



POLITÉCNICA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid
Tel.: 91 336 3060
info.industriales@upm.es

www.industriales.upm.es



Nerea Cortina Fernández

05 TRABAJO FIN DE MASTER

INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MASTER

EVALUACIÓN DE LA RELEVANCIA DEL CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO Y DE LOS ESCENARIOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN LA HUELLA DE CARBONO DE VEHÍCULOS TURISMOS, Y ANÁLISIS DE CÓMO ESTA SE PERCIBE POR LA CIUDADANÍA

TRABAJO FIN DE MÁSTER
PARA LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE MÁSTER
EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL

JUNIO 2023

**Nerea Cortina
Fernández**

DIRECTOR DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER:
Javier Pérez Rodríguez



POLITÉCNICA

Resumen

En los últimos años, se han propuesto muchas estrategias de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector del transporte ya que, tal y como muestran los datos publicados por la Agencia Internacional de la Energía y la Agencia Europea de Medio Ambiente, el aumento en este sector ha sido notable.

El indicador básico para conocer el impacto ambiental de las emisiones provocadas por los vehículos sobre el cambio climático es la huella de carbono. La huella de carbono de un turismo se refiere a la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO_2), pero también, por ejemplo, metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), que se generan a lo largo del ciclo de vida de un vehículo, incluyendo su fabricación, uso y disposición final. La comprensión de la huella de carbono en el sector del transporte es fundamental para evaluar el impacto ambiental de las distintas tipologías de vehículo y comparar diferentes opciones en términos de sus emisiones. Esto ayuda a los consumidores a tomar decisiones más sostenibles al elegir un vehículo con menores emisiones y a los fabricantes a trabajar en la reducción de la huella de carbono de sus productos.

Con la finalidad de aportar claridad y unificar resultados en este campo, la Cátedra Fundación Repsol en Transición Energética - Movilidad Sostenible de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSII-UPM), por segundo año consecutivo, ha llevado a cabo investigaciones que puedan permitir realizar comparaciones más precisas y consistentes en condiciones de estimación similares. Para este análisis, se han recopilado datos en términos de masa de CO_2 equivalente emitida por kilómetro recorrido tanto para el ciclo de vida de la fuente energética (CVFE) como el ciclo de vida del vehículo (CVV). En lo que respecta al CVFE, se consideran todas las etapas, desde la producción, transformación y distribución, hasta el uso del combustible en el vehículo. Esto se conoce como "del pozo a la rueda" (Well to Wheel, WtW en inglés). El ciclo completo del combustible se divide en dos etapas principales. En la primera etapa, denominada "del pozo al tanque" (Well to Tank, WtT), se tienen en cuenta las emisiones generadas en el proceso de obtención, transformación y distribución

de cada tipo de combustible. En la segunda etapa, denominada "del tanque a la rueda" (Tank to Wheel, TtW), se contabilizan las emisiones de GEI generadas directamente por el vehículo durante su uso.

En este estudio, se ha construido una base sólida a partir de los resultados obtenidos en investigaciones previas, específicamente en el ciclo de vida de la fuente energética, realizadas por esta cátedra en el curso anterior. El esfuerzo se ha centrado en ampliar la bibliografía relacionada con el ciclo de vida del vehículo. Como resultado, se ha generado una extensa base de datos que abarca numerosas tecnologías y tipos de combustibles, lo que ha permitido realizar comparativas objetivas entre diferentes vehículos. Esta base de datos integral proporciona información valiosa para evaluar y comprender las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de todo el ciclo de vida de un vehículo, desde su fabricación hasta su eliminación. Este trabajo, ha despertado la necesidad de comprender la importancia que los usuarios otorgan a la huella de carbono, así como evaluar sus conocimientos sobre alternativas de movilidad más limpias y las emisiones asociadas.

Con este fin, se ha llevado a cabo una encuesta exhaustiva que ha proporcionado información valiosa acerca de las percepciones y actitudes de los usuarios. Los resultados de la encuesta han permitido analizar el grado de conciencia ambiental de los encuestados, así como identificar las barreras y motivaciones que influyen en su decisión de compra de vehículos. Esta información ha sido fundamental para orientar y enriquecer los hallazgos del estudio, proporcionando una visión más completa y realista de la situación actual y las necesidades de los usuarios en términos de movilidad sostenible. Como conclusión de esta fase, se ha comprobado la aún notable falta de conocimiento de los ciudadanos acerca de tanto el problema de las emisiones de CO₂ como las distintas soluciones tecnológicas disponibles para abordarlo. Además, se ha puesto de manifiesto que el aspecto medioambiental aún no se sitúa por delante de otros factores en el proceso de adquisición de un vehículo nuevo.

Por último, habiendo identificado un mayor interés por parte de los usuarios hacia la opción del vehículo eléctrico, se ha realizado un estudio específico que examina el potencial

de reducción de emisiones asociado a este tipo de vehículos. Se ha analizado como puede verse afectado este potencial por la matriz energética en la que el vehículo se encuentra operando. La generación de electricidad utilizada para cargar los vehículos eléctricos varía en diferentes regiones y países, lo que implica que las emisiones asociadas pueden fluctuar significativamente. En aquellas áreas donde la generación de electricidad se basa predominantemente en fuentes renovables, como la energía solar o eólica, los vehículos eléctricos pueden lograr una reducción sustancial de las emisiones. Por otro lado, en lugares donde la matriz energética depende en gran medida de combustibles fósiles, el impacto ambiental de los vehículos eléctricos puede ser menos significativo en comparación con los vehículos de combustión interna. Este análisis destaca la importancia crucial de considerar el contexto energético al evaluar las emisiones asociadas a los vehículos eléctricos y enfatiza la necesidad de continuar impulsando una transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles.

Índice

1. Introducción	4
2. Objetivos del estudio	5
3. Base de datos para el futuro desarrollo de una herramienta sobre la huella de carbono de los vehículos turismo	6
3.1. Ciclo de vida del vehículo: nuevas fuentes bibliográficas	7
3.1.1. CO2web	7
3.1.2. VOLVO	9
3.1.3. MIT	11
3.1.4. FVV	12
3.1.5. CarGHG	14
3.1.6. Transport & Environment	15
3.2. Ciclo de vida de la fuente energética	17
3.2.1. Ciclo de vida de la fuente energética: del pozo al tanque	17
3.2.2. Ciclo de vida de la fuente energética: del tanque a la rueda	18
3.3. Resultados	19
3.3.1. Resultados del ciclo de vida de la fuente energética: del pozo al tanque	20
3.3.2. Resultados del ciclo de vida del vehículo	23
3.3.3. Resultados para el ciclo de vida completo	27
4. Encuesta de percepción sobre tecnologías de movilidad y su impacto	31
4.1. Estado del arte	31
4.2. Metodología	33

4.3. Resultados	34
5. Escenarios futuros de generación eléctrica	38
5.1. Metodología	39
5.2. Resultados	43
6. Participación en eventos y difusión de resultados	45
7. Conclusiones	46
8. Valoración de aspectos ambientales, sociales y económicos	48
9. Líneas futuras	51
10. Planificación y presupuesto	52
10.1. Descripción de fases y tareas	52
10.2. Descripción del presupuesto ejecutado o descargo de gastos	58
11. Bibliografía	60

Índice de tablas

1. Ámbito geográfico de las fuentes utilizadas en el análisis del CVV	24
2. Ámbito temporal de las fuentes utilizadas en el análisis del CVV	25
3. Huella de carbono asociada a las diferentes combinaciones de vehículos tecnología-combustible en gCO₂/km. (Fuente: elaboración propia)	28
4. Peso porcentual estimado para cada fuente primaria de generación eléctrica en 2030 según el escenario objetivo del PNIEC. Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.	41
5. Valores relativos al vehículo eléctrico sobre emisiones de CO_{2eq}/km recorrido en la fase del pozo al tanque. Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.	43
6. Valores relativos al vehículo eléctrico sobre emisiones de CO_{2eq}/km recorrido en el ciclo de vida completo del vehículo. Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.	44
7. Mano de obra	58
8. Amortizaciones	58
9. Gasto total	59

Índice de figuras

1.	Representación de la horquilla de valores y el valor significativo elegido de emisiones de dióxido de carbono equivalente por kilómetro recorrido para el ciclo de vida de la fuente energética en la fase del pozo al tanque (<i>Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes mencionadas</i>)	20
2.	Representación de la horquilla de valores y el valor significativo elegido de emisiones de dióxido de carbono equivalente por kilómetro recorrido para el ciclo de vida de la fuente energética en la fase del tanque a la rueda (<i>Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes mencionadas</i>)	22
3.	Representación de la horquilla de valores y el valor significativo elegido de emisiones de dióxido de carbono equivalente por kilómetro recorrido para el ciclo de Vida del Vehículo (<i>Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes mencionadas</i>)	23
4.	Tipología de vehículos de las fuentes utilizadas en el análisis del CVV	26
5.	Gráfico en valor absoluto representativo de la huella de carbono asociada a las diferentes combinaciones de vehículos tecnología-combustible en gCO ₂ /km recorrido. (<i>Fuente: elaboración propia</i>)	29
6.	Gráfico relativo al vehículo de combustión a gasolina representativo de la huella de carbono asociada a las diferentes combinaciones de vehículos tecnología-combustible en gCO ₂ /km recorrido. (<i>Fuente: elaboración propia</i>)	30
7.	Puntuaciones medias obtenidas al preguntar a los encuestados sobre cada una de las siete opciones propuestas mostradas en la parte de la izquierda (7 más importante, 1 menos importante).	37
8.	Gráfico de sectores que muestra el peso porcentual estimado para cada fuente primaria de generación eléctrica en 2030 según el escenario objetivo del PNIEC. <i>Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.</i>	42
9.	Diagrama de Gantt de las tareas acometidas durante el proyecto	57

Lista de acrónimos

Símbolo	Descripción
TFM	Trabajo de fin de máster
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
CVFE	Ciclo de vida de la Fuente Energética
CVV	Ciclo de vida del vehículo
WtW	Well to Wheel
WtT	Well to Tank
TtW	Tank to Wheel
SUV	Sport Utility Vehicle
ACV	Análisis de ciclo de vida
LCA	Life cycle assesment
ISO	Internacional Organization for Standardization
MIT	Massachusetts Institute of Technology
GEI	Gases de efecto invernadero
ETH	Escuela Politécnica Federal de Zúrich
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ENTSOE	Red Europea de Operadores de Sistemas de Transporte de Electricidad
TYNDP	Plan decenal de desarrollo de la red
EV	Electric Vehicle
JRC	Joint Research Center
EUROCAR	European Council for Automotive Research and development
CONCAWE	European oil companies' association for environment, health and safety in refining and distribution
GREET	The Greenhouse Gases, Regulated Emissions and Energy Use in Technology
ANL	Argonne National Laboratory's systems Assessment Center
RE&E	Ricardo Energy and Environment
WLTP	Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures
NEDC	New European Driving Cycle
COPERT	COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport
GEI	Gas de Efecto Invernadero
ECV	Evaluación del Ciclo de Vida
UNECE	Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas
PNIEC	Plan Nacional Integrado de Energía y Clima
GPS	Global Positioning System
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible

1. Introducción

Con el fin de responder a los objetivos que se establecen en este trabajo, el mismo se ve dividido principalmente en tres apartados que se describen a continuación.

El primero de ellos tiene como finalidad completar la información obtenida en el desarrollo de esta cátedra durante el curso anterior, centrandose el estudio principalmente en la inclusión de fuentes bibliográficas sobre el ciclo de vida del vehículo. Para cada una de estas, se presenta la metodología utilizada. Y una vez incluidas todas las fuentes bibliográficas, los resultados obtenidos para cada una de las fases abordadas.

Después, el estudio se centra en la percepción de la población acerca de las emisiones de los vehículos turismo aportando de nuevo tanto la metodología utilizada para obtener información sobre el conocimiento de los usuarios como los resultados propiamente dichos.

El tercer apartado que cuenta con resultados importantes para este estudio trata sobre diferentes escenarios de generación eléctrica y la importancia que estos tienen a la hora de evaluar la huella de carbono de la movilidad parcial o totalmente electrificada.

Además de esto, en este trabajo se muestran tanto la participación que se ha tenido en eventos que han servido para divulgar los resultados de este trabajo como las líneas futuras en las que esta misma cátedra se centra en el curso posterior.

La planificación describe las tareas realizadas y el tiempo que ha llevado realizar cada una de ellas junto con sus fechas de realización. Asimismo, se detalla el alta de los gastos que incluye la amortización de los equipos y la mano de obra del director y del alumno.

Para finalizar, existe un apartado en el que se sacarán las conclusiones más importantes de lo observado durante la realización y análisis de los resultados de este trabajo.

2. Objetivos del estudio

El sector del transporte por carretera desempeña un papel significativo en las emisiones totales de gases de efecto invernadero generadas por la actividad humana.

En este contexto, el presente trabajo tiene tres objetivos principales que se abordan a lo largo del presente documento.

Con la finalidad de generar una base de datos fiable en cuanto a huella de carbono, se lleva a cabo un análisis comparativo de los estudios de huella de carbono de diferentes tecnologías de propulsión utilizadas en vehículos de turismo. Este análisis se basa en documentos y bibliografía recientemente publicados que abordan específicamente la evaluación de la huella de carbono asociada a diversas tecnologías de propulsión.

La evaluación de la huella de carbono abarca todo el ciclo de vida. Por un lado, y siendo este el campo en el que más se ha enfatizado este objetivo, el ciclo de vida del vehículo desde la producción y fabricación de este hasta su uso y eventual disposición. De manera similar, se analizan las etapas del ciclo de vida del combustible, desde su extracción y procesamiento hasta su distribución y consumo en el vehículo. Este enfoque integral permite obtener una imagen más precisa y completa de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a cada tecnología de propulsión.

Otro de los objetivos del estudio actual, y promovido por el interés de conocer la utilidad que esta base de datos puede tener para el público general, es conocer el nivel de concienciación de la población acerca de los aspectos relacionados con las emisiones de los vehículos particulares. Además, otro enfoque interesante es saber hasta qué punto, la huella de carbono que un turismo tiene puede ser un condicionante a la hora de elegir un vehículo nuevo.

Por último, y en base al avance realizado en el estudio poblacional, el tercer objetivo que se aborda en este trabajo consiste en conocer la importancia que tienen los esce-

narios de generación eléctrica que se pueden dar en un país. Esto tiene relación con la posible disminución de emisiones contaminantes por parte de los, cada vez más conocidos, vehículos total o parcialmente electrificados.

3. Base de datos para el futuro desarrollo de una herramienta sobre la huella de carbono de los vehículos turismo

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, uno de los objetivos principales de este trabajo ha sido generar una tabla de valores o base de datos que, de manera contrastada con varias fuentes bibliográficas, recoja la información acerca de las emisiones de dióxido de carbono equivalente por kilómetro recorrido en distintas tipologías de vehículos en combinación además, con diferentes combustibles.

