

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

**TRABAJO FIN DE GRADO
ANÁLISIS DEL EJE Z**

Y

**LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS
EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA.
SELECCIÓN DEL VEHÍCULO EN
FUNCIÓN DEL USO**

Roberto Gutiérrez Afonso

Director: Iñigo Sanz Fernández
Coordinador: Fernando De Cuadra García

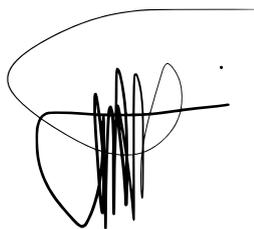
Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:

Análisis del Eje Z y las condiciones climatológicas en la movilidad eléctrica. Selección del vehículo en función del uso.

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2024/25 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.: Roberto Gutiérrez Afonso. Fecha: 24 / 03 / 2025



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

SANZ FERNANDEZ IÑIGO -
52367115W
Firmado digitalmente por
SANZ FERNANDEZ IÑIGO -
52367115W
Fecha: 2025.07.01
22:23:45 +02'00'

Fdo.: Inigo Sanz Fernández. Fecha://



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
ANÁLISIS DEL EJE Z
Y

**LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS
EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA.
SELECCIÓN DEL VEHÍCULO EN
FUNCIÓN DEL USO**

Roberto Gutiérrez Afonso

Director: Iñigo Sanz Fernández
Coordinador: Fernando De Cuadra García

Agradecimientos

A José Elías, primer director de este proyecto, por su iniciativa, implicación y ayuda en la estructuración del trabajo. Su recuerdo ha estado presente durante todo el proceso, aunque su ausencia impidió que pudiera ver culminado el proyecto, confío en que, desde la presencia de Dios, comparte con orgullo los frutos de este trabajo que va por usted.

A mis padres y mi hermana, por animarme y estar ahí en todo momento durante este trabajo y estos años de carrera. Sobre todo, a mis padres por ser mi ejemplo a seguir.

A mi director de proyecto, Iñigo Sanz, por tomar el relevo como director y por su constante apoyo y confianza en el potencial de este trabajo desde el inicio. Su orientación ha sido clave para alcanzar un resultado riguroso y satisfactorio.

ANÁLISIS DEL EJE Z Y LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS EN LA MOVILIDAD ELÉCTRICA. SELECCIÓN DEL VEHÍCULO EN FUNCIÓN DEL USO

Autor: Gutiérrez Afonso, Roberto.

Director: Sanz Fernández, Iñigo.

Entidad Colaboradora: Universidad Pontificia Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

Este Trabajo de Fin de Grado estudia de forma cuantitativa cómo las condiciones climatológicas, el estilo de conducción y el desnivel del terreno, a los que nos referimos como el “EJE Z”, afectan a la autonomía de los vehículos eléctricos (EV) y la hacen variar respecto a la teórica homologada WLTP por los fabricantes. Ello se valida con datos experimentales, conociendo el consumo energético real y analizándolos en función de estos factores. Los resultados muestran que el clima extremo, una conducción agresiva y las pendientes pronunciadas reducen significativamente la autonomía respecto a condiciones óptimas. Se observaron diferencias de hasta un 50% en el alcance del vehículo entre escenarios favorables y desfavorables, evidenciando la importancia de considerar estos factores para una planificación y uso eficiente del EV.

Palabras clave: Vehículo eléctrico; autonomía; consumo energético; condiciones climatológicas; estilo de conducción; pendiente

1. Introducción

La movilidad eléctrica se consolida como alternativa sostenible para reducir emisiones en el transporte, con estrategias públicas que buscan acelerar la adopción de vehículos eléctricos en todo el mundo.

Sin embargo, persiste la “ansiedad de autonomía” ante la posibilidad de que la autonomía real de los EV no alcance las cifras nominales, especialmente en condiciones adversas [1][2].

Factores externos como la temperatura ambiente, la forma de conducir o el perfil de la carretera influyen notablemente en el consumo energético y, por tanto, en la distancia que un EV puede recorrer con una carga. Comprender y cuantificar estos efectos es

fundamental para mejorar la experiencia del usuario y orientar el diseño de vehículos más eficientes.[2]

2. Definición del proyecto

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es analizar cuantitativamente la influencia de tres factores clave: condiciones climatológicas, estilo de conducción y desnivel del terreno, sobre la autonomía real de un vehículo eléctrico.



Ilustración 1: Grafico Variación Consumo batería EV, Al variar estos factores durante la conducción

El alcance del proyecto abarca un vehículo eléctrico tipo (segmento estándar) y evalúa su rendimiento en diferentes escenarios operativos, variando sistemáticamente dichos factores para determinar su impacto individual y combinado. De este modo, se busca identificar en qué medida las **condiciones ambientales** (p. ej., temperatura, viento, uso de climatización), el **modo de conducción** (suave vs. agresivo) y la **orografía de la ruta** (terreno plano vs. pendiente) afectan al alcance por carga. Otros factores como la degradación de la batería o la carga transportada también se estudian, evaluando su alcance, a fin de focalizar el estudio en las condiciones externas mencionadas.

3. Descripción del sistema

Se empleó una metodología híbrida de modelado y experimentación. En primer lugar, se desarrolló un modelo de simulación del consumo energético del vehículo, integrando las

principales resistencias al avance: aerodinámica, rodadura y gravedad (en rampas), junto con el gasto por sistemas auxiliares (climatización en cabina, etc.). El modelo, de naturaleza física, calcula la potencia requerida en cada instante de un recorrido dado un perfil de velocidad, pendiente y condiciones ambientales, considerando parámetros característicos de un EV de referencia (masa, coeficiente aerodinámico, rendimiento del motor y frenos regenerativos, entre otros).

4. Resultados

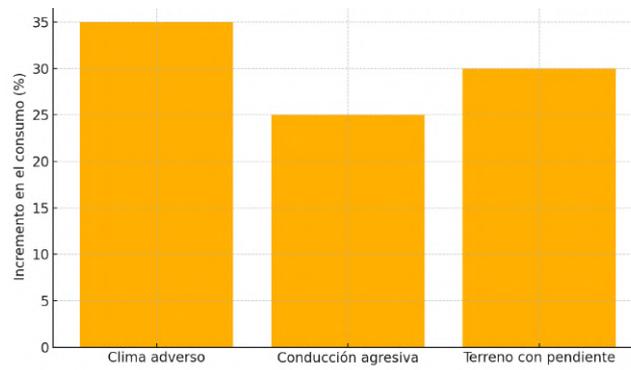


Ilustración 2: Impacto estimado de los tres factores sobre el consumo energético

Los hallazgos principales indican que las condiciones ambientales, el estilo de conducción y la topografía ejercen un impacto considerable en la autonomía. Por ejemplo, investigaciones previas y los resultados obtenidos señalan que los climas muy fríos pueden reducir la autonomía hasta en un 50% (en nuestro caso se observó una caída a ~54% de la autonomía nominal a -15 °C). [2][4]

De forma análoga, temperaturas ambientales muy elevadas (por encima de 30 °C) disminuyen la eficiencia debido al uso del aire acondicionado y al estrés térmico de la batería. El estilo de conducción agresiva (velocidades altas y aceleraciones/bruscas) elevó el consumo energético notablemente, incluso más que en un vehículo de combustión interna, mientras que una conducción uniforme y anticipando frenadas (maximizando la regeneración) permitió extender la autonomía.

En cuanto al terreno, se confirmó que las rutas con desniveles pronunciados demandan mucha más energía: por ejemplo, una pendiente moderada de 1° puede casi duplicar el

consumo respecto a un trayecto llano a baja velocidad, contrarrestando en gran medida los beneficios de la frenada regenerativa en bajadas. Estos efectos combinados explican las variaciones sustanciales entre la autonomía anunciada y la autonomía real bajo diferentes escenarios de uso.[3]

5. Conclusiones

En conclusión, el estudio cuantifica el impacto sustancial que tienen las condiciones climatológicas, el estilo de conducción y la orografía del terreno sobre la autonomía real de los vehículos eléctricos.

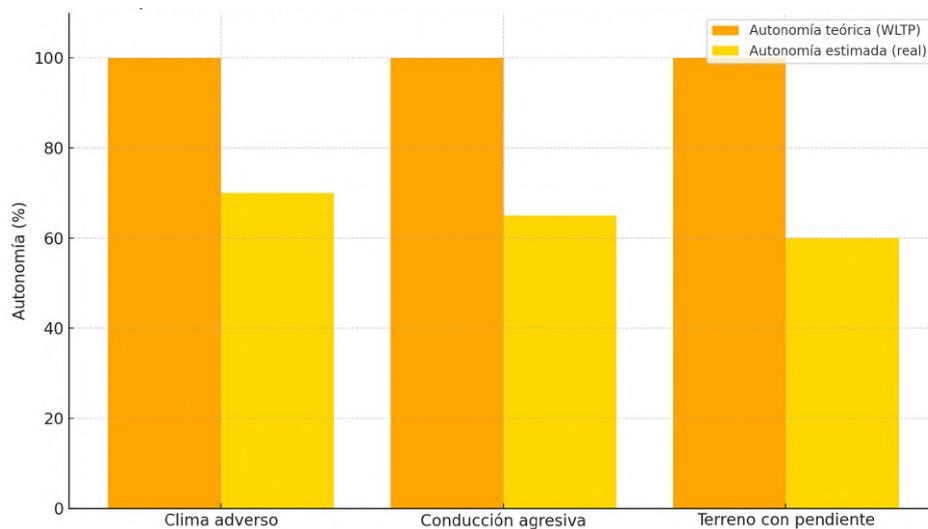


Ilustración 3: Comparativa de autonomía teórica vs estimada en condiciones desfavorables

Los resultados obtenidos resaltan la necesidad de que los usuarios planifiquen sus desplazamientos teniendo en cuenta factores como el clima y la ruta, ajustando sus hábitos de manejo para minimizar sorpresas en la autonomía. Por ejemplo, se recomienda moderar la velocidad de cruce en autopista y anticipar las frenadas para aprovechar la frenada regenerativa, almacenando la mayor energía posible en la batería y extendiendo así la autonomía.

Del lado de los fabricantes, estos hallazgos subrayan la importancia de mejorar los sistemas de gestión térmica de las baterías (por ejemplo, incorporando bombas de calor para calefacción eficiente) y optimizar la eficiencia del vehículo bajo diferentes escenarios (mejor aerodinámica, neumáticos de baja resistencia, etc.). Asimismo,

implementar algoritmos de estimación de autonomía en tiempo real más inteligentes que consideren las condiciones meteorológicas, el perfil de elevación de la ruta y el estilo de conducción del usuario puede ayudar a reducir la ansiedad de autonomía, brindando a los conductores una previsión más precisa de la distancia que podrán recorrer en cada situación.

En conjunto, este trabajo proporciona información valiosa para usuarios y diseñadores de EV, apuntando medidas concretas para mejorar la eficiencia y fiabilidad de la movilidad eléctrica en el mundo real.[3]

6. Referencias

[1] Mao, R. *et al.* (2023). “Understanding the Determinants of Electric Vehicle Range: A Multi-Dimensional Survey.” Sustainability.

[2] Polat, A. A. *et al.* (2025). “Analysis of Factors Affecting Electric Vehicle Range Estimation: A Case Study of the Eskisehir Osmangazi University Campus.” Sustainability.

[3] Donkers, A. *et al.* (2020). “Influence of driving style, infrastructure, weather and traffic on electric vehicle performance.” Transp. Res.

[4] Argue, C. (2023). “¿En qué medida afecta la temperatura a la autonomía de los vehículos eléctricos?” Blog de Geotab.

ANALYSIS OF THE Z AXIS AND WEATHER CONDITIONS IN ELECTRIC MOBILITY. VEHICLE SELECTION BASED ON USAGE

Author: Roberto Gutiérrez Afonso

Supervisor: Iñigo Sanz Fernández

Collaborating Institution: Universidad Pontificia Comillas

PROJECT ABSTRACT

This Bachelor's Thesis quantitatively analyzes how weather conditions, driving style, and terrain slope—referred to as the “Z AXIS”—affect the range of electric vehicles (EV) and cause deviations from the theoretical WLTP range certified by manufacturers. This is validated with experimental data by measuring actual energy consumption and analyzing it in relation to these factors. The results show that extreme weather, aggressive driving, and steep slopes significantly reduce range compared to optimal conditions. Differences of up to 50% in vehicle range were observed between favorable and unfavorable scenarios, underscoring the importance of considering these factors for efficient EV planning and use.

Keywords: Electric vehicle; range; energy consumption; weather conditions; driving style; slope

1. Introduction

Electric mobility is being consolidated as a sustainable alternative to reduce transport emissions, with public strategies aimed at accelerating the adoption of electric vehicles worldwide.

However, “range anxiety” persists due to the possibility that the actual EV range may not match the nominal figures, especially under adverse conditions [1][2].

External factors such as ambient temperature, driving style, or road profile have a significant impact on energy consumption and therefore on the distance an EV can travel on a single charge. Understanding and quantifying these effects is essential to improve the user experience and guide the design of more efficient vehicles. [2]

2. Project Definition

The main goal of this Bachelor's Thesis is to quantitatively analyze the influence of three key factors—weather conditions, driving style, and terrain slope—on the actual range of an electric vehicle.



Ilustración 4: Graph showing EV battery consumption variation as these factors change during driving

The scope of the project covers a typical electric vehicle (standard segment) and evaluates its performance in different operating scenarios, systematically varying these factors to determine their individual and combined impact. The aim is to identify how environmental conditions (e.g., temperature, wind, use of air conditioning), driving mode (smooth vs. aggressive), and route topography (flat vs. sloped terrain) affect range per charge. Other factors such as battery degradation or carried load are also studied, but the focus remains on the external conditions mentioned.

3. System Description

A hybrid methodology of modeling and experimentation was used. First, a simulation model was developed to estimate the vehicle's energy consumption, integrating the main resistances to movement: aerodynamics, rolling resistance, and gravity (on inclines), along with auxiliary system consumption (cabin air conditioning, etc.). This physics-based model calculates the power required at each moment along a route given a speed profile, slope, and environmental conditions, considering the characteristics of a reference EV (mass, aerodynamic coefficient, motor efficiency, regenerative braking, among others).

4. Results

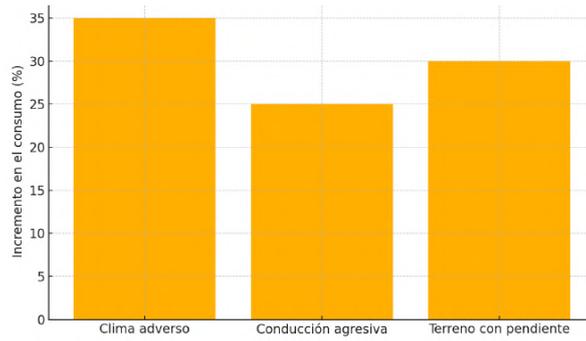


Ilustración 5: Estimated impact of the three factors on energy consumption

The main findings indicate that environmental conditions, driving style, and topography have a significant impact on range. For example, previous research and our results show that very cold climates can reduce range by up to 50% (in our case, we observed a drop to ~54% of nominal range at -15 °C) [2][4].

Similarly, very high ambient temperatures (above 30 °C) reduce efficiency due to air conditioning use and thermal stress on the battery. Aggressive driving style (high speeds and sharp accelerations) significantly increased energy consumption—even more so than in internal combustion vehicles—while smooth driving that anticipates braking (maximizing regeneration) extended range.

Regarding terrain, it was confirmed that routes with pronounced inclines demand much more energy: for example, a moderate 1° slope can nearly double consumption compared to a flat, low-speed route, largely counteracting the benefits of regenerative braking on descents. These combined effects explain the substantial variations between advertised and real-world range under different usage scenarios. [3]

5. Conclusions

In conclusion, the study quantifies the substantial impact that weather conditions, driving style, and terrain topography have on the actual range of electric vehicles.

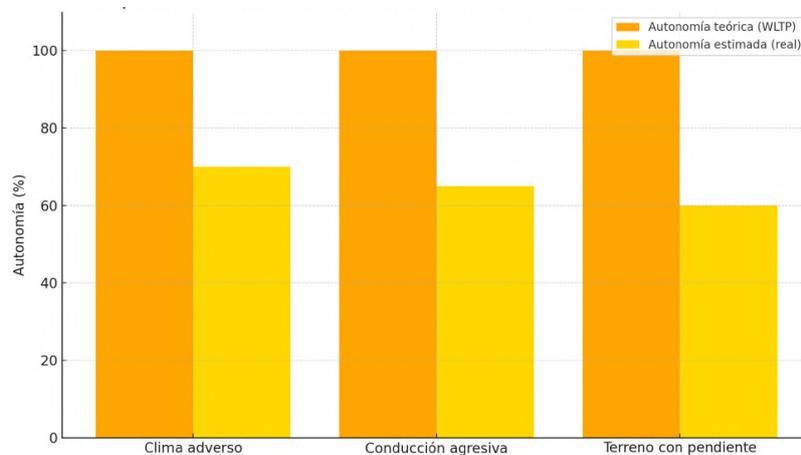


Ilustración 6: Comparison between theoretical vs estimated range in unfavorable conditions

The results highlight the need for users to plan trips considering factors such as weather and route, adjusting their driving habits to minimize surprises in range. For example, it is recommended to moderate highway cruising speeds and anticipate braking to make the most of regenerative braking, storing as much energy as possible in the battery and thus extending range.

For manufacturers, these findings emphasize the importance of improving battery thermal management systems (for example, incorporating heat pumps for efficient heating) and optimizing vehicle efficiency under different scenarios (better aerodynamics, low-resistance tires, etc.). Similarly, implementing smarter real-time range estimation algorithms that account for weather conditions, route elevation profile, and user driving style can help reduce range anxiety by providing drivers with a more accurate prediction of the distance they can travel in each situation.

Overall, this work provides valuable information for EV users and designers, suggesting concrete measures to improve the efficiency and reliability of real-world electric mobility. [3]

6. References

[1] Mao, R. et al. (2023). “Understanding the Determinants of Electric Vehicle Range: A Multi-Dimensional Survey.” Sustainability.

[2] Polat, A. A. et al. (2025). “Analysis of Factors Affecting Electric Vehicle Range Estimation: A Case Study of the Eskisehir Osmangazi University Campus.” Sustainability.

[3] Donkers, A. et al. (2020). “Influence of driving style, infrastructure, weather and traffic on electric vehicle performance.” Transp. Res.

[4] Argue, C. (2023). “To what extent does temperature affect electric vehicle range?” Geotab Blog.

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	- 17 -
<i>Índice de Figuras</i>	- 19 -
<i>Índice de Tablas</i>	- 21 -
<i>Índice de Ecuaciones</i>	- 22 -
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN	- 23 -
1.1. Motivación del Proyecto.....	- 23 -
1.2. Objetivos del proyecto.....	- 27 -
1.3. Contextualización	- 29 -
1.4. Mercado Vehículos Eléctricos en España.....	- 30 -
Capítulo 2. Descripción ciclo de homologación Autonomía VE	- 36 -
2.1. Ciclo WLTP y NEDC:	- 36 -
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	- 40 -
3.1 Movilidad eléctrica en España: panorama actual	- 40 -
3.2 Autonomía homologada vs. autonomía real de los vehículos eléctricos	- 41 -
3.3 Implantación de infraestructuras de carga en España	- 43 -
3.4 Políticas públicas de impulso: Plan MOVES y otras iniciativas	- 46 -
3.5 Comportamiento del mercado y de los usuarios.....	- 49 -
3.6 Eficiencia energética y sostenibilidad de los vehículos eléctricos.....	- 52 -
3.7 Vacíos de investigación y conexión con el TFG	- 55 -
Capítulo 4. Definición del Trabajo	- 58 -
4.1. Movilidad urbana o uso diario del vehículo.....	- 58 -
4.2. Movilidad interurbana o uso en viaje del vehículo.....	- 60 -
4.3. El “Eje Z”	- 63 -
4.3.1. Factores climatológicos:.....	- 64 -
4.3.2. Desnivel en el trayecto:	- 67 -
4.3.3. Estilo de conducción:	- 70 -
4.3.4. Otros factores:	- 73 -
4.4. Metodología y recursos empleados	- 77 -

Capítulo 5. Análisis de resultados	- 82 -
5.1. Autonomía en entornos urbanos (uso diario) vs. WLTP	- 82 -
5.2. Autonomía en entornos interurbanos (viajes por carretera) vs. WLTP	- 84 -
Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones para optimizar rendimiento	- 89 -
6.1. Pre-acondicionamiento de la batería	- 92 -
6.2. Pre-climatización del habitáculo	- 93 -
6.3. Aerodinámica y llantas eficientes	- 95 -
6.4. Estilo de conducción y velocidad eficiente	- 97 -
6.5. Planificación de rutas y gestión de la recarga	- 100 -
Capítulo 7. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	- 103 -
7.1 ODS 7: Energía asequible y no contaminante	- 104 -
7.2 ODS 9: Industria, innovación e infraestructura	- 105 -
7.3 ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles	- 107 -
7.4 ODS 12: Producción y consumo responsables	- 109 -
7.5 ODS 13: Acción por el clima	- 111 -
7.6 Otros ODS relacionados: ODS 3, ODS 8 y ODS 17	- 114 -
Capítulo 8. Bibliografía	- 117 -
ANEXO I: Informe sobre el clima en España en 2024	- 123-

Índice de Figuras

Ilustración 1: Grafico Variación Consumo batería EV, Al variar estos factores durante la conducción.....	- 9 -
Ilustración 2: Impacto estimado de los tres factores sobre el consumo energético	- 10 -
Ilustración 3: Comparativa de autonomía teórica vs estimada en condiciones desfavorables	- 11 -
Ilustración 4: Graph showing EV battery consumption variation as these factors change during driving	- 14 -
Ilustración 5: Estimated impact of the three factors on energy consumption	- 15 -
Ilustración 6: Comparison between theoretical vs estimated range in unfavorable conditions.....	- 15 -
Ilustración 7: Ventas de coches por tipo en el año 2024	- 32 -
Ilustración 8: Previsión ventas de vehículos por tipo par el año 2025	- 33 -
Ilustración 9: Previsión de venta de coches en España por tipo para el año 2030	- 34 -
Ilustración 10: Ciclo WLTP y NEDC, datos de interes.....	- 36 -
Ilustración 11: Ventas de vehículos por tipo en España en el año 2024	- 41 -
Ilustración 12: Imagen punto de recarga rápida típico.	- 44 -
Ilustración 13: Logo Plan MOVES III	- 46 -
Ilustración 14: Emisiones CO2 de un vehículo convencional vs un vehículo eléctrico puro.....	- 54 -
Ilustración 15: Grafica consumo autonomía Tesla, parte verde y menor pendiente gracias a freno regenerativo.....	- 72 -
Ilustración 16: Impacto estimado de los tres factores sobre el consumo energético ..	- 87 -
Ilustración 17: Imagen App Tesla Pre-climatización habitáculo a 20°C.....	- 94 -
Ilustración 18: Vehículo eléctrico con portabicicletas en el techo	- 96 -
Ilustración 19: ODS's, Resaltando en color ODS 7, 9, 11, 12 y 13.	- 103 -

Ilustración 20: Desglose para el sector del transporte, Emisiones brutas CO2 y Otros.
Evolución..... - 104 -

Ilustración 21: Generación total de energía eléctrica. Informe del sistema eléctrico
español por redeia..... - 112 -

Ilustración 22: ODS's 3, 8, y 17, también relacionados con el proyecto. - 114 -

Índice de Tablas

Tabla 1: Países con mas puntos de recarga por cada 100Km recorridos de Europa. .-	24 -
Tabla 2: Vehículos eléctricos ordenados por nº de ventas que cumplen con los criterios del Plan MOVES III.-	31 -
Tabla 3: Comparativa ciclos WLTP y NEDC.-	37 -
Tabla 4: Comparativa Sostenibilidad Vehículo eléctrico vs Vehículo convencional -	52 -
Tabla 5: Desviación de Autonomía Homologada vs. Real por Modelo de Vehículo -	86 -

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: La resistencia aerodinámica.....	- 61 -
Ecuación 2: Resistencia de rodadura de los neumático.....	- 66 -
Ecuación 3: Coeficiente de resistencia a la rodadura.	- 66 -
Ecuación 4: Energía Potencial Gravitatoria.....	- 68 -
Ecuación 5: Energía cinética	- 72 -

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación del Proyecto

La movilidad eléctrica ha emergido como una alternativa sostenible frente a los vehículos de combustión interna, especialmente en un contexto global que exige transiciones energéticas limpias. Sin embargo, la forma en la que tradicionalmente nos hemos transportado mediante vehículos de combustión está profundamente arraigada en la sociedad, y no es fácil ni viable, a priori, un cambio inmediato hacia el vehículo eléctrico (VE).

A pesar de los avances tecnológicos y la conciencia social hacia un mundo más verde y libre de gases de efecto invernadero, factores como el coste inicial, la infraestructura de carga insuficiente y la autonomía limitada siguen representando obstáculos importantes que dificultan esta transición.

En cuanto al coste inicial, es cierto que los vehículos eléctricos aún presentan precios superiores a los de combustión interna. No obstante, este factor se ve mitigado por la subida simultánea del precio de los vehículos de combustión, así como por los incentivos económicos por parte del gobierno.

En España, el Plan MOVES IIIⁱ, que ha sido prorrogado, y el Plan MOVES IVⁱⁱ, que se está preparando para su implementación en 2025 o 2026, ofrecen ayudas para la adquisición de vehículos eléctricos, reduciendo significativamente la inversión inicial. Se trata de un plan de ayudas para la adquisición de vehículos eléctricos de hasta 45.000 euros sin IVA, una gama que representa la mayor parte de la flota de vehículos existente en el mercado.

Además de estas ayudas, los VEs cuentan con ventajas adicionales que contribuyen a amortizar su coste a lo largo del tiempo, como un menor gasto en mantenimiento y el precio más bajo de la electricidad en comparación con los combustibles fósiles, incluso en viajes, donde más caro es el precio de esta. Asimismo, en muchas ciudades, estos vehículos disfrutan de beneficios como el acceso prioritario a zonas de bajas emisiones, estacionamiento gratuito o exenciones fiscales.

Respecto a la infraestructura de carga, esta está experimentando un crecimiento significativo tanto en entornos urbanos como interurbanos. Cada vez es más habitual encontrar estaciones de carga en aparcamientos públicos, centros comerciales, áreas residenciales y la vía pública. Asimismo, se están desplegando cargadores rápidos en autopistas y vías principales, lo cual mejora considerablemente la viabilidad de los desplazamientos largos. Según los datos de la Asociación Europea de Fabricantes de Automóviles (ACEA), España, con 1,6 puntos de carga cada 100 km. Siendo más que suficiente para viajar con la autonomía de los coches eléctricos actuales, que se mostraran más adelante y rondaran los 300km de autonomía reales. Sin embargo, Como podemos ver en la tabla 1, aún nos queda recorrido, ya que sorprendentemente hay cinco países de la UE que poseen más de 10 cargadores por cada 100 km de calles. Puntos de recarga por cada 100 km.iii

País	Puntos recarga /100 km
Países Bajos	64,3
Luxemburgo	57,9
Alemania	25,8
Portugal	24,9
Suecia	12,2
España	1,6

Tabla 1: Países con mas puntos de recarga por cada 100Km recorridos de Europa.

A diferencia de los vehículos de combustión, es necesario conocer toda la información posible sobre el punto de recarga. No es suficiente buscar estaciones de recarga, sino que habrá que verificar su disponibilidad en tiempo real para planificar sus paradas de manera eficiente, asegurando que siempre haya acceso a la energía necesaria durante el trayecto. Esto es posible gracias a Aplicaciones como *Electromaps^{iv}*, o los navegadores implementados en el vehículo eléctrico (como es el caso de Tesla), permitiendo a los usuarios estar más informados, haciendo más eficiente el trayecto.

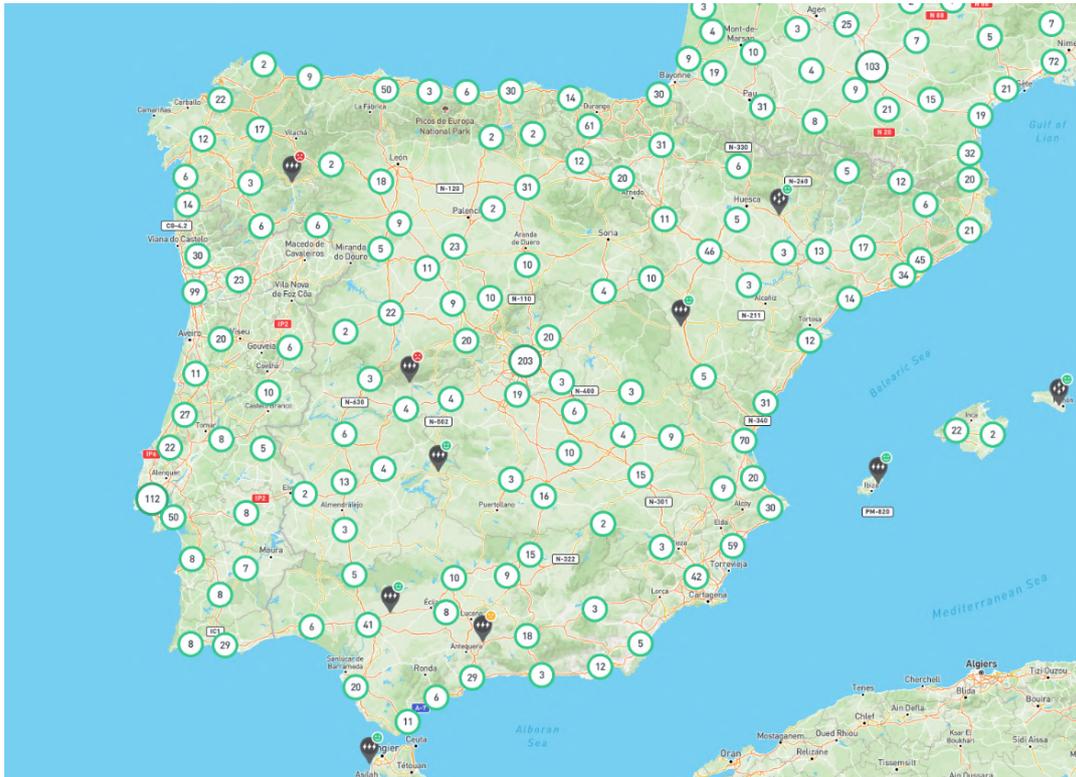


Figura 1. Mapa Cargadores Carga Rápida en España. "Electromaps"

No obstante, el factor clave que sigue generando dudas entre los usuarios es la **autonomía** del vehículo eléctrico. Aunque se han logrado avances notables en la eficiencia y capacidad de las baterías, muchos conductores continúan percibiendo que los VEs no ofrecen la misma flexibilidad que los de combustión. Esta percepción se ve intensificada por la diferencia entre la autonomía homologada, obtenida bajo el ciclo WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure), y la autonomía real que experiment...

Las pruebas WLTP, a pesar de ser más realistas que sus predecesoras, como la anterior NEDC (New European Driving Cycle), siguen llevándose a cabo en condiciones controladas y no representan fielmente el uso real del vehículo. En la práctica, los conductores se enfrentan a condiciones muy variables que afectan directamente al consumo de energía y, por tanto, a la autonomía.

Tradicionalmente, la autonomía de un vehículo eléctrico se representa en un gráfico con los ejes X e Y, donde el eje X indica los kilómetros disponibles y el eje Y el porcentaje de batería. Sin embargo, esta representación no contempla una serie de factores externos que influyen significativamente en la autonomía real del vehículo y que no están reflejados en la autonomía homologada.

Este trabajo introduce el concepto de “Eje Z”, que representa todos aquellos factores externos que no están contemplados en los ejes X e Y pero que, sin embargo, son de vital importancia para determinar la autonomía real de un vehículo eléctrico. Entre ellos destacan principalmente:

- Condiciones climáticas (temperatura, viento, lluvia)
- Orografía (pendientes y desniveles)
- Estilo de conducción (velocidad, uso del freno, aceleraciones bruscas)
- Otros elementos como climatización, iluminación, elección de llantas o degradación de la batería.

Estos serán estudiados en profundidad a lo largo del trabajo y nos permitirán entender por qué la autonomía real suele ser inferior a la teórica. También se abordará la progresiva degradación de la capacidad de la batería, un fenómeno natural que, aunque controlado en la mayoría de los casos, genera incertidumbre entre los consumidores.

La falta de información clara y realista sobre el rendimiento de los vehículos eléctricos en distintos escenarios sigue siendo una barrera importante. Muchos usuarios temen quedarse sin batería en trayectos largos o condiciones adversas, lo que refuerza el escepticismo hacia este tipo de movilidad.

Para superar esta barrera y fomentar la adopción masiva del vehículo eléctrico, es esencial ofrecer al consumidor herramientas que le permitan tomar decisiones informadas. Por ello, este trabajo no solo analizará con detalle el impacto del “Eje Z” sobre la autonomía real, sino que proporcionará recomendaciones prácticas para optimizar el rendimiento del vehículo en función de las condiciones reales de uso.

