



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Autor: María Irene Fluxá Iñiguez
Director: Juan de Norverto Moriñigo

Madrid
Agosto de 2025

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

Impacto Ambiental de los Vehículos Autónomos

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: María Irene Fluxá Iñiguez

Fecha: 22/08/2025

A handwritten signature in black ink, enclosed in a hand-drawn circle. The signature appears to be 'Fluxá' with some additional scribbles.

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan de Norverto Moriñigo

Fecha://



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Autor: María Irene Fluxá Iñiguez

Director: Juan de Norverto Moriño

Madrid

Agosto de 2025

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor Juan de Norverto Moriñigo por su paciencia a lo largo de todo el proceso del proyecto, y por estar siempre dispuesto a ayudarme ante cualquier obstáculo que surgiera durante la elaboración.

También quiero agradecer a mi familia. En especial a mi padre, por enseñarme a mantener los objetivos pese a las dificultades del camino, a mi hermano por su constante apoyo, a Pablo por estar siempre ahí y a ti mamá por cuidarme desde arriba y confiar en mí.

Finalmente, quisiera agradecer también a todos mis amigos, compañeros y profesores que me han acompañado en esta etapa.

IMPACTO AMBIENTAL DE LOS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Autor: Fluxá Iñiguez, María Irene.

Director: De Norverto Moriñigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

La implementación de los vehículos autónomos puede convertirse en un elemento clave para transformar el sector del transporte en un sector más sostenible. En este proyecto se ha realizado un estudio de Análisis de Ciclo de Vida utilizando el software SimaPro para evaluar el impacto ambiental de los vehículos autónomos, compararlos con los vehículos de combustión interna a gasolina y proponer soluciones que puedan mejorar el transporte en carretera.

Palabras clave: Vehículos Autónomos, Análisis de Ciclo de Vida, SimaPro, Movilidad

1. Introducción

El sector del transporte forma parte de los principales responsables de la contaminación ambiental a nivel mundial, en el caso de España el 30,7% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero son debidas a este sector, siendo el 28,4% debidas al transporte por carretera. Lo que motiva a buscar alternativas de medios de transportes más sostenibles. [1]

Simultáneamente a la motivación actual por tratar de ser más respetuosos con el medio ambiente, se están produciendo avances tecnológicos que pueden cambiar a la sociedad de forma importante en el futuro. En el sector automovilístico la inteligencia artificial se está convirtiendo en la herramienta clave que permite y permitirá alcanzar la automatización en los vehículos.

Un vehículo autónomo se define como aquel que posee herramientas tecnológicas capaces de imitar las habilidades humanas de manejo a la conducción, permitiendo así la conducción del vehículo de forma autónoma sin la necesidad de intervención de una persona en un determinado tiempo. Alcanzar el nivel idílico de conducción completamente autónoma resulta un desafío importante, a lo largo de estos últimos años se han ido introduciendo equipos electrónicos que contribuyen a automatizar cada vez más los vehículos. [2]

2. Definición del proyecto

En este proyecto se ha utilizado la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida con el fin de aportar una estimación de cómo podrían impactar los vehículos eléctricos autónomos en diferentes categorías de impacto y qué soluciones pueden compensar su impacto. Existen diversos softwares de análisis de ciclo de vida que permiten modelar las distintas etapas del ciclo de vida de un producto, proceso o servicio con el objetivo de cuantificar sus impactos ambientales. Estas herramientas tienen acceso a bases de datos ambientales internacionalmente reconocidas y son capaces de aplicar diversas metodologías de evaluación ambientales. En este proyecto el software de análisis de ciclo de vida empleado corresponde a SimaPro. La base de datos ambiental utilizada

corresponde a Ecoinvent y la metodología para realizar la evaluación ambiental del análisis corresponde a CML-IA.[3]

3. Descripción del sistema

Mediante este estudio se pretende identificar que procesos, materiales, equipo que forman parte del ciclo de vida de un vehículo autónomo poseen mayor impacto ambiental y en que aspecto desde un punto de vista ambiental esta nueva tecnología difiere de los vehículos convencionales de combustión interna. La unidad funcional utilizada en este análisis de ciclo de vida corresponde a 1 km recorrido. El alcance escogido en la elaboración de este análisis de ciclo de vida sigue un enfoque parcial de la cuna a la tumba (cradle-to-grave). Se incluyen las etapas de extracción de materiales, fabricación del vehículo, fase de uso, fase de mantenimiento y fase de fin de vida que incluye el desmantelamiento de la carrocería.

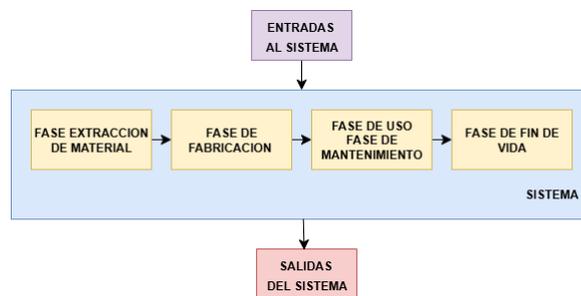


Ilustración 1 Límites del sistema de estudio (Elaboración propia)

4. Resultados

En la Ilustración 2, se muestra la contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que poseen un impacto superior al 5% en la categoría de impacto de calentamiento global.