Estas emisiones, se encuentran divididas en las relacionadas con el ciclo de vida del vehículo en sí, es decir, la extracción de sus materiales, conformado, fabricación y fin de vida útil; y en las emisiones debidas a la fuente energética. A su vez, estas últimas, se dividen también en dos fases diferenciadas: las emisiones debidas a la producción, transformación y distribución de la fuente energética, fase conocida como “del pozo al tanque” (Well to Tank, WtT, en su acrónimo en inglés), y las debidas a la fase de uso de ésta o “del tanque a la rueda” (Tank to Wheel, TtW, en su acrónimo en inglés).

Para la realización de la tabla que contenga todos los valores de las diferentes combinaciones de tecnologías y combustibles, se han reunido todas las fuentes de información disponibles tanto para el ciclo de vida de la fuente energética en sus dos fases principales como para el ciclo de vida del vehículo. Para las fases relacionadas con la fuente energética se disponía de los datos obtenidos durante el desarrollo de esta misma cátedra el curso previo 2020-2021. Es para el caso del ciclo de vida del vehículo, para el que se ha realizado una profundización y búsqueda de nuevas fuentes bibliográficas a integrar junto con las que previamente ya se tenían.

3.1. Ciclo de vida del vehículo: nuevas fuentes bibliográficas

Para comenzar, se ha abordado la fase de ciclo de vida del vehículo o CVV de aquí en adelante. Los datos que actualmente se conocen acerca de esta fase son aún muy escasos e inmaduros, por tanto, la primera tarea que se ha realizado consiste en recopilar nuevas fuentes de datos con la finalidad de contrastar la poca información de la que se disponía previamente a esta profundización. Se han incorporado seis fuentes de datos nuevas de las que, a continuación, se comenta la metodología y los datos que éstas proporcionan en cada caso.

3.1.1. CO2web

Introducción

En la Cátedra de ética ambiental – Fundación Tatiana Pérez de Guzmán el Bueno en la Universidad de Alcalá, se ha desarrollado una herramienta de cálculo de la huella de carbono: “CO2web: Observatorio online”. Aunque esta herramienta sirve para el cálculo de la huella de carbono de muchos procesos y ámbitos diferentes, como por ejemplo, el cálculo de la huella de carbono que cada persona emite durante un año de acuerdo a su estilo de vida. Cuenta con una amplia y bastante completa sección acerca de los vehículos que ha servido como fuente bibliográfica para este trabajo.

Tal y como se menciona en la página web asociada a esta herramienta [\[1\]](#), para el cálculo de la huella de carbono de los diferentes automóviles se han incluido tres fases del ciclo de vida del vehículo.

- Fase 1: en esta fase se incluye la extracción y procesado de los materiales necesarios para la fabricación del vehículo. Como un ejemplo de estos se podría incluir acero, aluminio, cobre, plásticos, etc.
- Fase 2: Una vez se cuenta con los materiales necesarios, esta fase contempla los procesos de producción de todos y cada uno de los elementos del vehículo, por ejemplo: estampación, moldeo, mecanizado. . .

- Fase 3: esta última fase, ya no tiene que ver con la fabricación, sino con las emisiones asociadas a la fase de uso del vehículo, es decir, las emisiones por distancia recorrida.

Como se ha comprobado al analizar esta metodología, en este caso no se han tenido en cuenta las emisiones asociadas al final de la vida útil del vehículo. Esto se debe a que tal y como se menciona de nuevo en la página web [1], se considera que la experiencia acerca del fin de vida del vehículo, lo que sería la disposición y reciclado del mismo, no es suficiente, y por ello no se encuentra contemplado en esta herramienta.

Metodología de cálculo

Para poder realizar una comparativa correcta entre los diferentes datos que ofrece cada fuente bibliográfica es necesario conocer la metodología de cálculo que cada fuente utiliza. En este caso, tal y como, de nuevo, la propia fuente bibliográfica explica, para realizar los cálculos de las fases 1 y 2, los relacionados con la fabricación y el procesado de los materiales y componentes que conforman el vehículo, se ha utilizado el factor de emisión media para los distintos materiales multiplicado por el peso del vehículo asociado a cada uno de ellos dependiendo en qué partes están presentes. En el caso de los coches eléctricos, se han sumado además las emisiones por la fabricación de baterías de alto voltaje, ya que es un elemento que aparece en estos y que tiene cierta relevancia.

Para la fase 3, se ha utilizado el consumo medio de los diferentes vehículos y los factores de emisión estándar para España en 2018 para la gasolina, diésel y gas natural comprimido.

Algo destacable a mencionar, es que para el caso de los vehículos eléctricos, además, se han estudiado dos escenarios diferentes en cuanto a la procedencia de la electricidad utilizada: uno, en el que toda la electricidad proviene de fuentes renovables; y otro, que aplica el promedio del mix energético español para el mismo 2018.

Por otro lado, en cuanto a los vehículos analizados, se han considerado siete tipologías diferentes en cuanto a su tamaño: utilitarios y compactos, familiar, berlina, monovolumen

pequeño, monovolumen familiar, SUV pequeño y SUV grande. Para que en cada tamaño se tuviera una media entre las diferentes marcas de vehículos y fuese un valor representativo del parque de vehículos, se han utilizado los cinco modelos de cada tipología más vendidos en 2018.

Por último, en cuanto a las características de uno de los vehículos, se ha asumido como media de vida útil de todos y cada uno de los vehículos el valor de 200.000 km.

3.1.2. VOLVO

Introducción

VOLVO Cars, fabricante premium de automóviles con sede en Gotemburgo, en conjunto con Polestar, fabricante de coches eléctricos premium y de alto rendimiento del propio Grupo Volvo, ha realizado un informe que estudia la huella de carbono del modelo concreto VOLVO XC40 [2]. En este informe, escrito gracias al estudio hecho en 2020, se realiza la comparativa entre un modelo completamente eléctrico y otro de combustión interna.

Las emisiones que incluye este estudio son las debidas a las actividades de los proveedores, es decir, fabricación de los diferentes elementos del vehículo y logística en cuanto a producción; la fase de uso del vehículo, por tanto, los impactos ambientales asociados al kilometraje recorrido durante la vida útil de éste; y, por último, la fase de fin de vida útil, desechado, reutilización, reciclaje, etc.

Metodología de cálculo

Para calcular las huellas de carbono de este informe, se ha utilizado un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizado según las normas ISO LCA [3]. Además, se ha hecho uso de la publicación titulada “Norma sobre la contabilización y presentación de informes sobre el ciclo de vida de los productos” [4] publicada por el Protocolo de Gases de Efecto Invernadero como guía para ciertas elecciones en la metodología.

Esta metodología basada en las normas citadas [3], fue desarrollada con el objetivo de abordar de manera integral el impacto ambiental de un producto a lo largo de su ciclo de vida, en contraposición a un enfoque fragmentado en el que se evalúan los impactos de forma individual en cada etapa. Cuando el enfoque se centra en un solo proceso se corre el riesgo de suboptimización, es decir, de reducir el impacto en una etapa a costa de aumentarlo en otra. Para evitar este problema, se utiliza la Evaluación del Ciclo de Vida (ECV), que busca considerar todos los procesos desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto.

Sin embargo, es importante destacar que esta tiene sus límites y se enfoca en los impactos ambientales dentro del sistema definido en los objetivos y alcance del estudio. Por lo tanto, no es posible abarcar todos los impactos ambientales de un producto o servicio en su totalidad.

Debido a que las opciones metodológicas que existen a la hora de realizar un análisis de ACV no suelen ofrecer unos requisitos muy estrictos, sino dar unas pautas para el profesional que desarrolla el estudio, en este informe, los supuestos se han realizado de manera conservadora, ya que puede haber un impacto importante de los datos que no se conocen.

La producción de la batería de iones de litio del XC40 Recharge tiene una huella de carbono relativamente grande y un impacto significativo en la huella de carbono total. Por ello, para evaluar el impacto ambiental de este elemento en concreto, se ha realizado un estudio separado en colaboración con los proveedores de baterías de VOLVO que se ha integrado en el ciclo de vida completo.

Como media de vida útil y unidad funcional, se ha asumido un vehículo VOLVO que recorre 200.000 km.

3.1.3. MIT

Introducción

El MIT, Instituto de Tecnología de Massachusetts, ubicado en Cambridge, se trata de una universidad privada considerada una de las mejores y más prestigiosas del mundo en varios rankings, como por ejemplo el *QS World University Ranking* [5].

En octubre del año 2000, este instituto, publicó un informe basado en el trabajo realizado durante los dos años anteriores sobre las diferentes tecnologías que podrían desarrollarse para el año 2020 [6].

Este estudio se ha llevado a cabo con el objetivo principal de investigar las tecnologías de vehículos que tienen el potencial de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esto se debe principalmente a que el sector del transporte, especialmente los automóviles y otros vehículos ligeros, contribuye significativamente a las emisiones de GEI y está sujeto a políticas cada vez más estrictas que limiten dichas emisiones.

En este análisis, se ha tenido en cuenta un aspecto crucial para comparar las distintas tecnologías: la evaluación integral del sistema a lo largo de todo su ciclo de vida. Este estudio abarca siete tipos de combustibles y cinco tipologías de propulsión de vehículos, permitiendo así una evaluación exhaustiva y comparativa de las diferentes opciones disponibles.

Al considerar el ciclo de vida completo, se tiene un enfoque global que proporciona una perspectiva más precisa y completa de las emisiones de GEI asociadas con cada tecnología y combustible evaluado en el estudio.

Metodología de cálculo

En este análisis del ciclo de vida, en el caso del vehículo en sí, el ciclo comienza con la extracción de materiales y minerales necesarios para la fabricación, su transformación

y montaje, distribución del vehículo terminado a los clientes, uso de éste, reparación, mantenimiento, y, por último, desechado.

En el caso de las fuentes de energía primaria, para la parte referida a *"del pozo al tanque"*, se tiene en cuenta tanto su extracción, como su transformación, transporte y distribución a los puntos de consumo.

Una vez el combustible se encuentra en disposición de ser utilizado, se incluye la fase de uso de este, es decir, las emisiones asociadas al uso del vehículo debido al kilometraje que este recorre durante su vida útil.

Para la evaluación de los diferentes combustibles, las fuentes utilizadas provienen de informes publicados en los años del estudio y otros trabajos no publicados puestos a disposición del MIT. Para el caso de las fuentes utilizadas para los vehículos, son principalmente simulaciones mejoradas por el MIT sobre las desarrolladas en 1998 en la Escuela Politécnica Federal de Zúrich (ETH) [7], para estimar el ahorro de combustible de diferentes combinaciones de tecnologías en cuanto a la propulsión del vehículo.

3.1.4. FVV

Introducción

FVV Prime Movers es una red única en el mundo de empresas, universidades, centros de investigación y organizaciones de financiación. Los fabricantes de motores de automoción, así como sus proveedores y prestadores de servicios, colaboran en la investigación en tecnologías de vanguardia. Su objetivo es crear ideas para la neutralidad climática y las emisiones de impacto cero de los sistemas de conversión de energía sostenible.

De esta red, se cuenta con un informe realizado en 2020 sobre la emisión de gases de efecto invernadero de los vehículos en todo su ciclo de vida titulado *"Cradle-to-Grave Life-Cycle Assessment in the Mobility Sector"* [8].

La elaboración de este informe ha involucrado un exhaustivo análisis de más de 80 estudios que abarcan casi 500 escenarios. Estos estudios se basan en datos recopilados principalmente en los últimos 15 años, con un enfoque centrado en Alemania o en Europa en general. Dichos informes proporcionan valiosa información sobre diversos aspectos relacionados con los vehículos, como la producción, la fabricación de combustibles, la infraestructura energética, el uso y el fin de vida de los mismos.

Al abordar esta amplia gama de fuentes y escenarios, el informe ofrece una visión integral y actualizada de la temática en cuestión. Los datos recopilados permiten analizar de manera detallada los diferentes elementos que influyen en el impacto ambiental de los vehículos, proporcionando así una base sólida y confiable para la toma de decisiones informadas en el ámbito de la movilidad sostenible.

Metodología de cálculo

En el caso de este informe, la unidad de medida se define a partir del estudio para un ciclo de vida completo de 150.000 km. Al contar con la información proporcionada por un gran número de fuentes de datos diferentes, el estudio confirma que los resultados difieren muchísimo dependiendo del tipo de análisis que cada fuente realiza. Sin embargo, al centrarse en los estudios más cercanos a la mediana, la dispersión ya no resulta estar tan agravada.

A partir de esta información, un criterio de corte seleccionado para el caso de este informe, y sus datos estadísticos propios, se ha generado un rango de datos para cada fase del vehículo y del combustible. Para los casos en los que existe falta de información, se han estimado los valores de ciertos elementos, como puede ser por ejemplo, alguna pieza de las baterías de los vehículos eléctricos, de las que no hay tantos estudios. Esto se debe a su más moderna incorporación al sector del automóvil frente a la antigüedad, por ejemplo, del vehículo de combustión alimentado de gasolina.

3.1.5. CarGHG

Introducción

CarGHG [9] es una herramienta diseñada por Karim Hamza, un investigador de Toyota Motor North America-Research and Development que tiene como finalidad ser transparente y ofrecer información revisable en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero y el coste de las distintas tipologías de vehículo y los diferentes combustibles. Para ello, se han utilizado diferentes sistemas de propulsión utilizando vehículos de la propia casa Toyota.

En el caso de interés para este estudio, hay que centrarse en la emisión de GEI. Esta herramienta permite analizar las emisiones teniendo en cuenta, o no, las emisiones asociadas a la fabricación del turismo. Esto permite el estudio del ciclo de vida del vehículo completo, por tanto, resulta de interés para el estudio que aquí se lleva a cabo.

Además, esta herramienta permite seleccionar el escenario a estudiar, el que para la presente base de datos es 2022; y las emisiones de dióxido de carbono por kilovatio-hora para el caso de los vehículos eléctricos o híbridos enchufables, que se pueden ajustar a las que marque el mix energético del lugar elegido. Para el caso que aquí procede, se ha escogido Europa con la finalidad de que los resultados se aproximen más al resto de datos analizados y se pueda realizar una comparativa lo más contrastada posible.

Metodología de cálculo

Los valores que se muestran en esta herramienta proceden de una recopilación de datos en conducción real hecha a gran escala por el instituto UC-Davis denominada proyecto eVMT [10]. Esto consiste en una plataforma encargada de supervisar la utilización de los nuevos vehículos eléctricos enchufables en el día a día dentro del contexto de los viajes de los hogares. Esta monitorización se realiza mediante la colocación de registradores de datos en los vehículos de los participantes durante un período de un año.

Para los viajes realizados se ha involucrado el monitoreo por GPS y se han recopilado los datos de la velocidad del vehículo, la pendiente del camino y el consumo para calefacción o aire acondicionado. Además, se ha analizado también el parámetro de utilización de energía/combustible en el viaje completo. El conjunto de datos incluye viajes de al menos 10 vehículos de cada modelo en el mundo real.