Tradicionalmente, la autonomía de un vehículo eléctrico se representa en un gráfico con los ejes X e Y, donde el eje X indica los kilómetros disponibles y el eje Y el porcentaje de batería. Sin embargo, esta representación no contempla una serie de factores externos

que influyen significativamente en la autonomía real del vehículo y que no están reflejados en la autonomía homologada.

Este trabajo introduce el concepto de “Eje Z”, que representa todos aquellos factores externos que no están contemplados en la autonomía homologada, ejes X e Y pero que sin embargo, son de vital importancia para determinar la autonomía real de un vehículo eléctrico. Entre ellos destacan principalmente:

- **Condiciones climática** (temperatura, viento, lluvia)
- **Orografía** (pendientes y desniveles)
- **Estilo de conducción** (velocidad, uso del freno, aceleraciones bruscas)
- **Otros elementos** como climatización, iluminación, elección de llantas o degradación de la batería.

Estos serán estudiados en profundidad a lo largo del trabajo y nos permiten entender por qué la autonomía real suele ser inferior a la teórica. También se abordará la progresiva degradación de la capacidad de la batería, un fenómeno natural que, aunque controlado en la mayoría de los casos, genera incertidumbre entre los consumidores.

La falta de información clara y realista sobre el rendimiento de los vehículos eléctricos en distintos escenarios sigue siendo una barrera importante. Muchos usuarios temen quedarse sin batería en trayectos largos o condiciones adversas, lo que refuerza el escepticismo hacia este tipo de movilidad.

Para superar esta barrera y fomentar la adopción masiva del vehículo eléctrico, es esencial ofrecer al consumidor herramientas que le permitan tomar decisiones informadas. Por ello, este trabajo no solo analizará con detalle el impacto del “Eje Z” sobre la autonomía real, sino que proporcionará recomendaciones prácticas y así poder optimizar el rendimiento del vehículo en función de las condiciones reales de uso.

1.2. Objetivos del proyecto

La movilidad eléctrica es una solución clave para reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar los efectos del cambio climático. Sin embargo, para que su adopción sea masiva, es necesario contar con datos reales y contextualizados que

permitan a los usuarios comprender los verdaderos límites y ventajas del vehículo eléctrico.

El objetivo principal de este proyecto es aportar información real y precisa para que los usuarios puedan tomar decisiones a la hora de elegir un vehículo eléctrico en función del uso evaluando su viabilidad.

Para ello se analizara y cuantificara el impacto real de los factores que influyen en la autonomía del vehículo eléctrico agrupados bajo el concepto de “Eje Z”, comparándola con la autonomía homologada (WLTP). Indicando para cada factor del eje Z el porcentaje de variación de batería respecto a la indicada por el fabricante en función en las condiciones adversas más comunes en España.

Por ello, los objetivos específicos del trabajo son los siguientes:

- Comparar la autonomía anunciada por los fabricantes con los valores reales obtenidos en distintas condiciones de conducción, tanto en movilidad urbana como interurbana.
- Evaluar el impacto de los factores que componen el “Eje Z”: condiciones climatológicas, desniveles en el trayecto y estilo de conducción, sobre el consumo energético y la autonomía del vehículo eléctrico.
- Analizar cómo afectan estos factores en los distintos entornos de uso, identificando cuáles son más relevantes en cada tipo de trayecto.
- Proponer recomendaciones prácticas basadas en los resultados obtenidos, orientadas a mejorar la eficiencia, la experiencia del usuario y reducir la ansiedad por la autonomía.
- Brindar herramientas y conocimientos que permitan aumentar la confianza del consumidor en la movilidad eléctrica, facilitando una transición energética justa y sostenible.

Este estudio pretende ser una referencia práctica tanto para usuarios actuales como para aquellos que estén considerando la adquisición de un vehículo eléctrico.

1.3. Contextualización

La elección de los vehículos a analizar en este trabajo se ha realizado con el objetivo de representar de forma fiel la realidad del mercado español. Se ha optado por centrarse en vehículos eléctricos de uso particular y familiar, que son los más comunes y accesibles para la mayoría de los usuarios.

Se excluyen del estudio aquellos vehículos destinados a usos profesionales, como taxis, vehículos de empresa o furgonetas de reparto, ya que su patrón de uso y necesidades de autonomía difieren considerablemente del público general. El enfoque se dirige a conductores particulares que utilizan su vehículo tanto para desplazamientos diarios en ciudad como para trayectos interurbanos ocasionales.

Los criterios de selección incluyen:

- Modelos que cumplan con los requisitos del Plan MOVES III, lo que garantiza que se trata de vehículos económicamente accesibles y subvencionables para el usuario medio.
- Vehículos representativos de diferentes gamas y categorías, desde utilitarios hasta modelos compactos y SUV eléctricos, lo que permite un análisis transversal y comparativo.
- Acceso a datos contrastados y verificables sobre autonomía real, a través de estudios técnicos, informes de usuarios y ensayos independientes publicados.

Este enfoque permitirá que las conclusiones del proyecto tengan una aplicación práctica directa, al estar basadas en situaciones y condiciones que el usuario promedio puede enfrentar. Además, se pretende contribuir al desarrollo de buenas prácticas y recomendaciones útiles para mejorar el conocimiento general sobre el uso eficiente de los vehículos eléctricos.

1.4. Mercado Vehículos Eléctricos en España

En este Trabajo Fin de Grado se analizarán algunos de los vehículos eléctricos más representativos del mercado español actual, con especial atención a aquellos modelos que destacan por su equilibrio entre precio, autonomía y características técnicas. Se ha seleccionado una muestra de los modelos más vendidos que, además, cumplen con los requisitos del Plan MOVES III, lo cual los convierte en opciones viables para una gran parte de los consumidores. Esta comparativa servirá como base para evaluar el comportamiento real de estos vehículos frente a sus cifras homologadas, así como para estudiar su idoneidad en diferentes condiciones de uso. A continuación, se presenta una tabla con los principales modelos seleccionados con un precio máximo de 45.000 euros antes de IVA, lo que equivale a 54.450 euros con IVA incluido.

Modelo	Autonomía (km)	PVP base (€)	Ventas en España (uds)(2024)	Características destacadas
Tesla Model 3	Hasta 491	39.990 €	11.031	Berlina con tecnología avanzada y alto rendimiento.
Tesla Model Y	Hasta 455	44.990 €	5.495	SUV mediano amplio espacio y tecnología avanzada.
MG4	Hasta 520	26.230 €	2.667	Gran autonomía a bajo precio.
Volvo EX30	Hasta 500	39.000 €	2.355	SUV compacto con diseño escandinavo y tecnología avanzada.
BMW iX1	Hasta 440	40.600 €	1.792	SUV compacto premium con prestaciones destacadas.
Mercedes-Benz EQA	Hasta 426	49.900 €	1.645	SUV compacto de lujo con tecnología de última generación.
BYD Atto 3	Hasta 420	39.990 €	1.232	SUV con buen equipamiento, tecnología y diseño.
BYD Dolphin	Hasta 427	29.990 €	1.154	Compacto moderno, eficiente y buen precio.
Citroën ë-C4	Hasta 357	37.590 €	1.114	Diseño distintivo y confortable.
Kia e-Niro	Hasta 455	36.485 €	1.090	SUV atractivo y funcional.

Renault ZOE	Hasta 395	32.000 €	1.056	Versátil y con buena autonomía.
Fiat 500e	Hasta 320	24.900 €	1.022	Diseño icónico con tecnología moderna.
Peugeot e-208	Hasta 340	31.850 €	1.015	Utilitario moderno y ágil.
Volkswagen ID.3	Hasta 426	37.470 €	980	Tecnología avanzada y diseño innovador.
Hyundai Kona Eléctrico	Hasta 484	35.850 €	950	SUV compacto y eficiente.
Opel Corsa-e	Hasta 337	31.200 €	920	Compacto con buen equipamiento y eficiencia.
MG ZS EV	Hasta 440	30.690 €	890	SUV asequible y bien equipado.
Peugeot e-2008	Hasta 406	30.566 €	870	SUV eléctrico compacto y equilibrado.
Mazda MX-30	Hasta 200	39.600 €	850	Diseño elegante y enfoque sostenible.
BMW i3	Hasta 310	40.600 €	830	Diseño vanguardista y sostenible.

Tabla 2: Vehículos eléctricos ordenados por nº de ventas que cumplen con los criterios del Plan MOVES III.

En los últimos años, el mercado automovilístico en España ha experimentado una transformación significativa, reflejada en la evolución de las ventas de vehículos eléctricos (VE), híbridos enchufables (PHEV) y de combustión interna (gasolina y diésel). A continuación, se presenta un análisis comparativo de estas categorías y su evolución reciente: ^v

En el año 2024 las ventas se distribuyeron de la siguiente manera:

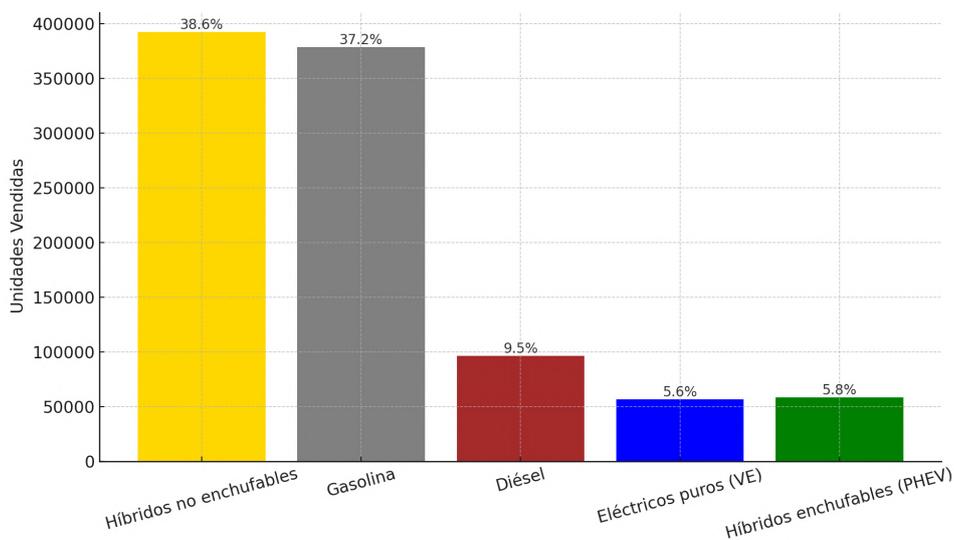


Ilustración 7: Ventas de coches por tipo en el año 2024

Vehículos híbridos (no enchufables): Lideraron el mercado con 392.365 unidades vendidas, representando el 38,6% del total de matriculaciones. Este hito marcó la primera vez que las ventas de híbridos superaron a las de vehículos de gasolina, que alcanzaron el 37,2% del mercado.^{vi}

Vehículos de gasolina: Registraron una cuota de mercado del 37,2%, evidenciando una disminución en comparación con años anteriores.^{vii}

Vehículos diésel: Continuaron su tendencia a la baja, representando solo el 9,5% del mercado con 96.380 unidades vendidas, lo que supuso una caída del 19% respecto al año anterior.^{viii}

Vehículos eléctricos puros (VE): Alcanzaron una cuota de mercado del 5,6%, con 58.558 unidades matriculadas, reflejando un crecimiento en comparación con años anteriores, pero aún por debajo de otras tecnologías.

Vehículos híbridos enchufables (PHEV): Representaron el 5,8% del mercado, con una ligera disminución del 5,8% en ventas, totalizando 58.558 unidades.^{ix}

Si analizamos la evolución de ventas de los últimos años observamos,

Incremento de vehículos electrificados: En febrero de 2025, las ventas de vehículos electrificados (VE y PHEV) aumentaron un 38,8% respecto al mismo mes del año anterior, alcanzando una cuota de mercado del 13%. Este crecimiento refleja un interés creciente en tecnologías más sostenibles.^x

Comparativa con vehículos diésel: Durante el primer semestre de 2024, la cuota de mercado de vehículos nuevos enchufables (VE y PHEV) superó por primera vez a la del diésel, con un 10,4% frente al 10,3%, respectivamente. Este cambio subraya la disminución en la preferencia por vehículos diésel y el auge de alternativas electrificadas.^{xi}

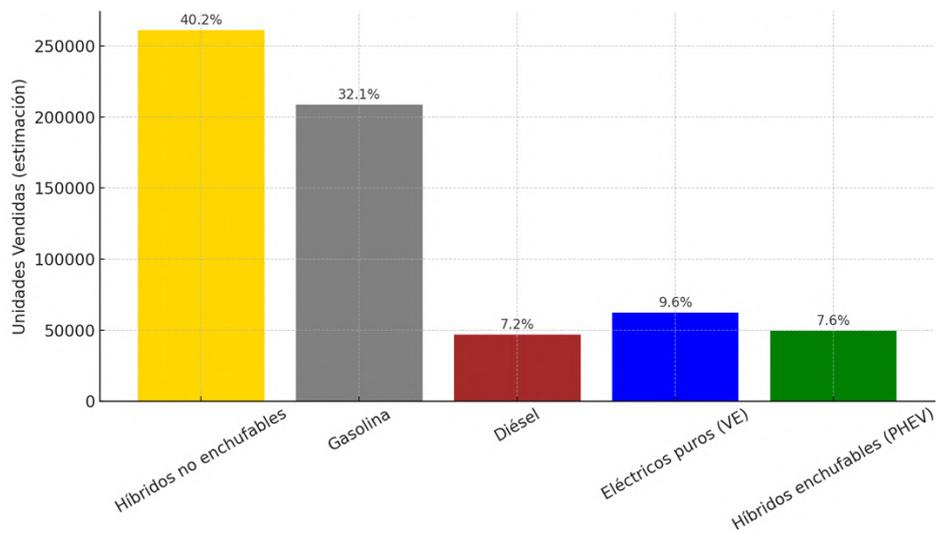


Ilustración 8: Previsión ventas de vehículos por tipo par el año 2025

Vehículos eléctricos puros (VE): Se espera que representen el 9,6% de las matriculaciones, con aproximadamente 62.435 unidades vendidas.^{xii}

Vehículos híbridos enchufables (PHEV): Se prevé que alcancen una cuota del 7,6%.^{xiii}

Vehículos híbridos no enchufables: Se estima que liderarán el mercado con una cuota del 40,2%.^{xiv}

Vehículos de gasolina: Se proyecta una disminución en su cuota de mercado al 32,1%.^{xv}

Vehículos diésel: Se anticipa que representen solo el 7,2% de las matriculaciones.^{xvi}

Finalmente, para el año **2030**, las estimaciones por parte del prestigioso diario de Movilidad eléctrica son las siguientes:

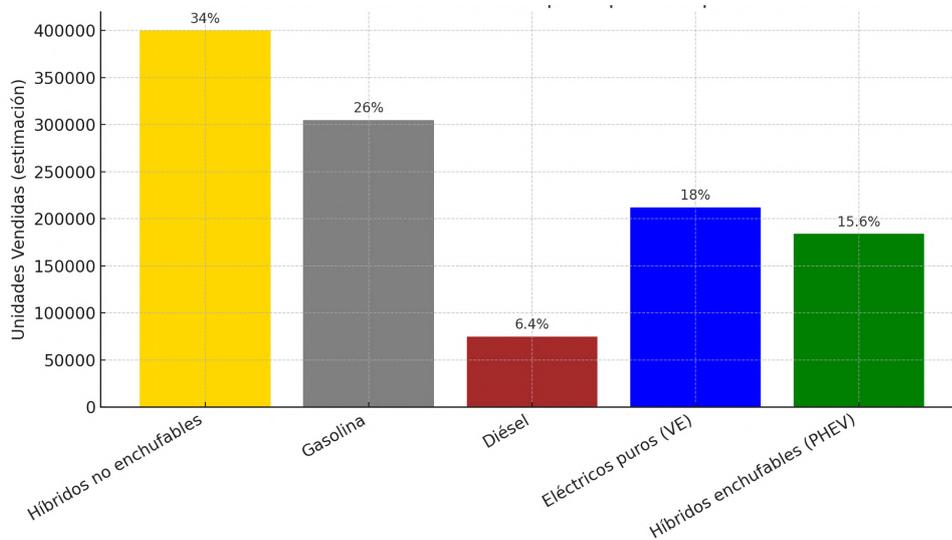


Ilustración 9: Previsión de venta de coches en España por tipo para el año 2030

Vehículos electrificados (VE y PHEV): Las previsiones indican que alcanzarán una cuota combinada del 33,6% del mercado.^{xvii}

Parque de vehículos eléctricos: El objetivo es que en Europa se llegará a las 9.4 millones de unidades para 2030, lo que supondrá hacerse con el 60% de cuota de mercado.^{xviii} Sin embargo, es posible que en España esta cuota de mercado abarcada por los coches eléctricos sea algo menor, aunque esperamos una brecha no tan grande como la actual en comparación con Europa, con los datos disponibles y trayectoria esperada.

El mercado español muestra una clara tendencia hacia la electrificación y la adopción de tecnologías más limpias. Aunque los vehículos eléctricos puros aún representan una proporción modesta del total de ventas, su crecimiento constante indica una aceptación creciente por parte de los consumidores. Los híbridos, especialmente los no enchufables, han logrado consolidarse como una opción intermedia atractiva, superando en ventas a los vehículos de gasolina.^{xix}

Sin embargo, España aún se encuentra rezagada en comparación con otros países europeos en términos de adopción de vehículos eléctricos. Factores como el precio de adquisición, la infraestructura de recarga y las políticas de incentivos influirán en la aceleración de esta transición en los próximos años.

Las previsiones para 2025 y 2030 muestran un crecimiento sostenido en la adopción de vehículos eléctricos y electrificados en España. Aunque los vehículos eléctricos puros aún representan una proporción modesta del total de ventas, su crecimiento constante indica una aceptación creciente por parte de los consumidores. Los híbridos, especialmente los no enchufables, han logrado consolidarse como una opción intermedia atractiva, superando en ventas a los vehículos de gasolina.

En resumen, aunque el número de vehículos eléctricos en España aún es relativamente bajo, las previsiones apuntan hacia un crecimiento sostenido y una transformación progresiva del parque automovilístico nacional hacia opciones más sostenibles.

Capítulo 2. Descripción ciclo de homologación Autonomía VE

2.1. Ciclo WLTP y NEDC:

El ciclo **WLTP**^{xx} (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) es el protocolo internacional actualmente utilizado para la homologación del consumo energético, las emisiones contaminantes y, en el caso de los vehículos eléctricos (VE), la autonomía. Sustituyó al anterior ciclo **NEDC** (New European Driving Cycle), que había quedado obsoleto desde 2019 por sus condiciones poco realistas y su falta de representatividad del uso cotidiano de los vehículos.

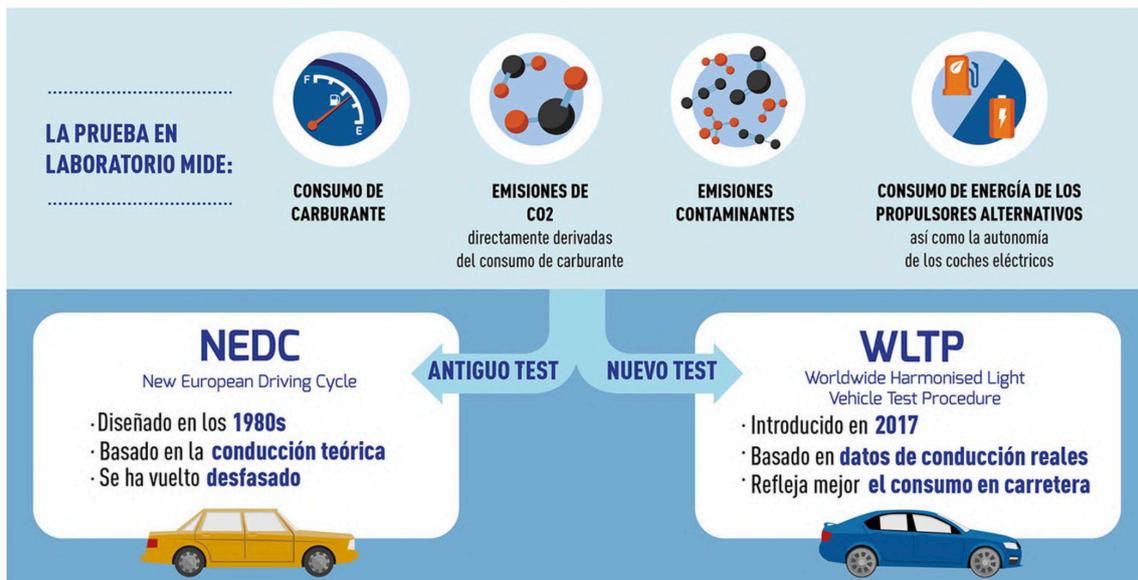


Ilustración 10: Ciclo WLTP y NEDC, datos de interés

La principal diferencia entre ambos radica en que el WLTP refleja de forma mucho más realista las condiciones actuales de conducción, mientras que el NEDC estaba basado en patrones de conducción de los años 80.

A continuación, se detallan las diferencias más relevantes:

Aspecto	NEDC	WLTP
Duración de la prueba	20 minutos	30 minutos
Distancia recorrida	11 km	23,25 km
Velocidad media	34 km/h	46,6 km/h
Velocidad máxima	120 km/h	131 km/h
Fases de conducción	2 (urbano y extraurbano)	4 (baja, media, alta y muy alta velocidad)
Perfil de conducción	Suave y lineal	Más dinámico, con aceleraciones y frenadas reales
Equipamiento del vehículo	Versión básica, sin extras	Considera el peso y efecto de equipamiento opcional
Temperatura ambiente	20–30 °C, no especificado	Especificado: 23 °C en promedio
Tipo de conducción	Idealizada, sin variaciones	Basada en datos reales de usuarios

Tabla 3: Comparativa ciclos WLTP y NEDC.

El WLTP se diseñó con el objetivo de proporcionar datos más fiables y ajustados al uso real de los automóviles, utilizando perfiles de conducción obtenidos a partir de estadísticas globales de usuarios. Entre sus principales características se encuentran una duración aproximada de 30 minutos, un recorrido simulado de 23,25 km dividido en cuatro fases (baja, media, alta y muy alta velocidad), una velocidad media de 46,6 km/h, y condiciones más dinámicas de aceleración y frenada que en el ciclo anterior. Además, incluye ciertos elementos opcionales del vehículo para simular versiones más equipadas.

Para la homologación de autonomía en vehículos eléctricos, el WLTP mide la distancia que un vehículo puede recorrer con una carga completa de batería bajo estas condiciones controladas. La prueba se realiza sobre un banco de rodillos, en un entorno cerrado, con una temperatura ambiente entre 20 y 30 °C, sin tráfico ni pendientes, y con un estilo de conducción preestablecido. Aunque este enfoque permite la estandarización, no contempla variables que afectan directamente al uso real, como el viento, la lluvia, el uso del sistema de climatización, o la topografía del terreno.

A pesar de representar una mejora considerable respecto al NEDC, el ciclo WLTP sigue presentando limitaciones importantes a la hora de reflejar la autonomía real de un vehículo eléctrico. Las cifras obtenidas en laboratorio, si bien son útiles para comparar

distintos modelos, no reproducen fielmente las condiciones a las que se enfrenta un conductor en su día a día. En el uso real, influyen de manera determinante factores como:

- La **temperatura exterior** (especialmente el frío, que reduce la eficiencia de la batería y obliga a utilizar calefacción).
- El **perfil topográfico del trayecto** (pendientes prolongadas o zonas montañosas).
- El **tráfico urbano** con paradas y arranques constantes.
- El **estilo de conducción** (conducción agresiva, velocidad elevada o frenadas bruscas).
- El **envejecimiento y la degradación natural de la batería** con el tiempo.

Como consecuencia, la diferencia entre la autonomía homologada WLTP y la autonomía real puede ser significativa. Según pruebas realizadas por organismos como el ADAC (Automóvil Club Alemán) y medios como *El Confidencial*, así como datos proporcionados por plataformas como *EV Database* o *InsideEVs*, la autonomía real suele estar entre un 20 % y un 30 % por debajo de la anunciada bajo el ciclo WLTP. En condiciones adversas, como temperaturas invernales o conducción a alta velocidad, estas diferencias pueden ser aún mayores.

Por ejemplo, en una prueba de invierno realizada con 24 modelos diferentes de coches eléctricos^{xxi}, se constató una reducción media del 30 % respecto a la autonomía homologada. Asimismo, en condiciones de lluvia y viento, el consumo energético aumenta considerablemente, reduciendo la autonomía más de un 20 %. Estos datos evidencian que, aunque el ciclo WLTP proporciona una base de comparación más realista que la antigua normativa, no debe considerarse como una estimación precisa de la autonomía diaria del vehículo.

Por ello, es importante que el consumidor no interprete la autonomía WLTP como una cifra garantizada, sino como un valor orientativo que puede verse afectado por múltiples variables. La comprensión de estas diferencias y el acceso a información sobre autonomía real en condiciones cotidianas son claves para generar confianza en la movilidad eléctrica y evitar falsas expectativas. Además, refuerzan la necesidad de avanzar hacia una

transparencia mayor por parte de fabricantes y organismos reguladores, así como hacia herramientas de simulación más precisas para el usuario.

En conclusión, la homologación WLTP ha supuesto un avance positivo para estandarizar las mediciones de autonomía y consumo energético en vehículos eléctricos. No obstante, aún persiste una distancia importante entre las cifras de laboratorio y la experiencia real del usuario, lo que evidencia la necesidad de complementarlas con análisis en condiciones reales y criterios adaptados a la variabilidad del entorno.

Capítulo 3. Estado de la Cuestión

3.1 Movilidad eléctrica en España: panorama actual

En los últimos años, España ha experimentado un crecimiento notable pero moderado en la adopción de vehículos eléctricos (VE). A nivel europeo, los VE puros (BEV) e híbridos enchufables (PHEV) representan alrededor del 3% del parque móvil de turismos, mientras que en España apenas suponen el 1,4%^{xxii}. En cuanto a matriculaciones, 2023 marcó un avance significativo: se vendieron 124.628 vehículos electrificados (sumando BEV y PHEV), un 47% más que en 2022, alcanzando aproximadamente el 11% de las ventas de coches nuevos ese año. No obstante, esta penetración sigue rezagada frente a la media europea (22,3% de vehículos electrificados)^{xxiii}. De hecho, en el primer trimestre de 2024 los BEV fueron solo el 4,6% de los coches vendidos en España (unas 11.500 unidades), porcentaje más cercano al de países como Grecia o Bulgaria que al de mercados líderes como Francia o Alemania^{xxiv}.

Estos datos ponen de manifiesto un progreso *lento pero constante*. Cada trimestre, el *Barómetro de Electromovilidad* de ANFAC evalúa el grado de avance en España en comparación con otros países. En el último informe de 2023, España mejoró su índice global hasta 14,1 puntos sobre 100, pero la media europea alcanzó 27,4 puntos. En infraestructura de carga, España obtuvo apenas 6,7/100 puntos, muy lejos de la media europea de 14,4. Países líderes como Países Bajos y Noruega alcanzan 71,1 y 60,4 puntos respectivamente^{xxv}, lo que evidencia el amplio margen de mejora. Con todo, por primera vez se empiezan a ver hitos importantes: en la primera mitad de 2024 las ventas de coches enchufables (BEV+PHEV) superaron a las de diésel en España, un punto de inflexión simbólico hacia la electrificación como se muestra en la figura.

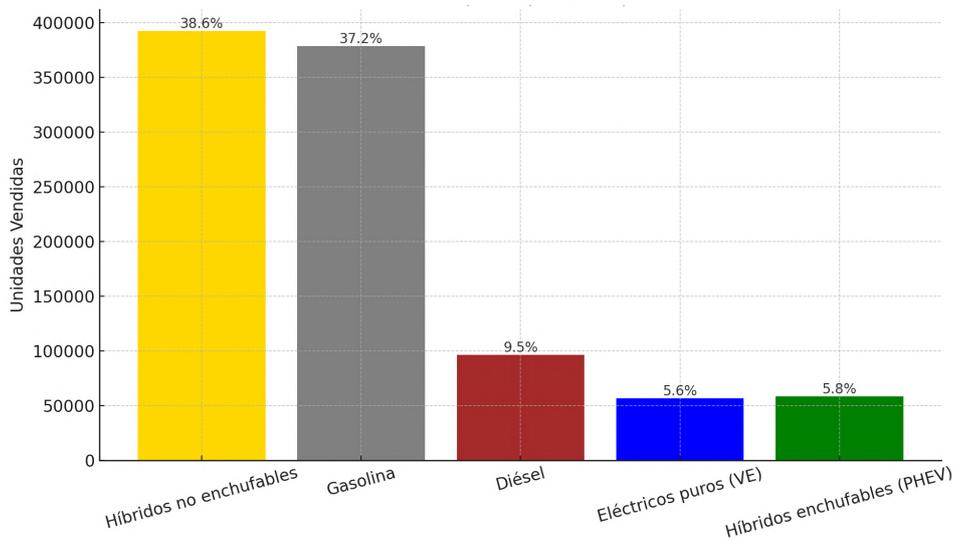


Ilustración 11: Ventas de vehículos por tipo en España en el año 2024

España se ha marcado objetivos ambiciosos de cara a 2030: llegar a 5,5 millones de vehículos eléctricos circulando para esa fecha. A corto plazo, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) proyectaba hitos intermedios, como 540.000 vehículos eléctricos para 2025. Según el *IV Informe sobre Movilidad Eléctrica 2024* (OBS Business School), ya se ha alcanzado cerca del 99% de ese objetivo de 540.000 VEs, pero dicha cifra representa solo alrededor del 10% de la meta para 2030, lo que indica que el grueso del crecimiento aún está por venir^{xxvi}. Además, persisten desigualdades regionales: las comunidades de Madrid, Cataluña, Baleares, Canarias y País Vasco lideran la adopción de VEs, mientras que Extremadura, Castilla y León, Ceuta-Melilla o Galicia están a la cola. Estas disparidades sugieren que factores socioeconómicos y de infraestructura locales influyen en el ritmo de electrificación según la región.

3.2 Autonomía homologada vs. autonomía real de los vehículos eléctricos

Uno de los debates técnicos y prácticos más relevantes en torno a los VEs es la diferencia entre la *autonomía homologada* (la que anuncian los fabricantes según ensayos estandarizados) y la *autonomía real* que los usuarios obtienen en condiciones cotidianas.

Históricamente, los ciclos de homologación europeos tendían a ser optimistas. El antiguo ciclo NEDC llegó a sobreestimar la eficiencia hasta en un 40% en sus últimos años de vigencia, lo que motivó su reemplazo por el protocolo WLTP en 2018^{xxvii}. El WLTP, con perfiles de conducción más exigentes, redujo sustancialmente ese optimismo: estudios iniciales encontraron que la cifra de autonomía WLTP solo se desviaba ~23% del consumo real medido, frente a desviaciones cercanas al 50% que habría arrojado el NEDC^{xxviii}. Sin embargo, aún persiste una brecha importante.

Pruebas independientes en uso real revelan que *ningún* modelo alcanza exactamente su alcance WLTP en carretera, y en muchos casos la autonomía real es entre un 20% y un 30% inferior a la oficial. Por ejemplo, en una comparativa de 20 modelos realizada por una organización de consumidores, un Volkswagen ID.4 GTX (homologado con 467 km WLTP) logró aproximadamente 311 km reales, un 33,4% menos. De manera similar, un Tesla Model Y Long Range rindió ~371 km frente a 507 km oficiales (~26% menos). Incluso modelos conocidos por su eficiencia presentan ligeras desviaciones: el Hyundai Kona EV de 64 kWh, uno de los mejores, obtuvo 436 km reales vs. 484 km WLTP (apenas un 9,9% por debajo)^{xxix}. Estos resultados confirman que, si bien el WLTP proporciona una base de comparación más realista que su predecesor, sigue existiendo un margen de optimismo del orden del 10-30% según el vehículo y las condiciones.

Las causas de estas discrepancias son variadas. Los ensayos WLTP se realizan en laboratorio siguiendo un perfil mixto de conducción, pero factores del mundo real como la velocidad sostenida en autopista, la climatización, el estilo de conducción o la topografía pueden elevar el consumo energético. En particular, la temperatura ambiental juega un papel crítico: el rendimiento de las baterías de iones de litio se resiente con el frío intenso, que puede restar una parte considerable de autonomía respecto a condiciones templadas. Por ejemplo, una misma batería ofrecerá menos kilómetros en invierno que en verano, algo que las homologaciones no reflejan completamente. Por otro lado, los vehículos eléctricos actuales suelen incluir modos de conducción que optimizan el consumo y sistemas de frenada regenerativa; aun así, en usos exigentes (alta velocidad, climas adversos, carga completa de pasajeros o equipaje) es habitual no alcanzar la cifra oficial.