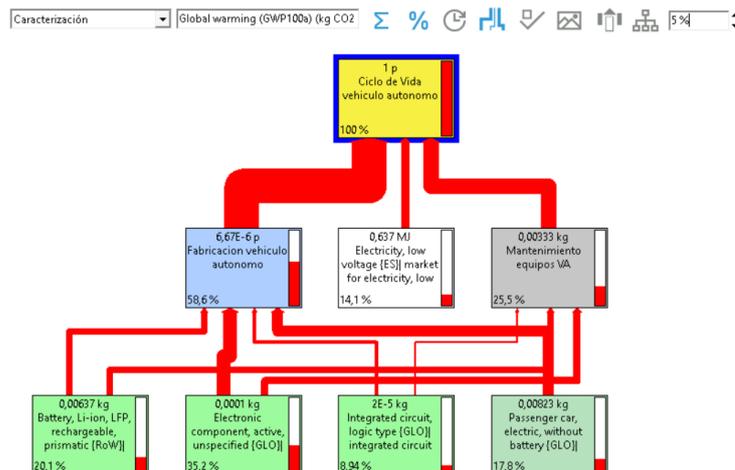


Ilustración 2 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que posean un impacto superior al 5% en la categoría de impacto de calentamiento global (Elaboración propia)

Analizando los resultados de la Ilustración 2, la etapa con mayor impacto en la categoría de calentamiento global viene dada por la fabricación del vehículo autónomo representando un 58,6% de total, seguido del mantenimiento de los equipos electrónicos

adicionales para adquirir un nivel de autonomía SAE 3 del vehículo. Entre todos los procesos incluidos en el diagrama red, el proceso de fabricación de componentes electrónicos activos destaca como el principal contribuyente al impacto asociado al calentamiento global. Esto tiene sentido teniendo en cuenta que la producción de componentes electrónicos activos se caracteriza por requerir un alto consumo energético en procesos de extracción de metales y de su posterior procesamiento.

Comparando el impacto ambiental de los vehículos eléctricos autónomos con el de los vehículos eléctricos convencionales (conducidos por una persona) se han obtenido como resultado que el impacto ambiental total del vehículo eléctrico autónomo supera en todas las categorías al del vehículo eléctrico. Los resultados de la categoría de impacto calentamiento global indican que el impacto del vehículo eléctrico autónomo es 1,73 veces superior al correspondiente de un vehículo eléctrico convencional es decir su impacto se incrementa en un 73,26%. Las emisiones de kg CO₂ eq/km corresponden a 0,34847791 kg CO₂ eq/km para vehículo eléctrico autónomo y 0,2011278 kg CO₂ eq/km para vehículo eléctrico convencional.

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que la fabricación de los equipos electrónicos adicionales para equipar al vehículo con un nivel de autonomía nivel SAE 3, generan un impacto importante en todas las categorías de impacto ambiental consideradas. Los vehículos eléctricos de conducción automatizada pueden resultar una solución atractiva por su eficiencia en su consumo de energía y contribuir a reducir el tráfico en las vías. Sin embargo, este resultado pone de manifiesto que es necesario seguir investigando en alternativas de producción de componentes electrónicos que supongan un impacto medio ambiental menor. Esto podría conseguirse optimizando los procesos de fabricación, utilizando energías de origen renovable en los procesos que requieran de altos niveles de energía y realizar una adecuada gestión de la vida útil que fomente la reutilización y el reciclaje, reintroduciendo en un nuevo ciclo de vida el máximo de componentes y materiales. Estas iniciativas contribuirían a aplicar los principios de la economía circular de forma que la vida útil de los materiales se prolongue, lo que permitirá reducir los procesos de extracción de materiales críticos y por tanto se reducirían las emisiones asociadas a los procesos de fabricación de nuevos equipos.

6. Referencias

- [1] M. p. l. T. E. y. e. R. Demográfico, «Sector del transporte,» [En línea]. Disponible: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.html>.
- [2] M. D. S. M. Y. D. Yohana Li, «Vehículos autónomos: Innovación en la logística urbana,» 06 2018. [En línea]. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/234019727.pdf>. [Último acceso: 06 2025].
- [3] v. a. PRé, «SimaPro Database Manual Methods Library,» 06 2020. [En línea]. Disponible: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/06/DatabaseManualMethods.pdf>. [Último acceso: 07 08 2025].

ENVIRONMENTAL IMPACT OF AUTONOMOUS VEHICLES

Author: Fluxá Iñiguez, María Irene.

Supervisor: De Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The implementation of autonomous vehicles could become a key factor in transforming the transport sector into a more sustainable one. In this project, a life cycle assessment study was carried out using SimaPro software to evaluate the environmental impact of autonomous vehicles, compare them with gasoline-powered internal combustion vehicles, and propose solutions that could improve road transport.

Keywords: Autonomous Vehicles, Life Cycle Analysis, SimaPro, Mobility

1. Introduction

The transport sector is one of the main contributors to global environmental pollution. In Spain, 30.7% of total greenhouse gas emissions are attributable to this sector, with 28.4% coming from road transport. This is motivating the search for more sustainable means of transport. [1]

Alongside the current drive to be more environmentally friendly, technological advances are being made that could significantly change society in the future. In the automotive sector, artificial intelligence is becoming the key tool that will enable the automation of vehicles.

An autonomous vehicle is defined as one that has technological tools capable of imitating human driving skills, thus allowing the vehicle to be driven autonomously without the need for human intervention at any given time. Achieving the ideal level of fully autonomous driving is a major challenge, but in recent years, electronic equipment has been introduced that is contributing to the increasing automation of vehicles. [2]

2. Project definition

In this project, the Life Cycle Assessment tool has been used to provide an estimate of how autonomous electric vehicles could impact different impact categories and what solutions could offset their impact.

There are various life cycle assessment software programs that allow the different stages of the life cycle of a product, process, or service to be modeled in order to quantify their environmental impacts. These tools have access to internationally recognized environmental databases and are capable of applying various environmental assessment methodologies. In this project, the life cycle analysis software used is SimaPro. The environmental database used is Ecoinvent, and the methodology for performing the environmental assessment of the analysis is CML-IA.[3]

3. System description

This study aims to identify which processes, materials, and equipment that form part of the life cycle of an autonomous vehicle have the greatest environmental impact and how this new technology differs from conventional internal combustion vehicles from

an environmental point of view. The functional unit used in this life cycle analysis corresponds to 1 km traveled. The scope chosen in the preparation of this life cycle analysis follows a partial cradle-to-grave approach. It includes the stages of material extraction, vehicle manufacturing, use phase, maintenance phase, and end-of-life phase, which includes the dismantling of the bodywork.