Para corregir los datos obtenidos, se han utilizado tres parámetros de calibración que tienen en cuenta: la potencia de tracción total en cada instante de tiempo, para tener en cuenta la aceleración, la resistencia al viento, la inercia rotacional, y otros aspectos importantes; las diferencias entre propietarios de vehículos en el peso de pasajeros y carga; y, una potencia adicional constante en forma de término de corrección para la potencia auxiliar, que también tiene la intención de tener en cuenta otros efectos desconocidos.

3.1.6. Transport & Environment

Introducción

Transport & Environment es un sistema respaldado por 61 organizaciones que se dedican a promover un transporte más eficiente y ecológico en 23 países europeos. Con más de 30 años de existencia, ha desempeñado un papel fundamental en la creación de algunas de las leyes más ambiciosas del mundo en cuanto a las emisiones de CO₂ para vehículos de pasajeros y camiones.

En abril de 2020, Transport & Environment llevó a cabo un estudio [\[11\]](#) y desarrolló una herramienta para analizar la sostenibilidad de los vehículos eléctricos en comparación con otras tecnologías y combustibles en diversos escenarios. Esta herramienta proporciona información detallada sobre la huella ambiental de los automóviles eléctricos en diferentes contextos, permitiendo una evaluación comparativa completa y precisa.

La herramienta proporciona la opción de comparar dos tecnologías seleccionando el año de compra del vehículo (2022 o 2030) y el tamaño del mismo. A partir de esta selección, se pueden establecer diversos parámetros específicos para cada tecnología, en

particular, para el escenario del año 2030 serían los que se explican a continuación.

En el caso de los vehículos alimentados mediante combustibles fósiles, se puede elegir el tipo de fuente energética utilizada en su producción: ya sea convencional o proveniente de fuentes renovables. Por otro lado, para los vehículos eléctricos o híbridos enchufables, existen opciones adicionales para personalizar el análisis, tales como: lugar de producción de la batería, lugar de conducción del vehículo, tipo de cadena de suministro y tecnología de la batería.

Estos parámetros permiten afinar el análisis y considerar diferentes aspectos que pueden influir en el impacto ambiental de los vehículos en el futuro. Al proporcionar esta flexibilidad en la herramienta, se ofrece una visión más completa y precisa de las opciones disponibles en el ámbito de la movilidad.

Metodología de cálculo

Para calcular la intensidad de carbono de la red eléctrica de cada país, se realiza un análisis que involucra múltiples factores. Se considera una combinación de la mezcla de generación de electricidad, los factores de emisión proporcionados por el IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) para diferentes fuentes de energía, así como las pérdidas de transmisión y distribución de electricidad específicas de cada país. Además, al examinar las tendencias futuras y la descarbonización de la electricidad, el estudio se basa en el TYNDP (Plan de Desarrollo de Red de Diez Años) elaborado por ENTSOE (Red Europea de Operadores de Sistemas de Transmisión de Electricidad).

En relación a las baterías, la metodología se apoya en valores actualizados de carbono para la red eléctrica, así como en evidencia científica proveniente de plantas de baterías modernas. Esto garantiza que se tenga en cuenta la información más reciente y confiable disponible al evaluar el impacto ambiental de las baterías utilizadas en los vehículos.

En cuanto al consumo de combustible de los distintos vehículos, se utilizan los valores

recopilados en la base de datos de *spritmonitor.de* [12], un sitio web alemán reconocido que proporciona información sobre el consumo de combustible en condiciones de vida real. Esta base de datos se caracteriza por contar con un amplio tamaño de muestra, lo que significa que incluye una gran cantidad de datos de consumo de combustible provenientes de diversos vehículos en situaciones reales de uso.

Para evaluar las emisiones de gasolina y diésel en la fase de extracción y producción hasta su almacenamiento en el tanque, se utilizan los resultados obtenidos en el estudio publicado por Knobloch y colaboradores en 2020, titulado “*Net emission reductions from electric cars and heat pumps in 59 world regions over time*”, (“Reducción neta de las emisiones de los coches eléctricos y las bombas de calor en 59 regiones del mundo a lo largo del tiempo”, en español) [13]. En dicho estudio se examina exhaustivamente el impacto ambiental de los vehículos eléctricos.

Es importante destacar que las emisiones consideradas en este contexto no incluyen aquellas relacionadas con el uso de biocombustibles. El enfoque se centra específicamente en las emisiones asociadas con la producción y extracción de gasolina y diésel, desde la obtención de las materias primas hasta su transporte y almacenamiento.

3.2. Ciclo de vida de la fuente energética

A continuación, se presentan por otro lado las fases correspondientes al ciclo de vida de la fuente energética. En este caso, pese a que el número de fuentes es considerablemente menor al del caso del vehículo, dado que los estudios se llevan realizando durante un período de tiempo mucho mayor, la madurez y el contraste de estos resultados es muy alto en comparación.

3.2.1. Ciclo de vida de la fuente energética: del pozo al tanque

Para esta etapa denominada WtT (por sus siglas en inglés *Well to Tank* y su traducción al español “del pozo al tanque”) se cuenta principalmente con cuatro valores provenientes de las fuentes básicas y destacables del estudio europeo realizado por el

Joint Research Centre (JRC) de la Comisión Europea junto a EUROCAR (*European Council for Automotive Research and development*) y CONCAWE (*European oil companies' association for environment, health and safety in refining and distribution*) – en adelante informe JEC – (*Prussi et al., 2020*) [14] para el ciclo de vida del combustible, los resultados del modelo estadounidense GREET (*The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Technologies*), desarrollado por *Argonne National Laboratory's Systems Assessment Center* del Departamento de Energía de Estados Unidos (ANL, 2020), y, el informe *Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA* elaborado por *Ricardo Energy & Environment* para la Comisión Europea (RE&E, 2020) [14].

Modelo GREET

El modelo GREET fue desarrollado por el Laboratorio Nacional de Argonne en Estados Unidos y se utiliza para evaluar los impactos ambientales y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de vehículos y combustibles en todo su ciclo de vida, desde la extracción de materias primas hasta el fin de su vida útil. Este enfoque sistemático y exhaustivo ha sido ampliamente utilizado en la industria del transporte y en las políticas.

El modelo GREET se actualiza periódicamente para incluir nuevos vehículos y combustibles, así como nuevas tecnologías y procesos de producción. Esto garantiza que el modelo siga siendo relevante y preciso a medida que evoluciona la tecnología y cambian las condiciones del mercado.

La revisión de las diferentes combinaciones de tipología de vehículos y combustibles se realizó durante el desarrollo de esta misma cátedra en el curso 2020-2021 y se ha utilizado para avanzar en el desarrollo de este trabajo.

3.2.2. Ciclo de vida de la fuente energética: del tanque a la rueda

En la última fase del análisis, TtW (por su significado en inglés *Tank to Wheel*, en español “del tanque a la rueda”), se han utilizado tres fuentes bibliográficas como

referencia. Con el objetivo de obtener resultados más precisos, se ha recurrido al informe JEC mencionado previamente y a dos modelos de emisiones: el modelo COPERT y el modelo GREET. A continuación, se describirá con mayor detalle el primero de ellos, dado que el segundo ya ha sido explicado en una sección anterior.

Modelo COPERT

El modelo COPERT (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport) cuenta con una herramienta informática que se utiliza para calcular las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero a la atmósfera. Está basado en la metodología de la Agencia Europea de Medio Ambiente y es reconocido a nivel internacional, siendo utilizado por muchos países para elaborar sus inventarios de emisiones. El modelo utiliza velocidades medias de circulación según el tipo de conducción (urbana, rural e interurbana) como parámetros de entrada, y requiere información detallada sobre la flota de vehículos, el kilometraje realizado por tipo de vehículo, el porcentaje de kilómetros realizados según la pauta de conducción, la velocidad media, la temperatura ambiente y las especificaciones de combustibles.

Los datos que se utilizan en este trabajo y que fueron elaborados durante el trabajo de esta misma cátedra en el curso 2020-2021, se han generado seleccionando los valores correspondientes a la categoría de turismos de motorización media, que abarca vehículos con cilindradas entre 1,4 y 2 litros, y se han utilizado los datos más recientes disponibles, correspondientes a las normativas Euro 6 de 2020 en adelante.

3.3. Resultados

Una vez analizado este punto se muestran los valores correspondientes a cada una de las etapas tanto de vehículo como de la fuente energética y se presentan los valores que se han tomado como representativos para cada tecnología y combustible justificando el porqué de esta elección. Esto ha permitido generar la base de datos que este trabajo tiene como uno de los objetivos principales.

3.3.1. Resultados del ciclo de vida de la fuente energética: del pozo al tanque

Para comenzar, se presenta en la [Figura 1](#) un gráfico de barras que representa la horquilla de valores de huella de carbono en esta fase para cada combinación tecnología-combustible. Se presentan de esta manera las barras limitadas por los valores máximos y mínimos que las fuentes ofrecen, y, además, se refleja el valor escogido como representativo para cada opción.

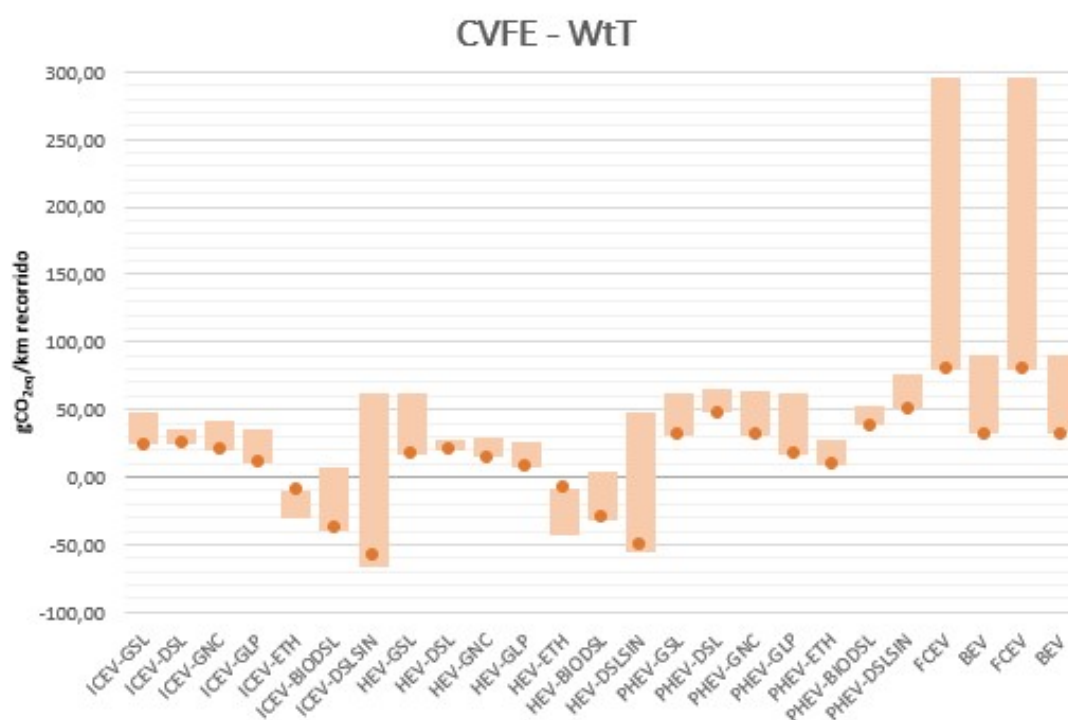


Figura 1: Representación de la horquilla de valores y el valor significativo elegido de emisiones de dióxido de carbono equivalente por kilómetro recorrido para el ciclo de vida de la fuente energética en la fase del pozo al tanque (*Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes mencionadas*)

El valor que se ha escogido en este caso es el que proporciona el ya mencionado informe JEC, relativamente actual (2020), en el ámbito europeo, y en el ciclo de pruebas de homologación WLTP (*“Procedimientos mundiales armonizados de ensayo de vehículos ligeros”* por sus siglas en inglés: *“Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures”*).

Este ciclo consiste en un procedimiento global estandarizado para medir el consumo de combustible, las emisiones de CO₂ y los contaminantes de los vehículos ligeros, como

automóviles y vehículos comerciales ligeros. Fue desarrollado por la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE) y adoptado por muchos países y regiones en todo el mundo.

El ciclo WLTP reemplaza gradualmente desde el año 2017 al ciclo NEDC (*“Nuevo ciclo europeo de conducción”* por sus siglas en inglés: *“New European Driving Cycle”*) anterior, que se consideraba obsoleto y no representaba con precisión las condiciones reales de conducción. El ciclo WLTP es más realista y se basa en datos recopilados de estudios reales de conducción en diferentes regiones geográficas.

El objetivo del ciclo WLTP es proporcionar a los consumidores y reguladores una medida más precisa del consumo de combustible y las emisiones de los vehículos. Esto ayuda a comparar de manera más justa la eficiencia y el impacto ambiental de los diferentes modelos de automóviles y promueve el desarrollo de tecnologías más limpias y eficientes.

En algunos casos, en este informe no se han proporcionado datos para ciertas combinaciones de tecnología y combustible, debido, por ejemplo, a que no se trata de una combinación tan común o cuyo análisis no es aun suficientemente maduro. Es el caso, por poner un ejemplo, de la combinación de un vehículo híbrido enchufable que utiliza biodiésel. Para abordar esta situación y teniendo en cuenta que la herramienta GREET permite calcular todas las combinaciones posibles, se han utilizado las proporcionalidades entre otras tecnologías y combustibles como referencia. Por seguir con el caso ejemplificado, se ha utilizado la relación entre un vehículo híbrido enchufable de biodiésel y un vehículo de combustión convencional de biodiésel. Esta relación de tecnologías obtenida del modelo estadounidense se ha trasladado al vehículo de combustión en el informe JEC permitiendo calcular el valor del híbrido enchufable de manera lógica y conservadora.

Resultados del ciclo de vida de la fuente energética: del tanque a la rueda

En la [Figura 2](#) se muestra un gráfico con características similares al caso anterior, donde se representa tanto el rango de valores acotados por los máximos y mínimos, como

el valor seleccionado como representativo para cada combinación. En este caso, al igual que en el caso anterior, se ha elegido el valor proporcionado por el informe JEC.