Como referencia de *contexto internacional*, Estados Unidos emplea un ciclo de homologación (EPA) aún más riguroso que el europeo. Las autonomías certificadas por la EPA suelen ser al menos un 10% inferiores a las WLTP europeas para un mismo vehículo. Esto se comprueba, por ejemplo, con modelos vendidos en ambos mercados: un Audi e-tron GT homologa 487 km WLTP pero 382 km según la EPA, y casos similares se observan con BMW i4, Ford Mustang Mach-E, Kia EV6, etc., siempre con cifras más conservadoras en EE.UU.^{xxx}. Esta “cura de realismo” del ciclo americano –que incluso aplica un coeficiente corrector del 30% tras agotar la batería en pruebas combinadas de ciudad y autopista busca aproximar la autonomía publicada a la realidad que experimentará el conductor promedio. En Europa, por el contrario, sigue habiendo cierto exceso de optimismo en la medición, que lejos de fomentar la compra podría causar frustración si el usuario no alcanza las prestaciones esperadas.

En síntesis, la autonomía real vs. homologada continúa siendo un reto: aunque las tecnologías de batería y gestión han mejorado (permitiendo mayores autonomías y cargas más rápidas en los últimos modelos)^{xxxi}, la *ansiedad de autonomía* no desaparece completamente. Los consumidores deben considerar que la cifra WLTP es orientativa y lograda en condiciones ideales; una perspectiva realista –y la expansión de la red de carga, como veremos– es clave para alentar la confianza en los vehículos eléctricos.

3.3 Implantación de infraestructuras de carga en España

El despliegue de infraestructuras de recarga es un pilar fundamental para la movilidad eléctrica, y en España ha avanzado de forma significativa, aunque por detrás de lo necesario. Según ANFAC, a 31 de diciembre de 2023 había 29.301 puntos de recarga públicos operativos en el país. Solo en 2023 se instalaron 11.173 nuevos puntos, el mayor crecimiento anual hasta la fecha. Pese a ello, el objetivo del PNIEC y de la iniciativa europea *Fit for 55* para 2023 era superior (se estimaba que debían alcanzarse unos 45.000 puntos para esa fecha como paso intermedio hacia las metas de 2030) Es decir, el volumen actual de puntos de carga está muy por debajo de la trayectoria necesaria para cumplir las

metas climáticas: con 29.000, apenas se ha logrado ~65% del objetivo previsto para 2023^{xxxii}. El *IV Informe Movilidad Eléctrica 2024* subraya que, aunque en el último año España aceleró la instalación de cargadores, sigue lejos de los 340.000 puntos públicos estimados como requeridos para 2030. De hecho, para alcanzar esa cifra en los próximos años haría falta mantener un ritmo exponencial de despliegue.



Ilustración 12: Imagen punto de recarga rápida típico.

Ahora bien, en la actualidad la infraestructura existente es suficiente para la flota eléctrica circulante, al menos en promedio. Se calcula que solo se utiliza alrededor del 6,3% de la capacidad total de los cargadores públicos disponibles. Dicho de otro modo, los puntos de recarga están, por ahora, holgados en relación al número de VEs en circulación. En España hay aproximadamente 15 vehículos eléctricos por cada cargador público, mejorando desde la proporción de 20:1 que había el año anterior. Esta razón (15 VE/cargador) ya supera el objetivo a corto plazo recomendado por la UE e incluso es comparable a países avanzados en electromovilidad. Asimismo, la potencia media disponible por vehículo ha subido a 1,4 kW en 2023, ligeramente por encima de la media europea (1,2 kW)^{xxxiii}. Esto indica que no solo crecen los puntos de carga en número, sino también en calidad: se instalan más cargadores semi-rápidos y rápidos. De hecho, el año

2023 cerró con 827 nuevos cargadores ultrarrápidos (>150 kW) operativos en España, un salto importante en capacidad de carga de alta potencia.

Sin embargo, estos promedios nacionales ocultan desequilibrios y carencias relevantes. En primer lugar, la distribución geográfica de los cargadores no es homogénea. Las principales autovías y áreas metropolitanas concentran la mayoría de las estaciones, mientras que las zonas rurales y periféricas siguen infra atendidas. Esta brecha rural-urbana crea inseguridad en desplazamientos de larga distancia por ciertas regiones, y requiere planes específicos para fomentar puntos de carga en comarcas menos pobladas. Otro déficit importante es la infraestructura para vehículos pesados: actualmente no existen puntos de carga públicos dedicados específicamente a camiones o autobuses eléctricos en España^{xxxiv}. Dada la incipiente electrificación del transporte de mercancías, esto anticipa un desafío futuro para la descarbonización de la logística de larga distancia.

También existen barreras administrativas y operativas en el despliegue. Asociaciones del sector señalan que instalar una nueva “electrolinera” puede tardar entre 24 y 36 meses en España, debido a la complejidad de permisos, licencias de obra, conexión a red, etc. Este plazo supera con creces al de otros países europeos como Francia, Bélgica o Italia, donde los trámites son más ágiles. La burocracia lenta dificulta que los puntos de carga crezcan al ritmo de la demanda potencial. Adicionalmente, se cuestiona la falta de interoperabilidad plena en la red de recarga pública española. Al no haber un sistema unificado de acceso y pago, los usuarios deben a veces registrarse en múltiples operadores y se enfrentan a tarifas variables. Como resultado, el coste de la carga pública en España puede ser más elevado que en otros países del entorno, a pesar de que el coste energético base (€/kWh) es aquí inferior. Mejorar la interoperabilidad (por ejemplo, mediante plataformas integradoras o exigencias regulatorias de roaming entre operadores) es clave para reducir fricciones y costos para el usuario final.

En resumen, la infraestructura de carga en España está en expansión acelerada pero todavía insuficiente. Los datos indican capacidad sobrada a día de hoy, pero cuellos de botella administrativos y la necesidad de planificar con visión de futuro. Para dar confianza a los conductores y cumplir los objetivos climáticos, será necesario no solo aumentar exponencialmente el número de cargadores, sino también garantizar su

fiabilidad, ubicuidad y rapidez de uso. Este aspecto está estrechamente ligado a las políticas públicas de apoyo, como se desarrolla a continuación.

3.4 Políticas públicas de impulso: Plan MOVES y otras iniciativas

El Gobierno de España, en línea con la estrategia de la UE, ha desplegado en los últimos años varios programas de incentivos públicos para estimular la movilidad eléctrica. El principal es el Plan MOVES (Movilidad Eficiente y Sostenible), que en sus distintas ediciones ha ofrecido subvenciones directas tanto para la compra de vehículos eléctricos como para la instalación de puntos de recarga. La actual edición, MOVES III, se lanzó en 2021 con un presupuesto inicial de 400 millones de euros, ampliable por las CCAA según demanda. Las ayudas del MOVES III alcanzan, por ejemplo, hasta 7.000 € por la compra de un turismo eléctrico (siempre que se achatarre un vehículo viejo) y hasta el 70% del coste de un cargador doméstico o comunitario. Estas subvenciones están cofinanciadas con fondos europeos (a través del Plan de Recuperación) y gestionadas por las Comunidades Autónomas en coordinación con el IDEA.



Ilustración 13: Logo Plan MOVES III

El Plan MOVES III^{xxxv} ha sido prorrogado y fortalecido recientemente. En abril de 2025 se aprobó extender su vigencia hasta final de año (31/12/2025), sumando 400 millones de € adicionales. Con esta ampliación, los fondos totales asignados a MOVES III alcanzan los 1.735 millones de €, frente a los 400 M€ iniciales. Además, el Gobierno reintrodujo un incentivo fiscal del 15% en el IRPF para la compra de VE o instalación de cargador (deducción aplicable en la renta), buscando implicar también al Ministerio de Hacienda en los estímulos a la electrificación. Junto a MOVES, existen programas complementarios: *MOVES Flotas* (para la electrificación de flotas comerciales), *MOVES Singulares* (proyectos innovadores en movilidad sostenible), los corredores de recarga para larga distancia, etc., que suman otros 1.000 millones en conjunto. Asimismo, el PERTE VEC (Vehículo Eléctrico y Conectado) moviliza 5.000 millones de € enfocados a desarrollar la cadena industrial (fabricación de baterías, vehículos, componentes, etc.). Este entramado de planes refleja una apuesta pública por abordar tanto el estímulo a la demanda como el desarrollo de oferta y tecnología.

Los resultados hasta la fecha, en términos cuantitativos, son apreciables. Según datos oficiales, MOVES III (2021-2025) ha cofinanciado la adquisición de más de 142.000 vehículos eléctricos y la instalación de más de 113.000 puntos de recarga en todo el país. Estas cifras incluyen solicitudes de particulares, empresas y administraciones. Cabe mencionar que una parte importante de los puntos de recarga subvencionados son de acceso privado (domicilios, parkings de empresa), por lo que el impacto en la red pública es menor al número bruto; aun así, han contribuido a un despliegue de infraestructura notable.

A pesar de estos avances, persisten críticas y retos en la implementación de las políticas. Varios analistas señalan que en España “*no se ha hecho una apuesta de país*” lo suficientemente contundente en comparación con otros estados pioneros^{xxxvi}. Por ejemplo, países como Noruega, Suecia o los Países Bajos complementaron las ayudas directas con exenciones fiscales masivas, ventajas en circulación y estacionamiento, campañas de concienciación y una simplificación enorme de trámites. En España, las ayudas del MOVES han sido útiles, pero no exentas de problemas operativos. Uno de los más mencionados es la lentitud en la gestión y pago de las ayudas: al ser tramitadas por

cada comunidad autónoma, muchos beneficiarios experimentan esperas muy largas para recibir el dinero. Se ha reportado que en algunos casos se tarda hasta 2 años en cobrar la subvención aprobada, lo cual desincentiva a potenciales compradores (especialmente a particulares con menor liquidez). También ha habido quejas sobre la burocracia para solicitar las ayudas, la incertidumbre sobre los fondos disponibles en cada región, e incluso criterios cambiantes entre convocatorias.

Otro punto de mejora es la coordinación y continuidad de las políticas. Hasta ahora, los planes de ayuda se han ido renovando periódicamente (MOVELE, MOVES I, II, III, etc.), a veces con breves lapsos sin ayudas entre ediciones, lo que creaba altibajos en las ventas (muchos compradores retrasaban la decisión hasta la siguiente convocatoria). La prórroga del MOVES III hasta 2025 busca dar estabilidad, pero de cara al futuro se discute la conveniencia de establecer incentivos más *estructurales* y menos dependientes de convocatorias anuales. Por ejemplo, reformas fiscales permanentes: facilitar que las empresas deduzcan el 100% del IVA de los VE, reducir impuestos de matriculación o circulación para eléctricos, zonas de bajas emisiones que prioricen VE, etc. De hecho, ANFAC ha solicitado medidas fiscales adicionales para estimular la renovación de flotas corporativas, dado que las empresas compran casi la mitad de los turismos electrificados en España. La evidencia sugiere que sin un empuje extra, el mercado privado tardará en despegar al ritmo requerido.

En síntesis, las políticas públicas en España han sentado las bases para la movilidad eléctrica mediante incentivos económicos y regulatorios, pero su efectividad aún puede mejorarse. La experiencia internacional indica que combinar ayudas directas ágiles, ventajas fiscales, inversión en infraestructura y campañas educativas produce los mejores resultados. El caso español muestra un compromiso financiero relevante (más de 2.700 M€ en incentivos hasta 2025^{xxxvii}) pero con desafíos en la ejecución. La continuidad y optimización de estos programas será crucial para cerrar la brecha que nos separa de los países líderes en electromovilidad.

3.5 Comportamiento del mercado y de los usuarios

El mercado automovilístico español se encuentra en una etapa de transición, donde coexisten un interés creciente por los vehículos eléctricos y, a la vez, ciertas reticencias por parte de los consumidores. Como ya se mencionó, las cifras de ventas muestran un crecimiento rápido en términos porcentuales, pero desde una base baja. En 2023, aproximadamente 1 de cada 9 coches nuevos en España fue electrificado (11% del total), mientras que en Europa la proporción fue 1 de cada 5^{xxxviii}. Para entender este fenómeno, es importante analizar el comportamiento de los distintos segmentos de compradores, así como las barreras percibidas para la adopción.

Un rasgo distintivo del mercado español es el peso del canal empresarial en las compras de eléctricos. Más del 50% de los VEs matriculados en 2023 fueron adquiridos por empresas (flotas de empresa, alquiladoras, carsharing, etc.), mientras que los clientes particulares representaron en torno al 10% de las ventas totales de electrificados. Es decir, casi la mitad de los turismos eléctricos los compran empresas para sus flotas, no familias individuales. Esto sugiere que las compañías –muchas con objetivos de RSC o intereses en reducir costes operativos a largo plazo– están tirando del mercado más que el consumidor medio. También refleja que las ayudas (Plan MOVES) y exenciones para empresas están resultando efectivas, o que estos compradores valoran más el TCO (*Total Cost of Ownership*) favorable de los VEs a medio plazo. Para los particulares, en cambio, la decisión de compra sigue encontrando obstáculos.

Entre las barreras principales para el comprador privado se encuentra, en primer lugar, el precio de adquisición. Aunque los costes de las baterías han bajado y cada vez hay modelos más asequibles, un vehículo eléctrico nuevo típicamente es varios miles de euros más caro que su equivalente de combustión. El periodista Joan Dalmau apuntaba que un coche eléctrico compacto puede costar en España del orden de 35.000-40.000 €, un nivel que muchos consumidores perciben como inaccesible sin una fuerte ayuda^{xxxix}. En efecto, casos reales como el de una usuaria en Barcelona muestran desembolsos de ~39.000 € por un utilitario eléctrico^{xl}, cifra muy superior al precio medio de los coches

convencionales vendidos. Las ayudas del MOVES (hasta 7.000 €) alivian, pero no eliminan esta diferencia, y además requieren adelantar el dinero y esperar el reembolso.

Otro factor disuasorio es la necesidad de infraestructura de carga privada. Para aprovechar plenamente un VE, muchos usuarios deben instalar un punto de carga en su vivienda o garaje comunitario. En viviendas unifamiliares esto suele ser sencillo, pero en bloques de pisos puede implicar trámites con la comunidad, costes de instalación elevados si la plaza está lejos del contador, etc. Dalmau subraya *"el trabajo que implica instalar el punto de carga en casa"* como un inconveniente percibido^{xli}. Aunque la normativa, *derecho a la toma* en España facilita que un propietario instale un cargador en su plaza sin poder ser vetado, sigue siendo una gestión que algunos compradores no están dispuestos a afrontar. La falta de enchufes en el lugar de residencia es un freno real para quienes viven en apartamentos antiguos o alquilados.

La autonomía y la recarga pública fueron tradicionalmente la mayor preocupación (el famoso *range anxiety*), si bien aquí la percepción empieza a mejorar. Según el mencionado periodista, desde hace un par de años *"es factible viajar"* con un eléctrico por España, gracias a la ampliación de la red de carga rápida. Muchos usuarios iniciales confirman que para uso urbano-cotidiano la autonomía es más que suficiente, y que en viajes puntuales la planificación de paradas de carga es cada vez más viable. Aun así, permanece cierto recelo en un sector del público: algunos conductores temen quedarse sin batería o consideran engorroso tener que planificar las recargas de antemano. La autonomía real (tratada en la sección 3.2) varía con las condiciones, y esto añade incertidumbre para quienes no tienen familiaridad con la tecnología. Es previsible que, a medida que los modelos nuevos ofrecen 400-500 km reales de alcance y se desplieguen cargadores ultrarrápidos en rutas principales, esta objeción pierda peso.

Un aspecto emergente, ligado al uso prolongado del VE, es la degradación de la batería y su coste de reemplazo. Si bien las garantías suelen cubrir 8 años o 160.000 km para mantener al menos ~70% de capacidad, pasados esos umbrales algunos usuarios enfrentan reducciones notables de autonomía. Aquí hay un *vacío de experiencia* todavía, ya que la primera gran oleada de eléctricos en España es relativamente reciente (posterior a 2018) y aún no ha llegado masivamente al final de su ciclo de vida.

También influyen factores de información y confianza. Encuestas de organismos europeos (p. ej. la DGT o la Fundación ECODES) señalan que una proporción elevada de conductores españoles consideraría un eléctrico como su próximo coche, pero condicionada a que se reduzca el precio y mejore la infraestructura. Existe curiosidad y predisposición, pero no siempre un conocimiento claro de las ventajas. La falta de promoción pública y la abundancia de mitos (sobre peligros, sobre costes ocultos, etc.) han jugado en contra. A diferencia de lo ocurrido con otras innovaciones tecnológicas que rápidamente demostraron su conveniencia, el coche eléctrico no nos facilitará la vida de forma inmediata. Requiere cambiar hábitos (cargar en vez de repostar, planificar viajes) y eso frena a parte del mercado conservador.

No obstante, el escenario está cambiando gradualmente. Cada año se introducen más modelos eléctricos en todos los segmentos, incluyendo SUV y crossover que son los preferidos del mercado español (59% de las matriculaciones de 2023)^{xlii}. Estos vehículos más grandes normalmente requerirían baterías un 25% mayores para igualar autonomías, pero los avances en densidad energética están permitiendo VEs familiares con autonomías competitivas. Asimismo, factores económicos empiezan a pesar a favor: aunque el precio inicial sea alto, muchos conductores valoran el ahorro en costes operativos (energía y mantenimiento). Recientes análisis indican que el coste por km de un VE ya es inferior al de un gasolina, considerando electricidad a ~0,12 €/kWh vs gasolina a ~1,5 €/L. Un conductor medio en España puede ahorrar del orden de 600-800 € al año en “combustible” con un VE^{xliii}, lo que a largo plazo compensa parte del sobrecoste inicial. Si a eso sumamos los menores gastos en mantenimiento (menos averías, sin aceite ni embrague, etc.), el argumento económico se fortalece, especialmente para quienes recorren muchos kilómetros o para flotas intensivas.

Finalmente, la competencia industrial y la innovación están inclinando la balanza. La entrada de nuevos fabricantes completamente eléctricos y de marcas chinas en el mercado europeo está incrementando la oferta de modelos a precios más asequibles. En China, más del 60% de los coches eléctricos vendidos en 2023 eran más baratos que sus equivalentes de combustión mientras que en Europa y EE.UU. todavía son un 10-50% más caros^{xliv}. Esa diferencia de precio se está reduciendo gracias a la bajada de costes de las baterías,

las economías de escala y la presión competitiva. Por otro lado, se debe ser cauto: la posible imposición de aranceles a vehículos chinos en Europa, o la retirada de incentivos en algunos países, podrían frenar esta tendencia de abaratamiento. Con todo, la dirección del mercado parece clara hacia la electrificación, y los consumidores españoles gradualmente lo asimilan.

En conclusión, el comportamiento del mercado español de movilidad eléctrica refleja un equilibrio entre avances y barreras. Las decisiones de compra están muy influenciadas por factores económicos (precio, ahorro esperado), por la confianza en la tecnología (autonomía, durabilidad) y por las facilidades de uso (carga, disponibilidad de infraestructura). A medida que las políticas mitiguen algunas barreras y la experiencia positiva de más usuarios se difunda, es esperable que las reticencias disminuyan. La superación de ciertos hitos –como el de igualar o superar las ventas de diésel, o el aumento de vehículos eléctricos de segunda mano accesibles– puede acelerar la aceptación social de esta tecnología en España.

3.6 Eficiencia energética y sostenibilidad de los vehículos eléctricos

Aspecto	Vehículo Convencional	Vehículo Eléctrico
Eficiencia energética (de la fuente a las ruedas)	Gasolina: ~25% Diésel: ~30%	~77% (hasta 42% si electricidad de gas natural)
Consumo energético por 100 km	~54 kWh (6 L gasolina)	14-18 kWh
Coste por 100 km (estimado)	9-10 €	1,5-2 € (hogar), más si carga rápida
Emisiones de CO ₂ por 100 km	~13,3 kg CO ₂ (diésel)	~3,3 kg CO ₂ (según mix eléctrico actual)
Comportamiento al ralentí	Consume combustible sin moverse	No consume energía
Recuperación de energía en frenada	No	Sí

Tabla 4: Comparativa Sostenibilidad Vehículo eléctrico vs Vehículo convencional

Un aspecto fundamental por el que se promueve el vehículo eléctrico es su mayor eficiencia energética respecto a los motores de combustión interna, así como su potencial para reducir emisiones contaminantes. Diversos estudios han cuantificado esta diferencia de eficiencia en todo el ciclo "tanque a rueda" (en térmicos) versus "batería a rueda" (en eléctricos). En un coche convencional de gasolina, solo alrededor del 25% de la energía del combustible se aprovecha para mover efectivamente el vehículo; el resto se pierde en forma de calor, rozamientos y otras ineficiencias. Incluso los motores diésel, algo más eficientes, convierten en movimiento apenas un ~30% de la energía del combustible. Por el contrario, en un vehículo eléctrico puro (BEV) aproximadamente un 77% de la energía eléctrica almacenada en la batería llega a las ruedas (bajo el supuesto de que la electricidad provenga de fuentes renovables). Es decir, las pérdidas energéticas son mucho menores. Si la electricidad procede de ciclos combinados de gas natural (eficiencia de generación ~50-60%), la eficiencia global del BEV disminuye –en tal caso sería del orden del 42%–, pero aun así supera con creces la de un vehículo de combustión. Los híbridos enchufables (PHEV), que combinan motor térmico y eléctrico, alcanzan eficiencias intermedias (31-49% según uso) superiores a las de los vehículos convencionales. Estos datos significan que, energéticamente, un coche eléctrico puede recorrer la misma distancia utilizando la mitad (o incluso menos) de la energía que necesitaría un coche convencional.

En términos de consumo práctico, la diferencia también es notable. Un turismo medio de gasolina consume alrededor de 6 litros/100 km, lo que equivale a unos 54 kWh de energía (cada litro de gasolina contiene ~9 kWh) y actualmente supone un gasto en combustible de unos 9-10 € por 100 km. Un vehículo eléctrico equivalente consume típicamente entre 14 y 18 kWh/100Km, dependiendo del modelo y condiciones, lo que en tarifa doméstica estándar (0,12 €/kWh) cuesta aproximadamente 1,5-2 € por 100 km. Incluso considerando recargas en puntos rápidos más caros, el coste por kilómetro eléctrico suele ser entre un 60% y 80% inferior al de un kilómetro en coche de combustión. Esta eficiencia se debe a la mayor simplicidad y rendimiento del motor eléctrico, así como a la posibilidad de recuperar energía en frenadas (regeneración), algo imposible en motores térmicos. Además, los VEs no gastan energía cuando están detenidos en un semáforo, por ejemplo,

mientras que un motor convencional al ralentí sigue consumiendo combustible sin mover el vehículo.

Desde la perspectiva ambiental, la electrificación del transporte privado presenta ventajas claras en reducción de emisiones. Aunque un vehículo eléctrico no emite CO₂ ni contaminantes en el tubo de escape, la generación de la electricidad que consume sí puede generar emisiones en origen. Por eso, para evaluar el impacto real se analiza el ciclo pozo a rueda. En España, gracias a un mix eléctrico cada vez más limpio (en 2022 un 42% renovable y 16% nuclear), las emisiones medias del sistema eléctrico son de ~0,234 kg CO₂ por kWh generado. Con ese dato, un coche eléctrico que consuma ~14 kWh/100 km emite indirectamente unos 3,3 kg de CO₂ por cada 100 km recorridos, mientras que un coche diésel, con ~5 L/100 km y considerando 2,67 kg CO₂ por litro de gasóleo, emite alrededor de 13,3 kg de CO₂ por 100 km. En otras palabras, un VE típico produce un 75% menos de emisiones de CO₂ por kilómetro que un coche convencional equivalente. Si el mix eléctrico continúa descarbonizándose (objetivo del 74% de generación renovable para 2030 en España), esta diferencia será aún mayor en el futuro^{xlv}.

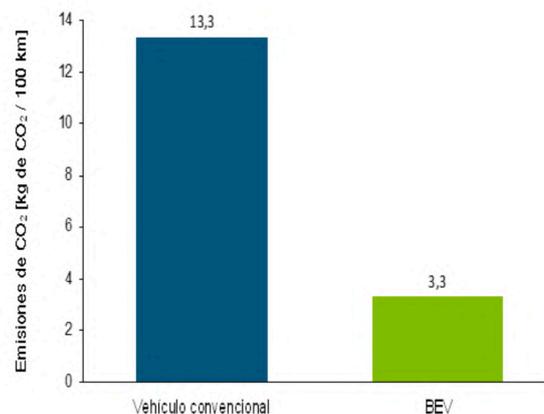


Ilustración 14: Emisiones CO₂ de un vehículo convencional vs un vehículo eléctrico puro

A esto se suman beneficios colaterales: los VEs no emiten contaminantes locales peligrosos como NO_x, hidrocarburos o partículas, que en las ciudades causan problemas de calidad del aire. También generan mucho menos ruido: un motor eléctrico es prácticamente silencioso, lo que reduce la contaminación acústica urbana. Todos estos

factores hacen a los VEs fundamentales para mitigar el cambio climático y mejorar la salud pública en entornos urbanos.

Cabe reconocer que la *eficiencia ecológica global* de un vehículo eléctrico depende de otros factores más allá de la fase de uso: la fabricación de baterías es intensiva en energía y materias primas, y la correcta gestión de estas al final de su vida es crucial para asegurar la sostenibilidad. No obstante, numerosos estudios concluyen que, incluso contabilizando el ciclo de vida completo, un VE emite significativamente menos CO₂ que un equivalente de combustión en la mayoría de los escenarios, especialmente con la red eléctrica actual y futura de España. Además, iniciativas de economía circular (reutilización de baterías para almacenamiento estacionario, reciclaje de materiales como el litio, níquel, cobalto, etc.) están en marcha para mejorar el perfil ambiental de esta tecnología.

3.7 Vacíos de investigación y conexión con el TFG

A partir de esta revisión del estado de la cuestión, se pueden identificar vacíos de conocimiento y áreas que requieren mayor investigación en el contexto de la movilidad eléctrica en España. Uno de los primeros vacíos notables es la falta de datos locales a largo plazo sobre el rendimiento real de los vehículos eléctricos. Si bien existen estudios internacionales sobre la diferencia entre autonomía homologada y real, en España hace falta profundizar con mediciones en distintos climas y geografías propias (p. ej., contrastar autonomías en invierno en la Meseta vs. verano en la costa, o en conducción urbana vs. interurbana). Esto ayudaría a afinar las estimaciones de autonomía real para el usuario español promedio y a diseñar estrategias para mitigar la ansiedad de autonomía. Asimismo, sería valioso investigar la degradación de baterías en condiciones reales españolas (ciclos de carga habituales, temperaturas estivales altas, etc.), ya que la evidencia anecdótica sugiere variabilidad en la experiencia de los usuarios y conocerla mejor podría influir en políticas de garantía, second-life de baterías o modelos de negocio de intercambio de baterías.

Otro ámbito con interrogantes abiertos es el de la infraestructura de recarga y su utilización óptima. Por ejemplo, aunque sabemos cuántos puntos de carga hay instalados,

no se dispone públicamente de muchos datos sobre patrones de uso de esos cargadores: qué porcentaje del tiempo están ocupados, en qué franja horaria, incidencias de fuera de servicio, etc. Investigar estos patrones podría identificar cuellos de botella invisibles y orientar inversiones (por ejemplo, si se detecta saturación recurrente en ciertas estaciones o áreas). Además, está por estudiar en detalle la rentabilidad y modelos de negocio de las redes de carga en España: ¿son sostenibles sin ayudas? ¿qué esquema tarifario equilibra mejor la viabilidad económica del operador con precios justos para el usuario? También, dado que se señala la tardanza en despliegues, haría falta un análisis de procesos administrativos para proponer mejoras regulatorias que agilicen la instalación de puntos (por ejemplo, un *benchmarking* con Francia o Países Bajos para identificar buenas prácticas).

En cuanto a las políticas públicas, un vacío de conocimiento es entender la eficacia real del Plan MOVES y demás incentivos más allá de la cifra de vehículos subvencionados. Sería pertinente investigar hasta qué punto estas ayudas están cambiando comportamientos vs. subvencionando compras que quizá habrían ocurrido de todos modos. Por ejemplo, analizar si los beneficiarios de MOVES mantienen sus vehículos eléctricos durante muchos años o si los venden una vez cobrada la ayuda; si las ayudas están llegando a públicos diversos o principalmente a rentas altas que adquieren vehículos caros; o cómo influyen los largos plazos de pago en la percepción pública. Igualmente, hay margen para estudiar el impacto socioeconómico de la movilidad eléctrica en España: creación de empleo en industrias relacionadas (producción de cargadores, instalación, fabricación de baterías mediante el PERTE, etc.), efectos sobre la balanza energética (reducción de importaciones de petróleo) y sobre la demanda eléctrica (retos para la gestión de la red, oportunidad de integración con energías renovables y almacenamiento distribuido). Muchos de estos análisis aún son incipientes y serán abordados conforme madure la transición.

En relación directa con este panorama, el presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) se orienta a profundizar en algunos de estos temas críticos. En concreto, el TFG se conectará con los aspectos revisados aportando un análisis más detallado y original sobre [aquí se especifica el foco concreto del TFG]. Por ejemplo, si el TFG se centra en la autonomía

real vs homologada, podría consistir en pruebas de campo con distintos modelos para cuantificar la desviación en contextos españoles y proponer mejoras en la información al consumidor. O si el foco es la infraestructura, quizás el TFG desarrolle un estudio de localización óptima de nuevos cargadores rápidos considerando patrones de movilidad. Sea cual sea el alcance elegido, el TFG tomará como punto de partida los hallazgos y vacíos identificados en este Estado de la Cuestión. A través de metodología académica (recolección de datos, análisis crítico y/o modelización), el trabajo buscará aportar evidencia y recomendaciones que contribuyan a la implantación efectiva de la movilidad eléctrica en España.

En síntesis, España se encuentra en camino hacia la movilidad eléctrica, pero con desafíos significativos por delante. La revisión realizada muestra progresos en ventas, infraestructura y políticas, a la par que revela lentitud comparativa, brechas de implementación y dudas a despejar. Esta dualidad exige una mirada crítica y proactiva, justamente la que el TFG pretende adoptar para, desde la perspectiva académica, analizar, evaluar y proponer mejoras en alguno de los ámbitos clave (autonomía, infraestructura, mercado o eficiencia energética). De este modo, el TFG no solo se nutrirá de la información aquí compilada, sino que también aportará nuevo conocimiento que enlace la teoría con la práctica, contribuyendo modestamente a cerrar la brecha entre las metas ambiciosas y la realidad actual de la movilidad eléctrica en España.

Capítulo 4. Definición del Trabajo

En este capítulo se define la estructura y el alcance del análisis que se llevará a cabo para comparar la autonomía homologada (ciclo WLTP) con la autonomía real de los vehículos eléctricos, incorporando los factores englobados en el denominado “Eje Z”. En primer lugar, se describe cómo se organizará el estudio comparativo de las autonomías, detallando la consideración de factores externos como la climatología, el desnivel del recorrido o el estilo de conducción en dicho análisis. A continuación, se justifica la separación del estudio en dos entornos diferenciados: movilidad urbana y movilidad interurbana, explicando la relevancia de esta división para evaluar la autonomía y el impacto de los factores del Eje Z en cada contexto. Finalmente, se presenta una breve introducción a la metodología y recursos empleados, incluyendo la selección de los vehículos analizados, las fuentes de datos utilizadas (tanto bibliografía técnica como bases de datos y pruebas de usuarios), las herramientas de simulación o estimación aplicadas y los criterios que se emplearán para validar los resultados obtenidos.

4.1. Movilidad urbana o uso diario del vehículo

(No aplica: “Eje Z”, Factores solo urbanos: -Tráfico Urbano -Desnivel en Ciudades)

Se entiende por **movilidad urbana** el uso cotidiano del vehículo eléctrico en entornos de ciudad o recorridos cortos diarios. Este escenario se caracteriza por trayectos típicamente breves, con velocidades moderadas, frecuentes detenciones (semáforos, tráfico) y arranques, y un radio de desplazamiento relativamente limitado. Para el objetivo de este trabajo, resulta relevante separar el análisis urbano del interurbano porque las condiciones de conducción urbana difieren notablemente de las de carretera, tanto en el perfil de velocidad como en la forma en que influyen ciertos factores externos en el consumo energético.

En ciudad, los vehículos eléctricos suelen operar en un rango de velocidad más bajo y con paradas frecuentes, lo que paradójicamente beneficia su eficiencia en comparación con entornos extraurbanos. A diferencia de los motores de combustión (que consumen

más carburante en tráfico urbano que en autopista), los vehículos eléctricos consumen menos energía en ciudad que en carretera^{xlvi}.

Esto se debe a que a bajas velocidades la resistencia aerodinámica es insignificante y además el sistema de frenada regenerativa permite recuperar parte de la energía en cada deceleración o frenada. Así, en tráfico urbano con frecuentes paradas, un vehículo eléctrico “recicla” energía constantemente, mejorando su rendimiento energético. De hecho, en ciclo WLTP la fase urbana (baja velocidad) incluye alrededor de un 26% del tiempo parado, algo que refleja el comportamiento en entornos congestionados^{xlvi}.

En condiciones reales de ciudad, este porcentaje de tiempo detenido puede ser similar o incluso mayor en horas punta, lo que confirma la necesidad de contemplar específicamente el tráfico urbano como factor de estudio.

