2	12.206,6	844,5	61,9
Total VTC	1.654.911,0	5.588,7	449,1	31,0

Tabla 57: Gramos por kilómetro para cada valor de FP en 2024

Como hemos podido observar, las emisiones de cada servicio se reducen de forma notable al eliminar los kilómetros vacíos. Por ello, es fundamental implementar políticas que incentiven a los conductores de este tipo de vehículos a reducir en mayor medida los kilómetros vacíos recorridos.

Actualmente, los taxis tienen áreas asignadas donde la demanda de pasajeros es elevada y constante, como en aeropuertos, donde los vehículos esperan para recoger a un cliente. En este momento, los VTC no pueden acceder a estas zonas, ya que el gobierno solo las habilita para los taxis. El motivo por el que este acceso es exclusivo para los taxis es que estos pagan por una licencia que les permite acceder a este tipo de sitios. Una posibilidad sería igualar las licencias entre los taxis y VTC para que ambos pudiesen acceder a estas áreas. En caso de que esto no se pueda llevar a cabo, otra idea sería permitir acceso únicamente a los VTC que sean BEV. Esta política incentivar a los conductores de los VTC a emplear un BEV para poder tener acceso a estas zonas.

Además, los taxis también tienen áreas de espera, como paradas de taxi, en las que los conductores pueden esperar sin realizar desplazamientos innecesarios y sin interferir en

el tráfico. De la misma forma, permitir acceso a estas áreas a los VTC podría reducir significativamente los kilómetros vacíos.

Una política sostenible que permite reducir los kilómetros vacíos es fomentar el uso del vehículo compartido (ride-sharing). De esta forma, se realizarán trayectos más eficaces y se optimizarían los servicios realizados.

Por último, una política de regulación que se podría implementar para impedir los trayectos sin clientes es prohibir en ciertas zonas la circulación de taxis y VTC en el caso de que no circulen con un pasajero. Esto aseguraría que los vehículos solo operen cuando realmente estén prestando un servicio.

En conclusión, los taxis deben centrarse en reducir los kilómetros recorridos, en especial los recorridos sin cliente, y seguir fomentando tecnologías limpias. Además, es crucial que continúen la transición hacia vehículos eléctricos y otras tecnologías bajas en emisiones. Por otro lado, los VTC deben enfocarse en promover tecnologías más sostenibles eliminando las tecnologías antiguas menos eficaces. Esto puede lograrse mediante la renovación de flotas, ofreciendo incentivos para la adopción de vehículos eléctricos y estableciendo regulaciones que limiten el uso de vehículos más contaminantes.

5.4 IMPACTO DE LOS KILÓMETROS VACÍOS EN LOS CINCO ESCENARIOS

Tras haber analizado el impacto que tiene igualar los kilómetros totales a los kilómetros ocupados en el caso base, surge la curiosidad de comprender el impacto que esto tendría en un periodo de tiempo más largo. Para ello, se ha optado por estudiar qué pasaría en el caso de que se aplicase un FP de cero en los cinco escenarios planeados anteriormente.

En primer lugar, obtenemos el valor de los gramos por kilómetro de cada uno de los escenarios en 2035. Sin embargo, obtenemos los mismos resultados independientemente del FP que empleemos. El motivo de esto es que al calcular los gramos por kilómetro estamos considerando los gramos generados por el número de vehículos de cada servicio y los gramos por kilómetro que genera cada combustible para cada escenario. Por este motivo, estos valores son independientes al FP.

Escenario Continuista: Gramos por kilómetro					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	3.125.647,3	11.306,1	777,2	56,86
	VTC	1.523.940,4	5.138,3	417,5	28,66
0	Taxi	3.125.647,3	11.306,1	777,2	56,86
	VTC	1.523.940,4	5.138,3	417,5	28,66

Escenario de Transición Verde: Gramos por kilómetro					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	628.979,9	10.098,6	113,8	12,27
	VTC	469.272,7	5.061,3	114,2	10,41
0	Taxi	628.979,9	10.098,6	113,8	12,27
	VTC	469.272,7	5.061,3	114,2	10,41

Escenario HEV: Gramos por kilómetro					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	2.665.769,8	13.046,0	672,8	59,84
	VTC	1.301.042,1	6.299,8	331,6	29,49
0	Taxi	2.665.769,8	13.046,0	672,8	59,84
	VTC	1.301.042,1	6.299,8	331,6	29,49

Escenario PHEV: Gramos por kilómetro					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	1.164.815,2	10.654,9	98,2	17,99
	VTC	557.487,0	5.121,0	48,4	8,86
0	Taxi	1.164.815,2	10.654,9	98,2	17,99
	VTC	557.487,0	5.121,0	48,4	8,86