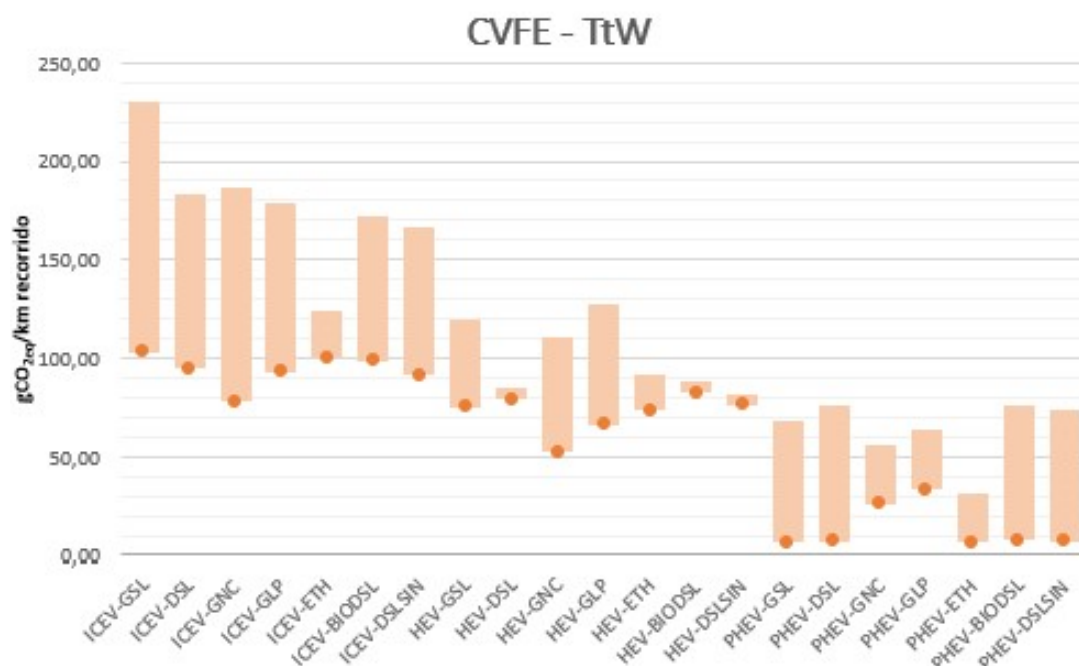


Figura 2: Representación de la horquilla de valores y el valor significativo elegido de emisiones de dióxido de carbono equivalente por kilómetro recorrido para el ciclo de vida de la fuente energética en la fase del tanque a la rueda (*Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes mencionadas*)

Al comparar los datos obtenidos con el modelo GREET, de origen estadounidense, se ha observado, a partir de varias fuentes que proporcionan datos de este ámbito geográfico, que estos valores son consistentemente mucho mayores que los proporcionados por fuentes de ámbito geográfico europeo, que es el ámbito deseado para la creación de esta base de datos.

Por otro lado, en relación a los valores obtenidos mediante el uso del modelo COPERT, que se basa en datos recopilados en pautas de conducción reales y en el ámbito europeo, lo cual resulta muy interesante, se ha optado por utilizar la misma fuente bibliográfica que en el caso anterior, el informe JEC. Esto se hecho con el objetivo de lograr datos lo más homogéneos posible para generar una base de datos confiable, evitando grandes diferencias en el origen de los cálculos.

Debido a esta elección, se ha realizado el mismo trabajo de estimación mediante proporcionalidad de tecnologías con ayuda del modelo GREET para conseguir contar con una base de datos completa para todas las combinaciones.

3.3.2. Resultados del ciclo de vida del vehículo

Como última fase, previa a realizar una armonización de todos los resultados para poder contar con un valor para el ciclo de vida completo, se ha realizado el mismo ejercicio que en las fases anteriores para el ciclo de vida del vehículo y se muestra en la [Figura 3](#).

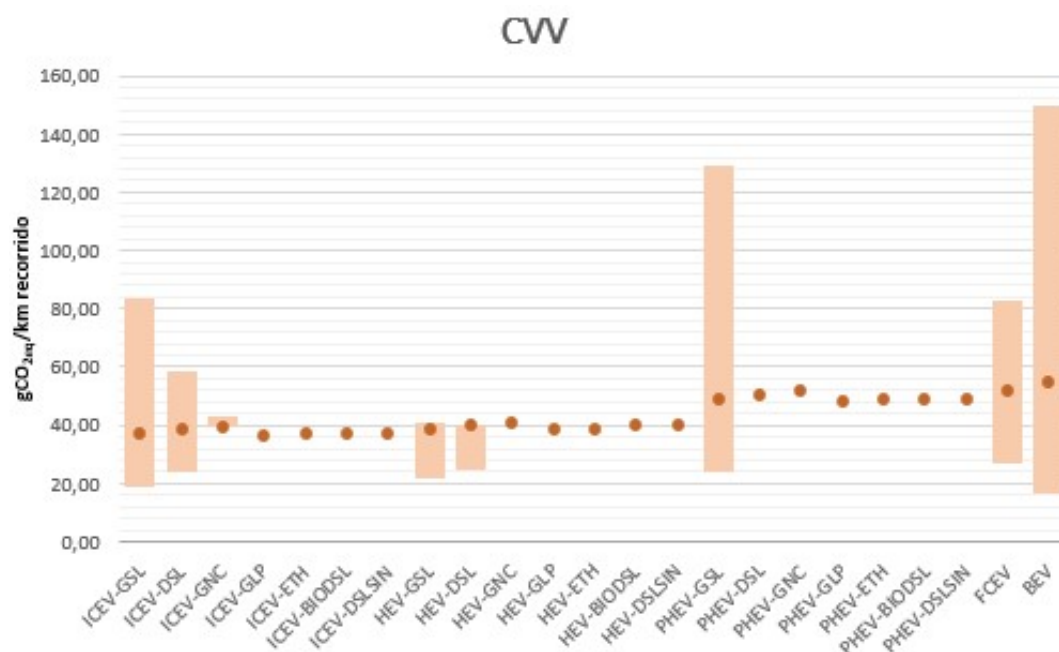


Figura 3: Representación de la horquilla de valores y el valor significativo elegido de emisiones de dióxido de carbono equivalente por kilómetro recorrido para el ciclo de Vida del Vehículo (*Fuente: Elaboración propia a partir de fuentes mencionadas*)

Como ya se ha mencionado previamente, en este caso el número de fuentes de información que se ha analizado ha sido mucho mayor, 14 fuentes concretamente, y para comprender en mayor medida la elección que se ha llevado a cabo se va a ir mencionando uno a uno cada factor analizado.

Situación geográfica

Para cada fuente bibliográfica con la que se cuenta, el ámbito geográfico varía. Concretamente, se muestra a continuación la [Tabla 1](#) en la que se especifica la situación de los datos recogidos por cada una de ellas.

Para la creación de la base de datos que tiene este trabajo como objetivo, se ha priorizado que los datos provengan de un ámbito europeo. Aunque la idea es que esta base sirva como inicio del desarrollo de una aplicación por parte de la Fundación Repsol en España, se ha preferido optar por un valor más internacionalizado sin centrarse únicamente en el desarrollo dentro del propio país. La elección de una situación geográfica concreta se debe a que, en el caso de los vehículos cuya propulsión se alimenta total o parcialmente de la red eléctrica del país, el mix energético de este puede tener un impacto muy relevante sobre la huella de carbono del ciclo de vida completo.

Fuente	Ámbito geográfico
CO2WEB	España
MIT	Estados Unidos
FVV	Alemania/Europa
GREET	Estados Unidos
Z. Wu et al.	China
H. Ma et al.	California/Reino Unido
Lewis et al.	Estados Unidos
Q. Qiao et al.	Pekín
Fraunhofer	Europa
Simapro	Europa
Ricardo	Europa
VOLVO	Global
CarGHG	California
Transport & Environment	Europa

Tabla 1: Ámbito geográfico de las fuentes utilizadas en el análisis del CVV

Ámbito temporal

Al igual que en el caso de la situación geográfica, las fechas de los estudios analizados difiere bastante y se muestra de nuevo en una [Tabla 2](#).

En este caso, se ha priorizado la elección de valores lo más actualizados posible. Esto se ha tenido muy en cuenta debido a que las tecnologías de propulsión y los tipos de combustible han evolucionado a gran velocidad en los últimos años teniendo una gran repercusión sobre la huella de carbono asociada. Además, para tener de nuevo una visión conservadora y que asegure en mayor medida que estos valores se pueden considerar representativos, se va a optar por elegir los estudios cuyos resultados se han obtenido recientemente y no aquellos, que siendo de fechas anteriores, varios años en muchos de los casos, realizaban una predicción para años posteriores.

Fuente	Ámbito temporal
CO2WEB	2018
MIT	2000 (predicción a 2020)
FVV	2020
GREET	2022
Z. Wu et al.	2018 (predicción a 2020)
H. Ma et al.	2012 (predicción a 2015)
Lewis et al.	2014
Q. Qiao et al.	2019
Fraunhofer	2019
Simapro	2022
Ricardo	2020
VOLVO	2020
CarGHG	2021
Transport & Environment	2020

Tabla 2: Ámbito temporal de las fuentes utilizadas en el análisis del CVV

Tipología de vehículo

Como durante este informe se ha ido explicando, la amplia gama de combinaciones entre tecnología y combustibles se ha ido ampliando en los últimos años proporcionando opciones que hace no demasiados años ni se conocían. Por ello, es muy importante elegir una fuente bibliográfica que cuente con una variedad extensa y en la que, a falta de ciertos valores, se pueda hacer una estimación de carácter fiable. En la [Figura 4](#) resumen que se presenta a continuación, se muestran todas estas fuentes bibliográficas y las combinaciones de datos con las que cuenta cada una de ellas.

TECNOLOGÍA	COMBUSTIBLE	CO2WEB	MIT	FVV	GREET	Z.Wu et al.	H.Ma et al.	Lewis et al.	Q.Qiao et al.	Fraunhofer	Simapro	RE&E	VOLVO	CarGHG	T&E
ICEV	G5L	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	D5L	X	X	X			X					X			X
	GNC	X										X			
	GLP											X			
	ETH											X			
	BIOD5L											X			
HEV	DSL5IN											X			
	G5L		X		X		X	X				X		X	X
	D5L		X									X			
	GNC		X									X			
	GLP											X			
	ETH											X			
PHEV	BIOD5L											X			
	DSL5IN											X			
	G5L		X		X			X				X	X	X	X
	D5L											X			
	GNC											X			
	GLP											X			
FCEV	ETH		X												
	BIOD5L											X			
	DSL5IN											X			
												X			
				X	X										
				X	X										
BEV		X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X	X

Figura 4: Tipología de vehículos de las fuentes utilizadas en el análisis del CVV

Elección del valor representativo

Tras un exhaustivo análisis de los distintos factores que pueden influir en la selección de un valor representativo, se ha decidido utilizar los datos proporcionados por *Ricardo Energy & Environment* [15]. Esta elección se fundamenta en varias razones. En primer lugar, esta fuente tiene una ubicación geográfica en Europa, que es el ámbito principal que se busca abarcar con el desarrollo de esta base de datos. Además, es una de las fuentes más actualizadas disponibles, ya que el informe se realizó en 2020, lo cual es especialmente relevante dado que existen importantes deficiencias de datos en relación a los valores del ciclo de vida del vehículo.

Es importante destacar que el informe de *Ricardo Energy & Environment* abarca una amplia gama de combinaciones de tecnología y vehículo, como se puede observar en la [Figura 4](#). Esta diversidad de opciones permite cubrir una gran variedad de escenarios y brinda una base sólida para realizar comparaciones y análisis exhaustivos.

En el caso de que alguna tecnología específica no estuviera incluida en el informe de referencia, se ha seguido el enfoque utilizado en secciones anteriores, que consiste en establecer una relación o ratio con vehículos de características similares. De esta manera, se han completado los valores correspondientes para cada combinación, garantizando la precisión y confiabilidad de los resultados.

En resumen, la elección de los valores proporcionados por *Ricardo Energy & Environment* se basa en su ubicación geográfica, su actualidad y su amplia cobertura de combinaciones tecnológicas, lo que permite obtener resultados precisos y relevantes para el análisis de la huella de carbono y el impacto ambiental de diferentes vehículos y tecnologías.

3.3.3. Resultados para el ciclo de vida completo

Una vez abordadas las tres fases correspondientes a este ciclo de vida para la movilidad de los turismos, se han puesto en conjuntos los valores representativos escogidos para cada una de las fases consiguiendo armonizar todos estos para generar una tabla de valores completa. En esta [Tabla 3](#), aparece la huella de carbono en gramos de CO₂ por kilómetro recorrido para cada tipo de vehículo junto a su combustible utilizado.

TECNOLOGÍA	COMBUSTIBLE	CVV	CVFE - WtT	CVFE - TtW	TOTAL
ICEV	GSL	36,90	24,00	102,89	163,79
	DSL	38,45	25,00	94,88	158,33
	GNC	39,17	20,00	77,71	136,88
	GLP	36,48	11,00	92,93	140,41
	ETH	36,90	-10,00	100,13	127,03
	BIODSL	36,90	-37,00	98,70	98,60
	DSLSIN	36,90	-58,00	91,31	70,21
HEV	GSL	38,61	17,00	75,12	130,73
	DSL	40,47	20,00	79,14	139,61
	GNC	40,99	14,38	52,34	107,71
	GLP	38,61	7,73	66,04	112,38
	ETH	38,61	-8,00	73,33	103,94
	BIODSL	40,47	-30,00	82,32	92,79
	DSLSIN	40,47	-50,00	76,27	66,74
PHEV	GSL	48,94	30,90	6,63	86,47
	DSL	50,12	47,33	7,06	104,51
	GNC	51,95	31,00	26,22	109,17
	GLP	48,38	16,52	33,12	98,03
	ETH	48,94	9,06	6,47	64,46
	BIODSL	48,94	38,32	7,34	94,59
	DSLSIN	48,94	50,30	6,80	106,03
FCEV		51,88	80,00	0,00	131,88
BEV		55,07	32,00	0,00	87,07

Tabla 3: Huella de carbono asociada a las diferentes combinaciones de vehículos tecnología-combustible en gCO₂/km. (Fuente: elaboración propia)

Con la finalidad de tener una idea más gráfica de los resultados obtenidos para todas estas combinaciones se presentan a continuación las siguientes [Figura 5](#) y [Figura 6](#) que muestran estos resultados en forma de gráfico de barras. En el caso del primero, se muestran los valores absolutos que aparecen en la tabla, sin embargo, en el segundo, se ha realizado un gráfico relativo al valor del vehículo de combustión utilizando gasolina, al que se ha otorgado un valor de 100 %.