No obstante, ciertos factores propios del entorno urbano pueden afectar a la autonomía real y no siempre quedan capturados por la homologación. Uno de ellos es el **tráfico** denso o congestionado: si bien el motor eléctrico no consume energía en ralentí cuando el vehículo está parado, los períodos prolongados de detención implican consumo de sistemas auxiliares (climatización, electrónica) sin avance de kilómetros, lo que reduce la eficiencia global del desplazamiento. Asimismo, las continuas frenadas y aceleraciones en ciudad pueden incrementar el consumo si el estilo de conducción no aprovecha al máximo la frenada regenerativa (por ejemplo, acelerando brusco y frenando con el freno convencional en lugar de anticipar la deceleración).

Otro factor urbano es la **orografía de las ciudades**: recorrer vías con desniveles pronunciados (subidas a barrios altos, pendientes de garajes, etc.) supone un esfuerzo adicional para el motor y la batería. Aunque parte de la energía invertida en subir una cuesta puede recuperarse al bajar gracias a la regeneración, no toda se recupera debido a pérdidas, por lo que en ciudades muy empinadas la autonomía real puede verse mermada. Este efecto orográfico urbano es específico de localidades con colinas o desniveles notables, y resulta pertinente aislarlo en el análisis urbano.

Debido a estos factores, el estudio considerará la movilidad urbana como un caso particular donde algunos componentes del “Eje Z” (por ejemplo, el tráfico y los desniveles ciudadanos) tienen un peso específico. En la autonomía homologada WLTP existe una fase de baja velocidad, pero está estandarizada y no contempla escenarios extremos de atasco intenso o microclimas urbanos particulares.

Finalmente, en la comparativa WLTP vs real en entornos urbanos se evaluará cuánto se desvía la autonomía real de la teórica en usos diarios, identificando en qué medida los factores urbanos contribuyen a esa desviación. Esta aproximación permitirá entender, por ejemplo, si un vehículo eléctrico utilizado principalmente en ciudad podría alcanzar cercanamente la autonomía anunciada o incluso superarla en condiciones óptimas (tráfico fluido, conducción suave), o si por el contrario en invierno con trayectos cortos y atascos la autonomía experimenta caídas significativas. La separación del entorno urbano en el análisis garantiza que las conclusiones y recomendaciones resultantes (por ejemplo, sobre cómo conducir o gestionar la climatización en ciudad) estén adecuadamente contextualizadas para el **uso diario** de los conductores de vehículos eléctricos.

4.2. Movilidad interurbana o uso en viaje del vehículo

(Si aplica: “Eje Z”, Factores)

La movilidad interurbana se refiere al uso del vehículo eléctrico en trayectos de media y larga distancia, típicamente por carreteras o autopistas, donde se mantienen velocidades elevadas de forma sostenida. Este escenario que involucra viajes entre ciudades, desplazamientos por autovía o recorridos largos representa un contexto distinto al urbano y es crucial analizarlo por separado debido a su gran influencia en la autonomía real percibida por los usuarios. De hecho, muchas de las preocupaciones en torno a los vehículos eléctricos surgen en este ámbito interurbano, donde la diferencia entre la autonomía homologada y la autonomía alcanzable en la práctica puede ser mucho más pronunciada.

En régimen de autopista o vías rápidas, un vehículo eléctrico afronta condiciones menos favorables para la eficiencia: la **resistencia aerodinámica**, dada según la expresión:

$$F_R = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * c_d * A$$

Ecuación 1: La resistencia aerodinámica

Donde, F_R (Fuerza de Resistencia) es la fuerza que el aire ejerce sobre el coche en dirección opuesta a su movimiento ; ρ (Densidad del Aire) la masa del aire por unidad de volumen (aproximadamente 1.225 kg/m^3 a nivel del mar) ; v (Velocidad del Vehículo) la velocidad a la que se mueve el coche, ; c_d (Coeficiente de Resistencia Aerodinámica) una medida de la resistencia que el vehículo presenta al aire, y depende de su forma y diseño de cada uno ; A (Área Frontal) es el área de la sección frontal del coche que se enfrenta al flujo de aire.

Como observamos, aumenta con el cuadrado de la velocidad, implicando un consumo muy elevado a velocidades de 120-130 km/h de forma continua^{xlviii}.

A diferencia de la conducción urbana, en carretera abierta apenas hay frenadas en las que el sistema pueda recuperar energía; el vehículo eléctrico se ve, por así decir, impedido de recuperar energía cinética, mientras que el rozamiento con el aire se vuelve el enemigo principal. Por este motivo, se suele afirmar que mantener una velocidad constante alta es el peor escenario para la autonomía de un coche eléctrico.

Consecuentemente, un mismo vehículo que homologa, por ejemplo, 500 km bajo el ciclo combinado WLTP, difícilmente alcanzará esa cifra en un viaje real de autopista a 120 km/h sostenidos. Estudios independientes han mostrado que la autonomía real de numerosos modelos puede quedarse entre un 30% y 40% por debajo de la WLTP cuando se circula a velocidades de autopista

Por ejemplo, un modelo premium como el Mercedes EQE 350+ homologa unos 660 km WLTP, pero en circulación real constante a $\sim 130 \text{ km/h}$ logra alrededor de 423 km.

Del mismo modo, modelos más generalistas que anuncian algo más de 500 km (Kia EV6, Skoda Enyaq, etc.) suelen reducir su alcance a poco más de 300 km en esas condiciones^{xlix}.

Estos descensos drásticos justifican claramente la necesidad de distinguir el análisis interurbano, ya que las condiciones de esta clase de trayectos ponen de manifiesto limitaciones que el ciclo de homologación no refleja completamente.

Al segmentar un entorno interurbano, el trabajo considerará factores propios de los viajes por carretera. En primer lugar, la velocidad sostenida elevada en sí misma, que como se ha indicado incrementa exponencialmente el consumo energético. Además, entran en juego condiciones como el **viento** (encuentros frecuentes con viento de cara en autopista) y la orografía en largos recorridos (tramos de subida prolongada, puertos de montaña), así como la necesidad de uso continuo de climatización para mantener el confort en viajes de varias horas. Todos estos elementos forman parte del “Eje Z” y afectan con mayor intensidad en entornos interurbanos que en trayectos cortos. Por ejemplo, un viento frontal moderado durante un viaje prolongado equivale a aumentar varios km/h la velocidad efectiva contra el aire, agravando el consumo.

Del mismo modo, recorrer 100 km en autovía bajo fuerte lluvia o nieve no solo suele implicar reducciones de velocidad por seguridad, sino también un extra de resistencia por rodadura (neumáticos sobre agua/nieve) y posible uso de desempañador y calefacción, factores que todos sumados merman la autonomía.

Otro motivo para esta separación del análisis es que el perfil de uso interurbano suele ser ocasional para muchos usuarios (por ejemplo, viajes de fin de semana, vacaciones, o desplazamientos laborales puntuales). Evaluar por separado la autonomía en estas circunstancias permite ofrecer criterios de selección del vehículo en función del uso: habrá modelos que, por su eficiencia o capacidad de batería, resulten más adecuados para quienes planean frecuentes viajes largos, mientras que otros modelos pueden ser suficientes para un uso mayormente urbano. Al comparar WLTP vs real en entornos interurbanos, se pondrá énfasis en cuantificar la pérdida de autonomía en condiciones típicas de viaje por carretera para cada vehículo estudiado. Esto implica analizar, por ejemplo, la autonomía real a 120 km/h constantes, el efecto de afrontar un trayecto con

pendientes pronunciadas, o cómo incide conducir en invierno con climatizador y a plena carga (pasajeros y equipaje). Los resultados de este análisis interurbano proporcionarán información valiosa sobre qué alcance efectivo puede esperar el usuario en viajes largos y cómo varía respecto a las cifras optimistas de catálogo. En resumen, la movilidad interurbana se considera un entorno de evaluación diferenciado para apreciar con claridad el impacto de la alta velocidad y demás factores del Eje Z sobre la autonomía, cumpliendo así uno de los objetivos centrales del trabajo: comparar la autonomía anunciada con la real en distintas condiciones de conducción, tanto urbanas como interurbanas.

4.3. El “Eje Z”

Tal como se introdujo previamente, se denomina “Eje Z” al conjunto de factores externos que influyen significativamente en la autonomía real de un vehículo eléctrico pero que no están contemplados en las condiciones nominales de la autonomía homologada. En la representación tradicional de la autonomía de un vehículo eléctrico, se suele dibujar un gráfico bidimensional donde el eje X indica la distancia (kilómetros recorridos) y el eje Y el nivel de carga de la batería (en porcentaje). Sin embargo, esa representación no refleja múltiples variables adicionales del mundo real que afectan al consumo de energía durante la marcha.

El concepto de Eje Z propone añadir una tercera dimensión conceptual al análisis de la autonomía, incorporando todos esos factores *no idealizados* que pueden hacer que la autonomía teórica (WLTP) diverja de la autonomía efectiva en uso cotidiano.

En este trabajo, los factores agrupados bajo el Eje Z se han dividido en cuatro categorías para su análisis: (1) **Factores climatológicos**, relacionados con las condiciones ambientales (temperatura, viento, precipitación, etc.); (2) **Desnivel u orografía del trayecto**, referido a los cambios de altitud en la ruta (subidas y bajadas); (3) **Estilo de conducción**, que abarca las pautas de velocidad y la forma de utilizar el vehículo por parte del conductor; y (4) **Otros factores** diversos, entre los que se incluyen elementos de equipamiento o estado del vehículo (como las llantas, el uso de accesorios, o la

degradación de la batería con el tiempo). A continuación, se definen estos grupos de factores y se explica cómo se incorporarán a la comparación entre la autonomía homologada y la real.

4.3.1. Factores climatológicos:

Los **factores climatológicos** engloban el conjunto de condiciones ambientales que pueden afectar al desempeño de las baterías y al consumo del vehículo. Dentro de este grupo se consideran principalmente la **temperatura ambiente**, la **velocidad y dirección del viento** y la **precipitación** (lluvia intensa o nieve, fundamentalmente).

Temperatura (ambiente extremo frío o cálido): Las baterías de iones de litio y los sistemas eléctricos tienen un rendimiento óptimo en un rango moderado de temperatura, aproximadamente entre $\sim 20^{\circ}\text{C}$ y 25°C ⁱ. Cuando la temperatura exterior se aleja de ese rango, especialmente en invierno crudo o verano extremo, la autonomía del vehículo eléctrico puede reducirse sensiblemente.

En condiciones de **frío intenso**, dos efectos concurren: por un lado, la química de la batería pierde eficiencia (disminuye su capacidad útil temporalmente y aumenta la resistencia interna), y por otro lado es necesario destinar parte de la energía de la batería a calentar el habitáculo y a veces la propia batería. Los vehículos eléctricos no cuentan con el “desperdicio” de calor de un motor de combustión para calefacción, por lo que deben usar resistencias eléctricas o bombas de calor, que consumen energía de la batería. Según la American Automobile Association (AAA), conducir un vehículo eléctrico a unos -7°C con la calefacción encendida puede disminuir la autonomía en torno a un 41% de promedio^{li}.

Incluso con frío moderado, estudios británicos han registrado pérdidas del orden del 20-30% respecto a la autonomía WLTP en diversos modelos comerciales^{lii}.

En el caso opuesto, con temperaturas muy elevadas, la necesidad de refrigerar el habitáculo (uso intenso del aire acondicionado) y el esfuerzo extra para mantener

la batería en su rango térmico óptimo también conllevan un mayor consumo. Un análisis reciente con miles de vehículos evidenció que a unos 38°C la autonomía puede caer alrededor de un 30% debido al uso del aire acondicionado constante.

No obstante, a temperaturas cálidas pero no extremas (por ejemplo 25-30°C) el impacto del clima puede ser menor, del orden de un 3-5% ^{liii}e incluso cercano a cero si no se abusa de la climatización. En suma, el clima frío tiende a ser el escenario más adverso para la autonomía, seguido del calor extremo, y en este trabajo se contemplarán ambas situaciones para determinar cómo varía la autonomía real respecto a la homologada. Se utilizarán datos y estudios existentes para estimar la penalización energética debida a la temperatura, definiendo porcentajes de reducción de autonomía típicos en invierno y en verano para el mercado español (invierno continental en torno a 0°C, y verano cálido sobre 35°C, como casos de estudio).

Viento (viento en contra o a favor): La resistencia aerodinámica que debe vencer un vehículo depende de la velocidad *relativa* del aire respecto al vehículo. Por tanto, circular con **viento en contra** equivale a circular a una velocidad superior a la de marcha en aire calmado, incrementando el consumo, mientras que un **viento a favor** puede tener el efecto contrario (disminuir la resistencia efectiva). En condiciones reales, es común encontrar viento en desplazamientos interurbanos; el ciclo WLTP, en cambio, se realiza en laboratorio sin viento. Un viento moderado (ej. 20 km/h) de frente puede suponer un aumento de consumo apreciable, similar al que provocaría conducir 20 km/h más rápido. Tesla, por ejemplo, advierte a sus usuarios que los vientos frontales o laterales aumentan la resistencia al aire y reducen la autonomía, catalogándolos junto con la lluvia y nieve como “condiciones ambientales hostiles” para la eficiencia^{liv}.

En este trabajo, el impacto del viento se incorporará cualitativamente en el análisis interurbano: se considerarán escenarios de viaje con viento adverso para estimar la diferencia de autonomía en comparación a condiciones ideales sin viento. Aunque la cuantificación exacta depende del coeficiente aerodinámico de cada vehículo y de la intensidad del viento, se utilizarán modelos teóricos (resistencia

proporcional al cuadrado de la velocidad relativa) y datos de rutas reales ventosas para aproximar su efecto. De esta forma, se podrá indicar, por ejemplo, que un determinado modelo podría ver reducida su autonomía un X% al enfrentar un viento de 30 km/h en autopista, información valiosa para el usuario que planifica viajes largos en zonas ventosas (p.ej., corredores meseteños o litorales con viento frecuente en España).

Precipitación (lluvia intensa y nieve): La presencia de **agua o nieve en la calzada** genera un incremento en la resistencia a la rodadura de los neumáticos, ya que el contacto con una película de agua o capas de nieve opone una fuerza al avance. Además, al llover o nevar, los conductores suelen utilizar dispositivos auxiliares (limpiaparabrisas, desempañador de lunas, luces antiniebla, etc.), todos los cuales consumen energía eléctrica. Aunque cada uno de estos consumos auxiliares por separado es relativamente pequeño, en conjunto y sumados al efecto de la rodadura más pesada pueden disminuir la autonomía. Al igual que el viento, la lluvia y la nieve no se contemplan en las pruebas WLTP (que se realizan en seco), por lo que constituyen otro factor del Eje Z. Según el propio fabricante Tesla, la lluvia y la nieve aumentan la resistencia de rodadura de los neumáticos^{lv} que se calcula mediante la fórmula:

$$F_{Rr} = C_{Rr} * F_N$$

Ecuación 2: Resistencia de rodadura de los neumático.

Donde, C_{Rr} (Coeficiente de Resistencia a la Rodadura): Es un valor adimensional que depende de factores como el tipo de neumático, la superficie de la carretera y la deformación del neumático. Se calcula mediante la formula:

$$C_R = \frac{d}{R}$$

Ecuación 3: Coeficiente de resistencia a la rodadura.

Siendo, d: Distancia recorrida por la deformación del neumático y R: Radio de la rueda, F_N (Fuerza Normal), es la fuerza que ejerce el vehículo sobre la superficie de la carretera, que es igual al peso del vehículo.

Además de aumentar la resistencia a la rodadura, también aumenta la resistencia aerodinámica, al aumentar la rugosidad de la superficie del coche, c_d (Coeficiente de Resistencia Aerodinámica). (Expresión fórmula en apartado 4.1.). Repercutiendo todo ello, negativamente en la autonomía.

Para incorporar este aspecto, se recurrirá a informes de consumo en viajes bajo lluvia intensa que estén documentados en la bibliografía o en comunidades de usuarios. Por ejemplo, se pueden tomar datos de cuánto se eleva el consumo (en kWh/100 km) en un modelo determinado bajo lluvia fuerte, y traducir eso a una disminución porcentual de autonomía respecto a condiciones secas. Este factor climatológico suele ser significativo principalmente en trayectos largos (donde el efecto acumulativo de rodar en mojado durante muchos kilómetros es apreciable). En entornos urbanos, la lluvia afecta más a la seguridad que al consumo puro, dado que las velocidades son bajas; aun así, breves trayectos urbanos con climatología adversa podrían requerir más energía en calefacción (para desempañar cristales) o en arrancadas más bruscas, aspectos que también se tendrán en cuenta cualitativamente.

En síntesis, los factores climatológicos del Eje Z, como lo son la temperatura, el viento y la precipitación, que representan condiciones climatológicas habituales en España (por ejemplo, invierno frío en Meseta, verano caluroso en el centro y sur, así como día ventoso en autopista, etc.). (Como se Observa en el ANEXO I) Para cada escenario se estimará la merma de autonomía que experimentaría un vehículo eléctrico medio o cada modelo específico estudiado, y se comparará esa autonomía ajustada con la cifra homologada. Esto permitirá aislar cuánto de la diferencia entre la autonomía real y la teórica proviene exclusivamente del clima, independientemente de otros factores.

4.3.2. Desnivel en el trayecto:

Bajo esta categoría del Eje Z se analiza la influencia de la topografía o perfil altimétrico de la ruta en la autonomía eléctrica. Los cambios de elevación implican intercambios de

energía potencial: al **ascender** una pendiente, el vehículo debe invertir una cantidad de energía adicional para ganar altura, mientras que al **descender** puede recuperar parte de esa energía mediante la frenada regenerativa. Sin embargo, las pérdidas son inevitables y la eficiencia de recuperación no es del 100%, por lo que el balance neto de un recorrido con subidas y bajadas suele ser un mayor consumo respecto a un recorrido llano de igual distancia.

En condiciones de homologación WLTP, el patrón de prueba no contempla pendientes reales (se realiza en banco de rodillos, equivalente a terreno plano). Por tanto, cualquier **desnivel en el uso real** constituye un factor diferenciador. Dentro de este factor consideramos dos casos:

Desnivel positivo (subidas o rutas en ascenso): Un tramo en subida prolongada (por ejemplo, ascender un puerto de montaña o simplemente ir desde una zona baja de la ciudad a un barrio en altura) requiere un trabajo adicional para el motor eléctrico. La energía necesaria para elevar una masa m metros arriba viene dada por:

$$E = m * g * \Delta h$$

Ecuación 4: Energía Potencial Gravitatoria.

Donde, m es la masa, g la gravedad y Δh es la ganancia de altura.

Aunque parte de esta energía puede recuperarse luego al bajar, en el momento de la subida se verá un consumo instantáneo muy elevado y una caída acelerada del porcentaje de batería. En trayectos largos de montaña, los vehículos eléctricos pueden ver reducida su autonomía drásticamente durante la ascensión. Un ejemplo hipotético: un coche que normalmente consume 15 kWh/100 km en llano puede consumir el doble o más en una subida fuerte sostenida, reduciendo la distancia que puede recorrer con una carga completa. Este trabajo analizará casos de rutas con desniveles típicos en desplazamientos interurbanos (por ejemplo, un viaje que atraviesa el Sistema Central o los Pirineos) para cuantificar cuánto disminuye la autonomía respecto a la homologada. Asimismo, se contemplará el caso urbano de ciudades con cuestas: aunque las distancias son cortas, subir repetidamente colinas pronunciadas día a día puede sumar un consumo extra nada

despreciable para usuarios urbanos (ciudades como Bilbao, Granada o Barcelona presentan esta orografía irregular). Se estimará, mediante cálculos energéticos o datos de consumo en pendientes (si existen en la bibliografía), el impacto porcentual de una ruta en ascenso sobre la autonomía. Por ejemplo, se podría indicar que un desnivel acumulado de +500 m en un viaje de 100 km podría consumir X kWh adicionales, recortando la autonomía en Y km o Z%.

Desnivel negativo (bajadas o rutas en descenso): A la inversa, recorrer tramos en bajada permite al vehículo eléctrico recuperar energía vía regeneración. En descensos suaves y prolongados, el consumo instantáneo puede llegar a ser prácticamente cero o incluso negativo (es decir, se recarga algo la batería). Sin embargo, existen limitaciones: si la batería está casi llena al iniciar una gran bajada, la capacidad de regeneración se reduce (pues no hay margen para almacenar energía adicional, debiendo el sistema disipar el excedente en frenos convencionales). Además, la eficiencia de recuperación suele rondar el 60-70% en las mejores condiciones^{lvi}, parte de la energía potencial ganada en la subida se pierde en calor durante la conversión en el motor-generator y en la electrónica de potencia. Por ello, aunque las bajadas mejoran la autonomía respecto a un trayecto plano, no compensan totalmente el efecto de las subidas previas. En nuestro análisis, más que buscar “ganancias” de autonomía, el foco estará en cuánto mitiga una bajada el consumo. Por ejemplo, en el regreso de un viaje (volviendo desde una zona alta a una baja) se puede recuperar una fracción de la energía invertida a la ida. Se evaluarán escenarios concretos (p.ej., un viaje de ida subiendo 300 m y vuelta bajando esos 300 m) para ilustrar cómo la autonomía de ida difiere de la de vuelta. Esto tiene implicaciones prácticas: un usuario podría comprobar que un recorrido de casa al trabajo gastó mucha batería al ser principalmente cuesta arriba, pero el regreso consume mucho menos al ser cuesta abajo.

El análisis comparativo real vs WLTP incorporará estos matices, señalando que en rutas reales la autonomía varía significativamente según el sentido del viaje (ascenso o descenso predominante).

El desnivel del trayecto es un componente del Eje Z que se tratará cuantitativamente indicando para distintos grados de pendiente o perfiles topográficos cuál es la desviación

esperada de la autonomía respecto a la cifra WLTP (válida solo para terreno llano). Se aportarán porcentajes de incremento de consumo por cada 100 m de ascenso, por ejemplo, y se verificará la coherencia de estos resultados con datos reales (validando que el modelo adoptado para este factor refleja adecuadamente la experiencia de conducción en condiciones reales de relieve variable).

4.3.3. Estilo de conducción:

El estilo de conducción del usuario es otro eje fundamental que influye en la autonomía real. Bajo esta categoría se incluyen las pautas de manejo que dependen directamente del conductor: principalmente la **velocidad a la que circula**, la suavidad o brusquedad en las **aceleraciones y frenadas**, y el aprovechamiento (o no) de las tecnologías del vehículo como la frenada regenerativa. En esencia, aun con un mismo vehículo eléctrico y mismas condiciones externas, diferentes conductores pueden obtener autonomías bastante distintas en el mismo recorrido debido a su estilo de conducción.

Dos sub-factores específicos se han identificado dentro de este grupo:

- **Velocidad elevada:** Mantener velocidades altas por encima de las óptimas tiene un efecto adverso notable sobre la autonomía. Como ya se mencionó, la demanda de potencia aumenta desproporcionadamente con la velocidad (la resistencia del aire crece con el cuadrado de la velocidad relativa^{lvii}). Por tanto, un conductor que suele circular rápido (por ejemplo, 120-130 km/h donde el límite es 100, o 100 km/h en tramos urbanos donde podría ir a 70) consumirá más energía que otro más moderado. El ciclo WLTP incluye fases de conducción a distintas velocidades (baja, media, alta y muy alta), alcanzando hasta ~131 km/h en la fase de velocidad muy alta^{lviii}.

Sin embargo, esas fases de alta velocidad son breves (p.ej., unos 323 segundos a 131 km/h en el ciclo y no reflejan el caso de viajar largos periodos a velocidad de autopista. En la práctica, si un usuario adopta un estilo de conducción rápido de forma sostenida, la autonomía real estará muy por debajo de la homologada. Un experimento publicado por Auto Bild demostró que todos los coches eléctricos

analizados consumen mucho más en autopista que en ciudad, y consecuentemente su rango real a 130 km/h es inferior al homologado combinado^{lix}.

Este trabajo incorporará el efecto de la velocidad mediante la comparación de consumos en diferentes regímenes: se tomará la autonomía WLTP (que corresponde a una combinación de velocidades) y se contrastará con autonomías reales obtenidas a velocidades constantes específicas. Por ejemplo, para cada vehículo seleccionado se estimará cuántos km puede recorrer a 120 km/h constantes con una carga completa, y ese valor se comparará con el WLTP para calcular la diferencia porcentual debida exclusivamente a la alta velocidad. Igualmente, se considerará el efecto de conducir a velocidades moderadas: por ejemplo, cuánto se ganaría de autonomía reduciendo la velocidad de 120 km/h a 100 km/h en autopista. Esto no solo cuantifica la penalización por estilo rápido, sino que ofrece información práctica al usuario sobre cómo adaptar su velocidad de cruce para optimizar la autonomía (p.ej., se podría mostrar que bajar 20 km/h la velocidad aumenta la autonomía real en un X%).

- Uso del **freno convencional vs regenerativo** (conducción suave vs agresiva): Este factor se centra en cómo gestiona el conductor las deceleraciones y frenadas. Un estilo agresivo, con acelerones bruscos seguidos de frenazos fuertes, desperdicia más energía que una conducción anticipativa y suave. En un vehículo eléctrico, la frenada regenerativa permite recuperar parte de la energía cinética al levantar el pie del acelerador o al frenar, cargando la batería. Sin embargo, si el conductor tiende a frenar tarde y de golpe utilizando mayoritariamente el freno mecánico (convencional), parte de esa energía se disipará en forma de calor en los frenos y no retornará a la batería. Muchos vehículos ofrecen configuraciones de frenada regenerativa; si se coloca en un modo bajo o si el conductor pone la transmisión en punto muerto en bajadas, se está desaprovechando una oportunidad de recarga.

La energía cinética que **puede recuperarse** al frenar es:

$$E_{Recuperada} = \eta_R * \frac{1}{2} * m * v^2$$

Ecuación 5: Energía cinética

Donde $E_{Recuperada}$ es la Energía recuperada en Julios, η_R la Eficiencia del sistema de regeneración (típicamente entre 0.5 y 0.7), m la Masa del vehículo (kg) y v la Velocidad del vehículo antes de frenar (m/s).

Esta fórmula refleja que la energía recuperable depende de la masa, la velocidad al frenar y la eficiencia del sistema regenerativo.

En la guía de uso eficiente, Tesla destaca la importancia de mantener el frenado regenerativo en su ajuste estándar y evitar aceleraciones innecesarias para optimizar la autonomía^{ix}.

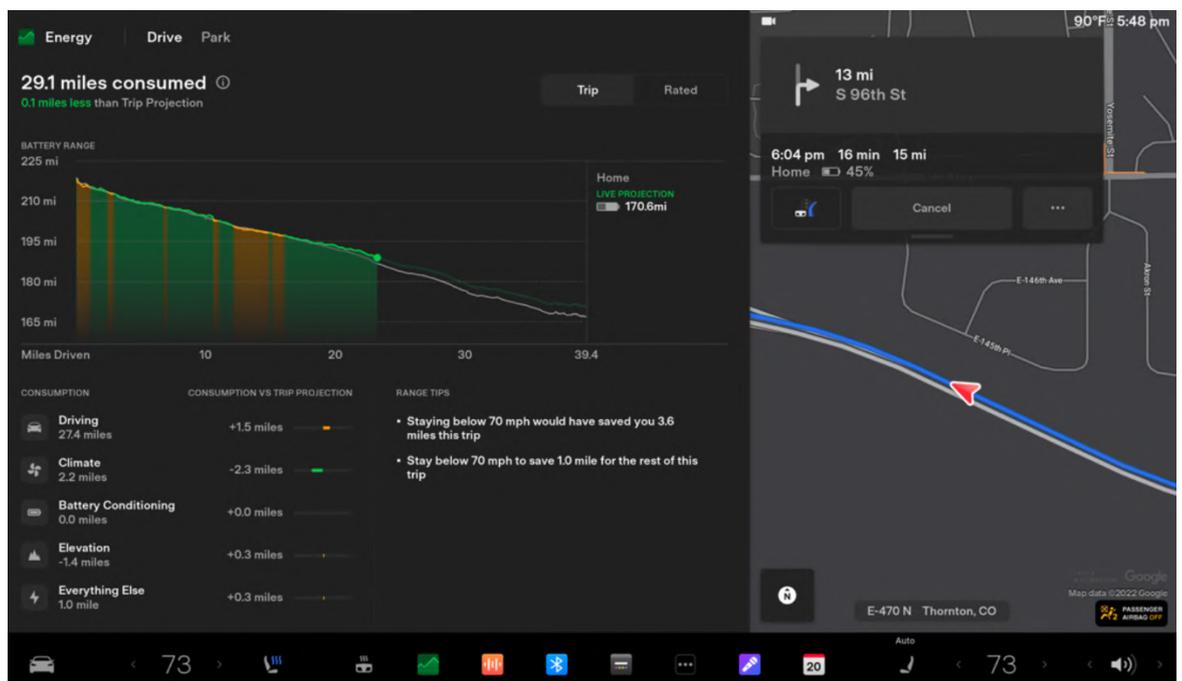


Ilustración 15: Grafica consumo autonomía Tesla, parte verde y menor pendiente gracias a freno regenerativo.

En este estudio, no se medirá directamente la agresividad del conductor (ya que trabajaremos con datos promediados o de pruebas controladas), pero sí se considerarán los escenarios de conducción dinámica frente a conducción eficiente.

Adicionalmente, se incluirá en las recomendaciones la idea de que una conducción con aceleraciones progresivas y aprovechando al máximo la regeneración puede mejorar la autonomía hasta un 15-20% según ciertas fuentes^{lxi}. Para efectos del análisis comparativo, podríamos suponer dos perfiles de conductor en nuestras estimaciones: uno *eficiente* y otro *deportivo*, y ver cómo cambian los kilómetros logrados por cada uno en las mismas condiciones externas. Esto serviría para subrayar cuánto de la variabilidad de la autonomía real proviene del componente humano (estilo de conducción) en lugar de las limitaciones físicas del vehículo.

En resumen, el estilo de conducción se incorporará cualitativa y cuantitativamente en el estudio para explicar diferencias observadas entre la autonomía homologada y la real. Si, por ejemplo, un vehículo no alcanza la cifra WLTP incluso en condiciones climáticas benignas, una posible causa es que el conductor lo está llevando de manera más agresiva o rápida que el patrón del ciclo de homologación. Por ello, al comparar WLTP vs real se indicará, siempre que aplique, que “conducción a alta velocidad” o “conducción poco eficiente” son factores del Eje Z responsables de parte de esa brecha. Esto refuerza uno de los objetivos prácticos del trabajo: no solo cuantificar estas diferencias sino también concienciar de que el conductor tiene un rol en optimizar (o degradar) la autonomía obtenida.

4.3.4. Otros factores:

Finalmente, existen otros factores diversos, no incluidos en las categorías anteriores, que también inciden en la autonomía y se engloban aquí a modo de miscelánea. Algunos de ellos son de índole técnica o de equipamiento del vehículo, mientras que otros tienen que ver con el estado de este a lo largo del tiempo. Los principales considerados son:

- **Elección de llantas y neumáticos:** La configuración de llantas/neumáticos puede alterar la eficiencia energética de un vehículo eléctrico. Llantas de mayor diámetro o diseño menos aerodinámico, así como neumáticos más anchos o de compuesto blando, suelen incrementar la resistencia a la rodadura y la resistencia

aerodinámica. Esto se traduce en consumos mayores a igualdad de condiciones. Por ejemplo, es conocido que muchas marcas homologan sus autonomías WLTP con versiones de llanta pequeña (18") y neumáticos de baja resistencia, mientras que la versión del mismo coche con llantas grandes (20" o 21") puede tener unos kilómetros menos de alcance homologado. En condiciones reales, un usuario con llantas grandes podría ver reducciones adicionales de autonomía respecto a lo publicado si su vehículo estaba homologado con llanta pequeña. Incluso dentro de nuestro estudio, un caso ilustrativo es el Renault Mégane E-Tech: con llantas de 20 pulgadas homologó 434 km WLTP, mientras que la versión con llantas de 18 pulgadas homologó 442 km; en una prueba de invierno ambas versiones obtuvieron autonomías reales similares (alrededor de 302-304 km), pero la diferencia porcentual respecto al WLTP fue ligeramente mayor en la versión de 18" debido a que su cifra WLTP era más alta^{lxii}.

Este matiz muestra que las llantas afectan tanto a la cifra teórica como a la real. Para simplificar, nuestro análisis asumirá para cada modelo las mismas ruedas en homologación y uso real (los datos reales tomados corresponderán, en lo posible, a la configuración estándar), pero se dejará constancia de que montar neumáticos menos eficientes podría restar unos cuantos puntos porcentuales de autonomía. Asimismo, factores relacionados como la presión de los neumáticos (una presión baja aumenta la resistencia a la rodadura) entran en esta categoría de ajustes del vehículo que pueden marcar diferencia.