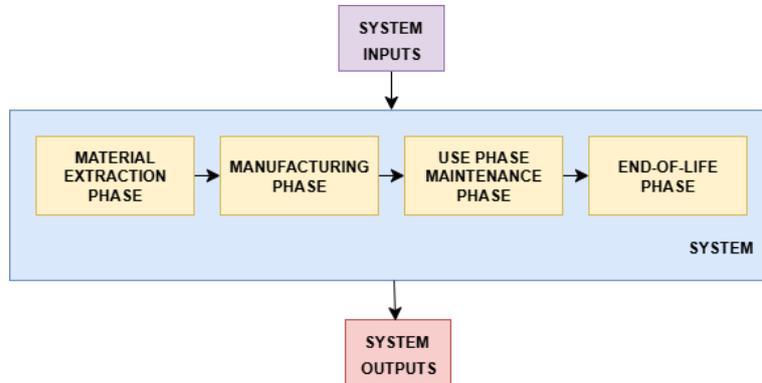


Figure 1 Study system limits (Own elaboration)

4. Results

Figure 2 shows the contribution of processes within the life cycle of an autonomous vehicle that have an impact greater than 5% in the global warming impact category.

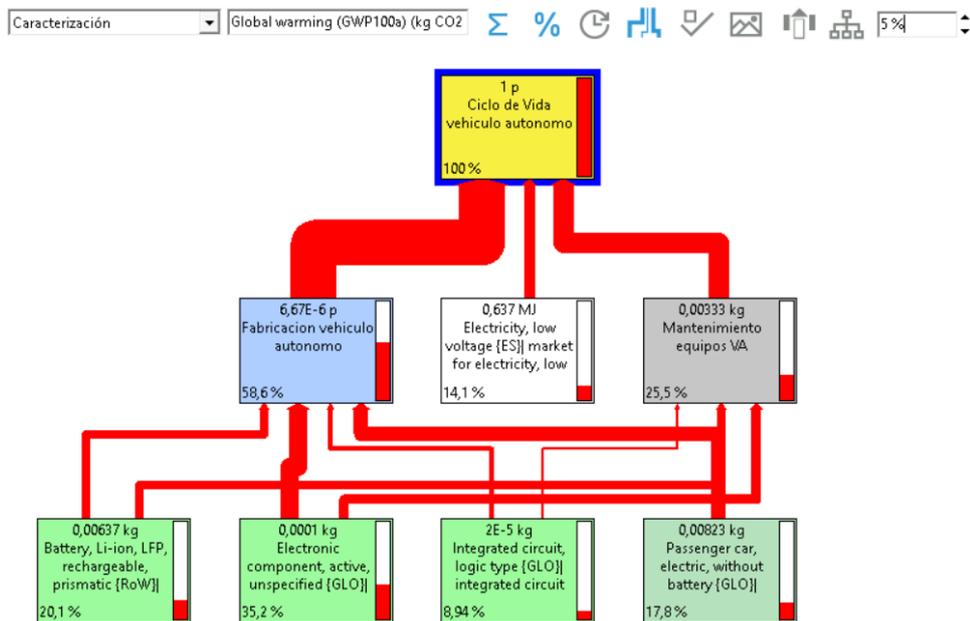


Figure 2 Contribution of processes within the life cycle of an autonomous vehicle that have an impact greater than 5% in the global warming impact category (Own elaboration)

Analysing the results in Figure 2, the stage with the greatest impact in the global warming category is the manufacture of the autonomous vehicle, accounting for 58.6% of the total, followed by the maintenance of additional electronic equipment to achieve SAE 3 autonomy for the vehicle. Among all the processes included in the network diagram, the manufacturing process for active electronic components stands out as the main contributor to the impact associated with global warming. This makes sense considering that the production of active electronic components is characterised by high energy consumption in metal extraction and subsequent processing.

Comparing the environmental impact of autonomous electric vehicles with that of conventional electric vehicles (driven by a person), the results show that the total environmental impact of autonomous electric vehicles exceeds that of electric vehicles in all categories. The results for the global warming impact category indicate that the impact of autonomous electric vehicles is 1.73 times greater than that of conventional electric vehicles, i.e. their impact increases by 73.26%. The emissions in kg CO₂ eq/km correspond to 0.34847791 kg CO₂ eq/km for autonomous electric vehicles and 0.2011278 kg CO₂ eq/km for conventional electric vehicles.

5. Conclusions

The results obtained show that the manufacture of additional electronic equipment to equip the vehicle with SAE Level 3 autonomy has a significant impact on all categories of environmental impact considered. Automated electric vehicles can be an attractive solution due to their energy efficiency and contribute to reducing traffic on the roads. However, this result highlights the need for further research into alternatives for the production of electronic components that have a lower environmental impact.

This could be achieved by optimising manufacturing processes, using renewable energy in processes that require high levels of energy, and implementing adequate end-of-life management that encourages reuse and recycling, reintroducing as many components and materials as possible into the life cycle.

These initiatives would contribute to applying the principles of the circular economy in such a way as to extend the useful life of materials, thereby reducing the extraction of critical materials and, consequently, the emissions associated with the manufacturing processes of new equipment.

6. References

- [1] M. p. I. T. E. y. e. R. Demográfico, «Sector del transporte,» [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.html>.
- [2] M. D. S. M. Y. D. Yohana Li, «Vehículos autónomos: Innovación en la logística urbana,» 06 2018. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/234019727.pdf>. [Last access: 06 2025].
- [3] v. a. PRÉ, «SimaPro Database Manual Methods Library,» 06 2020. [En línea]. Available: <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/06/DatabaseManualMethods.pdf>. [Last access: 07 08 2025].