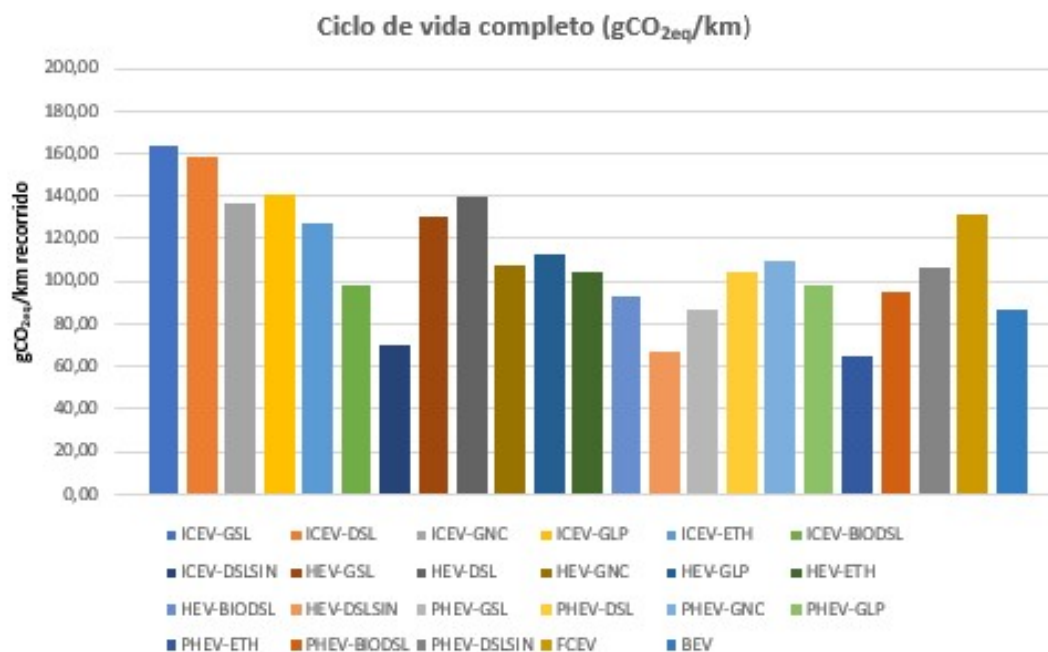


Figura 5: Gráfico en valor absoluto representativo de la huella de carbono asociada a las diferentes combinaciones de vehículos tecnología-combustible en gCO₂/km recorrido. (Fuente: elaboración propia)

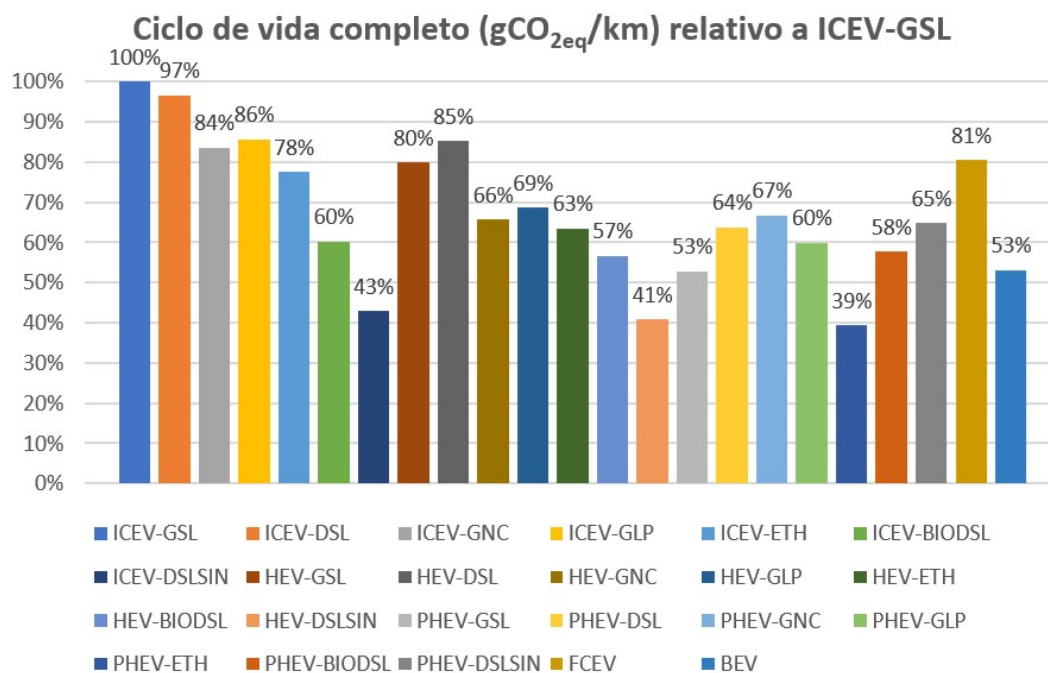


Figura 6: Gráfico relativo al vehículo de combustión a gasolina representativo de la huella de carbono asociada a las diferentes combinaciones de vehículos tecnología-combustible en gCO₂/km recorrido. (*Fuente: elaboración propia*)

El conjunto de datos presentado en este estudio ofrece información valiosa sobre la huella de carbono generada por distintas combinaciones de tecnología y combustible en vehículos nuevos. Esta información resulta especialmente relevante en el contexto actual, en el que la conciencia sobre la necesidad de reducir las emisiones contaminantes y mitigar el cambio climático está en aumento.

Con el objetivo de aprovechar esta información y fomentar la toma de decisiones más conscientes y responsables en cuanto a la compra de vehículos nuevos, se propone el desarrollo de una aplicación móvil que permita comparar la huella de carbono de diferentes modelos de coches. Los usuarios podrán utilizar esta herramienta para elegir la combinación de tecnología y combustible que mejor se adapte a sus necesidades y preferencias, teniendo en cuenta su impacto ambiental.

Además, para conocer el grado de concienciación y conocimiento que tienen los usuarios en cuanto a la reducción de emisiones, se ha realizado una encuesta que se encuentra

detallada en el apartado siguiente. Esta encuesta permite obtener información sobre la percepción de los usuarios acerca del impacto ambiental de los vehículos y su disposición a elegir opciones más sostenibles.

4. Encuesta de percepción sobre tecnologías de movilidad y su impacto

4.1. Estado del arte

La importancia que la gente otorga al impacto ambiental o la huella de carbono al comprar un vehículo puede variar considerablemente según diferentes factores, como las creencias personales, la conciencia ambiental, las políticas gubernamentales y las tendencias sociales. En los últimos años, ha habido un creciente interés y conciencia en torno a la sostenibilidad ambiental, lo que ha llevado a un aumento en la preocupación por el impacto de los vehículos en el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para algunos consumidores, la reducción de la huella de carbono y la elección de vehículos con menor impacto ambiental son consideraciones clave en su proceso de compra. Estos consumidores están motivados por la necesidad de contribuir a la protección del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que no todos los consumidores priorizan el impacto ambiental al comprar un vehículo. Otros factores, como el precio, el rendimiento, la seguridad, el estilo y la conveniencia, también desempeñan un papel importante en la toma de decisiones de compra. Para algunos compradores, el costo inicial y el alcance de la infraestructura de carga para vehículos eléctricos pueden ser barreras que dificulten la adopción de opciones más sostenibles.

Varios factores pueden influir en la conciencia de las personas sobre la huella de

carbono de los vehículos al tomar decisiones de compra. A continuación, se mencionan algunos de los factores que pueden desempeñar un papel importante.

- Educación y conocimiento: Las personas con un mayor nivel educativo, especialmente en áreas relacionadas con el medio ambiente, la sostenibilidad o la ciencia, tienden a tener una mayor conciencia de los problemas ambientales, incluida la huella de carbono. La educación puede proporcionar información y comprensión sobre los impactos ambientales del transporte y fomentar la toma de decisiones más sostenibles.
- Conciencia ambiental: Las personas que tienen una mayor conciencia ambiental generalmente están más informadas sobre los problemas relacionados con el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas personas pueden estar más motivadas para elegir vehículos con menor huella de carbono y reducir su impacto ambiental en general.
- Acceso a información y tecnología: El acceso a información actualizada sobre las opciones de vehículos con bajas emisiones y a tecnologías más limpias puede influir en la conciencia de la huella de carbono al comprar un vehículo. La disponibilidad de datos sobre las emisiones y las opciones de vehículos más sostenibles puede permitir a las personas tomar decisiones informadas.

Es importante tener en cuenta que estos factores pueden variar de una persona a otra, y que la toma de decisiones de compra está influenciada por una combinación única de circunstancias individuales y preferencias personales.

El nivel de conocimiento de los usuarios sobre las emisiones de los vehículos, la huella de carbono y la relación entre las emisiones de CO₂ y la salud puede variar ampliamente. Algunos usuarios pueden tener un conocimiento sólido y comprensión de estos conceptos, mientras que otros pueden tener un conocimiento limitado o no estar conscientes de ellos.

En general, es probable que las personas que están más interesadas en temas ambientales y sostenibilidad, y aquellos que buscan activamente información sobre vehículos de

bajas emisiones o opciones más sostenibles, es probable que tengan un mayor conocimiento sobre las emisiones de los vehículos y la huella de carbono. [17]

En cuanto a las emisiones de CO₂ y su impacto en la salud, es importante destacar que las emisiones de CO₂ no son directamente perjudiciales para la salud humana en niveles típicos encontrados en el medio ambiente, ni tóxicas como muchos usuarios tienen en mente.

Además, es importante que los usuarios sean conscientes de que las emisiones declaradas por los fabricantes son estimaciones y pueden variar en función de varios factores, como las condiciones de conducción, el mantenimiento del vehículo y el estilo de conducción individual, y que comprenden únicamente la fase de uso del vehículo.

Con el fin de contrastar los datos acerca del el peso que la huella de carbono tiene a la hora de tomar una decisión sobre la compra de un vehículo, la Cátedra de Transición Energética Fundación Repsol en la Universidad Politécnica de Madrid, junto con la Fundación Corell, ha realizado un estudio sobre la percepción y valoración de las nuevas tecnologías de movilidad en el transporte por carretera. Los resultados, se muestran en la nota divulgativa titulada: “¿Nos importa la huella de carbono a la hora de comprar un coche?” [16] y publicada en la plataforma *The Conversation*.

4.2. Metodología

Este estudio, tenía como finalidad satisfacer tres objetivos principales que se listan a continuación.

- Saber hasta qué nivel, los ciudadanos, tienen conocimiento sobre los problemas que derivan de las emisiones del transporte rodado a la atmósfera.
- Identificar el nivel de conocimiento de los ciudadanos en relación a las diferentes tecnologías que existen en el sector para combatir este problema.
- Saber el grado de influencia de estas percepciones de las tecnologías en la decisión

de compra de los vehículos y en la realidad del sector.

Para ello, se ha llevado a cabo un estudio demoscópico a través del cual se han entrevistado a 1.503 personas con edades comprendidas entre los 18-65 años.

4.3. Resultados

Se ha comprobado en los resultados de esta encuesta que un 83% de los españoles afirman estar concienciados con las emisiones de CO₂ generadas por el transporte por carretera. Además, se muestran porcentajes superiores en el caso de los individuos en posesión de un coche propio (84,4%), y aquellos que cuentan con estudios superiores (87,3%).

Sin embargo, al profundizar en materia de emisiones de CO₂, se ha comprobado que existe un gran desconocimiento acerca de este tema.

Para empezar, existe la creencia errónea de que las emisiones de CO₂ son perjudiciales para la salud en el 87% de los encuestados. Esto ocurre al confundir estas emisiones con la emisión de otros contaminantes que sí afectan directamente a la calidad del aire y a la salud de las personas y los ecosistemas, como pueden ser los óxidos de nitrógeno, el material particulado o los óxidos de azufre. El CO₂, es un gas de efecto invernadero (GEI), y junto a otros de su naturaleza, es el responsable del cambio climático cuando su concentración aumenta en la atmósfera.

Además, en cuanto a la información que deben dar los fabricantes de vehículos por normativa, solo el 50% de la población sabe que las únicas emisiones de las que estos tienen que informar son aquellas que proceden directamente del tubo de escape, y no de todo el resto de las emisiones que proceden de la generación de la fuente energética o de la producción y mantenimiento de los vehículos. Sin embargo, como se trata de demostrar en los últimos años, estas emisiones no son para nada irrelevantes.

Por último, al preguntar sobre el concepto de emisiones netas o emisiones en el ciclo de vida a los encuestados, sólo el 30% afirmaba conocer y entender este término con claridad, comprobando además que el conocimiento disminuye conforme avanza la edad.

El término “emisiones netas o en el ciclo de vida” comprende la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) tanto del combustible o fuente energética, como del vehículo en sí mismo. Son numerosos los estudios que tratan de aumentar las bases de datos relativas a la emisión de gases de efecto invernadero, ahora bien, el enfoque de la mayoría de estos comprende en exclusiva el previamente citado ciclo de vida de la fuente energética, conocido por su término “Well-To-Wheels” (del pozo a la rueda).

Se han realizado numerosos estudios con el objetivo de ampliar las bases de datos relacionadas con las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en cada una de las fases. Sin embargo, la mayoría de estos estudios se centran exclusivamente en el ciclo de vida de la fuente energética (desde su producción hasta su uso, conocido como “del pozo a la rueda”) o simplemente en la fase de uso, lo que no aborda el problema en su totalidad.

Tomemos como ejemplo el coche eléctrico de batería, en el cual las emisiones durante la fase de uso del combustible son nulas. Esto ha llevado a la falsa creencia de que los coches eléctricos no generan emisiones netas de CO₂, y un 50% de los encuestados comparte esta idea errónea. Sin embargo, se pasa por alto que la electricidad debe ser generada y que el vehículo, junto con todos sus componentes, debe ser fabricado, mantenido y gestionado al final de su vida útil. Estos aspectos adicionales también contribuyen a las emisiones totales de CO₂ del coche eléctrico y deben ser considerados en su evaluación completa.

Para poder llevar a cabo una comparativa entre las distintas tecnologías que pueden contribuir a la descarbonización del sector, es necesario analizar todo ese ciclo de vida, tanto de la fuente energética (generación y uso), como del propio vehículo: extracción de materias primas, procesado de los materiales necesarios para la fabricación del vehículo, ensamblaje, distribución, mantenimiento y gestión al final de su vida útil.

Respecto a esas distintas opciones que pueden contribuir a la descarbonización del sector, cabe destacar que sólo un 60 % de los encuestados conoce los vehículos eléctricos. Este porcentaje desciende aún más al preguntar por otras alternativas, como los combustibles sintéticos, renovables o el hidrógeno, donde sólo 3 de cada 10 afirma conocer estas otras alternativas para reducir las emisiones de CO₂.

Además, los hallazgos obtenidos en la encuesta indican que la ciudadanía no está recibiendo información precisa o completa, lo que resulta en un gran desconocimiento que puede influir en sus decisiones de compra.

Cuando se les preguntó a los encuestados si estarían dispuestos a gastar más dinero en un vehículo que tenga un menor impacto ambiental, la respuesta mayoritaria fue afirmativa, y el vehículo eléctrico fue la opción más elegida como se puede comprobar en la [Figura 7](#). Esto sugiere que existe una conciencia creciente sobre la importancia de reducir el impacto ambiental en la elección de un vehículo y una disposición a invertir más en soluciones más sostenibles.