- **Uso de sistemas de climatización y confort interior:** Si bien ya se discutió el impacto macro de la temperatura ambiente, aquí nos referimos al uso activo del climatizador (aire acondicionado o calefacción) por parte del conductor. Un vehículo que circula con el aire acondicionado apagado consumirá menos energía que otro que mantenga 22°C en cabina en un día caluroso, porque en el segundo caso el compresor de A/C estará funcionando constantemente. Del mismo modo, en invierno el calefactor o bomba de calor resta energía a la batería. Aunque esto está indirectamente ligado a la temperatura exterior, también es una decisión del usuario: por ejemplo, limitar el uso de climatización, usar asientos calefactables

en vez de calentar todo el habitáculo, etc., son prácticas que mejoran la autonomía. En nuestras estimaciones, asumiremos un uso “medio” de climatización acorde a la temperatura (por ejemplo, en verano cálido suponer A/C funcionando al 50% del tiempo). No obstante, aclararemos que un uso intensivo puede suponer del orden de 1 a 2 kW de consumo continuo adicional^{lxiii}, lo cual en un trayecto prolongado puede consumir varios kWh y por ende restar en torno a un 5-10% de autonomía. Este factor se verá reflejado en escenarios adversos (como en una ola de calor con A/C continuo) frente a escenarios favorables (clima templado sin necesidad de climatización).

- **Otros consumos auxiliares (iluminación, audio, electrónica):** Los sistemas eléctricos auxiliares del vehículo (luces, limpiaparabrisas, radio, pantalla, cargador de móvil, etc.) también extraen energía de la batería de tracción. Su impacto individual suele ser pequeño comparado con el consumo de tracción, pero en conjunto pueden equivaler a cientos de vatios constantes.

Por ejemplo, conducir de noche con luces encendidas podría implicar un consumo del orden de 150-200 W continuos (faros, iluminación interior). Usar el sistema de infoentretenimiento y audio a alto volumen decenas de vatios más, cargar dispositivos por USB otros cuantos, en viajes largos, supone 200-300 W adicionales constantes durante horas suman varios puntos porcentuales de la batería^{lxiv}.

El ciclo WLTP realiza sus pruebas sin accesorios adicionales (no considera uso de la radio, ni luces, etc., salvo los imprescindibles de seguridad). En la vida real, especialmente en trayectos nocturnos o con lluvia (luces +limpiaparabrisas) o viajes con niños entretenidos con pantallas, hay un consumo parásito adicional.

Este trabajo tendrá en cuenta este aspecto de forma cualitativa al analizar por qué la autonomía real puede ser menor: por ejemplo, si un test de usuarios reporta menos km de los esperados, podría atribuirse en parte a que se hicieron con luces encendidas y climatizador funcionando. Aunque es complicado dar un porcentaje fijo, se mencionará que los consumos auxiliares podrían reducir la autonomía en aproximadamente un 2-5% en uso típico, y algo más en condiciones particulares

(hasta un 8-10% menos de autonomía en un viaje nocturno lluvioso muy largo, sumando luces, limpiadores, ventilador anti-vaho, etc.).

- **Pérdida de capacidad de la batería (degradación):** Con el paso del tiempo y los ciclos de carga/descarga, la batería de un vehículo eléctrico va perdiendo gradualmente parte de su capacidad útil. Esta degradación implica que, aun si el consumo energético (kWh/100 km) se mantuviera igual, la autonomía absoluta bajará porque el “tanque” de energía es más pequeño. Los valores WLTP se obtienen con vehículos nuevos o prácticamente nuevos; por tanto, un usuario con un coche de varios años y cierta degradación acumulada no podrá alcanzar la autonomía homologada inicial simplemente porque su batería ya no almacena los mismos kWh. Estudios de flotas de vehículos eléctricos han mostrado que la degradación media ronda el 2% anual de la capacidad en usos habituales, aunque con mucha variabilidad según el cuidado de la batería (temperaturas, cargas rápidas, nivel medio de carga, etc.). Para modelos populares, tras 5 años podría ser común haber perdido entre un 10% y un 15% de capacidad^{lxv}). En este trabajo, no se profundizará en modelos de degradación (pues cada vehículo y patrón de carga difiere), pero sí se aclarará al comparar autonomía que los datos recopilados de pruebas reales pueden incluir vehículos usados. Por ejemplo, si se emplean datos de usuarios, habrá que considerar que quizá su batería esté al 95-90% de su capacidad original, con el consiguiente recorte de autonomía. En la fase de validación de resultados se intentará discriminar si la diferencia observada entre WLTP y real es por factores instantáneos del Eje Z (clima, velocidad, etc.) o si también influye el envejecimiento del vehículo. En cualquier caso, la **pérdida de capacidad** es un factor del Eje Z que actúa a largo plazo, reduciendo progresivamente la autonomía real con respecto a la teórica de catálogo. En nuestras recomendaciones finales se mencionarán buenas prácticas para minimizar la degradación y así mantener la autonomía lo más cercana posible a la homologada a lo largo de la vida útil del vehículo.

Todos estos **otros factores** serán considerados de forma integral para completar el panorama de elementos que distinguen la autonomía real de la homologada. Si bien

muchos de ellos no se prestan a un análisis cuantitativo sencillo en el marco de este proyecto (por ejemplo, es difícil modelar cuánta batería extra consume exactamente el sistema de audio en cada caso, o cuánto ha degradado una batería específica), sí se incluirán en la discusión para reconocer su papel. De esta forma, el análisis comparativo no quedará incompleto: cualquier discrepancia notable entre los valores teóricos y empíricos que no se explique solo por climatología, desnivel o estilo de conducción podría hallar explicación en alguno de estos otros factores.

La visión tridimensional (eje X, Y, Z) de la autonomía eléctrica quedará así plenamente definida antes de proceder a la fase de análisis de resultados.

4.4. Metodología y recursos empleados

Tras definir qué factores y escenarios se van a examinar, es importante describir cómo se realizará el análisis comparativo WLTP vs autonomía real, en cuanto a selección de casos, obtención de datos y herramientas utilizadas. A continuación, se detalla la metodología seguida y los recursos empleados en este Trabajo de Fin de Grado:

Selección de vehículos de estudio: Para que los resultados sean representativos y útiles al usuario final, se ha llevado a cabo una cuidadosa selección de los vehículos eléctricos que se analizarán. El criterio principal ha sido representar fielmente la realidad del mercado español actual en el segmento de turismos particulares. Por ello, se ha optado por incluir modelos de uso particular y familiar, que son los más comunes y accesibles para la mayoría de los usuarios, evitando vehículos exclusivamente orientados a usos profesionales (taxis, flotas empresariales o furgonetas de reparto) cuyos patrones de uso y exigencias de autonomía difieren del usuario medio.

Asimismo, dentro de los turismos se han seleccionado vehículos de diferentes gamas y categorías: desde utilitarios urbanos, compactos, berlinas hasta SUV eléctricos.

Esta variedad permite un análisis transversal, observando cómo se comportan tanto coches pequeños como modelos de mayor tamaño y peso, dado que sus consumos y autonomías pueden diferir. Un segundo criterio ha sido centrarse en modelos

económicamente accesibles (en España, muchos de ellos acogidos al Plan MOVES III de ayudas), con precios base hasta ~45.000 €, que son los que conforman la mayor parte de las ventas.

Esto garantiza que el estudio se focaliza en vehículos relevantes para el consumidor medio. Finalmente, para cada modelo incluido se ha verificado la disponibilidad de datos confiables sobre su autonomía real, bien sea a través de literatura técnica, informes de prensa especializada o datos aportados por usuarios.

En resumen, la muestra de vehículos elegida cubre un espectro amplio pero equilibrado del parque de coches eléctricos, excluyendo extremos atípicos, con el fin de que las conclusiones sean aplicables al mayor número de casos posible.

Fuentes de datos y obtención de información: Este trabajo se apoya en múltiples fuentes de datos para contrastar la autonomía homologada con la real. En primer lugar, las especificaciones de fabricante y documentación oficial proporcionan las cifras de autonomía WLTP para cada modelo (generalmente expresadas en km, para ciclo combinado). Dichas cifras sirven de punto de partida o referencia teórica. A continuación, para obtener la autonomía real en distintos escenarios, se recurrirá a:

- **Bibliografía técnica y estudios publicados:** Incluye informes de organismos independientes, revistas del motor, portales especializados y estudios académicos que hayan medido consumos reales de vehículos eléctricos. Por ejemplo, pruebas comparativas como las mencionadas de Auto Bild o WhatCar, informes de entes como ADAC, o estudios científicos sobre eficiencia de VEs. Estas publicaciones suelen proporcionar datos de autonomía o consumo bajo ciertas condiciones controladas (p. ej., “autonomía a 120 km/h”, “prueba a temperatura bajo cero”, etc.), que resultan valiosos para alimentar nuestro análisis. Los datos extraídos de fuentes publicadas serán siempre contrastados y, cuando sea posible, promediados para minimizar sesgos (por ejemplo, si dos estudios ofrecen cifras algo distintas de autonomía para un mismo modelo en condiciones similares, se podría tomar un valor medio o dar preferencia a la fuente más reciente o con metodología más sólida).

- **Bases de datos y herramientas en línea:** Existen bases de datos colaborativas y recursos web donde usuarios y entusiastas comparten sus experiencias de consumo. Un ejemplo es Spritmonitor (muy utilizado para consumos de combustión y también con entradas de eléctricos) o herramientas como ev-database que ofrecen estimaciones de autonomía real en ciudad, carretera y combinada para numerosos modelos. Aunque los datos de usuarios individuales pueden variar, al reunir un volumen grande se pueden extraer tendencias confiables. Este proyecto utilizará tales recursos para complementar la información, especialmente en escenarios donde la bibliografía formal sea escasa. Por ejemplo, si se desea saber la autonomía real media del Nissan Leaf en invierno urbano, se podría consultar registros de varios usuarios en una base de datos y obtener un rango típico. Del mismo modo, plataformas como A Better Route Planner (ABRP), si bien son simuladores, emplean datos empíricos de flotas para predecir consumos en rutas concretas; se podría usar ABRP para simular un modelo en una ruta tipo y ver cuánta batería gastaría, comparándolo con su WLTP en esa misma distancia.
- **Pruebas de usuario y datos propios (si aplicable):** En la medida de lo posible, se intentará incorporar *pruebas directas* o datos medidos en primera persona. Mediante implementación de algún vehículo eléctrico del autor o colaboradores, para realizar un recorrido controlado y anotar consumos para luego compararlos. No obstante, la mayor parte del análisis se basará en datos secundarios (de literatura y bases de datos), asegurando siempre citar la procedencia de dichos datos.

Herramientas de simulación o estimación: Además de recoger datos existentes, se emplearán herramientas de cálculo para estimar impactos de factores específicos en escenarios donde no haya datos directos. Por ejemplo, para estimar la influencia del viento o de la pendiente, se puede usar **modelos físicos simplificados**: ecuaciones de resistencia aerodinámica ($F_R = \frac{1}{2} * \rho * c_R * A * v^2$) y de resistencia a la rodadura ($F_{Rr} = m * g * c_{Rr}$), integrándolas en hojas de cálculo o scripts que calculen el consumo energético en un trayecto dado. De igual forma, para combinar varios factores (p. ej., día frío +

conducción a alta velocidad + vehículo cargado), se desarrollará un modelo combinatorio que aplique coeficientes de penalización sucesivos a la autonomía WLTP.

Por ejemplo, si WLTP=400 km, y se estima -20% por frío y -30% por velocidad alta, el modelo podría predecir ~224 km reales (aplicando las reducciones acumuladas). Estas aproximaciones se implementarán cuidadosamente para no sobreestimar reducciones (teniendo en cuenta que algunos factores interactúan). Software especializado no comercial podría ser empleado si está disponible; por ejemplo, APIs de planificación de rutas (como ABRP mencionado, o incluso Google Maps for elevation profiles) será suficiente para obtener estimaciones robustas. Todas las suposiciones de los modelos de simulación se documentarán, y los resultados numéricos que arrojen se contrastarán con datos reales para validar su fiabilidad.

Criterios de validación de resultados: La fase de análisis (Capítulo 5) consistirá en aplicar la metodología anterior y obtener resultados de autonomía real comparada con WLTP para distintos casos. Es fundamental establecer criterios para validar dichos resultados, es decir, para comprobar que las conclusiones son correctas y generalizables. Se contemplan varias vías de validación:

- **Coherencia con datos conocidos:** Cada vez que se obtenga un resultado (por ejemplo, “Modelo X pierde 25% de autonomía en invierno urbano”), se verificará si hay publicaciones o informes que reporten cifras similares. Si nuestro cálculo difiere sustancialmente de todo lo reportado en fuentes externas, habría que revisar los supuestos. La concordancia con rangos esperados (con pérdidas del orden del 20-30% en invierno, como ya citan varios estudios^{lxvi} será un indicador de validez.
- **Comparación entre múltiples fuentes:** Cuando se disponga de más de una fuente para un mismo dato, se comprobará que el resultado adoptado se encuentra dentro del rango. Por ejemplo, si la autonomía real a 120 km/h para un coche se obtuvo de una simulación propia en 300 km, pero fuentes A y B reportan 280 km y 310 km respectivamente, estaremos dentro de rango ($\pm\sim 5-7\%$), lo cual es aceptable. Si estuviéramos fuera de esos márgenes, habría que ajustar nuestro modelo o reevaluar.

- **Consistencia interna entre modelos:** Se espera que nuestros resultados mantengan cierta lógica comparativa entre vehículos. Por ejemplo, si el vehículo A tiene batería más grande o mejor aerodinámica que el B, es de esperar que su autonomía real en autopista sea mayor. Si nuestro análisis arrojará lo contrario sin justificación, sería una señal de posible error en los datos o el tratamiento. Así, se revisarán las tendencias: quién pierde más porcentaje en cada factor, qué vehículo se muestra más sensible a tal o cual condición, etc., y si eso coincide con lo esperable por sus características técnicas (coeficiente aerodinámico, peso, presencia de bomba de calor, etc.).
- **Validación cruzada mediante casos de estudio completos:** Como ejercicio final de validación, se podrán reconstruir casos de uso reales integrales: por ejemplo, simular un viaje completo (mezclando ciudad + autopista, con clima específico) usando nuestras estimaciones factor a factor, y luego comparar esa predicción con un relato real documentado de un usuario que hizo un viaje similar. Si nuestra metodología acierta a predecir cerca de lo que el usuario experimentó, será una fuerte confirmación de que los factores Eje Z se han ponderado adecuadamente. En caso contrario, se analizarían las discrepancias para afinar el modelo.

Con todo lo anterior, la metodología del trabajo queda definida: a partir de datos homologados y mediante la incorporación de factores Eje Z cuantificados por diversas fuentes, se obtendrán estimaciones de autonomía real en entornos urbano e interurbano. La pluralidad de fuentes y la validación continua garantizarán la rigurosidad del análisis, propio de un estudio técnico a nivel de ingeniería. De este modo, en el siguiente capítulo de análisis de resultados, se podrán presentar con confianza las comparativas entre autonomía teórica y real para cada vehículo y escenario, acompañadas de las justificaciones correspondientes basadas en los factores aquí descritos. Esto sentará las bases para, finalmente, proponer en las conclusiones recomendaciones de selección y uso óptimo del vehículo eléctrico en función de las condiciones de uso (objetivo último de este TFG).

Capítulo 5. Análisis de resultados

En este capítulo se comparan la **autonomía homologada (WLTP)** de varios vehículos eléctricos con su **autonomía real observada**, considerando distintos escenarios de uso. Se analizan por separado condiciones de **movilidad urbana** (uso diario en ciudad) y **movilidad interurbana** (viajes por carretera), incorporando el impacto de los factores del “Eje Z” definidos previamente (climatología, desnivel, velocidad, estilo de conducción, etc.). El objetivo es identificar las desviaciones entre los valores teóricos y prácticos, y explicar qué factores penalizan más la autonomía, cómo varía el rendimiento entre modelos y bajo en qué condiciones se dan las mayores diferencias.

5.1. Autonomía en entornos urbanos (uso diario) vs. WLTP

En **condiciones urbanas** (trayectos de ciudad con velocidad baja y paradas frecuentes), los vehículos eléctricos suelen acercarse bastante a la autonomía homologada WLTP. La razón es que a bajas velocidades las pérdidas aerodinámicas son reducidas y el sistema de frenada regenerativa permite recuperar parte de la energía en las deceleraciones y frenadas. De hecho, en condiciones ideales (clima templado, conducción suave), es posible que la autonomía real iguale o incluso supere ligeramente a la homologada. Un amplio estudio sobre vehículos conectados mostró que a temperaturas óptimas (~21 °C) muchos EV pueden alcanzar hasta un 115% de su autonomía nominal gracias a su alta eficiencia en ciudad^{lxvii}.

Esto indica que, en entornos urbanos favorables, la autonomía real puede ser muy cercana a la teórica.

No obstante, varios factores del “Eje Z” pueden reducir la autonomía en ciudad. Uno de los más importantes es la climatología adversa, especialmente las temperaturas extremas. En invierno, el uso de la calefacción del habitáculo y la menor eficiencia de la batería en frío pueden mermar considerablemente la autonomía. Por ejemplo, según la AAA

(American Automobile Association), conducir un EV a ~ 7 °C utilizando la calefacción puede disminuir la autonomía en torno a un 41%^{lxviii}.

En entornos urbanos, esto se manifiesta en recorridos más cortos entre cargas, sobre todo si se realizan trayectos breves donde el coche debe calentarse desde cero en cada uso. Del mismo modo, en verano el uso intensivo del aire acondicionado o temperaturas muy altas (por encima de ~ 35 °C) también penalizan la autonomía (aunque en menor medida que la calefacción, con descensos típicos del $\sim 17\%$ según estudios a 35 °C con climatizador)^{lxix}.

En tráfico urbano denso, otros consumos auxiliares como luces, limpiaparabrisas (en caso de lluvia) o sistemas electrónicos también añaden demanda de energía; si bien su impacto individual es pequeño, en conjunto pueden restar algunos kilómetros de alcance. En suma, en ciudad la diferencia respecto a WLTP suele ser baja con clima benigno y conducción eficiente, pero bajo condiciones desfavorables (frío extremo, calor intenso con climatización, aceleraciones bruscas) la autonomía real puede caer sustancialmente por debajo de la homologada.

Otro factor a considerar en ciudad es el estilo de conducción. Una conducción agresiva (acelerones y frenazos constantes) desaprovecha la ventaja de la frenada regenerativa – parte de la energía se disipa en los frenos convencionales – y aumenta el consumo. Por el contrario, una conducción suave, anticipando las detenciones (ej. al acercarse a un semáforo) para maximizar la regeneración, ayuda a acercar el consumo real al óptimo teórico. Las diferencias entre modelos en entorno urbano tienden a ser menores que en carretera, ya que la eficiencia a baja velocidad está limitada principalmente por factores similares (peso del vehículo, eficiencia del motor y sistemas auxiliares). Aun así, características como la presencia de bomba de calor para climatización (frente a resistencias eléctricas) pueden hacer que ciertos modelos pierdan menos autonomía con frío que otros. En conclusión, en uso urbano diario, muchos vehículos eléctricos alcanzan autonomías cercanas a WLTP, salvo en condiciones de clima muy frío o con un estilo de conducción poco eficiente, donde sí se evidencia una reducción notable de alcance respecto al valor homologado.

A la luz de lo analizado, y teniendo en cuenta que la media diaria de kilómetros recorridos en España es de aproximadamente 31 km por turismo^{lxx}, puede afirmarse que la autonomía de los vehículos eléctricos es plenamente suficiente para cubrir las necesidades de movilidad urbana cotidiana. Incluso teniendo en cuenta las posibles penalizaciones derivadas del Eje Z, como el clima adverso o un estilo de conducción menos eficiente, estas no representan una limitación real en ciudad. Por tanto, se concluye que, **en el uso urbano diario, el Eje Z no condiciona de forma significativa la autonomía de un VE**, lo que refuerza su idoneidad como solución sostenible y práctica para los desplazamientos en entornos urbanos.

5.2. Autonomía en entornos interurbanos (viajes por carretera) vs. WLTP

En condiciones interurbanas o de viaje (trayectos por autovía/autopista a velocidades sostenidas elevadas), la autonomía real de los vehículos eléctricos se desvía mucho más de la cifra WLTP. El ciclo de homologación WLTP incluye solo una fracción limitada de conducción a alta velocidad (por ejemplo, unos 5 minutos a ~130 km/h en su fase de velocidad muy alta), por lo que no representa adecuadamente un viaje largo por autopista. En la práctica, al circular durante largos periodos a 120-130 km/h, la resistencia aerodinámica y de rodadura elevan el consumo energético muy por encima del promedio del ciclo WLTP, reduciendo drásticamente la autonomía lograda circulando a velocidades inferiores.

Diversos tests en condiciones reales demuestran estas diferencias. Según datos recopilados por Autobild, no es difícil encontrar diferencias de más de 200 km entre la autonomía WLTP anunciada y la autonomía real a 130 km/h^{lxxi}.

Por ejemplo, un Mercedes EQE 350+ homologado a 660 km WLTP obtuvo solo ~423 km manteniendo 130 km/h constantes.

De manera similar, modelos más generalistas con alrededor de 500 km WLTP, como el Skoda Enyaq iV o el Kia EV6, vieron reducida su autonomía a poco más de 300 km reales en autopista^{lxxii}.

El caso de vehículos menos aerodinámicos es aún más pronunciado: por ejemplo, pequeñas furgonetas eléctricas de pasajeros (Peugeot e-Rifter, Opel Combo-e) **no** alcanzan ni 200 km de autonomía real a 120-130 km/h, cuando sus cifras WLTP superan ampliamente esa cifra. Estos resultados evidencian que a alta velocidad la autonomía se puede reducir un 40% o más respecto a la anunciada, especialmente en vehículos con peor aerodinámica o mayor peso frontal. En esencia, el peor escenario para la autonomía es la combinación de velocidad elevada continua además de factores adversos (como viento en contra, clima frío o lluvia), típicos de desplazamientos por carretera abierta.

El motivo principal de esta merma en recorridos interurbanos es la resistencia del aire, que crece exponencialmente con la velocidad. Cualquier vehículo eléctrico consumirá más energía cuanto mayor sea su velocidad, ya que debe vencer una resistencia aerodinámica mucho mayor.

Además, a alta velocidad no hay tantas oportunidades de regenerar energía (no se frena con frecuencia), por lo que cada subida en consumo reduce directamente la autonomía sin posibilidad de recuperarla. Incluso sin considerar otros factores, pasar de 100 km/h a 120 km/h puede aumentar significativamente el consumo medio (por ejemplo, en un SUV eléctrico, el consumo puede subir del orden de 18 kWh/100 km a más de 22 kWh/100 km al pasar de velocidad de crucero moderada a 120+ km/h^{lxxiii}).

Por tanto, gran parte de la diferencia entre la autonomía real en viaje y la WLTP proviene de esta mayor demanda energética para mantener velocidades de autopista.

Otros factores del “Eje Z” agravan o mitigan esta situación en carretera. El desnivel del trayecto es importante: recorrer muchos kilómetros en ascenso (desnivel positivo) aumenta el consumo más allá de lo normal, mientras que los descensos ayudan a recuperarlo parcialmente mediante regeneración. Sin embargo, la recuperación en bajada nunca es 100% eficiente, por lo que rutas montañosas generan un balance neto de energía consumida mayor que rutas planas. Por ejemplo, ascender un puerto de montaña puede incrementar el consumo medio en varios kWh/100 km; aunque en la bajada siguiente se

recupere parte de la energía potencial, siempre habrá pérdidas por calor y límites en la capacidad regenerativa. En la práctica, un recorrido con pronunciadas subidas y bajadas resultará en una autonomía real menor que uno llano, incluso si la distancia es la misma. Asimismo, el viento influye: un fuerte viento en contra actúa como una “velocidad extra” relativa, elevando el consumo (un viento frontal de 30 km/h equivale a circular 30 km/h más rápido en términos de resistencia del aire). Por el contrario, un viento a favor podría mejorar ligeramente la autonomía. La lluvia intensa también puede reducir la autonomía en carretera, tanto por la resistencia que ofrece el agua en el pavimento (neumáticos desplazando agua) como por el uso de limpiaparabrisas y luces; su efecto es menos marcado que el de la velocidad o la temperatura, pero se estima que una calzada muy mojada puede incrementar el consumo varios puntos porcentuales.

Las diferencias entre modelos suelen amplificarse en entornos interurbanos. Vehículos con diseño aerodinámico eficiente y tren motriz optimizado suelen mantener una porción mayor de su autonomía WLTP a altas velocidades, mientras que vehículos más pesados o menos aerodinámicos como los SUV grandes, sufren caídas proporcionalmente mayores.

A	B	C
12-14%	24-28%	29-33%
Hyundai Kona Electric, Kia EV6	Volkswagen ID.4 GTX, Citroën ë-C4	Tesla Model Y AWD, Aixaris U5, Volvo XC40 Recharge

Tabla 5: Desviación de Autonomía Homologada vs. Real por Modelo de Vehículo

Un análisis comparativo mostró, por ejemplo, que modelos del grupo A (diseños eficientes) tenían desviaciones inferiores al 12-14% entre su autonomía homologada y la obtenida en pruebas reales, posicionándose entre los más precisos. En cambio, otros como los grupos B y C, presentaban autonomías reales un 24% a 33% inferiores a las WLTP^{lxxiv}, siendo “menos honestos” en términos relativos.

Esta variabilidad indica que no todos los vehículos se ven afectados por igual: factores de diseño (coeficiente aerodinámico, sección frontal), eficiencia del motor/inversor, gestión térmica de la batería, tamaño de las llantas, etc., determinan cuánto se aleja el rendimiento real del ideal. En rutas a velocidad de crucero, los vehículos con mejor aerodinámica y

sistemas más eficientes (incluyendo bombas de calor para climatización) logran acercarse más a su rango teórico, mientras que aquellos con carrocerías voluminosas o sistemas menos optimizados obligan a recargar con más frecuencia de la esperada.

En resumen, el análisis de resultados muestra un patrón claro: en uso urbano y condiciones favorables, la autonomía real de un VE puede ser similar a la WLTP, pero en uso interurbano (especialmente a alta velocidad) la autonomía real suele ser muy inferior a la homologada. Los factores del “Eje Z” influyen de forma diferenciada: la velocidad elevada y la climatología extrema (frío intenso con calefacción, calor con A/C) emergen como los penalizadores más fuertes de la autonomía, causando desviaciones de dos dígitos en porcentaje. El perfil del terreno y el estilo de conducción también afectan: orografías montañosas y conducción agresiva reducen la eficiencia, aunque su impacto puede mitigarse parcialmente con regeneración y una conducción más suave. Por último, cada vehículo tiene un comportamiento propio – modelos eficientes mantienen mejor su autonomía en distintos entornos, mientras que otros presentan mayores brechas – lo que subraya la importancia de analizar bajo qué condiciones de uso se han obtenido las autonomías declaradas y entender que la “autonomía WLTP” es solo una referencia idealizada. Estos resultados sientan las bases para, en el siguiente capítulo, extraer conclusiones sobre qué factores limitan más la movilidad eléctrica real y qué recomendaciones pueden darse a los usuarios para optimizar la autonomía en la práctica.

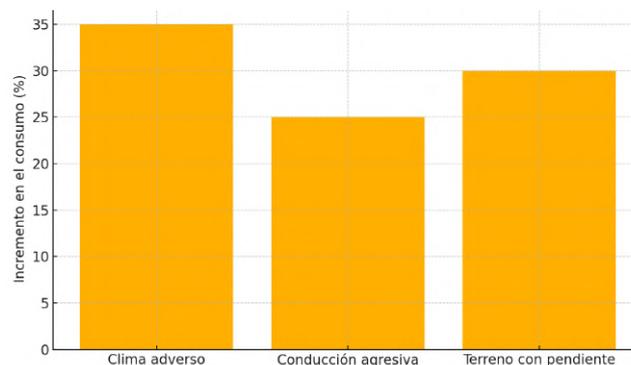


Ilustración 16: Impacto estimado de los tres factores sobre el consumo energético

Se observa cómo el consumo energético del vehículo puede incrementarse significativamente en función del entorno de uso, alejándose de los valores teóricos ofrecidos por los ciclos de homologación.

En condiciones de clima adverso, el incremento del consumo puede alcanzar un 35 %, debido a múltiples elementos como la baja temperatura reduciendo el rendimiento de la batería, el uso intensivo de sistemas de climatización o el aumento de la resistencia aerodinámica.

Por otro lado, un estilo de conducción agresivo, caracterizado por aceleraciones bruscas y frenadas intensas, puede aumentar el consumo hasta en un 25 %, al desaprovechar el sistema de regeneración y exigir mayor potencia al motor eléctrico.

Por último, los recorridos con terreno en pendiente suponen un incremento estimado del 30 %, ya que la energía necesaria para vencer la gravedad en subidas es considerablemente mayor que en condiciones llanas, y aunque parte pueda recuperarse en las bajadas, el balance neto suele ser negativo.

En definitiva, este gráfico evidencia que, más allá de las cifras oficiales de autonomía, la eficiencia real de los vehículos eléctricos depende en gran medida de factores como el clima, el estilo de conducción y el tipo de terreno, aspectos que deben ser considerados con rigor en cualquier análisis sobre su rendimiento y viabilidad.

Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones para optimizar rendimiento

A la vista del análisis anterior, se pueden establecer varias **conclusiones clave** sobre la autonomía real de los vehículos eléctricos y los factores que más la condicionan. En primer lugar, se confirma que existe una brecha significativa entre la autonomía homologada (WLTP) y la autonomía real en uso cotidiano, especialmente en ciertos escenarios. Esta brecha es especialmente pronunciada en entornos interurbanos: cuando el vehículo circula a velocidades de autopista (120 km/h o superiores) la autonomía alcanzable suele ser muy inferior a la teórica, con desviaciones típicas del 30-40% (o más) en condiciones adversas^{lxxv}.

De hecho, la mayor diferencia respecto a WLTP se observa en viajes largos a alta velocidad, donde factores como la resistencia aerodinámica elevada y la ausencia de frenadas regenerativas prolongadas obligan a un consumo continuo alto. En contraste, en entornos urbanos la discrepancia es menor; muchos usuarios pueden acercarse al rango WLTP en ciudad, e incluso superarlo ligeramente en climas templados^{lxxvi}, debido a las bajas pérdidas a baja velocidad y la eficiencia del frenado regenerativo. No obstante, incluso en ciudad surgen desviaciones notables cuando intervienen factores como el clima frío – en cuyo caso la necesidad de calefacción y el enfriamiento de la batería reducen la autonomía disponible en hasta un 40%^{lxxvii} o un estilo de conducción poco eficiente (arranques bruscos, tráfico muy congestionado con paradas y arranques continuos, etc.).

Entre todos los elementos del “Eje Z”, los que más influyen en la pérdida de autonomía son la velocidad y la climatología. La velocidad actúa como factor multiplicador: a mayor velocidad sostenida, mayor consumo y menor rango por carga, lo que explica que la diferencia respecto a WLTP sea mucho más acusada en autopista que en ciudad. La climatología extrema, por su parte, afecta en cualquier entorno: temperaturas bajas obligan a destinar parte de la energía de la batería a calentar el habitáculo y la propia batería, mientras que temperaturas muy altas requieren energía para refrigeración; ambos casos resultan en menos energía disponible para mover el vehículo. En especial, el frío intenso combinado con el uso de calefacción interior es la situación que más merma la

autonomía (del orden de 30-40% menos autonomía). mientras que el calor con aire acondicionado suele implicar reducciones más moderadas (10-20%).

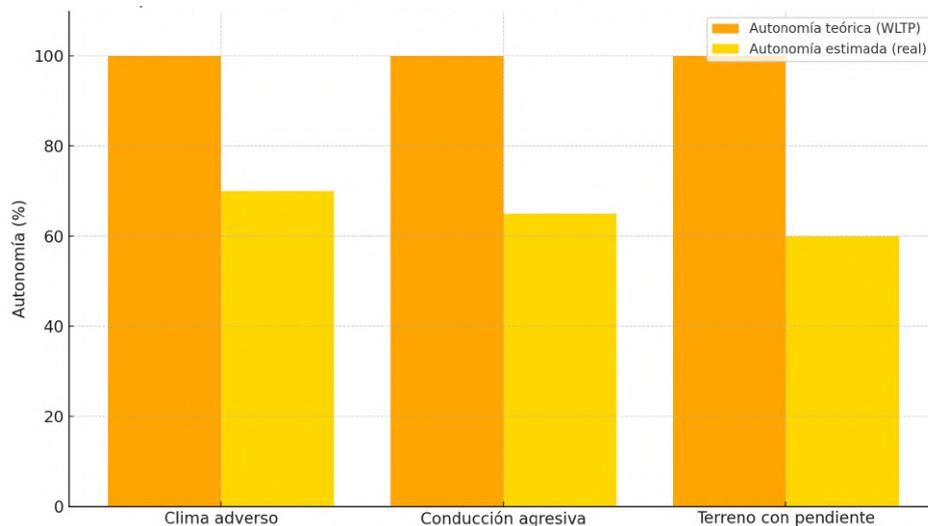
El **desnivel del terreno** también desempeña un papel: se concluye que en recorridos con subidas pronunciadas la autonomía real disminuye adicionalmente, ya que ascender pendientes consume mucha energía. Si bien las bajadas permiten recuperar parte de esa energía, las pérdidas por eficiencia aseguran que la autonomía neta en un trayecto con desniveles siempre sea menor que en uno llano equivalente. Este efecto es más evidente en rutas de montaña o con constantes cambios de elevación, mientras que en recorridos predominantemente planos el desnivel no será un factor crítico. Por otro lado, el estilo de conducción sí marca diferencias apreciables: la conducción agresiva reduce la autonomía en cualquier entorno, mientras que una conducción eficiente puede mejorarla sensiblemente (hasta un ~15-20% según qué hábitos se apliquen)^{lxxviii}.