Índice de la memoria

| | |
|---|-----------|
| Capítulo 1. Introducción | 7 |
| 1.1 Contexto actual..... | 7 |
| 1.2 Motivación | 9 |
| 1.3 Objetivos del proyecto..... | 10 |
| 1.4 Metodología..... | 11 |
| 1.5 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible..... | 11 |
| 1.6 Estructura | 14 |
| Capítulo 2. Vehículos Autónomos en la sociedad | 16 |
| 2.1 Definición vehículos autónomos | 16 |
| 2.2 Clasificación vehículos autónomos | 17 |
| 2.3 Tecnologías vehículos autónomos..... | 18 |
| 2.4 Marco legal..... | 20 |
| 2.4.1 Normativa europea..... | 21 |
| 2.4.2 Regulación española | 22 |
| 2.5 Ejemplos de pruebas..... | 23 |
| 2.6 Beneficios esperados en la implementación del vehículo autónomo en la sociedad..... | 23 |
| Capítulo 3. Análisis de ciclo de vida (ACV)..... | 25 |
| 3.1 Introducción análisis de ciclo de vida | 25 |
| 3.2 Historia análisis de ciclo de vida | 25 |
| 3.3 Metodología análisis de ciclo de vida | 26 |
| 3.4 Herramientas análisis de ciclo de vida | 29 |
| 3.5 Metodologías para análisis de ciclo de vida | 31 |
| 3.6 Bases de datos para análisis de ciclo de vida | 35 |
| Capítulo 4. Estudio análisis de ciclo de vida | 36 |
| 4.1 Definición del objetivo | 36 |
| 4.1.1 Alcance del estudio..... | 36 |
| 4.1.2 Unidad funcional..... | 37 |
| 4.1.3 Justificación herramienta utilizada..... | 37 |
| 4.1.4 Suposiciones | 38 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 4.2 | Análisis del inventario (LCD)..... | 38 |
| 4.2.1 | <i>Inventario del vehículo autónomo</i> | 38 |
| 4.2.2 | <i>Modelado en SimaPro del ciclo de vida del vehículo autónomo</i> | 42 |
| 4.2.3 | <i>Inventario del vehículo de combustión interna</i> | 42 |
| 4.2.4 | <i>Modelado en SimaPro del ciclo de vida del vehículo de combustión interna</i> | 43 |
| 4.3 | Evaluación del impacto e interpretación | 44 |
| 4.3.1 | <i>Identificación de las fases del ciclo de vida de un vehículo autónomo con mayor impacto ambiental usando diagramas de red</i> | 44 |
| 4.3.2 | <i>Identificación de las fases del ciclo de vida de un vehículo autónomo con mayor impacto ambiental usando diagramas de barras</i> | 48 |
| 4.3.3 | <i>Incremento del impacto ambiental por la incorporación de sistemas de conducción autónoma</i> | 49 |
| 4.3.4 | <i>Comparación de los impactos ambientales de un vehículo autónomo y uno de vehículo de combustión interna</i> | 53 |
| 4.3.5 | <i>Análisis de sensibilidad</i> | 56 |
| Capítulo 5. Presupuesto realización ACV | | 62 |
| Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros | | 65 |
| Capítulo 7. Referencias | | 69 |
| Anexo I | 74 | |
| Anexo II | 84 | |
| Anexo III | 86 | |
| | 88 | |
| | 89 | |
| Anexo IV | 90 | |

Índice de ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1 Límites del sistema de estudio (Elaboración propia) | 10 |
| Ilustración 2 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que posean un impacto superior al 5% en la categoría de impacto de calentamiento global (Elaboración propia) | 10 |
| Ilustración 3 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (8) | 12 |
| Ilustración 4 Fases del ACV basado en ISO 14040 (22) | 26 |
| Ilustración 5 Tipos de alcances aplicables en un estudio ACV (23) | 28 |
| Ilustración 6 Estructura metodología ReCiPe para ACV (26) | 32 |
| Ilustración 7 Límites del sistema de estudio (Elaboración propia) | 37 |
| Ilustración 8 Introducción de los procesos para la fabricación de un vehículo autónomo .. | 40 |
| Ilustración 9 Introducción procesos ciclo de vida vehículo autónomo (Elaboración propia) | 42 |
| Ilustración 10 Introducción procesos ciclo de vida vehículo de combustión interna a gasolina | 44 |
| Ilustración 11 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo en la categoría de impacto de calentamiento global (Elaboración propia) | 45 |
| Ilustración 12 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que posean un impacto superior al 5% en la categoría de impacto de calentamiento global (Elaboración propia) | 46 |
| Ilustración 13 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que posean un impacto en la categoría de impacto de toxicidad humana (Elaboración propia) | 47 |
| Ilustración 14 Impacto de cada etapa del ciclo de vida del vehículo autónomo según categorías de impacto (Elaboración propia) | 48 |
| Ilustración 15 Resultados comparación entre las fases de fabricación de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia) | 54 |
| Ilustración 16 Resultados comparación entre las fases de uso de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia) | 55 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 17 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia)..... | 56 |
| Ilustración 19 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo en la categoría de impacto de calentamiento global utilizando proceso de generación de electricidad de fuentes 100% renovables (Elaboración propia) | 58 |
| Ilustración 18 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo utilizando proceso de generación de electricidad de fuentes 100% renovables y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia) (Ver Ilustración 29 Anexo IV)..... | 58 |
| Ilustración 20 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo en la categoría de impacto de cambio climático en el caso que no se considera necesario un recambio de batería a lo largo de la vida útil del vehículo autónomo (Elaboración propia)..... | 59 |
| Ilustración 21 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que posean un impacto en la categoría de impacto de toxicidad humana en el caso de que no se considera necesario un recambio de batería a lo largo de la vida útil del vehículo autónomo (Elaboración propia)..... | 60 |
| Ilustración 22 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo aplicando los cambios propuestos en ambos análisis de sensibilidad (Elaboración propia)..... | 61 |
| Ilustración 23 Características licencia del software SimaPro seleccionada (30)..... | 62 |
| Ilustración 24 Características curso online del software SimaPro (30)..... | 63 |
| Ilustración 25 Impacto de cada etapa del ciclo de vida del vehículo autónomo según categorías de impacto (Elaboración propia) | 85 |
| Ilustración 26 Resultados comparación entre las fases de fabricación de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia)..... | 87 |
| Ilustración 27 Resultados comparación entre las fases de uso de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia)..... | 88 |
| Ilustración 28 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia)..... | 89 |
| Ilustración 29 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo utilizando proceso de generación de electricidad de fuentes 100% renovables y un vehículo de combustión interna..... | 91 |