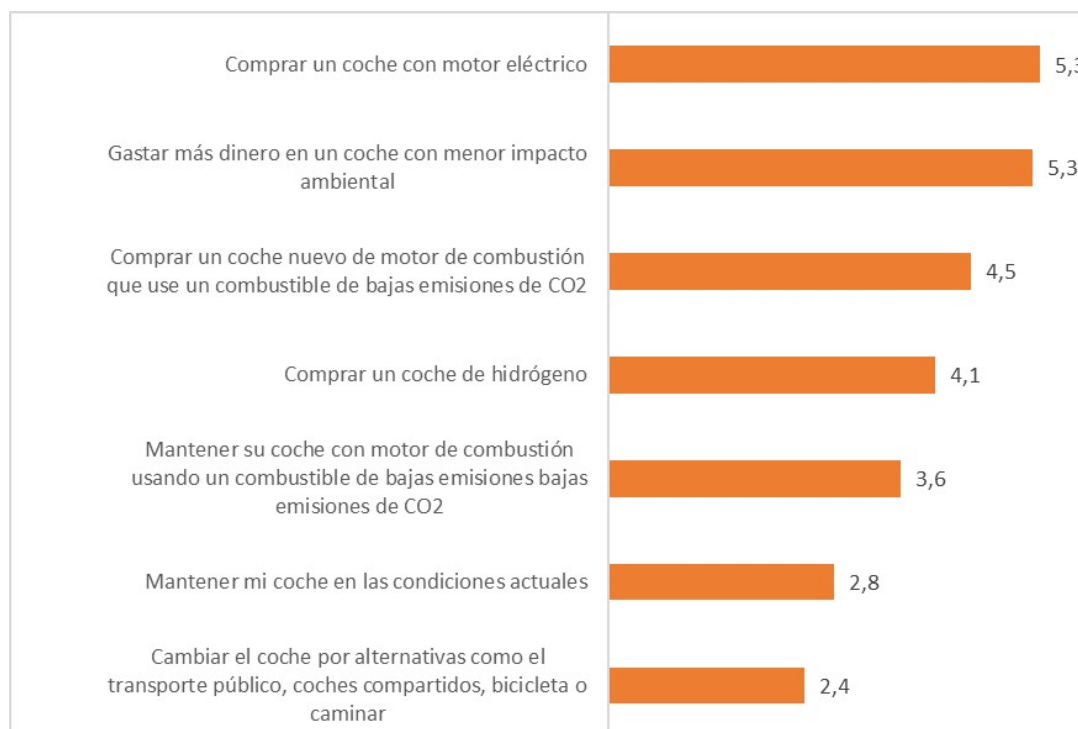


Figura 7: Puntuaciones medias obtenidas al preguntar a los encuestados sobre cada una de las siete opciones propuestas mostradas en la parte de la izquierda (7 más importante, 1 menos importante).

Sin embargo, es fundamental brindar a los consumidores información completa y precisa sobre todas las fases del ciclo de vida de los vehículos, incluyendo la generación de electricidad, la fabricación de los vehículos y su gestión al final de su vida útil. Solo así podrán tomar decisiones informadas y tener en cuenta todas las implicaciones ambientales de sus elecciones de compra.

Sin embargo, cuando los ciudadanos tienen que elegir entre una serie de características durante el proceso de compra de un vehículo, otros factores toman mayor importancia, como el consumo de combustible, el tamaño del vehículo, la marca, el diseño, los extras y el precio, entre otros. Las emisiones de CO₂ y otros contaminantes se ubican en el noveno lugar de las 12 características presentadas.

Otro resultado relevante que vale la pena destacar es que el 50% de la población encuestada afirma que la falta de claridad en relación a las distintas tecnologías y la evolución de la regulación de las emisiones ha retrasado su decisión de compra de un

vehículo nuevo.

Como conclusión principal del estudio en el ámbito medioambiental, se destaca que los ciudadanos tienen un conocimiento limitado tanto sobre el problema de las emisiones de CO₂ como sobre las diferentes soluciones tecnológicas disponibles para abordarlo. Además, se evidencia que el factor ambiental aún no tiene prioridad sobre otros condicionantes en el proceso de compra de un vehículo nuevo.

Ante esta situación, es crucial llevar a cabo una labor de información y divulgación para aclarar conceptos y garantizar que la ciudadanía reciba información completa y precisa. Este esfuerzo debe realizarse en diversos ámbitos, incluyendo el académico, los medios de comunicación y desde las instituciones públicas.

5. Escenarios futuros de generación eléctrica

Con el creciente aumento de vehículos electrificados total o parcialmente y habiendo comprobado en la encuesta del punto anterior que los usuarios consideran el vehículo eléctrico como la opción más viable para reducir las emisiones, se ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de la huella de carbono asociada a estos vehículos.

La huella de carbono de los vehículos eléctricos está estrechamente ligada al tipo de generación eléctrica utilizado en cada región geográfica. Los países que dependen en gran medida de fuentes de energía renovable para su generación eléctrica, como Noruega, Islandia y Suecia, presentan huellas de carbono muy bajas para los vehículos eléctricos. Esto se debe a que la electricidad utilizada para cargar los vehículos proviene en su mayoría de fuentes renovables, como la energía hidroeléctrica y eólica.

Por otro lado, en países donde la generación eléctrica se basa principalmente en combustibles fósiles, como China, Estados Unidos y Alemania, la huella de carbono de los vehículos eléctricos puede ser más alta debido a las emisiones asociadas a la producción de electricidad a partir de fuentes no renovables. Sin embargo, es importante tener en

cuenta que, incluso en estos casos, los vehículos eléctricos aún pueden tener una huella de carbono menor en comparación con los vehículos de combustión interna.

Para reducir aún más la huella de carbono de los vehículos eléctricos, es esencial aumentar la proporción de energía renovable en la matriz eléctrica. Varios países están implementando políticas y estrategias para fomentar la adopción de vehículos eléctricos y la transición hacia una generación eléctrica más limpia. Algunos países, por ejemplo, ofrecen incentivos fiscales y beneficios adicionales para los propietarios de vehículos eléctricos, lo que ha llevado a una alta penetración de estos vehículos en el mercado.

En términos generales, la transición hacia una movilidad eléctrica contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y a la mitigación del cambio climático. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta el contexto específico de cada país y las características de su matriz energética para comprender completamente el impacto ambiental de los vehículos eléctricos.

Para comprender la importancia del mix energético, se ha realizado una comparativa de ciertos escenarios centrados en el ámbito geográfico de España. España cuenta con un paisaje energético diverso, con una combinación de fuentes de energía renovables y no renovables. En este análisis, se han considerado diferentes escenarios en función de las fuentes primarias de generación eléctrica con un enfoque al futuro año 2030 y se ha comprobado como variaría la huella de carbono de los vehículos eléctricos respecto a la huella de carbono actual (2020) que se ha elegido como representativa en apartados anteriores.

5.1. Metodología

Para llegar a realizar la comparativa de los valores de huella de carbono para el ciclo de vida completo de los vehículos eléctricos, el primer paso a dar es conocer el valor de las emisiones de CO₂ equivalentes por kWh de electricidad generada en el país para los diferentes escenarios que se quieren estudiar.

Para ello, se a utilizado la información extraída del PNIEC (*Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*) 2021-2030 [18]. El PNIEC es una iniciativa desarrollada por el gobierno de España que establece las directrices y metas a seguir en el ámbito energético y climático. Este plan tiene como objetivo principal la transición hacia un modelo energético más sostenible, eficiente y basado en fuentes de energía renovables.

El PNIEC aborda diversos aspectos como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el aumento de la eficiencia energética, la promoción de las energías renovables, la descarbonización de sectores clave como el transporte y la industria, entre otros.

El plan establece una serie de objetivos a cumplir en el horizonte temporal hasta 2030, en línea con los compromisos adquiridos por España en el marco de la Unión Europea y el Acuerdo de París sobre el cambio climático.

Se han abordado concretamente tres escenarios de generación muy diferentes que se explican a continuación.

El primer escenario que se ha estudiado es uno que puede ser utópico, pero consigue generar una fiable idea de la potencia de descarbonización que puede tener el vehículo eléctrico en un ámbito de generación en el que toda la energía eléctrica proviniese de fuentes renovables. Como es sencillo comprobar, debido a que el factor de emisión por kWh generado de las fuentes de energía renovable es nulo, en este supuesto se llega a un valor de 0 gCO_{2eq}/kWh generado.

El segundo escenario que se ha estudiado, ha sido uno totalmente opuesto al anterior. En este caso se ha tenido en cuenta una situación en la que toda la energía eléctrica generada proviniera de la fuente primaria de energía marginal. Para es caso que se ha abordado esta fuente es el gas natural. De nuevo, se han utilizado los valores aportados por el PNIEC y se cuenta con un valor de 390,86 gCO_{2eq}/kWh generado como factor de

emisión para el gas natural.

Por último, el tercer escenario que se ha analizado es el denominado “Escenario Objetivo 2030”. Para este, hay que tener el peso porcentual que está estimando que tenga cada fuente primaria en la generación de energía eléctrica. Estos valores se muestran a continuación en la [Tabla 4](#), y para tener una imagen más gráfica se muestra también en forma de gráfico de sectores en la [Figura 8](#).

Fuente	Factor de emisión (gCO_{2eq}/kWh generado)	Porcentaje
Nuclear	0,00	7,18 %
Carbón	976,03	0,00 %
Ciclo combinado	390,86	9,00 %
Hidráulica	0,00	10,55 %
Eólica	0,00	35,66 %
Solar FV	0,00	21,24 %
Termosolar	0,00	6,45 %
Resto renovables	0,00	3,94 %
Cogeneración y otros	371,33	5,99 %

Tabla 4: Peso porcentual estimado para cada fuente primaria de generación eléctrica en 2030 según el escenario objetivo del PNIEC. *Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.*

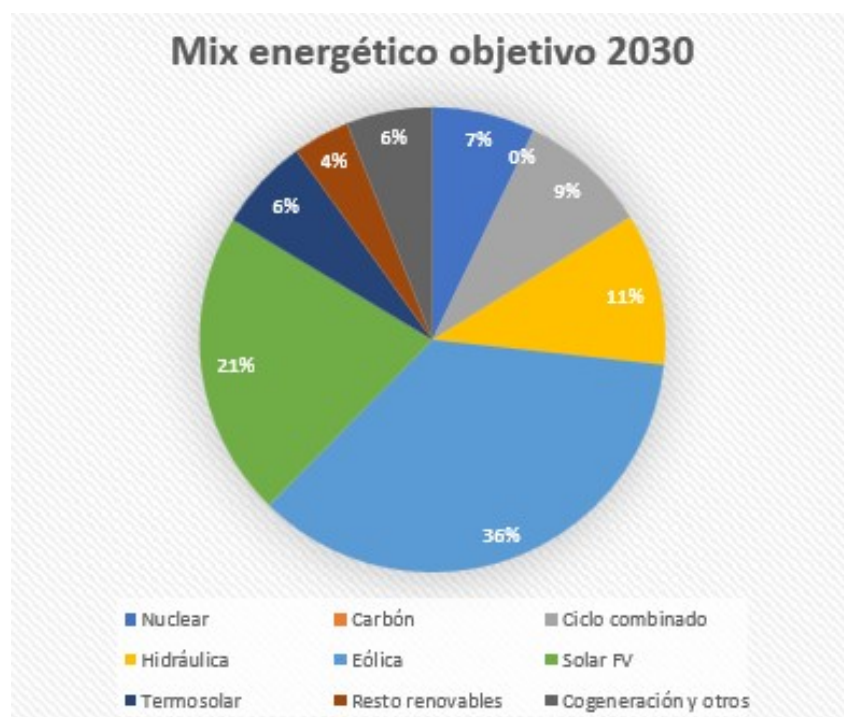


Figura 8: PGráfico de sectores que muestra el peso porcentual estimado para cada fuente primaria de generación eléctrica en 2030 según el escenario objetivo del PNIEC. *Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.*

Aplicando estos porcentajes de las fuentes primarias y sus respectivos factores de emisión, para este tercer escenario se ha obtenido un valor de: 57,43 gCO_{2eq}

Una vez se han obtenido los diferentes valores para la generación, es siguiente paso, ha sido obtener ese mismo valor pero para los kWh consumidos, ya que dentro de este ámbito es en el que se ubica la recarga de los vehículos eléctricos. Para ello, se han extraído los datos totales de generación y consumo en España tanto para la situación actual, utilizando los datos del *Balance Energético Provisional de 2020* [19] presentado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, como para la previsión a 2030, de nuevo basado en los datos proporcionados por el PNIEC. Los resultados en este caso son de una ratio de 0,8819 y 0,8559 de consumo sobre generación para 2020 y 2030, respectivamente.

Una vez se han obtenido estas ratios, se pueden establecer fácilmente los valores de gCO_{2eq}/kWh consumido. Sin embargo, para que los valores que se utilizaran fueran

congruentes con lo ya obtenidos para la base de datos completa, es necesario traducir estos valores a $\text{gCO}_{2eq}/\text{km}$ recorrido por el vehículo. Para ello, se ha vuelto a explorar la información proporcionada por RE&E, que ha sido la utilizada en el caso de ciclo de vida del vehículo, y se ha conseguido el factor de consumo energético medio del vehículo eléctrico que resulta ser $17,4\text{kWh}/100\text{km}$ recorrido. Con este valor, se está en posición de poder obtener las emisiones por kilómetro recorrido que corresponde a la fase del pozo al tanque para el vehículo eléctrico.

5.2. Resultados

Una vez explicada la metodología y cálculo a seguir para la obtención de estos valores, como resultados de esta última parte, se muestra la [Tabla 5](#) siguiente.

Escenario	$\text{gCO}_{2eq}/\text{kWh gen.}$	Ratio c/g	$\text{gCO}_{2eq}/\text{kWh con.}$	kWh/km	$\text{gCO}_{2eq}/\text{km}$	Variación
2020 españa	140	0,8819	123,47	17,4	21,48	-
Objetivo	57,43	0,8559	49,15	17,4	8,55	-60,19 %
Fuente marginal	390,86	0,8559	334,53	17,4	58,21	170,94 %
100 % renovable	0,00	0,8559	0,00	17,4	0,00	-100,00 %

Tabla 5: Valores relativos al vehículo eléctrico sobre emisiones de $\text{CO}_{2eq}/\text{km}$ recorrido en la fase del pozo al tanque. *Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.*

Como se puede observar, aparecen dos situaciones diferentes para estos tres futuros escenarios. Como era de esperar y teniendo en cuenta que estos valores corresponde únicamente a esa fase del pozo al tanque, el escenario de generación basado únicamente en fuentes primarias renovables ofrecen una reducción de las emisiones de un 100 % respecto al valor actual.

Por otro lado, echando la vista hacia el escenarios objetivo 2030 proporcionado por el PNIEC, cabe destacar, que debido a la futura penetración que se espera de las fuentes renovables en el ámbito de generación en el país, en esta fase del ciclo de vida se ha obtenido también una reducción alta, concretamente del 60,19 %.

En el último caso, y en un extremo totalmente opuesto, se encuentra el escenario propuesto en el que la totalidad del suministro fuera proporcionado por la fuente marginal, el

gas natural. Si se comprueba el valor obtenido en este caso, se estaría hablando de un aumento del 170,94 % respecto al valor actual para esta tecnología, lo cual sería un escenario completamente desfavorable para la integración del vehículo eléctrico en el parque actual.