Esto indica que el conductor tiene en su mano parte del resultado: una misma unidad de vehículo puede dar autonomías distintas en manos de distintos conductores, según aprovechen o malgasten la energía en su forma de conducir.

Finalmente, se concluye que no todos los vehículos eléctricos pierden autonomía real en la misma proporción. Hay modelos que, por su diseño y tecnología, mantienen un rendimiento más consistente respecto a la cifra homologada, mientras que otros son más sensibles a las condiciones de uso. Por ejemplo, vehículos con buen coeficiente aerodinámico, motores y electrónica eficientes, y sistemas de climatización eficientes (como bomba de calor) tienden a sufrir **menos penalización relativa** en autopista o en invierno. Un caso ilustrativo fue el de algunos crossover y compactos (Kona Electric, Kia EV6, etc.) con diferencias inferiores al 15%, frente a SUV más pesados o menos optimizados que presentaron brechas del 25-30%^{lxxix}.

Asimismo, la capacidad de la batería y su gestión influyen: baterías de gran tamaño pueden atenuar la incidencia de consumos extra (proporcionan más km por cada kWh gastado en climatización, por ejemplo), mientras que baterías pequeñas son más

susceptibles a cualquier consumo auxiliar. También, con el paso del tiempo, la **degradación de la batería** reduce la capacidad utilizable y, por tanto, la autonomía máxima: un vehículo con varios años de uso no alcanzará las mismas cifras que cuando era nuevo, debido a la pérdida de capacidad (usualmente un 2-3% por año, dependiendo de cuidados y química, lo que tras ~5 años podría restar un 10-15% de autonomía). Este factor de envejecimiento no se refleja en la homologación inicial pero sí impacta la experiencia real de los usuarios a largo plazo.



En resumen, como observamos en la gráfica, las mayores desviaciones respecto a la autonomía teórica WLTP se producen bajo condiciones reales exigentes, para circunstancias desfavorables dentro de los tres factores principales del Eje Z.

Tal como se observa en la figura, en escenarios de **clima adverso** la autonomía real puede caer hasta entorno a un **70 %**, mientras que en casos de **conducción agresiva** desciende aún más, alcanzando solo en torno al **65 %** de la homologada por el vehículo de media.

El escenario más crítico se presenta en **terrenos con pendiente**, donde la autonomía estimada se reduce al **60 %**, lo que implica una pérdida del **40 %** respecto al valor teórico anunciado por los fabricantes.

Estos resultados reflejan el impacto significativo de factores como la velocidad, el estilo de conducción, la topografía y las condiciones climáticas sobre el rendimiento del

vehículo eléctrico. Asimismo, se aprecia una notable variabilidad entre modelos: aquellos con mejor aerodinámica y sistemas de gestión térmica avanzados logran mantener una autonomía más cercana a la estimación WLTP, mientras que los menos eficientes registran las mayores pérdidas.

A partir de estas conclusiones, se presentan a continuación recomendaciones prácticas y técnicas orientadas a maximizar la eficiencia energética y mejorar la experiencia de uso en condiciones reales, incluyendo tanto hábitos de conducción como configuraciones del propio vehículo.

6.1. Pre-acondicionamiento de la batería

Pre-acondicionar la batería significa llevarla a una temperatura óptima de funcionamiento **antes** de iniciar la marcha, aprovechando preferiblemente una fuente de energía externa (la red eléctrica) en lugar de la propia batería. Dado que las baterías funcionan de forma más eficiente cuando no están ni demasiado frías ni demasiado calientes, esta práctica es especialmente útil en invierno. En climas fríos, una batería a baja temperatura reduce su capacidad disponible y limita la potencia (incluida la regenerativa), lo que merma la autonomía. Por ello, se recomienda calentar la batería mientras el vehículo está enchufado y previo al viaje. Muchos vehículos permiten programar una hora de salida; al hacerlo, el sistema puede activar calefactores de batería y terminar la carga justo antes de la partida. Según estudios, salir con la batería caliente puede aumentar la autonomía inicial en tiempo frío entre un 15% y un 20%^{lxxx} respecto a arrancar con la batería “helada”. En otras palabras, si vamos a conducir en invierno a primera hora, es conveniente programar la carga nocturna para que finalice justo antes de salir, de modo que la propia corriente de carga caliente internamente la batería, y usar cualquier función de *preconditioning* disponible para que la batería alcance su rango térmico ideal mientras el coche sigue conectado.

En verano u ambientes muy cálidos, el pre-acondicionamiento de la batería podría implicar enfriarla antes de la salida (en vehículos con sistemas de refrigeración activa), lo cual mejora su eficiencia y protege su vida útil.

Adicionalmente, mantener el coche enchufado siempre que sea posible en condiciones extremas (tanto de frío como de calor) permite que el sistema use energía de la red para accionar los sistemas de gestión térmica de la batería. Esto no solo preserva la autonomía (al no gastar esos kWh en ruta para calentar/enfriar la batería), sino que también puede prolongar la vida del acumulador al evitarle exposiciones prolongadas a temperaturas dañinas.

En resumen, el pre-acondicionamiento de la batería consiste en aprovechar la infraestructura de carga para lograr que la batería esté a la temperatura adecuada al inicio del viaje, ya sea planificando la carga con antelación o utilizando funciones específicas del vehículo. Este hábito resulta especialmente beneficioso en invierno, reduciendo considerablemente el impacto negativo del frío en la autonomía real.

6.2. Pre-climatización del habitáculo

Al igual que la batería, el habitáculo del vehículo puede pre-acondicionarse antes de la salida. La **pre-climatización del interior** implica calentar o enfriar el coche mientras está todavía conectado a la red, de forma que la energía consumida por el climatizador provenga de la toma de corriente y no de la batería de tracción. De este modo, se inicia el trayecto con la temperatura interior ya confortable, sin haber gastado energía de la batería en lograrlo, y con el sistema de climatización posiblemente apagado o al mínimo durante los primeros kilómetros.



Ilustración 17: Imagen App Tesla Pre-climatización habitáculo a 20°C

En la práctica, antes de emprender la marcha conviene, si es posible, encender la calefacción o el aire acondicionado unos minutos mientras el coche está enchufado. En invierno, esto permite salir con el habitáculo caliente sin penalizar la autonomía – la energía consumida en calentar el aire y los asientos habrá provenido de la red eléctrica.

Heliox recomienda explícitamente calentar el habitáculo junto con la batería antes de desenchufar el vehículo, de manera que “utiliza la energía de la red en lugar de la batería” para este propósito^{lxxxi}.

En verano, de igual forma, se puede enfriar el interior (activar el A/C) unos minutos antes de partir, evitando que el climatizador tenga que trabajar al máximo durante los primeros instantes de conducción.

La gestión inteligente del climatizador una vez en marcha también es importante. Una vez pre-acondicionado el habitáculo, se sugiere mantener la temperatura moderada para reducir el consumo continuo: por ejemplo, en invierno no establecer 25 °C cuando 20-

21 °C pueden ser suficientes con la ropa adecuada, o en verano no poner el A/C excesivamente frío. Además, hacer uso de las funciones auxiliares de climatización de manera eficiente: muchos EV incorporan asientos o volante calefactados, los cuales consumen mucha menos energía (decenas de Watts) que calentar todo el volumen de aire del habitáculo (varios kW)^{lxxxii}.

Por ello, en días muy fríos es más eficiente activar la calefacción de asiento y volante (que calientan directamente al ocupante) y reducir la potencia del calefactor principal, con lo que se ahorra energía de la batería sin sacrificar confort.

Igualmente, en verano, usar la ventilación dirigida y funciones como enfriamiento de asiento (si existe) puede aliviar la sensación térmica con menos consumo que enfriar todo el aire.

En síntesis, la recomendación es pre-climatizar el coche durante la carga previa al viaje, y luego, durante la conducción, optimizar el uso del climatizador: ajustar la temperatura razonablemente, utilizar las opciones de calefacción localizada (asientos/volante) y evitar abrir ventanillas con el A/C encendido (para no perder aire acondicionado). Estas prácticas garantizan un habitáculo cómodo minimizando la energía extraída de la batería para climatización, lo que maximiza la autonomía en cualquier época del año.

6.3. Aerodinámica y llantas eficientes

La aerodinámica del vehículo y la elección de llantas/neumáticos tienen un efecto significativo en la eficiencia, sobre todo a velocidades altas. Si bien el diseño aerodinámico general del coche viene dado de fábrica, el usuario puede tomar medidas para reducir la resistencia al avance en lo posible.



Ilustración 18: Vehículo eléctrico con portabicicletas en el techo

Una recomendación básica es minimizar los elementos externos que perjudican la aerodinámica: por ejemplo, retirar barras portaequipajes o portabicicletas cuando no se utilizan (un portaequipajes de techo puede aumentar notablemente el arrastre aerodinámico y elevar el consumo en un 10%-25% en autopista).

Por ello muchos EV modernos incorporan cubiertas carenadas para las ruedas, tiradores enrasados, retrovisores digitales, etc., orientados a optimizar la aerodinámica. El usuario debe procurar mantener la configuración de fábrica optimizada, evitando modificaciones que aumenten la resistencia al aire.

En cuanto a las llantas y neumáticos, su influencia es doble: aerodinámica (flujo de aire alrededor de la rueda) y resistencia a la rodadura. Unas llantas aerodinámicas o con tapacubos especiales pueden proporcionar pequeñas ganancias de eficiencia. Por ejemplo, en pruebas realizadas con un Tesla Model 3, equipar las llantas aerodinámicas de serie frente a llantas descubiertas redujo el consumo en torno a un 2,5% a 113 km/h (de 19,76 a 19,26 kWh/100 km), lo que se traduce en ~10 km extra de autonomía en ese caso. Aún mayor fue el beneficio a 145 km/h, donde la mejora alcanzó el 4,5%^{lxxxiii}.

En promedio, el uso de llantas “aero” supuso una ganancia del 3,4% de eficiencia en tres rangos de velocidad probados^{lxxxiv}.

Si bien a priori puede parecer un efecto menor, cualquier aumento de eficiencia se traduce en más kilómetros por carga. Por tanto, utilizar las llantas más eficientes disponibles para el modelo (muchos fabricantes ofrecen opcionales “aero” o de menor diámetro) ayudará a optimizar el alcance. Asimismo, montar neumáticos de baja resistencia a la rodadura (marcados generalmente con clase A en eficiencia) contribuye a reducir las pérdidas energéticas por deformación del neumático al rodar. Un neumático eficiente puede ahorrar varios puntos porcentuales de consumo frente a otro de peor categoría, sin contar que también generará menos ruido y calor.

Otro aspecto crítico es mantener la presión de los neumáticos adecuada. Una presión inferior a la recomendada aumenta la resistencia a la rodadura (el neumático se deforma más y “se pega” más al asfalto) y puede incrementar el consumo notablemente, además de ser inseguro. Por cada disminución de 0,1-0,2 bar por debajo del valor óptimo, la eficiencia empeora. En invierno es común que baje la presión (el frío reduce la presión interna ~0,07 bar por cada 10 °C de descenso)^{lxxxv}, por lo que es aconsejable revisar e inflar las ruedas con frecuencia. Mantener los neumáticos a su presión correcta garantiza obtener la autonomía esperada y maximiza la vida útil del propio neumático.

En resumen, para optimizar la autonomía conviene mejorar todo lo posible la aerodinámica y reducir las pérdidas por rodadura: usar llantas/tapacubos aerodinámicos, neumáticos eficientes y bien inflados, y eliminar cargas o accesorios externos innecesarios cuando se circule. Estas acciones combinadas pueden suponer desde unos pocos puntos porcentuales hasta decenas de kilómetros extra de autonomía, especialmente a velocidades de autopista donde cada mejora aerodinámica cuenta.

6.4. Estilo de conducción y velocidad eficiente

El estilo de conducción del usuario es uno de los factores más determinantes en el consumo energético del vehículo eléctrico. Adoptar una conducción eficiente puede extender significativamente la autonomía, mientras que conducir de forma agresiva la

reducirá. A continuación, se enumeran pautas de conducción para maximizar la eficiencia:

- **Mantener una velocidad moderada y constante:** Evitar circular a velocidades muy altas cuando no sea necesario. A 120 km/h el consumo es sustancialmente mayor que a 90-100 km/h; por ello, en viajes largos, reducir algo la velocidad de crucero puede suponer ganar bastante autonomía. Cada 10 km/h por encima de ~100 km/h incrementan de forma notable el arrastre aerodinámico^{lxxxvi}, de modo que respetar límites y no exceder velocidades óptimas alargará el alcance. En muchas ocasiones, conducir a, por ejemplo, 110 km/h en lugar de 130 km/h puede permitir llegar al destino sin recargar o con menos paradas, compensando con creces el pequeño aumento de tiempo de viaje.
- **Aceleraciones y frenadas suaves:** Conducir con anticipación, evitando los acelerones bruscos y los frenazos innecesarios. Las aceleraciones fuertes consumen mucha potencia instantánea (altos kW) que drenan rápidamente la batería. Además, las frenadas repentinas suelen implicar que parte de la energía cinética se disipa en calor en los frenos en lugar de recuperarse. Es preferible acelerar de forma progresiva y frenar con tiempo, permitiendo que el sistema regenere energía. La conducción “eco” se caracteriza por movimientos graduales y controlados, y se estima que puede mejorar la autonomía entre un 15% y un 20% aplicando dichos principios^{lxxxvii}. Esto incluye mantener distancia con el vehículo delantero para no tener que frenar y acelerar constantemente, y leer el tráfico (por ejemplo, soltar el acelerador al ver un semáforo rojo en vez de llegar frenando tarde).
- **Uso adecuado de la frenada regenerativa:** La mayoría de VE permiten ajustar el nivel de frenada regenerativa o incluso conducirse con un solo pedal (*one-pedal driving*). Para maximizar eficiencia conviene habituarse a utilizar la retención regenerativa para decelerar en lo posible, reduciendo el uso del freno mecánico convencional solo a los últimos metros o emergencias. Cada vez que se regenera energía, se está recuperando carga que de otro modo se perdería. En descensos prolongados, aprovechar la retención para controlar la velocidad recarga la batería (aunque sea parcialmente) para kilómetros posteriores. En ciudad, intentar rodar

de semáforo a semáforo sin detenerse por completo (si la sincronización lo permite) a muy baja velocidad puede ahorrar energía de volver a arrancar el vehículo desde parado. En resumen, maximizar el tiempo en que el motor actúa como generador y minimizar el tiempo en que las frenadas sean puramente disipativas.

- **Seleccionar modos de conducción ecológicos:** Muchos coches eléctricos tienen modos de conducción (Eco, Normal, Sport). Utilizar el modo Eco limita la potencia disponible y suaviza la respuesta del acelerador, ayudando al conductor a evitar picos de consumo involuntarios. También suele atenuar el uso del climatizador para ahorrar energía. Conducir en modo Eco en trayectos cotidianos puede facilitar mantener un estilo eficiente sin esfuerzo, convirtiéndose en una buena práctica diaria (reservando modos más potentes solo para cuando se necesiten realmente). Además, algunos vehículos ofrecen asistencias como indicadores de conducción eficiente o puntuaciones, que pueden guiar al usuario a mejorar sus hábitos al volante.
- **Evitar sobrecarga innecesaria:** Si bien no es exactamente “estilo de conducción”, cabe mencionar que llevar carga extra o peso innecesario también aumenta el consumo (cada kg adicional implica más energía para moverlo). Por ello, es recomendable no acumular objetos pesados en el maletero o portar lastre que no se requiera para el viaje. Conducir “ligero” facilita al vehículo consumir menos en aceleraciones y subir pendientes.

Aplicando estas pautas, un conductor puede sacar el máximo partido de cada kWh de su batería. En esencia, se trata de conducir con suavidad, previsión y moderación. La recompensa es una autonomía notablemente mayor y una experiencia de conducción más relajada. Además, un estilo de conducción eficiente no solo incrementa la autonomía, sino que reduce el desgaste de frenos y neumáticos y mejora la seguridad al eliminar maniobras bruscas. En el contexto del vehículo eléctrico, donde la eficiencia lo es todo, el factor humano (el conductor) puede marcar diferencias equivalentes o mayores que las derivadas de mejoras técnicas.

6.5. Planificación de rutas y gestión de la recarga

La planificación inteligente de las rutas y las recargas es otra estrategia fundamental para optimizar el uso de un vehículo eléctrico y minimizar inconvenientes relacionados con la autonomía. A diferencia de un vehículo de combustión, en un VE una ruta mal planificada (por ejemplo, que no considere la necesidad de recargar o que atraviese terrenos muy exigentes sin previsión) puede resultar en apuros de batería. Por ello, se sugieren las siguientes recomendaciones en cuanto a planificación:

- **Elegir rutas eficientes cuando sea posible:** Al planificar un viaje, no solo importa la distancia más corta, sino también el perfil de velocidad y terreno. Puede ser más eficiente (y a veces más rápido en conjunto) tomar una ruta algo más larga pero que permita velocidades constantes moderadas o que evite puertos de montaña muy pronunciados, en lugar de la autopista más directa pero con pendientes fuertes. Por ejemplo, en un viaje largo, una ruta por carretera nacional a 90 km/h podría consumir mucho menos que la autopista a 120 km/h, eliminando la necesidad de una parada de carga intermedia. Si el tiempo lo permite, considerar estas rutas alternativas de menor consumo puede aumentar la autonomía efectiva y reducir la cantidad de recargas necesarias. Hoy en día existen aplicaciones y GPS que ofrecen opciones de “ruta ecológica” o permiten visualizar el consumo estimado por trayecto, lo cual puede ayudar a tomar esta decisión.
- **Planificar puntos de recarga estratégicamente:** En viajes que excedan la autonomía del vehículo, es imprescindible planear dónde recargar y con cuánta batería se llegará a cada punto. Una buena práctica es no apurar la batería al máximo; es decir, programar paradas de carga antes de que el nivel sea críticamente bajo (por ejemplo, no bajar del 10-15% de carga restante al llegar a un cargador). Esto da un margen ante imprevistos (un cargador fuera de servicio, un desvío no previsto) y además mantiene la batería en un rango saludable. Herramientas de planificación de rutas eléctricas (como ABRP, apps de fabricantes, Google Maps con EV settings, etc.) ayudan a estimar el porcentaje de batería al llegar a cada destino o estación de carga. Siguiendo sus indicaciones y, en caso necesario, ajustando la velocidad en ruta para cumplir con esos objetivos

(por ejemplo, si el plan indica que se llegará muy justo, reducir velocidad un 5-10% para ahorrar energía), se puede realizar el recorrido de forma eficiente y segura. La planificación también incluye identificar cargadores rápidos en el camino y, si es posible, preferir paradas donde se pueda aprovechar el tiempo de carga (por ejemplo, planear la comida del viaje en un área de servicio con cargador ultrarrápido, de forma que mientras se almuerza el coche recarga).

- **Considerar las condiciones climatológicas en la planificación:** Si se espera clima extremo en el camino (p.ej., una ola de frío o calor, fuertes vientos), hay que tener en cuenta que el consumo será mayor de lo normal. En invierno, es recomendable incrementar el margen de batería previsto para cada tramo, ya que la autonomía podría reducirse más de un 20-30% respecto a condiciones ideales. Asimismo, si se prevé viento en contra significativo, conviene suponer un consumo más alto. Algunos planificadores permiten introducir condiciones de clima o ajustar manualmente el consumo estimado del vehículo – en su defecto, el usuario puede ser conservador agregando un “colchón” adicional de energía para no quedarse corto. En definitiva, la flexibilidad es clave: estar dispuesto a hacer una parada extra de carga si las condiciones lo requieren, o a modificar la ruta sobre la marcha si surge algún inconveniente.
- **Optimizar horarios y uso del vehículo:** En la medida de lo posible, planificar horarios de salida que eviten los extremos de temperatura puede ayudar. Por ejemplo, en invierno quizás iniciar el viaje a media mañana (cuando la temperatura sube algo) en lugar de madrugada podría implicar una batería menos fría y un menor uso de calefacción. Del mismo modo, se podría intentar evitar atascos prolongados (que consumen energía en climatización sin avanzar kilómetros) planificando la salida para evadir horas punta de tráfico. Aunque no siempre es posible ajustar el horario, es un factor adicional a considerar para hacer un uso más eficiente del coche.
- **Conocer las limitaciones de la ruta y del vehículo:** Por último, la planificación eficaz requiere que el usuario conozca bien su vehículo (cómo varía su consumo a distintas velocidades, cuánto tarda en cargar del X% al Y%, etc.) y las características de la ruta. Así podrá tomar decisiones informadas, como por ejemplo decidir cargar un poco más de lo habitual en un punto porque el siguiente

tramo es en subida, o saltarse una carga porque el consumo está siendo mejor de lo previsto. Esta capacidad se adquiere con la experiencia, pero en todo caso la recomendación general es pecar de prudencia: más vale llegar con un margen de energía que quedarse corto.

En síntesis, la planificación de rutas y recargas permite optimizar el tiempo y la energía en los desplazamientos eléctricos. Un usuario que planifica adecuadamente podrá viajar con confianza, aprovechando al máximo la autonomía de su coche sin sorpresas desagradables. Combinada con las recomendaciones de conducción y pre-acondicionamiento, una buena planificación cierra el círculo para maximizar la eficiencia y mejorar la experiencia real de uso del vehículo eléctrico, eliminando en gran medida la ansiedad por la autonomía y garantizando desplazamientos más fluidos y sostenibles.

Capítulo 7. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En este capítulo se analiza cómo los resultados y propuestas de este Trabajo de Fin de Grado centrado en la viabilidad del vehículo eléctrico en el entorno urbano español, sus ventajas energéticas, medioambientales (análisis del eje Z) y de implantación– contribuyen a los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** de la Agenda 2030 de la ONU. De los 17 ODS, el presente proyecto guarda una relación directa especialmente con los **ODS 7, 9, 11, 12 y 13**, dado que aborda la transición hacia una energía más limpia, el impulso de infraestructuras innovadoras, la sostenibilidad urbana, el consumo responsable y la acción climática. A continuación, se detallan estos objetivos prioritarios y su vínculo con el vehículo eléctrico, mencionando también de forma más breve otros ODS secundarios como el ODS 3 (salud y bienestar), ODS 8 (crecimiento económico sostenible) y ODS 17 (alianzas para los objetivos). La alineación con los ODS pone de manifiesto la relevancia global de la movilidad eléctrica y refuerza cómo este TFG contribuye al cumplimiento de metas internacionales de sostenibilidad.



Ilustración 19: ODS's, Resaltando en color ODS 7, 9, 11, 12 y 13.

7.1 ODS 7: Energía asequible y no contaminante

El ODS 7 persigue garantizar el acceso universal a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. La promoción del vehículo eléctrico (VE) se alinea plenamente con este objetivo al impulsar el uso de energías limpias en el transporte. En España, el sector transporte ha dependido tradicionalmente de los combustibles fósiles (gasolina y diésel), pero la electrificación permite aprovechar la creciente participación de las energías renovables en la producción de electricidad. De hecho, en 2024 las fuentes renovables generaron el 56% de la electricidad en el mix eléctrico nacional^{lxxxviii}, proporción que tiende al alza con nuevas instalaciones eólicas y fotovoltaicas. Esto significa que un vehículo eléctrico cargado en la red española obtiene una parte significativa de su energía de origen no contaminante, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles importados y disminuyendo las emisiones de CO₂ por kilómetro recorrido respecto a un vehículo de combustión equivalente^{lxxxix}.

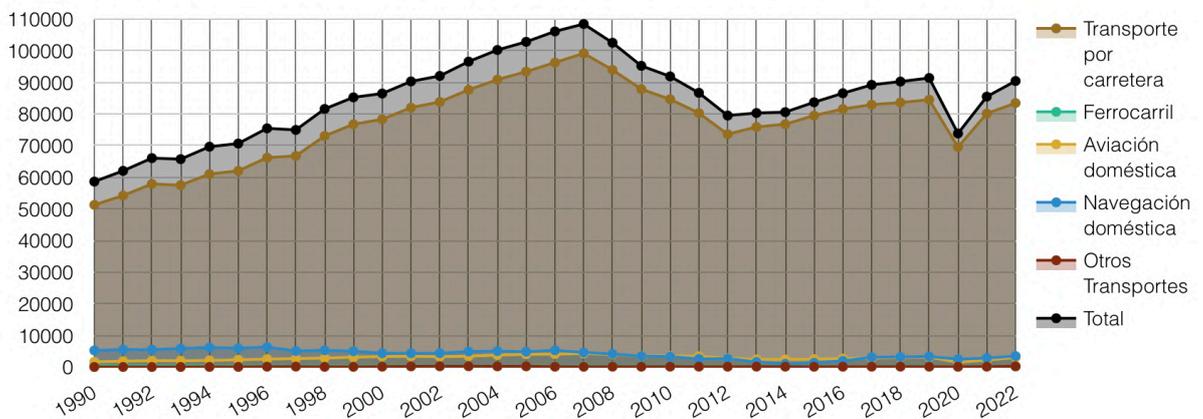


Ilustración 20: Desglose para el sector del transporte, Emisiones brutas CO₂ y Otros. Evolución.

Además de ser más limpio, el vehículo eléctrico puede resultar más asequible en términos de coste energético para el usuario. La mayor eficiencia de los motores eléctricos (con rendimientos superiores al 90%) y el menor coste por kilovatio-hora en comparación con los carburantes fósiles se traducen en un menor gasto por km para el conductor. Por ejemplo, cargar un VE en horas valle de tarifa eléctrica suele implicar un coste por 100

km sensiblemente inferior al de recorrer esa distancia con gasolina o diésel. Esta accesibilidad económica encaja con la dimensión de *energía asequible* del ODS 7.

En resumen, el fomento del vehículo eléctrico contribuye al ODS 7 de múltiples formas:

- **Acceso a energía moderna y limpia:** facilita que la población utilice electricidad (cada vez más renovable) en sus desplazamientos cotidianos, garantizando una energía sostenible para la movilidad.
- **Reducción del uso de fósiles:** disminuye la demanda de combustibles derivados del petróleo en transporte, mejorando la seguridad energética y reduciendo la contaminación local y global.
- **Eficiencia y ahorro:** mejora la eficiencia energética del transporte urbano y puede abaratar el coste por kilómetro para los usuarios, haciendo la movilidad más asequible a largo plazo.

Adicionalmente, el despliegue masivo del VE abre oportunidades para la gestión inteligente de la energía: tecnologías como la carga bidireccional (Vehicle-to-Grid) permiten que los vehículos actúen como almacenamiento distribuido, devolviendo energía a la red en picos de demanda o absorbiéndola en horas de excedente renovable. Estas innovaciones contribuyen a estabilizar el sistema eléctrico y aprovechar mejor las fuentes limpias, en línea con las metas del ODS 7. En conclusión, la transición hacia el vehículo eléctrico en entornos urbanos españoles refuerza la disponibilidad de energía limpia en el transporte y promueve un consumo energético más seguro, sostenible y económico para la sociedad.

7.2 ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

El **ODS 9** busca **construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación**. La movilidad eléctrica se relaciona estrechamente con este objetivo en varios aspectos: impulsa nuevas infraestructuras de recarga, transforma la industria automotriz y estimula el desarrollo tecnológico e innovador en campos como la electrónica de potencia, las baterías y la gestión energética.

En cuanto a **infraestructuras**, la implantación del vehículo eléctrico exige desplegar una red amplia de puntos de recarga (tanto en vía pública como en estacionamientos privados). En España se ha identificado la necesidad de aumentar exponencialmente los cargadores disponibles para atender la futura flota eléctrica: actualmente operan en torno a 30.000 puntos de recarga, pero se proyecta que serán necesarios alrededor de 100.000 puntos para 2030 a fin de cubrir la demanda esperada. Este desarrollo de infraestructura de carga, incluyendo cargadores rápidos de alta potencia (≥ 50 kW)^{xc}, no solo requiere inversión en obra civil y red eléctrica, sino también coordinación entre distintos niveles administrativos (municipios, comunidades autónomas, Estado) y empresas energéticas. El resultado será una red moderna y resiliente de “electrolineras” y estaciones de carga urbana, análoga a lo que supuso en su día la implantación de gasolineras, contribuyendo a un tejido de infraestructura de transporte más sostenible.

Desde la perspectiva **industrial y de innovación**, la transición hacia el vehículo eléctrico está transformando la industria automovilística española, que es un sector estratégico (aproximadamente 10% del PIB nacional y 2 millones de empleos)^{xci} Fabricantes y proveedores deben adaptar sus cadenas de producción para incorporar nuevos componentes (motores eléctricos, baterías de tracción, sistemas electrónicos) y retirar progresivamente tecnologías basadas en motores de combustión interna. En este contexto, surgen oportunidades para establecer nuevas plantas industriales de baterías y componentes eléctricos. Un ejemplo concreto es el PERTE_VEC (Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica del Vehículo Eléctrico y Conectado) lanzado por el gobierno español, que moviliza más de 24.000 millones de euros de inversión público-privada para crear un ecosistema nacional de I+D+i y fabricación de vehículos eléctricos^{xcii}. Este programa incentiva la producción local de baterías, la expansión de la cadena de valor (incluyendo reciclaje de materiales) y la modernización de plantas automotrices tradicionales hacia la electromovilidad. Gracias a estas iniciativas, España aspira a consolidarse como un hub de innovación en movilidad sostenible, desarrollando tecnología propia y generando empleo cualificado ligado a las nuevas soluciones de transporte.

Asimismo, el vehículo eléctrico propicia innovaciones en modelos de negocio e infraestructura digital: por ejemplo, plataformas inteligentes de gestión de carga, sistemas de pago y gestión de energía, y proyectos piloto de carreteras electrificadas o carga inalámbrica. También se fomenta la innovación en almacenamiento energético (baterías de nueva generación, ultracondensadores, hidrógeno verde complementario) y en gestión de la red (smart grids, contadores inteligentes) para integrar eficientemente la carga de millones de vehículos sin comprometer la estabilidad del suministro eléctrico. Todo este conjunto de avances refuerza la industria nacional y mejora la infraestructura, cumpliendo la meta del ODS 9 de industrialización sostenible y fomento de la innovación tecnológica.

Por último, la expansión del vehículo eléctrico requiere colaboración entre múltiples actores (fabricantes de coches, compañías eléctricas, administraciones públicas, centros de investigación), lo cual ha dado lugar a alianzas y consorcios innovadores. Esta dinámica colaborativa acelera la transferencia de conocimiento y la ejecución de proyectos punteros (por ejemplo, consorcios para desarrollar baterías con mayor densidad energética o redes de carga ultrarrápida a lo largo de corredores europeos), reforzando aún más el cumplimiento del ODS 9 y anticipando un futuro de infraestructuras robustas e inteligentes al servicio de una movilidad sostenible.

7.3 ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

El **ODS 11** persigue lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. La introducción del vehículo eléctrico en el entorno urbano tiene un impacto directo en la sostenibilidad de las ciudades, mejorando la calidad del aire, reduciendo el ruido ambiental y apoyando políticas urbanas de transporte limpio.

Uno de los mayores beneficios urbanos del vehículo eléctrico es la eliminación de emisiones contaminantes locales. Los automóviles eléctricos no emiten gases de escape (NO_2 , partículas $\text{PM}_{10}/\text{PM}_{2,5}$, CO , hidrocarburos, etc.) durante su uso, a diferencia de los vehículos de combustión interna. Esto contribuye a disminuir la concentración de contaminantes atmosféricos en las calles, un factor crítico dado que el tráfico motorizado es la principal fuente de NO_2 en las áreas urbanas españolas. La contaminación del aire

en las ciudades ha estado asociada a graves problemas de salud pública y ambientales; se calcula que en España la mala calidad del aire causa 25.000 muertes prematuras al año^{xciii} principalmente por enfermedades cardiovasculares y respiratorias agravadas por los contaminantes. En este contexto, la adopción masiva de vehículos eléctricos en las ciudades puede mitigar sustancialmente este problema, al reducir las emisiones locales a cero en el punto de uso. Ciudades más limpias implican habitantes más sanos y menos gastos sanitarios asociados a patologías por contaminación, en línea con los fines del ODS 11 (y co-beneficios en ODS 3 de salud y bienestar).

Otro aporte importante es la disminución de la contaminación acústica. Los vehículos eléctricos operan de forma mucho más silenciosa que los de motor de combustión, especialmente a bajas velocidades típicas del entorno urbano (donde el ruido del motor es preponderante sobre el ruido de rodadura). La reducción del ruido del tráfico mejora la habitabilidad de las ciudades, disminuye el estrés y otros efectos negativos del ruido crónico en la población. De este modo, los VE contribuyen a que las ciudades sean entornos más agradables y saludables para vivir, característica fundamental de las comunidades sostenibles.