Ilustración 30 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo aplicando los cambios propuestos en ambos análisis de sensibilidad (Elaboración propia).
..... 92

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Resultados impacto ambiental del ciclo de vida de un vehículo eléctrico autónomo para cada categoría de impacto (Elaboración propia) | 50 |
| Tabla 2 Resultados impacto ambiental del ciclo de vida de un vehículo eléctrico convencional para cada categoría de impacto (Elaboración propia) | 51 |
| Tabla 3 Presupuesto elaboración ACV (Elaboración propia) | 64 |

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO ACTUAL

La industria del automóvil ha ido evolucionando desde sus comienzos a finales del siglo XVII hasta la actualidad. Desde los primeros modelos propulsados por vapor, seguido del primer automóvil con motor de combustión interna (modelo Benz Patent-Motorwagen) hasta vehículos eléctricos. Aunque es necesario recalcar que el primer vehículo eléctrico fue inventado entre 1832 y 1839 por Robert Anderson. Gracias a los avances tecnológicos y con motivo de buscar alternativas menos contaminantes a los motores de combustión interna, estos últimos años se han incorporado los vehículos eléctricos en el panorama del mercado automovilístico. Los avances tecnológicos han contribuido de forma significativa a mejorar el confort, seguridad y eficiencia de los vehículos y convertirlos en máquinas prácticamente imprescindibles en la vida cotidiana de las personas. (1)

La industria del automóvil ha dado un paso todavía más ambicioso implementando y desarrollando la tecnología necesaria para crear vehículos autónomos. Estos son definidos por la Dirección General de Tráfico como: “vehículos de motor diseñados y construidos para desplazarse de manera autónoma durante determinados períodos de tiempo sin supervisión continuada por parte del conductor, pero respecto del cual se sigue necesitando su intervención en determinadas circunstancias” (2).

La autonomía en los vehículos se alcanza equipándolos con tecnologías que permitan visualizar el entorno por el que circulan, detectar obstáculos, otros vehículos y peatones, leer y respetar las señales de tráfico, mantener distancias de seguridad, así como ser capaces de detectar las líneas de carriles y bordes de las calzadas. Esto se consigue implementando equipos hardware, como sensores de ultrasonidos, radares, LiDAR (Light Detection and Ranging) y cámaras, y herramientas de sistemas de software, capaces de procesar la información recogida por los equipos hardware, como unidades de control con potentes procesadores, sistemas avanzados de control y machine learning. El conjunto de estos

sistemas hardware y software requeridos para conseguir un grado de autonomía en los vehículos se conoce como Automated Driving Functions (ADS). (2)

Se espera que esta revolución del sector automovilístico aporte beneficios en cuanto a seguridad vial, eficiencia, comodidad y medioambiente. La implementación de los vehículos autónomos en la Unión Europea podría contribuir a alcanzar el objetivo a 2050 de cero víctimas mortales en carretera, dado que se considera que el error humano es el responsable de más del 90% de los accidentes de tráfico y la conducción automatizada reduciría este riesgo. (2)

En cuanto al medioambiente, el sector del transporte forma parte de los principales responsables de la contaminación ambiental a nivel mundial. Debido fundamentalmente al consumo de combustible, emisiones de contaminación atmosférica dañando la calidad del aire y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) las cuales contribuyen al cambio climático. Concretamente en España el 30,7% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero son debidas a este sector, siendo el 28,4% debidas al transporte por carretera. (3)

Además, los vehículos con motor de combustión interna presentan un impacto medioambiental con la extracción de petróleo, ya que se trata de un proceso que consume altos valores de energía y lastima a los ecosistemas locales próximos, además del transporte posterior del combustible. (4)

Aunque los impactos ambientales pueden parecer verse reducidos con los vehículos eléctricos al no tener que quemar combustibles fósiles (gasolina y diésel) para su funcionamiento y que durante su conducción no generan emisiones directas, es cierto que la producción de vehículos tanto de motor de combustión interna como eléctricos tienen consecuencias ambientales negativas, sobre aguas subterráneas, suelos, ecosistemas acuáticos y terrestres, al generar un elevado porcentaje de residuos y contaminantes durante sus procesos de fabricación. Además del consumo de recursos naturales como pueden ser componentes de acero y plástico. (5)

Con la implementación de los vehículos autónomos se pretende, entre otros objetivos, generar un beneficio medioambiental. Eliminando el factor humano de la conducción, se espera que el sistema ADS conduzca de forma casi perfecta, respetando las velocidades límites establecida en cada zona, evitando excesos de velocidad que le obliguen a frenar o en otros casos a acelerar. Esta conducción eficiente permitiría reducir el consumo de la energía de la batería en cada viaje en coche. Por otro lado, la implementación de los vehículos autónomos en la sociedad puede contribuir a reducir la congestión urbana de las grandes ciudades al fomentar un tráfico de flujos constantes, reducir el número de vehículos necesarios en los hogares y fomentar la optimización del uso de estos implementando el modelo de movilidad de coche compartido “car sharing”. (6)

No obstante, el uso y desarrollo de herramientas de inteligencia artificial para los vehículos autónomos requerirán de elevados niveles de energía a consumir. Esto supondrá que se deban construir y crear más centros de procesamiento de datos. En la actualidad los centros de datos consumen el 2% de la electricidad mundial, y se espera que esta cifra se incremente en los próximos años. (7)

En este contexto en este Trabajo de fin de Máster presenta un estudio de los diferentes tipos de vehículos autónomos en función de su autonomía y tipo de motorización, incluyendo análisis de ciclo de vida utilizando herramientas de software específicas para ello.