Escenario de la Completa Electrificación: Gramos por kilómetro					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	-	9.305,5	-	-
	VTC	-	4.456,2	-	-
0	Taxi	-	9.305,5	-	-
	VTC	-	4.456,2	-	-

Tabla 58: Gramos por kilómetro para cada escenario, valor de FP, servicio y contaminante

Esto implica que, aunque la reducción de kilómetros vacíos tiene un impacto significativo en la reducción de las emisiones totales, el análisis de gramos por kilómetro no refleja esta variabilidad. Para evaluar el impacto real en las emisiones, es necesario considerar el número total de kilómetros recorridos sin considerar el número de vehículos por servicio. Por ese motivo, estudiaremos los gramos por vehículos generados para cada servicio y FP en 2035, siendo nuestra única variable el valor de los kilómetros totales recorridos.

Escenario Continuista: Gramos por vehículo					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	41.911,8	151,6	10,4	0,76
	VTC	33.749,5	113,8	9,2	0,63
0	Taxi	19.006,9	68,8	4,7	0,35
	VTC	16.013,0	54,0	4,4	0,30

Escenario de Transición Verde: Gramos por vehículo					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	8.434,0	135,4	1,5	0,16
	VTC	10.392,6	112,1	2,5	0,23
0	Taxi	3.824,8	61,4	0,7	0,07
	VTC	4.930,9	53,2	1,2	0,11

Escenario HEV: Gramos por vehículo					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	35.745,3	174,9	9,0	0,80
	VTC	28.813,2	139,5	7,3	0,65
0	Taxi	16.210,4	79,3	4,1	0,36
	VTC	13.670,8	66,2	3,5	0,31

Escenario PHEV: Gramos por vehículo					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	15.619,0	142,9	1,3	0,24
	VTC	12.346,2	113,4	1,1	0,20
0	Taxi	7.083,2	64,8	0,6	0,11
	VTC	5.857,9	53,8	0,5	0,09

Escenario de la Completa Electrificación: Gramos por vehículo					
FP	Servicio	CO2	CO	Nox	PM
1	Taxi	-	124,8	-	-
	VTC	-	98,7	-	-
0	Taxi	-	56,6	-	-
	VTC	-	46,8	-	-

- Escenario Óptimo
- Escenario más realista con menor emisiones generadas
- Escenario más Crítico

Tabla 59: Gramos por vehículo para cada escenario, valor de FP, servicio y contaminante

A través de la tabla podemos observar cómo obtenemos diferentes valores numéricos en comparación con los obtenidos en la tabla de gramos por kilómetro. Sin embargo, hay algo en común en ambas y es que ambas identifican, sin incluir el escenario de la completa electrificación, cuál es el escenario más óptimo para cada contaminante y servicio. Para saber qué escenario es el óptimo para reducir el contaminante según el servicio, simplemente hay que fijarse en cuál es el que menos emisiones genera.

Para analizar el impacto del valor de FP en las emisiones de los diferentes escenarios y en cada servicio, no solo basta con seleccionar el valor menor de emisiones generadas. Para

ello, habrá que calcular la diferencia de emisiones generadas en cada servicio según el valor de FP.

Escenario Continuista: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo				
FP	CO2	CO	Nox	PM
1	10,8%	14,2%	6,0%	9,1%
0	8,5%	12,0%	3,7%	6,9%

Escenario de Transición verde: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo				
FP	CO2	CO	Nox	PM
1	-10,4%	9,4%	-24,7%	-16,7%
0	-12,6%	7,2%	-26,8%	-18,9%

Escenario HEV: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo				
FP	CO2	CO	NOx	PM
1	10,7%	11,3%	10,2%	10,3%
0	8,5%	9,0%	8,0%	8,0%

Escenario PHEV: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo				
FP	CO2	CO	Nox	PM
1	11,7%	11,5%	10,3%	10,3%
0	9,5%	9,3%	8,0%	8,0%

Escenario de la Electrificación: Porcentaje diferencia de gramos por vehículo				
FP	CO2	CO	Nox	PM
1	0	11,7%	0	0
0	0	9,4%	0	0

Tabla 60: Diferencia de porcentaje entre los valores de FP para cada escenario

La fórmula empleada para el cálculo es la siguiente:

$$\% \text{ dif.} = \frac{\frac{g}{veh} \text{ Taxi } [X] - \frac{g}{veh} \text{ VTC } [X]}{\frac{g}{veh} \text{ Taxi } [X]}$$

siendo [X] FP = 0 o FP = 1

En este caso, observamos que, para todos los escenarios y contaminantes, la diferencia de emisiones generadas por vehículo entre taxis y VTC ha disminuido, a excepción del escenario de transición verde, donde el porcentaje es más negativo cuando FP es igual a cero menos en el contaminante CO, indicando que la diferencia entre ambos valores ha aumentado. Estos resultados muestran que, cuando se disminuye el valor de FP, los taxis consiguen reducir en mayor medida las emisiones que generan en comparación con los VTC. Estos resultados son lógicos, ya que los kilómetros vacíos en los taxis representan un mayor porcentaje de los totales en comparación con los kilómetros vacíos de los VTC.