El vehículo eléctrico también encaja con las políticas urbanas sostenibles que se están implantando en España y Europa. Por ejemplo, la Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética establece que todas las ciudades españolas de más de 50.000 habitantes deben implementar Zonas de Bajas Emisiones (ZBE) antes de 2023^{xciv}, restringiendo la circulación de vehículos más contaminantes en los centros urbanos. Los vehículos eléctricos, al no emitir contaminantes, suelen disfrutar de las máximas etiquetas ambientales (Cero Emisiones) y acceso libre a las ZBE, favoreciendo su uso en los cascos urbanos. Iniciativas municipales como Madrid Central (ahora Madrid 360) o la ZBE de Barcelona ya priorizan el tráfico cero emisiones, y están sirviendo de modelo para decenas de ciudades medianas que deben implementar zonas verdes. La disponibilidad de una oferta creciente de vehículos eléctricos asequibles es condición necesaria para el éxito de estas medidas, permitiendo a la ciudadanía adaptarse a las restricciones con alternativas de movilidad sostenible. En este sentido, la electrificación del transporte viabiliza las políticas climáticas urbanas y ayuda a los ayuntamientos a alcanzar objetivos

de calidad del aire y reducción de CO₂ fijados en sus planes de sostenibilidad, cimentando el ODS 11 en el plano local.

Por último, la movilidad eléctrica se combina sinérgicamente con otras estrategias de movilidad urbana sostenible: es complementaria al transporte público de bajas emisiones (autobuses eléctricos, tranvías, metro), impulsa servicios de car-sharing y moto-sharing eléctricos que reducen el número de vehículos privados en circulación, y favorece la integración con modos activos (bicicleta, patinete) al reducir el riesgo de polución para estos usuarios vulnerables. Una ciudad con menos coches contaminantes y más vehículos eléctricos silenciosos y limpios es una ciudad más resiliente y agradable, que avanza en la consecución del ODS 11 proporcionando un entorno urbano más habitable, con menor huella ecológica y preparado para los retos del cambio climático.

7.4 ODS 12: Producción y consumo responsables

El **ODS 12** promueve **patrones de producción y consumo sostenibles**, lo que implica minimizar los residuos, maximizar la eficiencia de los recursos y reducir los impactos ambientales a lo largo de los ciclos de vida de productos y servicios. En el contexto del vehículo eléctrico, este objetivo cobra relevancia en aspectos como la fabricación de baterías, la gestión de residuos electrónicos y la responsabilidad en el consumo de recursos escasos. Es fundamental asegurar que la transición a la movilidad eléctrica se realice bajo criterios de economía circular y sostenibilidad integral.

En cuanto a la **producción**, la fabricación de vehículos eléctricos –y en particular de sus baterías de iones de litio– conlleva considerables requerimientos de materiales (litio, cobalto, níquel, manganeso, cobre, entre otros) y energía. Para alinear la producción con el ODS 12, se deben adoptar prácticas responsables como la obtención ética y sostenible de materias primas (por ejemplo, mejorar la trazabilidad del cobalto para evitar fuentes vinculadas a abusos laborales), la reducción de la huella de carbono en los procesos fabriles (usando energías renovables en plantas industriales) y el ecodiseño de baterías y componentes para facilitar su futura reciclabilidad. La Unión Europea ha dado un paso clave en esta dirección mediante el nuevo Reglamento de baterías (Reglamento (UE)

2023/1542), que establece requisitos estrictos de sostenibilidad, etiquetado y reciclaje para las baterías eléctricas. Entre otras medidas, la normativa exige un “pasaporte de batería” con información sobre el impacto de carbono y la composición de cada batería, así como el cumplimiento de objetivos de recogida y recuperación de materiales. Por ejemplo, los productores deberán lograr recoger al menos 51% de las baterías de vehículos eléctricos al final de su vida útil para 2028 (y 61% para 2031), y asegurar la recuperación de al menos el 80% del litio contenido en las baterías desechadas para 2031^{xv}. Asimismo, se fijan porcentajes mínimos obligatorios de contenido reciclado de metales críticos en las baterías nuevas, fomentando el uso de materiales recuperados en vez de vírgenes. Estas políticas garantizan que la cadena de producción del VE evolucione hacia ciclos cerrados, reduciendo residuos peligrosos y disminuyendo la presión sobre recursos naturales, en plena consonancia con el ODS 12.

Desde la perspectiva del **consumo responsable**, el vehículo eléctrico plantea también reflexiones sobre los hábitos de uso y fin de vida. Es importante fomentar entre los usuarios una gestión adecuada de las baterías tras su ciclo en el automóvil: antes de ser recicladas, las baterías pueden tener una “segunda vida” en usos estacionarios (almacenamiento de energía renovable, respaldos en instalaciones industriales, etc.), prolongando su utilidad y aplazando la generación de residuos. Varias iniciativas en España y Europa ya recuperan baterías usadas de coches eléctricos para instalarlas como sistemas de almacenamiento fijo en redes eléctricas o edificios, integrando así la filosofía de reutilizar antes de reciclar. Igualmente, al final de su vida útil, las baterías y componentes de VE deben ser gestionados por gestores autorizados para asegurar la recuperación de materiales valiosos (cobalto, níquel, cobre, aluminio, etc.) y la correcta disposición de elementos tóxicos, evitando contaminación. En este sentido, la infraestructura de reciclaje de baterías se está reforzando en Europa: el nuevo reglamento estipula que en 2030 se deberá reciclar hasta el 73% de las baterías portátiles y alcanzar altas eficiencias de reciclaje para distintos materiales^{xvii}.

Por otro lado, la implantación del vehículo eléctrico también promueve un consumo energético más responsable por parte de los ciudadanos. La posibilidad de recargar en casa o en el trabajo, planificando los horarios en función de la disponibilidad de

renovables o tarifas horarias, sensibiliza al usuario sobre su pauta de consumo de energía. Muchos propietarios de VE adoptan hábitos como cargar en horarios nocturnos (cuando la demanda general es menor) o incluso instalar paneles solares domésticos para autoabastecer su vehículo, lo cual refuerza patrones de consumo más sostenibles y conscientes. Asimismo, el menor mantenimiento mecánico del VE (menos cambios de aceite, filtros, etc.) reduce la generación de residuos peligrosos asociados al mantenimiento de vehículos de combustión.

En definitiva, al apoyar el vehículo eléctrico, no solo se impulsa un consumo más limpio en la fase de uso, sino que se debe acompañar de prácticas responsables en toda la cadena de valor, desde la extracción de materiales hasta la gestión post-consumo. Las políticas públicas y los avances tecnológicos están orientados a ello, asegurando que la movilidad eléctrica sea un ejemplo de economía circular y responsabilidad ambiental, tal como propugna el ODS 12.

7.5 ODS 13: Acción por el clima

El **ODS 13** llama a **tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos**. Dado que el transporte es uno de los sectores con mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la electrificación del parque automovilístico urbano se presenta como una herramienta esencial para la descarbonización y el cumplimiento de los objetivos climáticos internacionales. En España, el sector transporte es el principal emisor de GEI, aportando aproximadamente un 30% de las emisiones totales del país (siendo la mayoría debidas al transporte por carretera). Por tanto, lograr reducciones significativas en este sector es imprescindible para alcanzar las metas climáticas a 2030 y 2050.

El **vehículo eléctrico** contribuye directamente a la **acción climática** al posibilitar un transporte con cero emisiones directas de CO₂ en el uso. Incluso considerando las emisiones del mix eléctrico para generar la energía consumida por el vehículo, numerosos estudios muestran que la huella de carbono del VE es sustancialmente inferior a la de un vehículo convencional equivalente a lo largo de su ciclo de vida, especialmente a medida

que la electricidad se hace más renovable como observamos en la evolución de generación del Mix energético de los últimos años en España .^{xcviii}

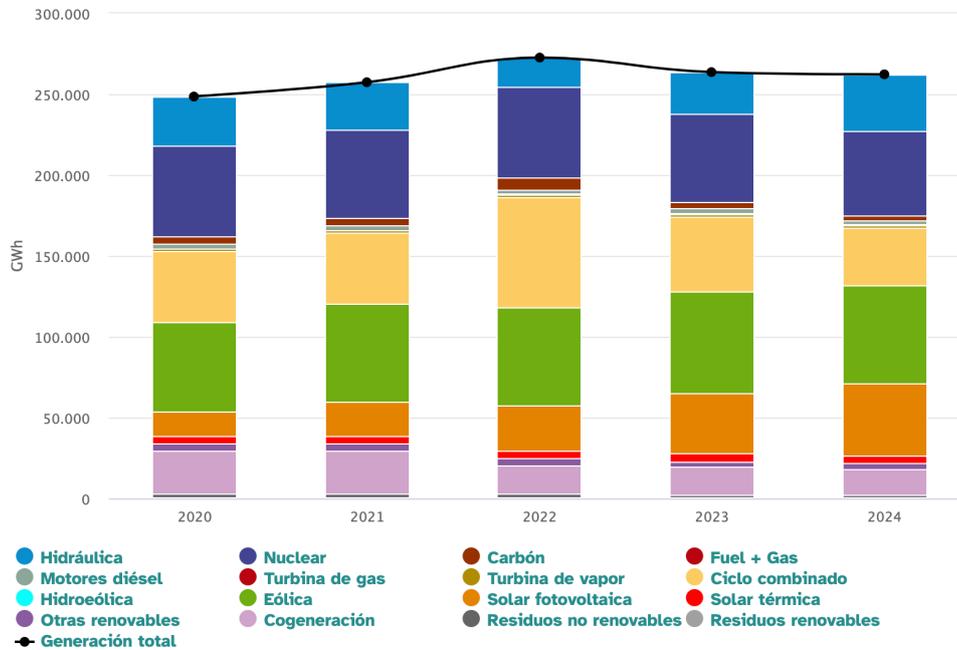


Ilustración 21: Generación total de energía eléctrica. Informe del sistema eléctrico español por redeia.

En el análisis ambiental (eje Z) realizado en este TFG, se ha evidenciado que la sustitución de un vehículo de combustión por un eléctrico elimina completamente las emisiones de escape y puede reducir entre un 50% y un 70% las emisiones de CO₂ por km (según la proporción renovable de la red eléctrica y considerando el ciclo completo del combustible) en comparación con un motor térmico eficiente. Estas reducciones son cruciales para frenar el calentamiento global. En el contexto del Acuerdo de París y los compromisos de la UE, España se ha fijado como objetivo reducir un 23% las emisiones de GEI para 2030 respecto a 1990^{xcix}. Por su parte, la Unión Europea ha legislado un objetivo más ambicioso de -55% para 2030 (Fit for 55) y cero emisiones netas en 2050, lo que incluye medidas concretas como la prohibición de vender coches nuevos de combustión a partir de 2035 en territorio comunitario. Estas metas sólo serán alcanzables mediante una transformación acelerada de la movilidad, donde el vehículo eléctrico sustituya progresivamente a los motores de combustión interna. La ley europea de 2035 citada –que excluye prácticamente la matriculación de turismos y furgonetas con

emisiones de CO₂– refleja la apuesta decidida por el VE como vía para eliminar las emisiones de CO₂ del transporte terrestre ligero^c, alineándose con el ODS 13.

Conviene destacar que la acción climática del vehículo eléctrico no se limita al CO₂, sino que también reduce otros forzadores climáticos del transporte. Por ejemplo, al no quemar diésel o gasolina, el VE evita emisiones de carbono negro (hollín) que contribuye al calentamiento, y reduce la formación de ozono troposférico (un gas de efecto invernadero derivado de la contaminación vehicular). Además, la eficiencia energética mucho mayor del sistema eléctrico implica que, por cada km desplazado, se requiere menos energía primaria, disminuyendo la presión sobre la generación y, por ende, las emisiones globales. Si el parque automotor urbano se electrifica en paralelo a la continua descarbonización del sector eléctrico (más eólica, solar, hidráulica), el transporte por carretera dejará de ser esa gran fuente de GEI identificada en los inventarios nacionales^{ci}, facilitando que ciudades y países cumplan con sus *Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC)* en materia de clima.

Otro punto a resaltar es la resiliencia climática que aporta la movilidad eléctrica unida a fuentes renovables distribuidas. Por ejemplo, en eventos climáticos extremos que afecten el suministro de combustibles fósiles, contar con infraestructura eléctrica robusta y generación renovable local puede garantizar la movilidad esencial mediante VE, aportando resiliencia ante crisis. Del mismo modo, la reducción de contaminantes locales mediante VE (ODS 11) tiene beneficios en la adaptación climática, ya que ciudades menos contaminadas y con menor efecto isla de calor (por la eliminación de calor residual de motores de combustión) serán más soportables en olas de calor cada vez más frecuentes.

En síntesis, la promoción del vehículo eléctrico en el entorno urbano español es una acción climática de primer orden. Contribuye a las metas nacionales e internacionales de reducción de emisiones, posiciona a las ciudades en la senda de la neutralidad climática, y demuestra cómo las medidas tecnológicas e industriales (ODS 9) pueden integrarse con las ambientales para lograr el objetivo común de mitigar el cambio climático (ODS 13). La acción por el clima a través de la movilidad sostenible es un claro ejemplo de los

beneficios colaterales entre ODS: al reducir CO₂, también mejora la calidad del aire, la salud pública y el entorno urbano, generando un círculo virtuoso de sostenibilidad.

7.6 Otros ODS relacionados: ODS 3, ODS 8 y ODS

17



Ilustración 22: ODS's 3, 8, y 17, también relacionados con el proyecto.

Además de los objetivos priorizados arriba, el proyecto del vehículo eléctrico toca de forma **transversal** otros ODS que conviene mencionar brevemente:

- **ODS 3: Salud y bienestar.** Como se indicó en relación con el ODS 11, la movilidad eléctrica aporta beneficios directos para la salud pública al reducir la contaminación atmosférica (menos enfermedades respiratorias, cardiovasculares y muertes prematuras asociadas) y al disminuir la contaminación acústica en las ciudades (menos estrés y trastornos asociados al ruido). Un ambiente urbano más limpio y silencioso mejora el bienestar de la población, contribuyendo a las metas de salud del ODS 3.
- **ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico.** La transición al vehículo eléctrico conlleva un potencial de creación de empleo verde y de impulso económico. La reconversión de la industria automovilística y el despliegue de infraestructura de recarga implican nuevos puestos de trabajo en fabricación de baterías, ingenierías de sistemas eléctricos, instalación y mantenimiento de cargadores, y servicios asociados (gestión de flotas eléctricas, aplicaciones digitales de movilidad, etc.). España, siendo el segundo fabricante de automóviles de Europa, puede mantener e incluso aumentar su competitividad si lidera la producción de vehículos eléctricos y componentes, asegurando trabajo decente para miles de empleados en una industria de futuro. Los planes de estímulo (como

el PERTE VEC mencionado) y los fondos europeos Next Generation orientados a la transición ecológica buscan precisamente ligar la recuperación económica a sectores sostenibles, generando crecimiento económico de calidad alineado con el ODS 8.

- **ODS 17:** Alianzas para lograr los objetivos. La implantación efectiva del vehículo eléctrico requiere colaboración multisectorial e internacional, reflejando el espíritu del ODS 17. Para desarrollar una movilidad eléctrica sostenible es necesaria la alianza entre administraciones públicas (que crean marcos normativos y ayudas, e.j. Plan MOVES para la compra de VE), sector privado (industrias automotrices, eléctricas, startups de movilidad), academia y centros de investigación (que innovan en tecnología de baterías, eficiencia, nuevos materiales) y la sociedad civil (usuarios, asociaciones ecologistas, etc. que apoyan la demanda de transporte limpio). Un ejemplo de estas alianzas es la European Battery Alliance, que agrupa a empresas y gobiernos para impulsar una cadena de suministro de baterías competitiva en Europa. Asimismo, a nivel local, vemos colaboraciones público-privadas para instalar infraestructura de carga o renovar flotas municipales por vehículos eléctricos. Sin tales partenariados, sería muy difícil alcanzar los objetivos técnicos, económicos y sociales que supone transformar el modelo de movilidad. El ODS 17 se materializa aquí en la noción de que la acción coordinada es clave: solo sumando esfuerzos de todos los actores involucrados se podrán cumplir las ambiciosas metas de electromovilidad, clima y energía sostenible trazadas para la próxima década.

En conclusión, la viabilidad del vehículo eléctrico en el entorno urbano español, , demuestra una fuerte sintonía con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Su promoción impulsa la transición hacia una energía más limpia (ODS 7), moderniza la industria y las infraestructuras con innovación (ODS 9), mejora la calidad de vida en las ciudades (ODS 11) y favorece patrones responsables de producción-consumo (ODS 12), todo ello contribuyendo significativamente a la lucha contra el cambio climático (ODS 13).

De forma complementaria, genera co-beneficios en salud pública (ODS 3), en empleo y economía verde (ODS 8), y ejemplifica la importancia de establecer alianzas estratégicas (ODS 17) para alcanzar dichos objetivos. Este alineamiento refuerza el valor del proyecto no solo a nivel técnico-económico, sino también como aporte al desarrollo sostenible, evidenciando cómo la movilidad eléctrica puede ser un pilar fundamental en la construcción de un futuro más sostenible, próspero y saludable para las comunidades urbanas de España y del mundo.

Capítulo 8. Bibliografía

Capítulo 1:

- ⁱ MOVES Tres Madrid. (s.f.). Portal del Plan MOVES III en la Comunidad de Madrid.
- ⁱⁱ EcoFlow. (2024). *Plan Moves IV: ¿cuándo empieza y cuáles son sus requisitos?*.
- ⁱⁱⁱ Meadows, Diego. (2022). How many EV chargers are there for every 100 km away in EU countries. Tehzle.
- ^{iv} Electromaps. (s.f.). Mapa de puntos de recarga para vehículos eléctricos.
- ^v EAVE. (2024). El crecimiento de los vehículos eléctricos en España: superan las ventas de los diésel por primera vez.
- ^{vi} Cadena SER. (2025). Crecen las matriculaciones de turismos y todoterrenos en España gracias al impulso de ventas en la Comunitat Valenciana. Radio Valencia, 2 enero 2025.
- ^{vii} El Confidencial. (2025). Las ventas de coches híbridos superan por primera vez a las de gasolina en España.
- ^{viii} Florio, Luis federico. (2025). Los coches híbridos y eléctricos baten récord de ventas en España en 2024. La Vanguardia
- ^{ix} Florio, Luis federico. (2025). Los coches híbridos y eléctricos baten récord de ventas en España en 2024. La Vanguardia
- ^x ANFAC. (2024). *Las ventas de vehículos electrificados aumentan un 39% en febrero.*
- ^{xi} EFE Climática. (2024). *El coche eléctrico supera por primera vez al diésel en ventas en España en 2024.*
- ^{xii} Daze Eu. (2025). Venta de coches eléctricos en España, Previsiones para 2025.
- ^{xiii} Alhambra, Iván. (2024). *España venderá más coches eléctricos que diésel este año.* 20minutos.
- ^{xiv} Press Digital. (2025). *Los coches electrificados tendrán un 33% de cuota en 2030 y los híbridos no enchufables dominarán en 2025.*
- ^{xv} Press Digital. (2025). *Los coches electrificados tendrán un 33% de cuota en 2030 y los híbridos no enchufables dominarán en 2025.*
- ^{xvi} Press Digital. (2025). *Los coches electrificados tendrán un 33% de cuota en 2030 y los híbridos no enchufables dominarán en 2025.*
- ^{xvii} López, Noelia. (2024). *Previsiones de matriculaciones de vehículos electrificados en España para 2025 y 2030.* Movilidad Eléctrica.
- ^{xviii} Noya, Carlos. (2024). Las ventas de los coches Eléctricos en Europa en 2030. FCE (Foro Coches eléctricos).

^{xix} Movilidad Sostenible. (2024). Informe sobre la Movilidad eléctrica en España.

Capítulo 2:

^{xx} Diario Oficial de la Unión Europea. (2019). *Reglamento de Ejecución (UE) 2019/1859 de la Comisión, de 25 de octubre de 2019, por el que se determinan los procedimientos de aplicación del Reglamento (CE) n.º 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a los ensayos de emisiones y consumo de combustible de turismos y vehículos comerciales ligeros.*

^{xxi} Martín, Pedro. (2022). *Test invernal con 24 coches eléctricos: cuánta autonomía en carretera pierden con el frío.* El Confidencial.

Capítulo 3:

^{xxii} Etecnic. (2024). *Informe de Movilidad Eléctrica en España.*

^{xxiii} Mozas, Antonio. (2024). *¿Por qué España no tiene suficientes puntos de recarga?* Advanced Fleet Management Consulting.

^{xxiv} Mormuz, Daniel. (2024). España en la cola de los coches eléctricos. Incomodidades y falta de ayudas. Ser.

^{xxv} Martín, Pedro. (2024). El Último informe sobre electromovilidad en España dice que sí crecemos, pero despacio. El confidencial.

^{xxvi} Etecnic. (2024). *Informe de Movilidad Eléctrica en España.*

^{xxvii} Martín, Pedro. (2024). El Último informe sobre electromovilidad en España dice que sí crecemos, pero despacio. El confidencial.

^{xxviii} Martín, Pedro. (2022). Europa homologa autonomías poco realistas y superiores a EEUU. El confidencial.

^{xxix} Noya, Carlos. (2023). *¿Nos están engañando con la autonomía homologada de los coches eléctricos?* Foro Coches Eléctricos.

^{xxx} Martín, Pedro. (2022). Europa homologa autonomías poco realistas y superiores a EEUU. El confidencial.

^{xxxi} Etecnic. (2024). *Informe de Movilidad Eléctrica en España.*

^{xxxii} Mozas, Antonio. (2024). *¿Por qué España no tiene suficientes puntos de recarga?* Advanced Fleet Management Consulting.

^{xxxiii} Etecnic. (2024). *Informe de Movilidad Eléctrica en España.*

^{xxxiv} Martín, Pedro. (2024). El Último informe sobre electromovilidad en España dice que sí crecemos, pero despacio. El confidencial.

^{xxxv} Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2025). *El MITECO prorrogó el MOVES III hasta fin de año con carácter retroactivo.*

^{xxxvi} Mormuz, Daniel. (2024). España en la cola de los coches eléctricos. Incomodidades y falta de ayudas. Ser.

^{xxxvii} Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (2025). *El MITECO prorroga el MOVES III hasta fin de año con carácter retroactivo*.

^{xxxviii} Mozas, Antonio. (2024). *¿Por qué España no tiene suficientes puntos de recarga?* Advanced Fleet Management Consulting.

^{xxxix} Mormuz, Daniel. (2024). España en la cola de los coches eléctricos. Incomodidades y falta de ayudas. Ser.

^{xl} Mormuz, Daniel. (2024). España en la cola de los coches eléctricos. Incomodidades y falta de ayudas. Ser.

^{xli} Mormuz, Daniel. (2024). España en la cola de los coches eléctricos. Incomodidades y falta de ayudas. Ser.

^{xlii} Etecnic. (2024). *Informe de Movilidad Eléctrica en España*.

^{xliii} Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental (FUNSEAM). (s.f.). *La eficiencia energética del vehículo eléctrico*. Energía y Sociedad.

^{xliv} Etecnic. (2024). *Informe de Movilidad Eléctrica en España*.

^{xlvi} Fundación para la Sostenibilidad Energética y Ambiental (FUNSEAM). (s.f.). *La eficiencia energética del vehículo eléctrico*. Energía y Sociedad.

Capítulo 4:

^{xlvi} Álvarez, Sergio. (2023). *La autonomía real de un coche eléctrico a 130 km/h en autopista: el peor enemigo de un coche eléctrico es el aire*. Diariomotor.

^{xlvii} Aguilar, Ricardo. (2023). *Mi coche eléctrico promete 500 km de autonomía y apenas llega a 300: por qué nunca se cumplen las promesas WLTP*. Xataka.

^{xlviii} Tesla Inc. (2025). *Maximizar la autonomía de tu Tesla*. Tesla Inc.

^{xlix} Aguilar, Ricardo. (2023). *Mi coche eléctrico promete 500 km de autonomía y apenas llega a 300: por qué nunca se cumplen las promesas WLTP*. Xataka.

^l Mendoza, Irene. (2024). *El invierno no sienta bien a los coches eléctricos y poner el aire acondicionado tampoco: así pierden autonomía*. Motorpasión.

^{li} Heliox Energy. (2023). *Do electric vehicles work in cold weather?*

^{lii} Noya, Carlos. (2024). Las ventas de los coches Eléctricos en Europa en 2030. FCE (Foro Coches eléctricos).

^{liii} Mendoza, Irene. (2024). *El invierno no sienta bien a los coches eléctricos y poner el aire acondicionado tampoco: así pierden autonomía*. Motorpasión.

^{liv} Tesla Inc. (2025). *Maximizar la autonomía de tu Tesla*. Tesla Inc.

-
- ^{lv} Tesla Inc. (2025). *Maximizar la autonomía de tu Tesla*. Tesla Inc.
- ^{lvi} Blázquez, Luis. (2021). *Frenado regenerativo: qué es y cómo funciona*. **Coches.com**.
- ^{lvii} Tesla Inc. (2025). *Maximizar la autonomía de tu Tesla*. Tesla Inc.
- ^{lviii} Aguilar, Ricardo. (2023). *Mi coche eléctrico promete 500 km de autonomía y apenas llega a 300: por qué nunca se cumplen las promesas WLTP*. Xataka.
- ^{lix} Álvarez, Sergio. (2023). *La autonomía real de un coche eléctrico a 130 km/h en autopista: el peor enemigo de un coche eléctrico es el aire*. Diarimotor.
- ^{lx} Tesla Inc. (2025). *Maximizar la autonomía de tu Tesla*. Tesla Inc.
- ^{lxi} Heliox Energy. (2023). *Do electric vehicles work in cold weather?*.
- ^{lxii} Noya, Carlos. (2024). Las ventas de los coches Eléctricos en Europa en 2030. FCE (Foro Coches eléctricos).
- ^{lxiii} Mendoza, Irene. (2024). *El invierno no sienta bien a los coches eléctricos y poner el aire acondicionado tampoco: así pierden autonomía*. Motorpasión.
- ^{lxiv} Varta Bateries. (2025). Estos dispositivos Agotan la batería.
- ^{lxv} Saco, Samuel. (2024). Definitivamente, la Batería de los coches eléctricos durará más que los propios coches. El confidencial.
- ^{lxvi} Noya, Carlos. (2024). Las ventas de los coches Eléctricos en Europa en 2030. FCE (Foro Coches eléctricos).

Capítulo 5:

- ^{lxvii} Argue, Charlotte. (2023). *EV range: How far can electric vehicles go?*. GeoTab.
- ^{lxviii} Heliox Energy. (2023). *Do electric vehicles work in cold weather?*. Heliox Energy.
- ^{lxix} Emmonds, Ellen. (2019). *Cold weather reduces electric vehicle range*. AAA Newsroom.
- ^{lxx} Amadoz, Sergio. (2023). *¿Cuántos kilómetros recorre al año cada coche que circula por España?*. El Motor - El País.
- ^{lxxi} Aguilar, Ricardo. (2023). *Mi coche eléctrico promete 500 km de autonomía y apenas llega a 300: por qué nunca se cumplen las promesas WLTP*. Xataka.
- ^{lxxii} Aguilar, Ricardo. (2023). *Mi coche eléctrico promete 500 km de autonomía y apenas llega a 300: por qué nunca se cumplen las promesas WLTP*. Xataka.
- ^{lxxiii} López, Noelia. (2023). Los coches eléctricos que más y menos mienten en sus datos de autonomía. MovilidadElectrica.com
- ^{lxxiv} López, Noelia. (2023). Los coches eléctricos que más y menos mienten en sus datos de autonomía. MovilidadElectrica.com.

Capítulo 6:

^{lxxv} Aguilar, Ricardo. (2023). *Mi coche eléctrico promete 500 km de autonomía y apenas llega a 300: por qué nunca se cumplen las promesas WLTP*. Xataka.

^{lxxvi} Argue, Charlotte. (2023). To what extent does temperature impact *EV range*?. *GeoTab*

^{lxxvii} Heliox Energy. (2023). *Do electric vehicles work in cold weather?*.

^{lxxviii} Heliox Energy. (2023). *Do electric vehicles work in cold weather?*.

^{lxxix} López, Noelia. (2023). Los coches eléctricos que más y menos mienten en sus datos de autonomía. *MovilidadElectrica.com*.

^{lxxx} *Heliox Energy*. (2021). Los 5 consejos de Heliox para los propietarios de vehículos sobre cómo afrontar el clima invernal en su VE.

^{lxxxii} *Heliox Energy*. (2021). Los 5 consejos de Heliox para los propietarios de vehículos sobre cómo afrontar el clima invernal en su VE.

^{lxxxiii} Argue, Charlotte. (2023). To what extent does temperature impact *EV range*?. *GeoTab*

^{lxxxiiii} Gutiérrez, Diego. (2019). Las llantas aerodinámicas del Tesla Model 3 alargan la autonomía más de lo que dice Tesla. *Híbridos y Eléctricos*.

^{lxxxv} Gutiérrez, Diego. (2019). Las llantas aerodinámicas del Tesla Model 3 alargan la autonomía más de lo que dice Tesla. *Híbridos y Eléctricos*

^{lxxxvi} *Heliox Energy*. (2021). Los 5 consejos de Heliox para los propietarios de vehículos sobre cómo afrontar el clima invernal en su VE.

^{lxxxvii} López, Noelia. (2023). Los coches eléctricos que más y menos mienten en sus datos de autonomía. *MovilidadElectrica.com*

^{lxxxviii} *Heliox Energy*. (2021). Los 5 consejos de Heliox para los propietarios de vehículos sobre cómo afrontar el clima invernal en su VE. *Heliox Energy*.

Capítulo 7:

^{lxxxix} Redeia. (2025). Las renovables generan el 56% del mix energético español en 2024. *Redeia*.

^{lxxxix} SEO/BirdLife. (2024). *El sector transporte ocupa la primera posición en emisiones de gases de efecto invernadero*. Observatorio de la Sostenibilidad Climática.

^{xc} De Antonio, Javier. (2024). El objetivo imposible del Gobierno con el coche eléctrico: 5,5 millones en 2030. *La Razón*.

^{xci} Portilla, Jose. (2021). El sector de los componentes de la automoción. *Sernauto*.

^{xcii} *Movilidad Urbana*. (2025). Publicadas las bases del Perte del Vehículo Eléctrico y Conectado IV, dotado con 1.250 millones de euros. *Movilidad urbana*.

^{xciii} Espiguinha, Eva. (2025). La contaminación del aire causa cerca de 70 muertes al día en España. Efe Salud.

^{xciv} MITECO – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2025). *Zonas de Bajas Emisiones en España*. Gobierno de España. MITECO.

^{xcv} Securikett. (2025). *La UE adopta una normativa sobre el pasaporte de baterías para garantizar la trazabilidad*.

^{xcvi} Securikett. (2025). *La UE adopta una normativa sobre el pasaporte de baterías para garantizar la trazabilidad*.

^{xcvii} SEO/BirdLife. (2024). *El sector transporte ocupa la primera posición en emisiones de gases de efecto invernadero*. Observatorio de la Sostenibilidad Climática.

^{xcviii} Red Eléctrica Española. (2025). *Generación total de energía eléctrica*. Informe del sistema eléctrico español.

^{xcix} MITECO – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2023-2030*. Gobierno de España.

^c Sahuquillo, María. (2023). *La UE prohíbe definitivamente vender vehículos con motores de combustión a partir de 2035*. El País.

^{ci} SEO/BirdLife. (2024). *El sector transporte ocupa la primera posición en emisiones de gases de efecto invernadero*. Observatorio de la Sostenibilidad Climática.

ANEXO I:

Informe sobre el clima en España en 2024.

Informe sobre el clima de España 2024

Resumen ejecutivo



Imagen de portada:

Manuel Torres García. Usuario AMDUMA del portal Pixabay.



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
Agencia Estatal de Meteorología
Madrid, 2025

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es/>

NIPO: 666-25-003-7

https://doi.org/10.31978/666-25-003-7_2024

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

C/ Leonardo Prieto Castro, 8

28040 Madrid

<http://www.aemet.es/>



@Aemet_Esp



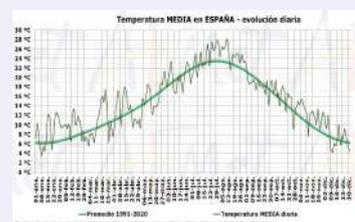
<https://www.facebook.com/AgenciaEstataldeMeteorologia>

Aspectos destacados del INFORME SOBRE EL ESTADO DEL CLIMA DE ESPAÑA 2024

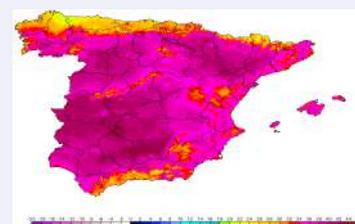
2024 fue el tercer año más cálido de la serie histórica en España, que arranca en 1961. Tuvo un carácter extremadamente cálido, al igual que los años 2022 y 2023, el primero y segundo más cálidos.



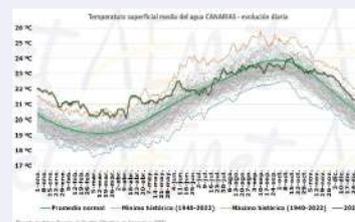
Los once años más cálidos de la serie histórica se han registrado en el siglo XXI. La temperatura media anual de España ha ascendido 1.69 °C desde 1961 hasta 2024.