1.2 MOTIVACIÓN

La implementación de los vehículos autónomos puede convertirse en un elemento clave para transformar el sector del transporte en un sector más sostenible. Esto supone una motivación a la hora de investigar los impactos ambientales y sociológicos que puede proporcionar esta tecnología al tratarse de uno de los principales retos y oportunidades del mercado automovilístico en los próximos años.

Además, dado el creciente protagonismo de las normativas europeas en materia ambiental y el creciente apoyo social a alternativas sostenibles, resulta crucial que el sector

del transporte trate de actualizarse desarrollando e investigando soluciones más eficientes y ecológicas que permitan encontrar un equilibrio entre el crecimiento de la movilidad y la reducción de su impacto ambiental.

Este trabajo permite estudiar en profundidad diferentes niveles y tipos de vehículos autónomos, así como sus beneficios y desafíos respecto al consumo energético, emisiones y salud pública. Igualmente, la posibilidad de comparar estos vehículos con los vehículos convencionales supone un enfoque de investigación interesante. Mediante este proyecto se tratará de promover un punto de vista responsable hacia la sostenibilidad.

Por otro lado, resulta una oportunidad para aprender a manejar herramientas software útiles para el desarrollo de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de modelos de vehículos (en este caso). Además de adquirir los conocimientos para el desarrollo de las fases principales que componen un ACV según la norma 14040 y 14044.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

- A continuación, se muestran los principales objetivos a desarrollar en la elaboración de este trabajo fin de máster.
 - Clasificar y analizar los vehículos autónomos según su grado de autonomía, estableciendo sus características y diferencias con respecto a los vehículos convencionales.
 - Evaluar los impactos ambientales y energéticos de los vehículos autónomos durante su ciclo de vida, esto tiene en cuenta emisiones a la atmósfera, consumo de energía, impacto en infraestructuras y la gestión de materiales críticos. Y comparar su desempeño frente a los vehículos convencionales.
 - Aprendizaje de herramientas de software útiles para la realización de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como SimaPro que permitan una evaluación cuantitativa del impacto ambiental de los vehículos autónomos.

1.4 METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto la metodología empleada se compone principalmente de tres partes. En una primera se han revisado estudios y documentación relativa a la automoción, especialmente de los vehículos autónomos. En paralelo se ha trabajado en la parte más práctica presentada en este proyecto que corresponde al desarrollo de un análisis de ciclo de vida de un vehículo autónomo, al principio fue necesario familiarizarse con el software de análisis de ciclo de vida para poder desarrollar el estudio realizado. La tercera parte corresponde con el desarrollo de la memoria.

Los recursos empleados a lo largo del proyecto se muestran a continuación:

- Literatura científica y académica, esto incluye artículos, estudios y trabajos universitarios.
- Herramientas de software de análisis de ciclo de vida, incluyendo SimaPro como herramienta clave para la evaluación del ciclo de vida.
- Fuentes bibliográficas y digitales, como páginas web, revistas científicas y libros especializados relevantes.
- Material académico complementario.

1.5 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Este proyecto busca alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) aprobados por la Asamblea General de Naciones Unidas en 2015. Esta iniciativa se conoce como *Agenda 2030* y está constituida por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Se considera que este trabajo podría contribuir a alcanzar de manera más directa a los objetivos: Salud y Bienestar (ODS número 3), Energía asequible y no contaminante (ODS número 7), Industria, Innovación e Infraestructura (ODS número 9), Ciudades y Comunidades Sostenibles (ODS número 11), Producción y Consumo responsables y Acción por el Clima (correspondiente a ODS número 13).



OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Ilustración 3 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (8)

A continuación, se explican de forma más concreta los objetivos mencionados y como este proyecto puede contribuir a alcanzarlos.

- **OD3 Salud y bienestar**

Este objetivo persigue mejorar la salud de la población, tratando de garantizar el acceso a la atención sanitaria para todas las personas. Entre las principales metas que persigue este objetivo se encuentra reducir el número de fallecimientos y heridos graves en accidentes de tráfico.

Se considera que este proyecto puede contribuir a impulsar alternativas del transporte que supongan un menor riesgo a accidentes de tráfico y motivar a la investigación a buscar alternativas seguras y sostenibles para la sociedad y el medio ambiente.

- **ODS 7 Energía asequible y no contaminante**

Este objetivo persigue impulsar una transición energética sostenible y justa. La transición energética puede provocar mayores desigualdades entre la población, es por ello por lo que este objetivo tiene en cuenta esta realidad y busca alcanzar el acceso a la energía a

toda la población. Entiende la necesidad del desarrollo de una energía sostenible sin comprometer a las generaciones futuras. (8)

En el desarrollo de este proyecto se considera que se puede contribuir en el impulso a la transición energética al analizar el consumo energético de los vehículos autónomos y su impacto en la transición hacia fuentes más limpias. Por otro lado, se considera un factor importante a estudiar y tener presente cómo puede impactar esta tecnología en la pobreza energética y tratar de evitar este riesgo.