Sin embargo, como ya se ha comentado, estos valores se corresponden únicamente a la fase del pozo al tanque, y para poder comprobar de una manera contrastada cuál sería el impacto de contar con cada uno de estos escenarios de generación, se muestran a continuación en una [Tabla 6](#) muy similar a la anterior los valores para el ciclo de vida completo de los vehículos eléctricos:

BEV (gCO _{2eq} /km)						
	Escenario	CVV	CVFE - WtT	CVFE - TtW	TOTAL	Variación
2020	Actual	55,07	21,48	0	76,55	-
2030	Objetivo	55,07	8,55	0	63,62	-16,89 %
	Fuente marginal	55,07	58,21	0	113,28	47,97 %
	100 % renovable	55,07	0,00	0	55,07	-28,06 %

Tabla 6: Valores relativos al vehículo eléctrico sobre emisiones de CO_{2eq}/km recorrido en el ciclo de vida completo del vehículo. *Fuente: elaboración propia a partir de las fuentes mencionadas.*

Como se puede observar en la tabla, las variaciones porcentuales siguen una tendencia similar a la del caso anterior. Sin embargo, en este caso las variaciones no son tan pronunciadas, debido a que el peso de la huella de carbono relativa al vehículo en sí tiene un impacto significativo en la huella total. Esto significa que los cambios en las emisiones de la fuente energética no tienen un peso tan determinante cuando se consideran todas las etapas del ciclo de vida del vehículo eléctrico.

Es importante destacar la relevancia de la huella de carbono asociada a las baterías en los vehículos eléctricos. La fabricación y el uso de las baterías pueden tener un impacto significativo en las emisiones totales del vehículo. Por tanto, es crucial seguir avanzando en la investigación y desarrollo de baterías más eficientes y sostenibles, así como promover el reciclaje adecuado de las baterías al final de su vida útil.

Este estudio demuestra la importancia de la matriz energética del lugar donde opera el vehículo eléctrico. Aunque se cree generalmente que los vehículos eléctricos siempre reducen las emisiones en comparación con los vehículos de combustión convencionales, en el caso de una matriz energética basada principalmente en fuentes no renovables, la huella de carbono de los vehículos eléctricos podría incluso ser mayor. Es importante tener en cuenta este factor al analizar las implicaciones ambientales de la adopción de vehículos eléctricos.

Es cierto que un escenario con una matriz energética predominantemente no renovable sería poco común, ya que tanto la población como los gobiernos a nivel mundial son cada vez más conscientes de la necesidad de aumentar la proporción de fuentes primarias renovables para combatir los graves impactos de la contaminación generados durante muchos años. Existe un impulso global hacia la transición hacia sistemas energéticos más sostenibles y limpios, lo que contribuye a mejorar la huella de carbono de los vehículos eléctricos y reducir el impacto ambiental de la movilidad.

6. Participación en eventos y difusión de resultados

En el desarrollo de la cátedra de este curso, tanto en el caso de la alumna como el tutor, se ha participado en eventos de difusión de la Fundación Repsol transmitidos a través de *Open Room*.

En el caso de la alumna, el 26 de abril de 2022 tuvo lugar un evento titulado “*Industria y academia: tecnología para la transición energética*” [20] en el que se enfatizó la importancia de la colaboración entre la industria y la academia para impulsar la transición energética a través del desarrollo tecnológico.

La tecnología se posiciona como el vínculo entre el sector privado y las universidades, permitiendo avanzar en la descarbonización. La urgencia de abordar la transición energética en el menor tiempo posible y con el menor costo para la sociedad requiere el aprovechamiento de todas las tecnologías disponibles, así como la implementación de

enfoques de trabajo innovadores y disruptivos que aborden los riesgos asociados al desarrollo de nuevas tecnologías.

En este contexto, las universidades desempeñan un papel fundamental en los desafíos científicos y tecnológicos planteados, y la colaboración con la industria resulta clave para acelerar el logro de los objetivos establecidos para 2030 y 2050.

Se tuvo la oportunidad de participar como ponente en la mesa relacionada con este último período mencionado, los objetivos cara a 2050. En ella, se trataron diversos temas como la economía circular, los combustibles sintéticos y el papel de la formación de los jóvenes en el reto de la transición energética.

Además, se pudo mantener una conversación con el Presidente de Repsol, Antonio Brufau en cuanto a su visión basada en una experiencia profesional real.

En el caso del tutor, participó en el evento titulado “*La ciudadanía ante las nuevas tecnologías del vehículo ligero*” [21] en el que se abordaron los aspectos relevantes obtenidos de la realización de la encuesta sobre la percepción y sensibilidad de la población general a las nuevas tecnologías de movilidad y se divulgaron los resultados y conclusiones extraídas que se han presentado en la [Sección 4](#).

7. Conclusiones

Para concluir este trabajo, es necesario destacar varios puntos importantes que se han tratado durante todo el proceso de su realización que se muestran a continuación.

- **Los valores de emisiones obtenidos para el ciclo de vida del vehículo muestran diferencias significativas según el estudio realizado.** Es relevante considerar el método utilizado para recopilar los datos de emisión durante la fase de uso de la fuente energética, ya sea a través de ciclos de homologación en un banco de ensayo, pruebas de conducción real o estimaciones basadas en modelos

de emisiones. Estos enfoques pueden generar resultados divergentes que deben ser tenidos en cuenta al analizar los datos de emisiones.

- **Es de vital importancia considerar el ciclo de vida completo del vehículo al analizar las emisiones.** Aunque inicialmente se encontraba poca información disponible, este estudio ha logrado recopilar datos confiables que continúan complementando la investigación previa. El análisis exhaustivo del ciclo de vida del vehículo permite obtener una visión más precisa y completa de las emisiones generadas a lo largo de su vida útil.
- **Tiene una importancia crucial considerar la matriz energética de un país al evaluar adecuadamente la posible reducción de emisiones en el ciclo de vida de un vehículo total o parcialmente electrificado en comparación con tecnologías más convencionales.** La fuente de energía utilizada para generar electricidad tiene un impacto significativo en las emisiones totales asociadas con los vehículos eléctricos. Si bien estos pueden tener bajas emisiones directas en comparación con los vehículos de combustión interna, su huella de carbono puede variar considerablemente según la composición de la matriz energética de cada país.
- **Para lograr una reducción efectiva de las emisiones, es fundamental impulsar la transición hacia una matriz energética basada en fuentes renovables y bajas en carbono.** Esto garantizará que los vehículos que cuenten con cierta o total electrificación de su sistema motriz realmente contribuyan a la mitigación del cambio climático y a la sostenibilidad ambiental a largo plazo.
- **Se ha evidenciado la notable falta de conocimiento de la población en cuanto a las emisiones de los vehículos y los problemas derivados de ellas, como el impacto en la salud y el medio ambiente.** Existe una escasa conciencia sobre las alternativas tecnológicas disponibles para reducir las emisiones, más allá de los vehículos eléctricos como por ejemplo, los combustibles sintéticos. Además, se ha constatado una falta de información y comprensión por parte de los usuarios en relación a los datos proporcionados por los fabricantes, lo cual dificulta la toma de decisiones informadas y conscientes en la compra de vehículos más limpios y se ha demostrado que existen aún otros factores a los que la población en

general da más importancia a la hora de comprar un vehículo, como por ejemplo, el precio.

- **Se destaca la importancia de formar a la población y aportar información precisa y objetiva a la población sobre las emisiones de los vehículos y las alternativas disponibles.** Es fundamental que los usuarios adquieran conocimientos sólidos para evaluar críticamente las opciones de compra mediante, por ejemplo, la educación y la divulgación.

8. Valoración de aspectos ambientales, sociales y económicos

Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el transporte tienen un impacto significativo desde una perspectiva ambiental. Estas emisiones, principalmente de dióxido de carbono, contribuyen directamente al calentamiento global y al cambio climático.

El calentamiento global provoca cambios en los patrones climáticos, aumentando la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos como sequías, inundaciones y tormentas que impactan muy negativamente en los ecosistemas naturales y la biodiversidad. Además, los gases y partículas liberados por los vehículos, como los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, se combinan en presencia de la luz solar para formar el ozono troposférico, un contaminante perjudicial para la salud humana y el medio ambiente.

Otro impacto ambiental importante es la lluvia ácida, que se produce cuando los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno se combinan con la humedad en la atmósfera y caen a la tierra en forma de precipitación ácida; y la acidificación de las costas y los océanos. Por último, el aumento de las temperaturas causado por el calentamiento global acelera la fusión de los glaciares y reduce la extensión del hielo polar repercutiendo gravemente en los ecosistemas polares.

A nivel social, la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero requiere la implementación de diversas medidas y la participación activa de todas las partes involucradas. Estas medidas abarcan desde políticas gubernamentales hasta la educación y concienciación de los usuarios.

Para lograr una mitigación efectiva, es necesario coordinar y promover políticas que sean eficientes, sostenibles y socialmente aceptables. Esto implica la colaboración y el compromiso de diferentes niveles de gobernanza y sectores políticos, así como la participación de actores clave como los interlocutores sociales, las empresas, el mundo académico, las organizaciones no gubernamentales y otras organizaciones de la sociedad civil.

Además, es fundamental educar y concienciar a la población sobre el impacto ambiental del sector transporte y las alternativas más sostenibles disponibles. En este sentido, es esencial mejorar la información y la transparencia en relación con las emisiones del sector transporte. Se deben desarrollar herramientas fiables y accesibles para medir de manera objetiva las emisiones de los vehículos y evaluar la efectividad de las medidas adoptadas para minimizar sus efectos negativos. Este ha sido el principal objetivo de la creación de esta base de datos, así como de la realización de la encuesta y posterior publicación de la nota divulgativa.

Finalmente, a nivel económico, tanto desde la perspectiva administrativa como para los usuarios, las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte por carretera tienen implicaciones significativas.

En el ámbito administrativo, la mitigación de las emisiones requiere la implementación de políticas y regulaciones que promuevan la reducción de carbono en el transporte. Esto puede implicar la imposición de impuestos y tasas sobre los combustibles fósiles, incentivos fiscales para vehículos de bajas emisiones, normativas de eficiencia energética y estándares de emisiones más estrictos.

Para los usuarios, las implicaciones económicas se relacionan con la elección del vehículo y los costes asociados con su uso. En muchos casos, los vehículos de bajas emisiones o

tecnologías alternativas pueden tener un coste inicial más elevado en comparación con los vehículos convencionales de combustión interna. Sin embargo, es importante considerar el panorama general, ya que los vehículos más eficientes y con bajas emisiones pueden resultar en ahorros a largo plazo en términos de combustible y mantenimiento. Para ello, algunos gobiernos y organizaciones ofrecen incentivos económicos para fomentar la adopción de vehículos más limpios, como subsidios de compra, descuentos en impuestos o peajes reducidos. Estos incentivos pueden ayudar a compensar los costes iniciales más altos y hacer que las opciones de transporte sostenible sean más asequibles y atractivas para los usuarios.

Asimismo, la transición hacia opciones de transporte más sostenibles puede tener impactos económicos positivos a nivel macro. La inversión en tecnologías limpias y en infraestructuras de carga para vehículos eléctricos, por ejemplo, puede generar empleo y oportunidades de desarrollo económico en sectores relacionados. Además, la reducción de las emisiones de carbono puede contribuir a la mitigación del cambio climático y sus costes asociados, como los eventos climáticos extremos y la degradación del medio ambiente.

Por último, y como un punto interesante, se encuentra una relación entre el trabajo y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que se presentan a continuación.

Este trabajo se relaciona principalmente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 13: Acción por el Clima. El análisis realizado sobre las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el sector del transporte por carretera demuestra la importancia de abordar este problema desde una perspectiva ambiental. Las emisiones de CO₂ y otros contaminantes derivados del transporte tienen un impacto directo en el calentamiento global y el cambio climático, lo cual afecta negativamente a los ecosistemas naturales, la biodiversidad y la salud humana.

Además, este trabajo también se relaciona con otros ODS interconectados. Por un lado, el ODS 3 (Salud y Bienestar), ya que las emisiones del transporte contribuyen a la contaminación del aire y tienen efectos perjudiciales para la salud, como la formación de

ozono troposférico y la lluvia ácida. Por otro lado, se vincula con el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), ya que aborda la necesidad de implementar tecnologías más limpias en el transporte y promover una movilidad sostenible en las ciudades.

En cuanto a los aspectos económicos, este trabajo se alinea con el ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico). La transición hacia opciones de transporte más sostenibles implica la creación de empleo y oportunidades económicas en sectores relacionados, como la fabricación de vehículos de bajas emisiones y la infraestructura de carga para vehículos eléctricos. Además, la reducción de las emisiones de carbono puede mitigar los costos asociados al cambio climático, como los eventos climáticos extremos y la degradación ambiental, y contribuir a un crecimiento económico más sostenible.

9. Líneas futuras

Para continuar con el desarrollo de la cátedra durante el curso 2022/2023, esta se enfoca en dos objetivos principales.

El primero de ellos busca evaluar la viabilidad de colaborar con un desarrollador de software o aplicaciones externo para introducir la base de datos generada en una posible aplicación móvil o web accesible para usuarios generales que sirva como herramienta de cálculo de huella de carbono. Esta aplicación permitiría a los usuarios comprobar la huella de carbono asociada a diferentes combinaciones de tecnología y combustible en el ámbito de la movilidad.

Esto fomentaría la toma de decisiones informadas y conscientes, y promovería una mayor adopción de tecnologías y combustibles más sostenibles.

Por otro lado, una vez concluido y considerado completo el estudio del impacto de la movilidad en la huella de carbono, se plantea la evaluación de otros tipos de impactos

ambientales relacionados. Estos nuevos estudios se centrarán en analizar y cuantificar los efectos ambientales derivados de la movilidad, más allá de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto implica investigar y comprender cómo la movilidad afecta a otros recursos naturales, la calidad del aire, la generación de residuos y otros aspectos ambientales relevantes.

La ampliación de los estudios para incluir otros impactos ambientales permitiría obtener una visión más integral y precisa de los efectos de la movilidad en el entorno. Esto resulta fundamental para abordar los desafíos ambientales de manera holística y diseñar estrategias efectivas de mitigación.

10. Planificación y presupuesto

10.1. Descripción de fases y tareas

El desarrollo del trabajo se ha planificado para que tenga una duración total de 19 meses, iniciándose en diciembre de 2021 y finalizándose en junio de 2023, sin embargo, este trabajo no ha sido ininterrumpido sino que ha habido un período de tres o cuatro meses en los que el tiempo que se ha podido dedicar ha sido muy escaso. Esto se refleja claramente en el siguiente apartado al presentar el diagrama de Gantt con la tareas y tiempos dedicados a cada una de ellas.