En este análisis hemos observado que hay un impacto positivo significativo cuando se eliminan los kilómetros vacíos. Esta reducción de kilómetros vacíos tiene un mayor impacto en las emisiones de los taxis, ya que recorren un mayor número de kilómetros en comparación con los VTC.

El análisis de cada escenario nos ha permitido visualizar que actualmente los taxis generan menos emisiones que los VTC en términos relativos debido a que emplean tecnologías más limpias. El escenario de transición verde permite visualizar con claridad cómo se reducen las emisiones notablemente cuando se disminuye el valor de FP y se promueve una estrategia para la electrificación. Este impacto ha sido especialmente notable en los taxis, ya que contaban con mejores tecnologías en 2024, por lo que la evolución hacia la electrificación sería más rápida si se adoptase la ideología del escenario progresista. Además, los taxis son los servicios que mayor beneficio obtienen de reducir los kilómetros vacíos.

Capítulo 6. BIBLIOGRAFÍA

(Emprendedores, 2024) ¿Cuáles son y qué requisitos exigen?
<https://www.autonomosyemprendedor.es/articulo/actualidad/autonomos-pueden-solicitar-cuota-cero-doce-comunidades-autonomas-cuales-son-que-requisitos-exigen/20240226160436034835.html>

(Madrid, 2024) Aprobadas las tarifas de taxi para el año 2024. <http://www.gremial-taximadrid.com/noticias/aprobadas-las-tarifas-de-taxi-para-el-ano-2024/>

(Expansión., 2022) Cabify y Uber invierten en movilidad sustentable en España: ¿Qué implementan las apps para ser más verdes?
<https://www.expansion.com/empresas/transporte/2022/11/06/6367f536468aeb7e018b45ed.html>

(Madrid.) VTC Madrid. <https://www.esmadrid.com/vtc-madrid#>

(Servilegal.) ¿Cuántas licencias de VTC hay en España?
<https://www.gruposervilegal.com/cuantas-licencias-de-vtc-hay-en-espana/>

(Epdata.) Evolución del número de taxis en Madrid.
<https://www.epdata.es/evolucion-numero-taxis-madrid/ac58180b-5541-4491-bfe1-968b7e1364fa>

(Madrid. A. d.) Portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Madrid.
<https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9fbe4b2e4b284f1a5a0/?vgnextoid=2795f5fd6ac83610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnnextfmt=default>

(VTC). Licencias de VTC en Madrid. <https://licenciasdevtc.com/madrid/>

(VTC.)Licencias VTC en España. <https://licenciasvtc.es/>

(Independiente, 2020) Madrid, paraíso de Uber y Cabify: Concentra ya la mitad de todas las VTC de España. <https://www.elindependiente.com/economia/2020/01/14/madrid-paraíso-de-uber-y-cabify-concentra-ya-la-mitad-de-todas-las-vtc-de-espana/>

(Comscore.) Uber, Bolt, Cabify y Free Now: Su batalla por Madrid. <https://www.comscore.com/Insights/Blog/Uber-Bolt-Cabify-y-Free-Now-Su-Batalla-por-Madrid>

(España, 2022) Licencias VTC: Ayuso y los precios. <https://www.epe.es/es/activos/20220207/licencias-vtc-ayuso-precios-13189020>

(Publicidad, 2023) Uber Green llega a Madrid. <https://controlpublicidad.com/sostenibles-marcas-y-esg/uber-green-llega-a-madrid/>

(Cronista, 2023) Cabify y Uber invierten en movilidad sustentable en España: ¿Qué implementan las apps para ser más verdes? <https://www.cronista.com/espana/economia-finanzas/cabify-y-uber-invierten-en-movilidad-sustentable-en-espana-que-implementan-las-apps-para-ser-mas-verdes/>

(Statista) Número anual de matriculaciones de automóviles en la Comunidad de Madrid. <https://es.statista.com/estadisticas/812484/numero-anual-de-matriculaciones-de-automoviles-comunidad-de-madrid/>

(Wikipedia) Normativa europea sobre emisiones. https://es.wikipedia.org/wiki/Normativa_europea_sobre_emisiones

(RACE) Normativa Euro 6. <https://www.race.es/normativa-euro-6>

(Webfleet) Normas Euro sobre emisiones: Qué conviene saber. https://www.webfleet.com/es_es/webfleet/blog/normas-euro-emisiones-que-conviene-saber/