- ODS 9 Industria, Innovación e Infraestructura

Este objetivo se centra en fomentar la sostenibilidad en industrias, la creación de infraestructuras sólidas y la innovación. Para ello se anima a que los países más desarrollados y empresas inviertan en investigación y desarrollo especialmente relacionados con avances tecnológicos que puedan contribuir a crear industrias como la del transporte a ser más sostenibles y seguras. (8)

Se considera que mediante este proyecto se está contribuyendo a crear una industria del sector de transporte más sostenible buscando modelos de conducción más eficientes a los actuales. Los vehículos autónomos pueden en un futuro convertirse en una pieza clave para conseguir un transporte eficiente ya que los viajes en estos vehículos pueden verse más optimizados.

- ODS 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles

Este ODS busca que las ciudades y comunidades sean un espacio seguro, inclusive y habitable para todas las personas. Entre otras metas se encuentran reducir el desarrollo de barrios marginales y mejorar los actuales, reducir la contaminación atmosférica, proteger a las personas especialmente a aquellas más vulnerables como personas de elevada edad, personas con discapacidad, mujeres y niños para que puedan desarrollar una vida tranquila, segura y saludable. (8)

La circulación de vehículos de combustión contribuye a la contaminación atmosférica y que por tanto pone en riesgo la salud de las personas. Se considera que la implantación

de nuevas modalidades de transporte más sostenibles podría contribuir de forma significativa a alcanzar este objetivo.

- ODS 13 Acción por el Clima

Este objetivo se considera de gran relevancia ya que aborda la lucha contra el cambio climático, el cual puede suponer un riesgo para la población mundial si no se toman medidas para reducirlo o evitarlo. El cambio climático surge principalmente debido a actividades antropogénicas y se ha comenzado a notar a través de un aumento en la temperatura media mundial de la Tierra, un aumento del nivel del mar y desastres naturales, lo cual ha provocado un aumento en tasas de mortalidad debido a desastres naturales como inundaciones, sequías, huracanes. Para hacer frente al cambio climático este objetivo pretende reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de al menos un 43 % para el año 2030 y generar cero emisiones contaminantes para el año 2050. (8)

Además de afectar a la calidad del aire, la industria del transporte contribuye a la emisión de contaminantes que contribuyen a fomentar el cambio climático. Los gases de efecto invernadero más relevantes corresponden con el dióxido de carbono CO₂, metano CH₄, óxido nitroso N₂O, vapor de agua H₂O y ozono O₃.

Es por ello similar a lo explicado en el ODS 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles, se considera que la implantación de los vehículos autónomos en ciudades de elevadas tasas de tráfico puede contribuir a optimizar el uso de vehículos y fomentar otras formas de movilidad más eficientes, que contribuyan a reducir las emisiones de contaminantes nocivos para el medio ambiente.

1.6 ESTRUCTURA

La estructura de este trabajo fin de máster (TFM) se compone de 6 capítulos.

Capítulo 1, incluye la introducción de los vehículos autónomos y una descripción de cuáles son los objetivos de este proyecto., motivación y alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En el Capítulo 2, se desarrolla sobre los vehículos autónomos, que niveles existen, que tecnologías se aplican y cómo se están implantando en la sociedad.

En el Capítulo 3, se describe la metodología del análisis de ciclo de vida, incluyendo las etapas que contiene, los softwares existentes, metodologías de cálculo y bases de datos para el desarrollo de análisis de ciclo de vida.

En el Capítulo 4, se realiza el análisis de ciclo de vida, explicando el objetivo del análisis, su alcance, la unidad funcional utilizada, el análisis de inventario, evaluación de impacto y observaciones.

En el Capítulo 5, se incluye un presupuesto del desarrollo que supondría realizar un análisis de ciclo de vida de un vehículo autónomo desde la perspectiva de una empresa.

El último capítulo corresponde a las Conclusiones y Trabajos Futuros, en el que se recogen las principales conclusiones de este proyecto.

Capítulo 2. VEHÍCULOS AUTÓNOMOS EN LA SOCIEDAD

2.1 DEFINICIÓN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Un vehículo autónomo se define como aquel que posee herramientas tecnológicas capaces de imitar las habilidades humanas de manejo a la conducción, permitiendo así la conducción del vehículo de forma autónoma sin la necesidad de intervención de una persona en un determinado tiempo. Alcanzar el nivel idílico de conducción completamente autónoma resulta un desafío importante, a lo largo de estos últimos años se han ido introduciendo equipos electrónicos que contribuyen a automatizar cada vez más los vehículos.

Los equipos electrónicos más comunes y empleados para la fabricación de vehículos con características de conducción autónoma corresponden a sensores, unidad de control electrónica a bordo y actuadores.

Los sensores son equipos electrónicos capaces de detectar magnitudes físicas o químicas y convertirlas en señales o pulsos electrónicos, convirtiéndolos así en elementos esenciales para la conducción autónoma al poder percibir el entorno y las circunstancias que rodean al vehículo en su movimiento. Entre los sensores integrados para adquirir un grado de automatización de un vehículo se encuentran las cámaras tanto delanteras como traseras, estas son las encargadas observar el exterior que rodea al vehículo y mantener su seguridad. Además de las cámaras, se integran sensores que poseen un sistema radar, empleados para medir distancias a través de ondas de radio y sensores de ultrasonidos. (9)

La unidad de control electrónico a bordo se refiere a la tecnología que permite identificar la ubicación actual del vehículo, programar el trayecto correcto por el que debe circular el coche hasta llegar a su destino y tener la capacidad de orientarse en cualquier tipo de circunstancia, esta tecnología se conoce como GPS. Se prevé que esta herramienta sea

capaz de gestionar situaciones con altos niveles de congestión de tráfico, actuando de forma instantánea adaptándose a la complejidad de la situación y buscando si es posible otras vías que permitan llegar al lugar de destino de forma segura y óptima. (9)