Enero, agosto y noviembre de 2024 fueron los más cálidos desde que hay registros. Hubo tres olas de calor, mientras que no se produjo ninguna ola de frío. Se registraron a lo largo del año 31 récords de días cálidos y ningún récord de días fríos, cuando lo esperable en un clima sin alterar hubieran sido cinco récords de cada.



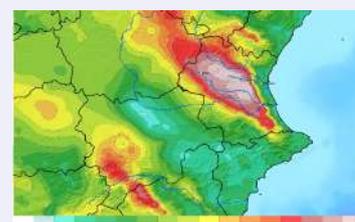
La temperatura promedio del agua del mar de las zonas circundantes a España alcanzó los 20 °C. Fue el segundo año con las aguas más cálidas. En una serie de datos que comienza en 1940, tan solo 2023 y 2024 han alcanzado o superado esa temperatura media anual. Se batieron récords de temperatura diaria en zonas del Mediterráneo y de Canarias.



2024 fue húmedo en el conjunto de España, con una precipitación que alcanzó el 105 % de su valor normal. Al terminar el año continuaba la sequía meteorológica de larga duración que había comenzado en marzo de 2023, aunque había ido perdiendo intensidad.



El 29 de octubre se produjo un extraordinario episodio de lluvias torrenciales asociado a una dana en la provincia de Valencia, que provocó una gran riada. Se produjeron grandes daños personales y materiales. La estación meteorológica de Turís batió récords de precipitación a nivel nacional en una hora, triplicando el umbral considerado para precipitación torrencial; y en seis y doce horas, duplicando en este caso el récord anterior.



INTRODUCCIÓN

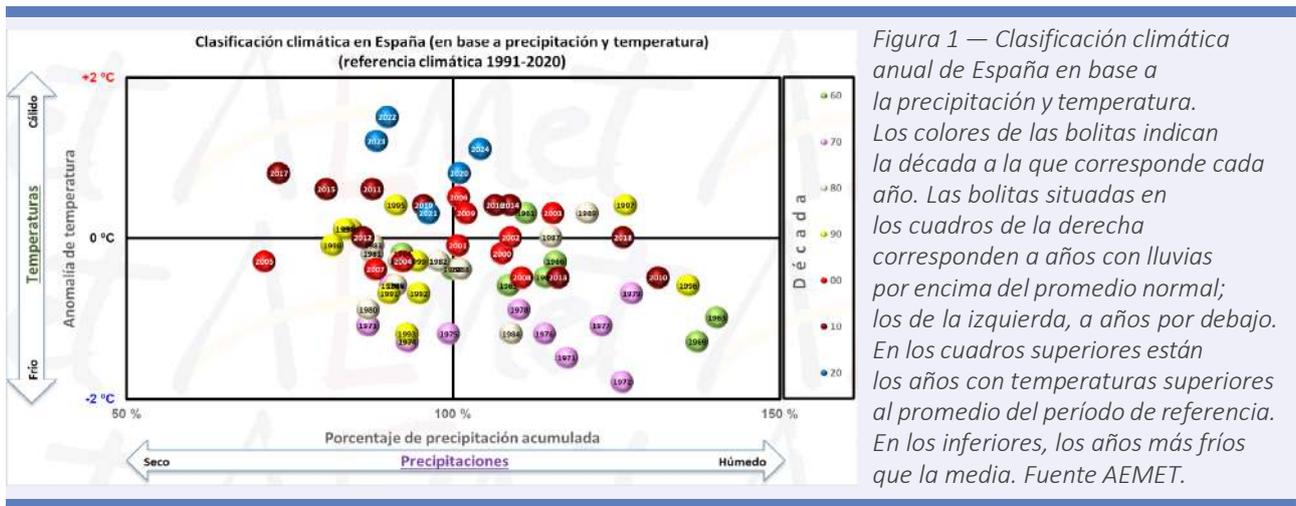
En el año 2024, la temperatura media anual a escala global superó por primera vez el umbral de +1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales (1851-1900). Este hito representa una señal de alerta ante los riesgos crecientes a los que se enfrentan las sociedades y los ecosistemas, como el incremento en frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos. Europa, y especialmente su mitad sur, es una de las regiones más afectadas por estos cambios. En 2024 se registraron récords de temperatura media anual en nuestro continente, donde también se registraron episodios de sequía interrumpidos por precipitaciones extremas.

En este contexto internacional, España vivió un año excepcional en lo que al clima se refiere. 2024 fue el tercer año más cálido de la serie histórica, tan solo superado por los dos anteriores, y en verano se encadenaron tres olas de calor con récords de temperatura nocturna y extensión. Hubo gran disparidad espacial y temporal en las precipitaciones, a la vez que se alternaron períodos de sequía con episodios de lluvias torrenciales. Entre estos, el más importante es el temporal asociado a una dana que afectó a la Comunitat Valenciana a finales de octubre, en el que se registraron lluvias torrenciales de récord a nivel nacional a escalas de doce horas e inferiores. Este evento ilustra la creciente exposición del territorio a los extremos climáticos y la urgencia de adaptar la ordenación del territorio, las infraestructuras y la gestión del agua al nuevo contexto climático.

El Informe sobre el estado del clima de España 2024 analiza en detalle los aspectos más importantes del tiempo y el clima a lo largo del año: las temperaturas del aire y del agua del mar y sus tendencias, las precipitaciones y los períodos de sequía, la insolación, la fenología, las tormentas y los fenómenos meteorológicos extremos. También se estudian los patrones atmosféricos que originaron las diversas condiciones meteorológicas en nuestro país a lo largo del año. Este resumen ejecutivo recoge los aspectos más destacados del Informe sobre el estado del clima de España. Se puede ampliar la información en el informe completo, disponible de forma libre en la página web de la Agencia Estatal de Meteorología.

ESTADO DEL CLIMA DE ESPAÑA

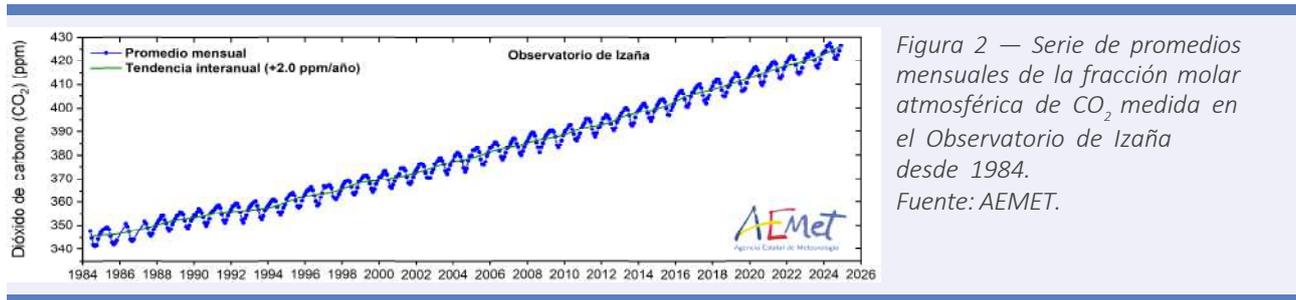
El año 2024 fue un año extremadamente cálido en España: se trató del tercero más cálido desde, al menos, 1961, superado tan solo por los dos años anteriores. Los once años más cálidos de la serie pertenecen al siglo XXI. En cuanto a las precipitaciones, fue un año húmedo, situándose como el vigésimo sexto más lluvioso de la serie y décimo del siglo XXI. En general fue húmedo en gran parte de la Península, pero se trató de un año muy seco en el extremo sureste peninsular. En Canarias fue el año más seco de toda la serie. En una clasificación climática basada en el carácter anual térmico y pluviométrico, 2024 aparece situado en el cuadrante que aglutina a los años cálidos y húmedos.



GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los cambios en los gases de efecto invernadero provocan desequilibrios en el balance energético de la Tierra, lo que ocasiona calentamiento global y el cambio climático. En España, el Observatorio Atmosférico de Izaña, perteneciente a AEMET y situado en Tenerife, a 2373 m de altitud, presenta unas condiciones excelentes para las medidas de estos gases. El promedio de la fracción molar de dióxido de carbono en Izaña fue de 421.0 partes por millón (ppm) en 2023, y de 424.3 ppm en 2024, lo que supone un incremento de 3.4 ppm, muy superior al incremento anual desde 1984, que se cifra en 2.0 ppm.

Una mayor emisión de dióxido de carbono asociada a incendios y la menor absorción por parte de los océanos al pasar del fenómeno de La Niña a El Niño pueden explicar este notable incremento. Los demás gases de efecto invernadero que se miden en el Observatorio Atmosférico de Izaña también alcanzaron su máximo anual en 2024.

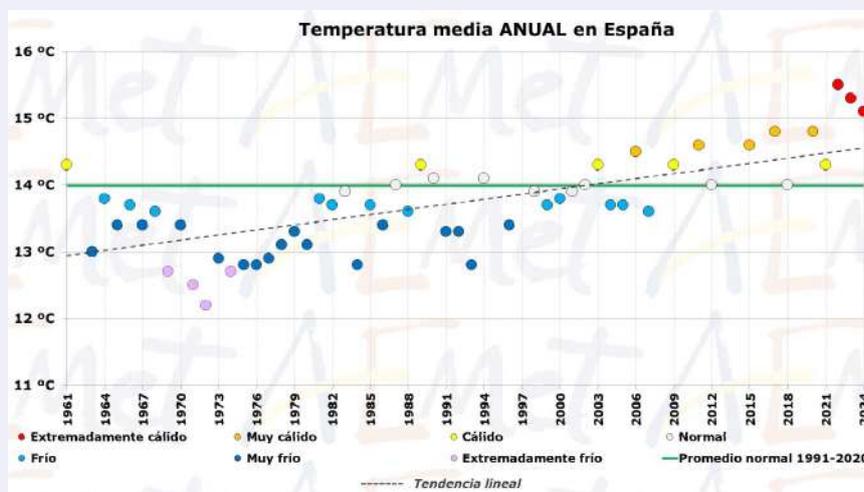


TEMPERATURAS

La temperatura media anual de 2024 fue de 15.1 °C en el conjunto de España, valor que queda 1.1 °C por encima del período de referencia 1991-2020. El año fue extremadamente cálido en la mayor parte del este, centro y sur de la España peninsular, mientras que resultó muy cálido en las regiones cantábricas y en el tercio oeste peninsular. En Baleares y Canarias fue muy cálido o extremadamente cálido.

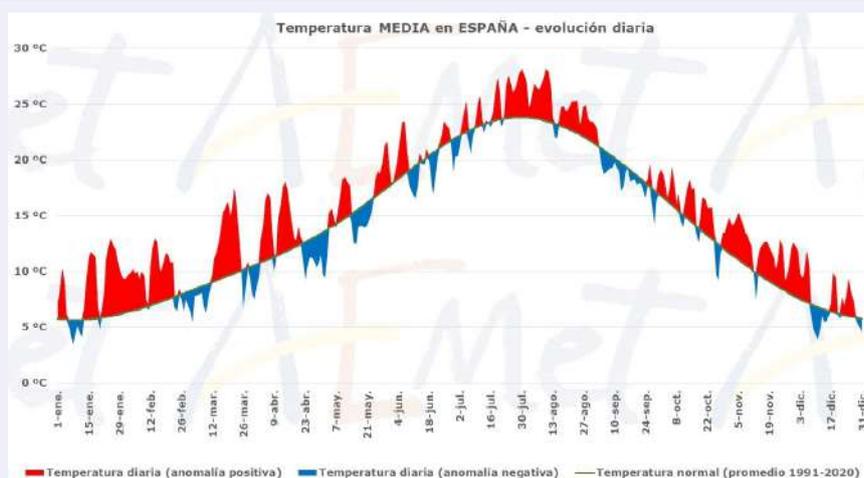
Al analizar la serie de temperatura media anual, se encuentra una tendencia estadística significativa de ascenso de la temperatura, cifrada en 1.69 °C desde 1961 hasta 2024.

Figura 3 — Serie de temperaturas medias anuales en España desde 1961 hasta 2024.
Fuente AEMET.



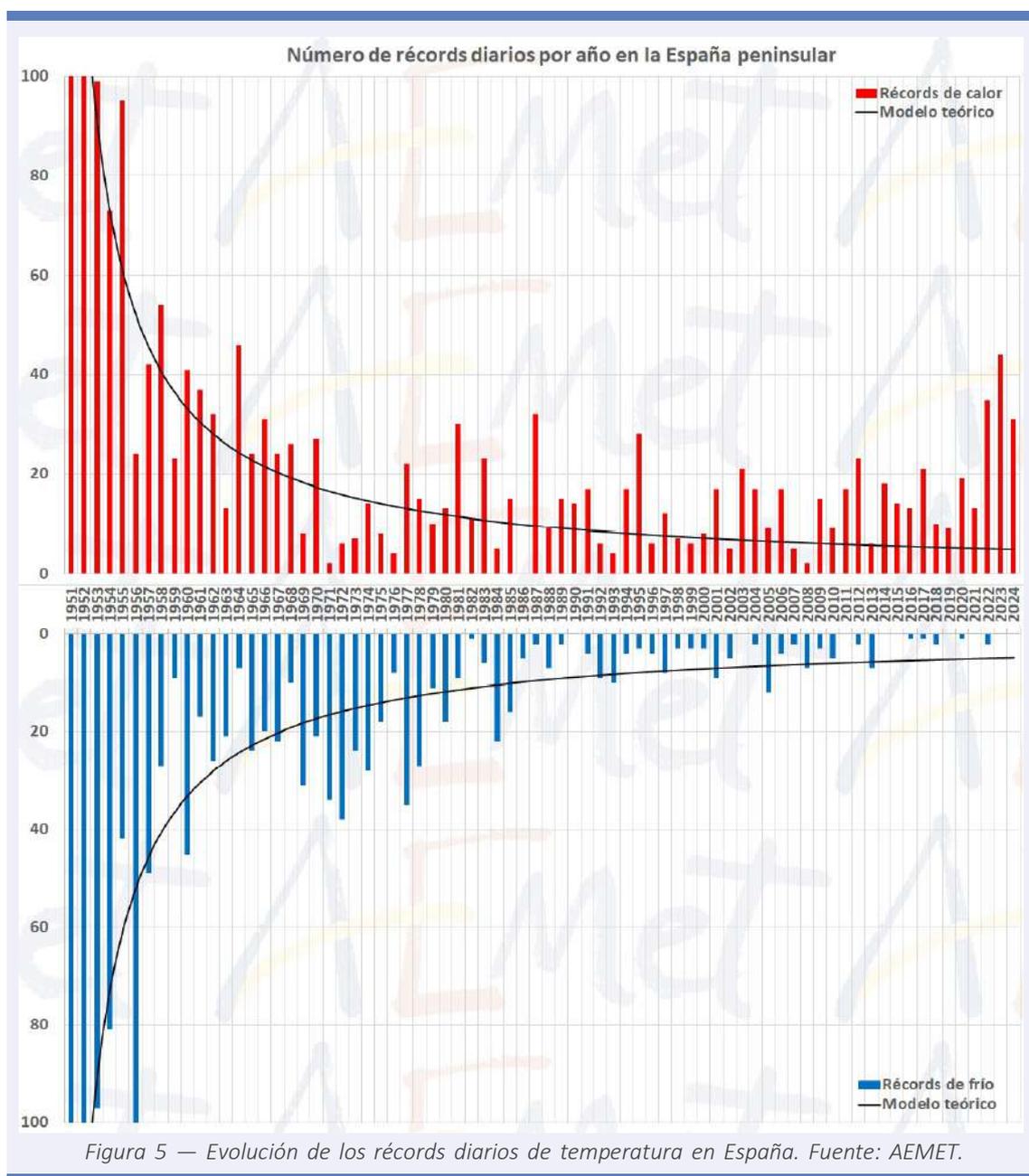
Hubo dos meses fríos, uno normal, tres cálidos, tres muy cálidos y tres extremadamente cálidos: concretamente, enero, agosto y noviembre, que fueron los más cálidos de la serie. El 62 % de los días de 2024 tuvieron una temperatura media superior al valor normal del período de referencia, mientras que el 38 % tuvieron una temperatura media inferior a ese valor.

Figura 4 — Evolución de las temperaturas medias diarias durante 2024.
Fuente AEMET.



En 2024 hubo varios episodios con temperaturas inferiores a las normales, pero ninguno de ellos llegó a catalogarse como ola de frío. Fueron más frecuentes las situaciones de temperaturas por encima de lo normal, con tres olas de calor en el ámbito de la Península y Baleares, aunque ninguna afectó a Canarias.

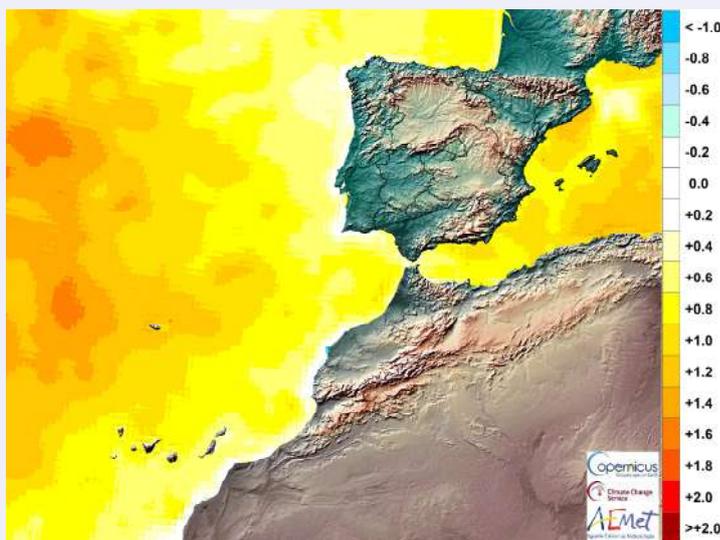
Una de las consecuencias más evidentes del cambio climático es el incremento de días cálidos y la disminución de días fríos. En 2024, se registraron en España 31 récords de días cálidos mientras que no hubo ningún récord de días fríos. Lo esperable, en un clima no alterado, hubieran sido cinco récords de cada tipo. En el decenio comprendido entre 2015 y 2024 se registraron 209 récords de días cálidos y 7 récords de días fríos. El valor esperable teórico son 52 récords de cada tipo en ese período, por lo que los récords de días cálidos han sido cuatro veces más frecuentes de lo esperable en la última década, mientras que los de días fríos han sido alrededor de siete veces y media menos frecuentes que el valor teórico.



TEMPERATURA DEL AGUA DEL MAR

Las aguas marítimas circundantes a España alcanzaron una temperatura promedio de 20.0 °C. Se superó en 0.7 °C el promedio normal 1991-2020 y se trata del segundo registro más alto de la serie, tan solo superado por el de 2023, con cuatro décimas de grado más. Ambos años, 2023 y 2024, son los únicos en alcanzarse o superarse la barrera de los 20 °C como temperatura media de las aguas marítimas circundantes a España, en una serie con datos desde 1940.

Figura 6 — Anomalía de la temperatura superficial del agua del mar en 2024.
Fuente de datos: Servicio de Cambio Climático de Copernicus.



Todas las zonas marítimas y costeras registraron durante 2024 temperaturas por encima de lo normal. La anomalía más alta estuvo en el Mediterráneo, con más de +1 °C en aguas costeras de Barcelona y valores próximos en otras zonas del mar Balear y Cabrera. En el otro extremo, la anomalía fue inferior a +0.5 °C en las aguas costeras del Atlántico peninsular.

En aguas del Mediterráneo, el año 2024 tuvo la particularidad de que registró una serie de treinta y tres días con máximos históricos de temperatura superficial del mar Balear entre el 21 de noviembre y el 23 de diciembre. En la zona marítima de Canarias, todos los días entre el 1 de enero y el 26 de febrero la temperatura media fue la más alta de la serie, aunque en septiembre y octubre las aguas estuvieron ligeramente más frías de lo normal.

PRECIPITACIONES Y PERÍODOS DE SEQUÍA

La precipitación media sobre España fue de 669.1 mm en el año 2024, lo que supone un 105 % del valor normal del período 1991-2020. Esta cifra le confirió un carácter húmedo. Se trató del vigésimo sexto año más húmedo desde 1961 y el décimo del siglo XXI.

El año fue húmedo en gran parte de la Península, con valores superiores a los normales en prácticamente todo el territorio, llegando a duplicarse los valores normales en puntos de la provincia de Valencia, aunque en este caso en buena parte debido a la precipitación recogida el 29 de octubre. Sin embargo, fue un año seco o muy seco en puntos del sureste peninsular. En Baleares fue un año normal y en el archipiélago canario fue extremadamente seco: se trató del año con menos precipitaciones de toda la serie.

A lo largo del año hubo cuatro meses muy secos, uno seco, cuatro húmedos, dos muy húmedos y uno extremadamente húmedo: octubre, que fue el más lluvioso de la serie.

No se encuentra una tendencia estadísticamente significativa de la precipitación media anual desde el inicio de la serie en 1961 al considerar el conjunto de España. Sin embargo, sí se observan descensos estadísticamente significativos en el nordeste de Cataluña, este y sur de Castilla-La Mancha, sur de Extremadura, la mayor parte de Andalucía y las islas canarias orientales.



Figura 7 — Porcentaje de la precipitación con respecto a la normal en 2024 (período de referencia 1991-2020). Fuente: AEMET.

En España, el régimen de precipitaciones presenta grandes irregularidades tanto espacial como temporalmente, por lo que la sequía meteorológica, debida exclusivamente a la escasez de lluvias, puede estudiarse a distintas escalas temporales.

Si el análisis se realiza teniendo en cuenta un período temporal de doce meses, que suele guardar relación con las reservas hídricas, al terminar 2024 no había situación de sequía meteorológica a escala de la España peninsular en su conjunto, aunque sí en las cuencas del Guadiana, del Segura, del Júcar y del Sur. También acabó el año con sequía meteorológica en los dos archipiélagos.

Con un análisis a más largo plazo, considerando un período de treinta y seis meses, al acabar el año España continuaba en una sequía de larga duración que había comenzado en marzo de 2023. Sin embargo, fue perdiendo intensidad en los últimos meses de 2024.

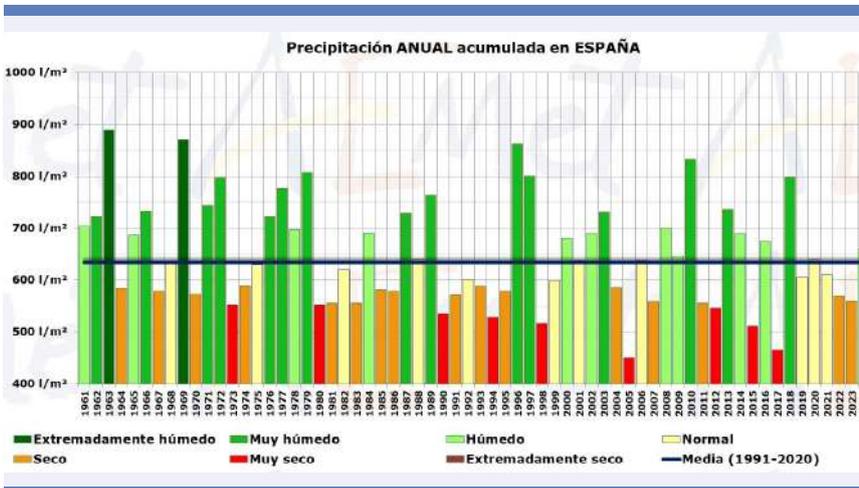


Figura 8 — Serie de precipitación anual en España desde 1961 y carácter pluviométrico con respecto al período de referencia 1991-2020. Fuente: AEMET.

FENOLOGÍA

2024 fue un año en el que se observaron variaciones, cada vez más frecuentes, en los eventos fenológicos de los ciclos biológicos de los seres vivos: floraciones anticipadas de especies tempranas, segundas floraciones avanzado el otoño, árboles frutales que todavía a finales de diciembre mantenían las hojas y que además permanecen de color verdoso, insectos sobrevolando buena parte del año, etc.

El año comenzó con un adelanto generalizado de las primeras floraciones de algunas especies más tempranas, como avellanos y alisos, debido a las altas temperaturas reinantes. Posteriormente, las condiciones ambientales se fueron normalizando y también los eventos fenológicos. En otoño, un septiembre más frío de lo normal provocó un retraso en las maduraciones, pero posteriormente también se fueron normalizando las condiciones.

HORAS DE SOL

El conjunto de España recibió un total de 2862 horas de sol, valor prácticamente igual al promedio 1991-2020 (2850 horas). Por meses, abril fue el quinto más soleado de la serie, que arranca en 1983. En el lado contrario figura octubre, pues se trató del menos soleado desde el año 2003.

Por zonas, las más soleadas fueron las ubicadas en el sur y este del archipiélago canario, con más de 3400 horas. En la Península, los litorales de Granada y Almería recibieron más de 3300 horas de sol. El Cantábrico oriental y los Pirineos occidentales recibieron, en cambio, menos de 1800 horas. El 54 % del territorio recibió más horas de sol de lo normal. El mayor superávit se registró en Baleares y puntos del sureste. En el norte, oeste y centro de la Península hubo menos horas de sol de lo normal.

Figura 9 — Porcentaje de horas de sol en 2024 respecto al promedio 1991-2020.
Fuente de los datos: CM SAF (EUMETSAT).



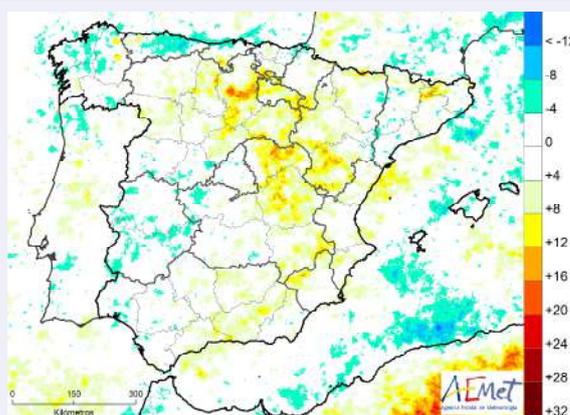
DESCARGAS ELÉCTRICAS

En 2024 se registraron 804 248 descargas eléctricas en el entorno geográfico de la Península, Baleares, Ceuta y Melilla, de las cuales 352 232 fueron impactos de rayos en tierra. Se trató del segundo año con menor número de descargas desde el 2000 (inicio de la serie), tras 2012. La actividad tormentosa en los meses en que esta es más habitual (julio o septiembre, por ejemplo) fue escasa, y de ahí que el número de descargas haya sido más bajo en el conjunto anual. El día con mayor número de descargas fue el 29 de octubre, coincidente con el extraordinario episodio de lluvias torrenciales en el área mediterránea. Aquel día se registraron 35 670 descargas.

En el ámbito geográfico de Canarias se registraron a lo largo del año 10 674 descargas, el mayor número desde 2018. De ellas, 469 impactaron en tierra, mientras que el resto lo hicieron en el océano Atlántico.

En cuanto a días de tormenta, el máximo se registró en los Pirineos orientales, donde se superaron los 40 días, mientras que en zonas de Galicia no se llegó a cinco días.

Figura 10 — Anomalías de los días de tormenta en la Península y Baleares en 2024.
Fuente: AEMET.

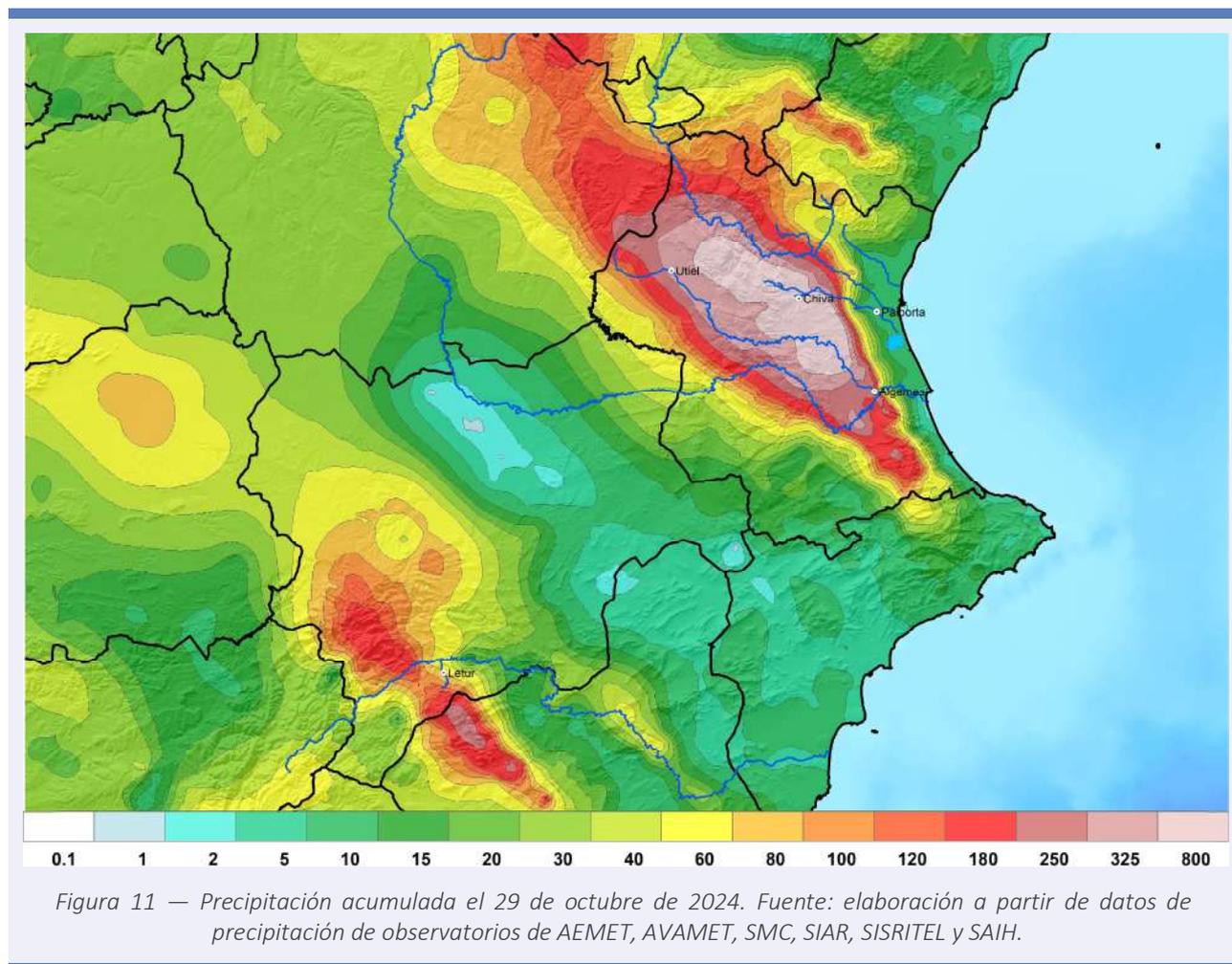


FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

Durante el verano de 2024 se registraron en el ámbito de la Península y Baleares tres olas de calor. Lo más destacable es que estos tres episodios se registraron entre el 18 de julio y el 12 de agosto. En un período de veintiséis días, veintidós transcurrieron bajo ola de calor. La segunda y tercera olas tuvieron una duración de diez y nueve días respectivamente, convirtiéndose así en la quinta y sexta olas de calor más largas desde, al menos, 1975. En la segunda ola es cuando se registraron las temperaturas más elevadas: en Morón de la Frontera (Sevilla) se alcanzaron 43.5 °C el 24 de julio y el día 30 la temperatura mínima en Zaragoza/aeropuerto fue de 28.1 °C, la más alta de la serie histórica.

A finales de octubre se produjo el episodio meteorológico más adverso no solo del año, sino de las últimas décadas. Un episodio extraordinario de lluvias torrenciales provocó una gran riada en la provincia de Valencia el día 29 de octubre, con grandes pérdidas humanas y daños materiales. La situación, asociada a una dana, afectó también a otras provincias de la vertiente mediterránea peninsular, especialmente a Cuenca, Albacete,

Murcia y Málaga. En la estación meteorológica de Turís (Valencia) se acumularon 772 mm en 24 horas, uno de los valores más altos registrados en España en ese período. Sí que supuso récord a nivel nacional la precipitación acumulada en una hora (185 mm, más del triple de la cifra que se considera intensidad torrencial, que es 60 mm), en seis horas (621 mm) y en doce horas (720 mm). Estos dos últimos valores duplican los registros máximos anteriores.



También fue extraordinario el episodio de tornados registrado el mismo día 29 de octubre, con al menos once fenómenos de este tipo que afectaron, principalmente, a la comarca valenciana de la Ribera Alta.

Otro episodio de lluvias intensas significativo fue el asociado a la borrasca Berenice entre los días 11 y 12 de octubre. La inestabilidad atmosférica y una fuerte llegada de humedad procedente del Atlántico dieron lugar a precipitaciones persistentes en el su- roeste peninsular, con acumulados superiores a 100 mm en puntos de la provincia de Sevilla y de 120 mm en la de Badajoz durante el día 12.