Para elaborar de manera correcta este trabajo, se ha dividido el proceso en varias fases de acuerdo con el plan de trabajo elaborado y aprobado al inicio de este estudio. Las tareas acometidas se presentan a continuación divididas por fases de trabajo.

Fase 1. Adquisición de las bases, conceptos básicos y aproximación general al tema

Esta primera tarea ha consistido en la familiarización con las metodologías de análisis de ciclo de vida y huella de carbono del vehículo, así como la comprensión y estudio de los resultados obtenidos en esta misma cátedra durante el curso 2020-2021. Recopilar estos datos de una manera organizada para poder utilizar los que se creen significativos y representativos de la realidad actual para la elaboración de una base de datos útil para un posterior desarrollo de una herramienta, ha sido parte también del trabajo de este bloque. Los datos estudiados en profundidad durante el curso anterior tratan principalmente sobre el ciclo de vida de la fuente energética, y se ha considerado, tras inspeccionarlos, que cubren, en cuanto al alcance que este estudio ha contemplado, esa fase de manera suficiente.

Duración: 2 meses

Fase 2. Profundización en el análisis del ciclo de vida del vehículo

La tarea principal a realizar en esta fase del trabajo ha consistido en profundizar en el estudio de la huella de carbono asociada al ciclo de vida del vehículo, es decir, el impacto ambiental asociado a los materiales y procesos productivos de distintos componentes de los vehículos, así como de las distintas etapas del ciclo de vida de éste. Como ejemplo de alguna fase del ciclo vida diferente a la fase de uso, la probablemente más conocida y estudiada, se puede nombrar el mantenimiento o el fin de la vida útil del vehículo, ya sea como desecho o reciclado mientras éste sea apropiado para ello. Se han conseguido incorporar seis nuevas referencias bibliográficas con la finalidad de completar en mayor medida el conocimiento y los valores de esta etapa. Con ello, se han podido contrastar los datos que ya fueron estudiados durante el curso previo y se han podido incorporar de una manera fiable en esta fuente de datos y valores que se ha creado para la realización de esa posible herramienta futura. Se considera un trabajo satisfactorio debido a la escasa e inmadura información con la que se cuenta en la actualidad acerca del ciclo de vida del vehículo a diferencia del amplio conocimiento con el que se cuenta en relación al ciclo de vida de la fuente energética.

Duración: 2 meses

Fase 3. Generación de tabla de valores como base de datos para el futuro desarrollo de una herramienta

Con los datos recopilados durante la fase anterior sobre la huella de carbono relacionada con el ciclo de vida del vehículo, y los datos relativos al ciclo de vida de la fuente energética recopilados durante el curso anterior, se ha realizado en Excel una tabla de valores con un entorno amigable que pueda servir como base a la elaboración de una futura herramienta. Esta tabla, se evalúa en términos de gramos de dióxido de carbono por kilómetro recorrido (gCO_2/km) para cada combinación de tipología de vehículo y combustible correspondiente. Con esto, es posible realizar comparativas entre diferentes alternativas planteadas. Para elegir los valores representativos para los vehículos, se ha comprobado la consistencia de los datos en los ámbitos tanto geográficos como temporales en los que se quería centrar el estudio. Se han escogido valores estandarizados para el ámbito europeo lo más actual existente y con ello, se ha generado además una gráfica de valores para que esa comparativa entre tecnologías y combustibles se pueda visualizar de una manera rápida y fácilmente comprensible.

Duración: 7 meses

Fase 4. Análisis de distintos escenarios de generación eléctrica en el ciclo de vida de la fuente energética

Una vez realizadas las tareas anteriores, ha surgido un punto interesante que ha generado la aparición de otra nueva tarea. Esta tarea, ha consistido en evaluar diferentes escenarios de generación eléctrica previstos para el futuro, principalmente en el panorama español con la finalidad de comprobar en qué medida el **mix energético** puede afectar a la huella de carbono en el caso de los vehículos que total o parcialmente dependan de la electrificación. Se han estudiado el escenario objetivo de acuerdo al Plan Nacional Integrado de Energía y Clima; el de fuente marginal, que es en este caso el gas natural; y un escenario de fuentes totalmente renovables. En el ámbito temporal, este estudio se ha realizado con perspectiva a un futuro relativamente cercano: el año 2030.

Duración: 3 meses

Fase 5. Preparación y elaboración de encuesta sobre el condicionamiento que supone la huella de carbono a la hora de adquirir un nuevo vehículo

En colaboración con otra de las líneas de investigación de esta misma cátedra en la elaboración de una encuesta sobre tecnologías de movilidad y su impacto, se ha tratado de conocer la importancia de la huella de carbono para los usuarios a la hora de adquirir un nuevo vehículo. Además, otro punto que se ha estudiado con ayuda de los resultados obtenidos en esta encuesta, es cuál es el grado de conocimiento de la población acerca de aspectos medioambientales, con qué factores está relacionado ese nivel de conocimiento, y si éste, condiciona sus decisiones. Para conseguir datos sobre estas cuestiones, se han incluido preguntas relacionadas con la emisión de gases contaminantes y el cambio climático. Una vez realizada la encuesta y recibidos los resultados se ha hecho un análisis sobre los aspectos más relevantes. Con esta información se ha elaborado una nota divulgativa que ha sido publicada en la plataforma de divulgación *The Conversation*.

Duración: 7 meses

Fase 6. Armonización información y resultados y elaboración del documento

En esta tarea se ha llevado a cabo la armonización de la información y los resultados obtenidos, con el objetivo de sintetizar y consolidar los hallazgos en un documento final. Se ha realizado un proceso de revisión y análisis de los datos recopilados, asegurando la coherencia y consistencia de la información presentada. Se han organizado los resultados de manera clara y estructurada, utilizando un lenguaje preciso y accesible. Se han incluido gráficos, tablas y otros recursos visuales para facilitar la comprensión de los datos y se han redactado conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos obtenidos.

Duración: 4 meses

Diagrama de Gantt

A continuación, se muestra el diagrama de Gantt que comprende todas las tareas realizadas con sus períodos de ejecución respectivos para mostrar la información proporcionada de una manera más visual en la [Figura 9](#).

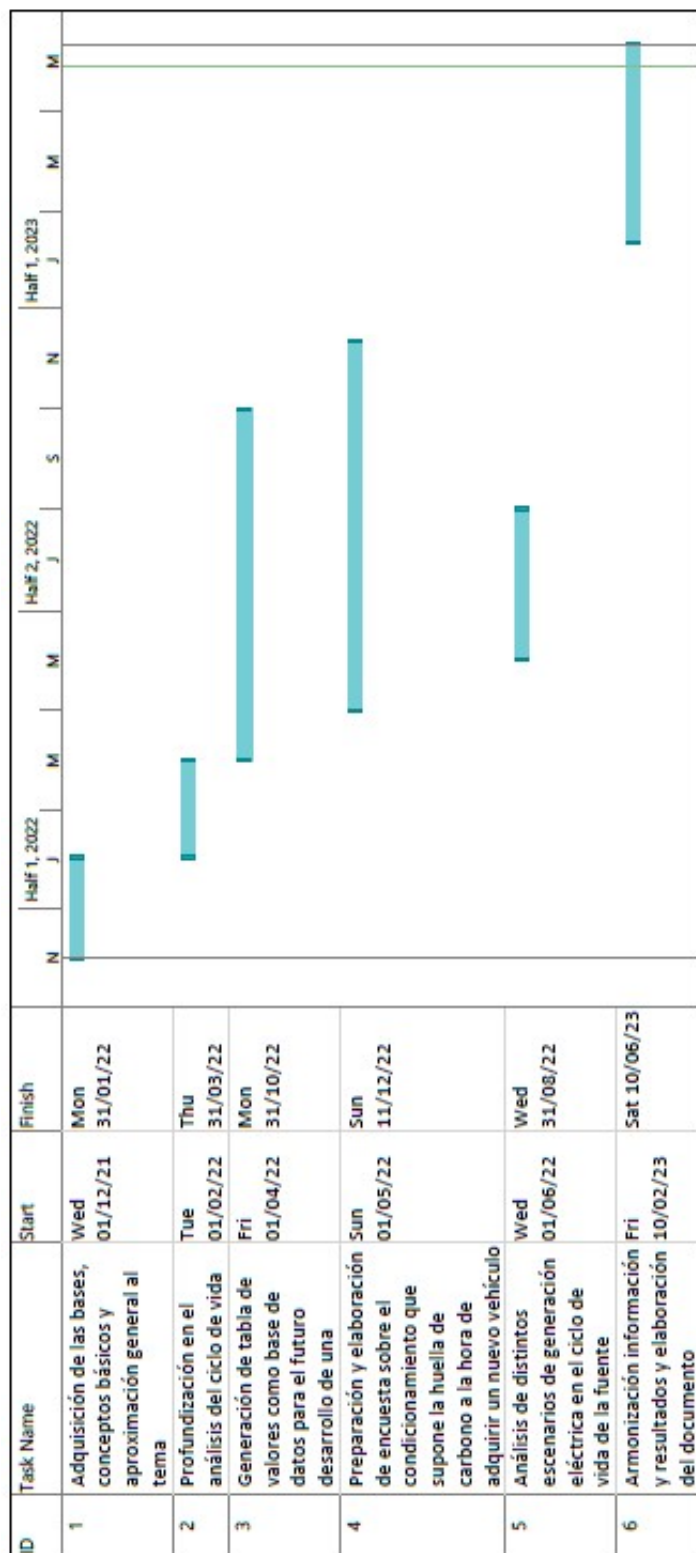


Figura 9: Diagrama de Gantt de las tareas acometidas durante el proyecto

10.2. Descripción del presupuesto ejecutado o descargo de gastos

El tema a tratar en este apartado son los costes asociados al desarrollo de este trabajo. Estos costes se van a dividir en dos categorías, mano de obra y amortizaciones de los equipos utilizados.

Como mano de obra se cuenta con el tutor del proyecto y el estudiante encargado de realizar las tareas necesarias y desarrollo del documento que cuenta con las explicaciones de todas ellas. El trabajo del alumno comprende la beca de 15h/semanales realizada durante 12 meses en el curso 2021-2022 y la redacción del presente documento.

TIPO DE MANO DE OBRA	HORAS	COSTE UNITARIO (€/h)	TOTAL(€)
Alumno	1080	20,00	21.600,00 €
Director	75	60,00	4.500,00 €
Total:			26.100,00 €

Tabla 7: Mano de obra

Los gastos por amortizaciones incluyen el uso de equipos y software utilizados para llevar a cabo el proyecto.

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO	USO	VIDA UTIL	AMORTIZACION
Ordenador	1.500,00 €	150 h	8000h	28,13 €
Licencia Office	79,00 €	90 h	1600h	4,44 €
Total:				32,57 €

Tabla 8: Amortizaciones

Si los gastos mencionados se suman, y además se tiene en cuenta un 5% de gastos indirectos, como puede ser por ejemplo la electricidad, se obtendrá el gasto total que se ha realizado para llevar a cabo este proyecto.

CONCEPTO	COSTE (€)
Trabajo humano	26.100,00 €
Amortizaciones	32,57 €
Gastos indirectos (5 %)	1.306,63 €
Gastos totales	27.439,20 €

Tabla 9: Gasto total

Se puede ver, que se trata de un trabajo que conlleva un alto coste en mano de obra en comparación a los costes por recursos utilizados. Además, el trabajo realizado en este estudio se lleva a cabo sin ningún beneficio industrial ni considerando impuestos relacionados. El objetivo principal es realizar una evaluación imparcial y objetiva de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte.

11. Bibliografía

Referencias

- [1] Universidad de Alcalá. (2019). CO2web. Observatorio online: ¿Qué incluyen los cálculos? <https://huellaco2.org/autos.php>
- [2] VOLVO. (2020). Battery electric XC40 Recharge and the XC40 ICE: Carbon footprint report. <https://www.volvocars.com/images/v-/media/applications/pdpspecificationpage/my24/xc40-electric/pdp/volvo-cars-LCA-report-xc40.pdf>.
- [3] ISO 14040:2006. Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Principios y marco de referencia. Último acceso: 25 de febrero de 2021. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- [4] Greenhouse Gas Protocol. (2011). Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard_041613.pdf
- [5] QS World University Rankings 2023: Top global universities. Último acceso: 15 de febrero de 2022. <https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2023>
- [6] Massachusetts Institute of Technoogy. A life-cycle analysis of new automobile technologies. (2000). <https://energy.mit.edu/publication/on-the-road-in-2020-a-life-cycle-analysis-of-new-automobile-technologies/>
- [7] Guzzella, L., and A. Amstutz. ETH-Zurich. (1998). “Quasi-Stationaren-Simulations.”
- [8] FVV Prime Movers. Cradle-to-Grave Life-Cycle Assessment in the Mobility Sector. (2020). https://www.fvv-net.de/fileadmin/Storys/020.30_Bilanz_gezogen/FVV_LCA_Life-cycle_analysis_Frontier_Economics_R595_final_2020-06_EN.pdf
- [9] Karim Hamza. CarGHG Application. (2021). <https://app.carghg.org/>

- [10] UC-Davis. eVMT Project. Advanced Plug-in Electric Vehicle Travel and Charging Behavior Interim Report. (2017). <https://phev.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2017/08/25.-Advanced-Plug-in-Electric-Vehicle-Travel-and-Charging-Behavior-Interim-Report-.pdf>
- [11] Transport & Environment. How clean are electric cars? (2020). <https://www.transportenvironment.org/discover/how-clean-are-electric-cars/>
- [12] Spritmonitor *Spritverbrauch und Autokosten berechnen und vergleichen*. Calcule y compare el consumo de combustible y los costos del automóvil. Último acceso: 28 de septiembre de 2021. spritmonitor.de
- [13] Knobloch et. al. (2020). Net emission reductions from electric cars and heat pumps in 59 world regions over time.
- [14] Prussi et. al. (2020). JEC Well-To-Wheels report v5. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC121213>
- [15] Ricardo Energy & Environment. (2020). Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/1f494180-bc0e-11ea-811c-01aa75ed71a1>
- [16] Javier Pérez Rodríguez y Nerea Cortina Fernández. ¿Nos importa la huella de carbono a la hora de comprar un coche? (2022). Publicado en: <https://theconversation.com/>
- [17] Liao, F., Molin, E., & Van Wee, B. (2017). Consumer preferences for electric vehicles: a literature review. *Transport Reviews*, 37(3), 252-275. <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1230794>
- [18] Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>
- [19] Balance Energético Provisional. (2020). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

[20] Industria y academia: tecnología para la transición energética — Fundación Repsol. *Fecha del evento: 26 de abril de 2022.* Open Room. <https://openroom.fundacionrepsol.com/es/eventos/78/>

[21] La ciudadanía ante las nuevas tecnologías del vehículo ligero — Fundación Repsol. *Fecha del evento: 4 de octubre de 2022.* Open Room. <https://openroom.fundacionrepsol.com/es/eventos/105/>