(Hella) Tabla de valores de gases de escape para coches.
<https://www.hella.com/techworld/es/Informacion-Tecnica/Tecnologia-de-gases-de-escape/Tabla-de-valores-de-gases-de-escape-para-coches-74789/>

(Hobiex) Normas europeas de emisión. <https://hobiex.com/es/2020/07/26/european-emission-standards/>

(Madrid A. d.) Estudio del Servicio del Taxi.
<https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/TAXI/Ficheros/Otros/Ayto%20Madrid%20%C2%B7%20Estudio%20del%20Servicio%20del%20Taxi.pdf>

(Madrid A. d.) Texto completo Ordenanza VTC
https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCMovilidadTransportes/Quizas/VTC/Texto_completo_Ordenanza_VTC.pdf

(Madridiario) Madrid cerca VTC horas kilómetros vacío.
<https://www.madridiario.es/467744/madrid-cerca-vtc-horas-kilometros-vacio>

(Madrid C. d.) Estudio de gestión del transporte en la Comunidad de Madrid.
https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/transportes/estudio_gestion_transporte_cm.pdf

(Madrid C. d.) Autorizaciones de arrendamiento de vehículos con conductor (VTC).
<https://www.comunidad.madrid/servicios/transporte/autorizaciones-arrendamiento-vehiculos-conductor-vtc>

(Eléctricos.) ¿Cuánto CO₂ emite la recarga de un coche eléctrico en España?
https://www.hibridosyelectricos.com/coches/cuanto-co2-emite-recarga-coche-electrico-espana_59686_102.html

(Webfleet) Normas Euro de emisiones: ¿Qué conviene saber?
https://www.webfleet.com/es_es/webfleet/blog/normas-euro-emisiones-que-conviene-

[saber/#:~:text=Actualmente%2C%20el%20I%20C%20ADmite%20de%20emisiones,en%20to dos%20los%20coches%20vendidos](#)

(Environment) How clean are electric cars?

<https://www.transportenvironment.org/discover/how-clean-are-electric-cars/>

(Razón) El Ayuntamiento da el primer paso para limitar el horario de los VTC.

<https://www.larazon.es/local/madrid/el-ayuntamiento-da-el-primer-paso-para-limitar-el-horario-de-los-vtc->

[HF23266054/#:~:text=Los%20VTC%20de%20la%20capital,y%20el%2024%25%2C%20t axis.](#)

(Unidas) Objetivos de Desarrollo Sostenible.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

(Xataka) 14 coches que consumen y contaminan menos (emisiones de CO2).

<https://www.xataka.com/vehiculos/14-coches-que-consumen-contaminan-emisiones-co2#:~:text=Toyota%20Prius&text=Nos%20encontramos%20con%20el%20primer,y%20de%2099%20g%20Fkm.>

(Vasco) Comparativa de vehículos.

https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/comparativa_vehiculos/es_def/adjuntos/Comparativa-Vehiculos.pdf

(Mundo, 8 de noviembre 2016) Tabla de valores de gases de escape para coches.

<https://www.elmundo.es/motor/2016/11/08/58220ff5e5fdea48668b4671.html>

(Demográfico., 2024) Sistema español de inventario SEI.

<https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es-nir-edicion-2024.pdf>

(Demográfico) Mitigación, políticas y medidas: Transporte.
<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.html>

(Europeo, 2024) Transporte sostenible en la UE. Recuperado de
https://www.eca.europa.eu/ECAPublications/SR-2024-01/SR-2024-01_ES.pdf

(Madrid C. d.) Análisis del transporte público en la Comunidad de Madrid
<https://www.comunidad.madrid/file/400759/download>

(Ihobe) Comparativa ambiental entre diferentes alternativas de vehículos: eléctrico, híbrido y combustión
<https://www.ihobe.eus/publicaciones/comparativa-ambiental-entre-diferentes-alternativas-vehiculos-electrico-hibrido-y-combustion-3>

(RSE, 2020) Etiquetas ambientales
https://www.lifegystra.eu/wp-content/uploads/2020/07/OpusRSE_Etiquetas-ambientales_Junio-2020.pdf

(Madrid A. d.) Datos sobre movilidad y transporte
<https://datos.madrid.es/portal/site/egob/menuitem.c05c1f754a33a9fbc4b2e4b284f1a5a0/?vgnextoid=30f6403dc7ba3610VgnVCM2000001f4a900aRCRD&vgnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD&vgnextfmt=default>

(Demográfico, 2023) Resumen del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2021.
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/resumen_inventario_gei_ed_2023_tcm30-560383.pdf

ANEXO I

Número de VTCs

[Estudio Parque Circulante 2022.xlsx](#)

Excel en el que sea ha elaborado el proyecto

[Flota_vehiculos_privados_v0.4.xls](#)