Los actuadores corresponden a una pieza clave de la electromecánica del vehículo, son responsables de transformar las órdenes establecidas por la unidad de control electrónico a bordo en acciones controladas que permitan la conducción del vehículo controlando y manteniendo entre otras cosas la dirección, sistemas de aceleración y de freno. Estos elementos pueden encontrarse en la mecánica del coche en forma de motores eléctricos, motores reductores y válvulas electromagnéticas. (9)

2.2 CLASIFICACIÓN VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

La Sociedad de Ingenieros de Automoción (SAE) establece seis diferentes niveles de autonomía. Siendo el nivel más bajo 0, donde se encuentran aquellos vehículos que no poseen ningún sistema complejo de ayuda a la conducción. Seguido se sitúa el nivel 1, en donde el vehículo posee un sistema de asistencia capaz de controlar la aceleración y desaceleración o de controlar la dirección, para poder clasificarse en este nivel el vehículo sólo debe poder realizar una de las dos tareas. Si el vehículo es capaz de controlar ambos sistemas de asistencia, entraría en la categoría de automatización parcial es decir, nivel 2. A continuación se sitúa el nivel 3, se caracteriza como automatización condicionada ya que requiere que el conductor responda a cualquier solicitud de intervención a pesar de que el sistema de automatización sea capaz de llevar a cabo la conducción autónoma del vehículo. El siguiente paso corresponde al nivel 4, que al igual que el nivel 3 el vehículo es capaz de realizar todas las tareas de conducción e incluso el sistema ADAS está capacitado a responder de forma correcta si el conductor no responde a una solicitud de intervención. Por último, se encontraría el nivel 5 que representa una automatización total, donde el vehículo autónomo posee todas las herramientas necesarias para llevar a cabo todas las tareas de conducción, hasta el punto de que se puede omitir la figura del conductor. (2)

2.3 TECNOLOGÍAS VEHÍCULOS AUTÓNOMOS

Los vehículos actuales incorporan Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor conocidos también como ADAS. Se trata de un conjunto de sistemas inteligentes capaces de fortalecer la seguridad del vehículo y de sus ocupantes y el entorno durante su la conducción del vehículo. Dependiendo de los sistemas integrados en el vehículo se alcanzará un nivel de automatización superior o inferior. Las empresas de vehículos han ido implementando algunos de estos sistemas inteligentes a lo largo de los últimos años en la fabricación de sus vehículos. Actualmente en Europa existe una normativa que obliga a los fabricantes de coches incorporar una serie de ADAS con el fin de garantizar la seguridad vial. (10)

A continuación, se describen algunos de los sistemas ADAS que se incorporan en los vehículos más actuales:

- Asistente inteligente de velocidad (ISA): encargado de ayudar a cumplir con los límites de velocidad de la vía por la que circula el vehículo. (10)
- Detector de marcha atrás (REV): avisa al conductor de la presencia de algún obstáculo cuando se activa la marcha atrás emitiendo un sonido o activando una luz. (10)
- Aviso de colisión frontal con detección de peatones y ciclistas (FCW+P+C): avisa al conductor del riesgo de una colisión frontal al detectar obstáculos (peatones y ciclistas) emitiendo un aviso acústico y óptico. (10)
- Sistema de motorización de ángulos muertos (BSM): encargado de detectar posibles colisiones con obstáculos como un vehículo o personas situadas en ángulos muertos. El sistema emite un aviso sonoro y óptico para avisar al conductor del riesgo. En caso de peligro alto este sistema puede ser capaz de modificar la dirección del vehículo o incluso detenerlo. (10)
- Frenado de emergencia urbano e interurbano (AEB): este sistema se activa cuando identifica un riesgo de colisión por alcance. El sistema emite un aviso acústico para avisar al conductor, si este no responde, el sistema se encargará de detener el vehículo realizando una frenada de emergencia. (10)

- Sistema de advertencia de abandono de carril (LDW): se encarga de supervisar que el vehículo se mantiene en el carril por el que circula. En caso de cambiar o salir del carril sin haber activado previamente el intermitente, el sistema emitirá un aviso sonoro para alertar al conductor. (10)
- Alerta de tráfico cruzado (RCTA): este sistema se activa en caso de riesgo de colisión con otro vehículo cuando el vehículo aparcado en batería realiza la maniobra de marcha atrás para incorporarse a la vía. En caso de alto riesgo de colisión el sistema emitirá un aviso sonoro y/o óptico, si el conductor no responde ante el aviso, este sistema puede llegar a activar los frenos. (10)
- Reconocimiento de señales de tráfico (TSR): se trata de un sistema capaz de leer las señales de tráfico que aparecen en la vía durante la conducción y avisar al conductor de aquellas situaciones que requieran especial precaución. (10)
- Sistema avanzado de mantenimiento de carril (LKA): este sistema detecta las líneas que delimitan el carril por el que circula el vehículo. Si se detecta que el vehículo se sale de alguno de los límites del carril, el sistema actuará sobre la dirección del vehículo para que se mantenga en el carril. (10)
- Sistema de advertencia de somnolencia y distracción (DDR): se encarga de enviar avisos al conductor ya sea a través de pictogramas como una taza de café en el salpicadero o con vibraciones en el volante para que mantenga la concentración en la conducción y en caso necesario animarle a realizar una parada. (10)
- Sistema de frenado de emergencia (ESS): este sistema avisa al conductor de que el vehículo que circula delante se encuentra realizando una frenada de emergencia y que por tanto también debe iniciar una frenada de emergencia que evite una colisión. (10)
- Sistema de frenada autónoma de emergencia con detección de peatones y ciclistas (AEB+P+C): este sistema funciona de manera que, si detecta un alto riesgo de colisión del vehículo con peatones o ciclistas, se activa de forma autónoma un frenado de emergencia que reduzca lo máximo posible el riesgo. (10)

El funcionamiento de los sistemas ADAS se consigue con la integración de diversos equipos electrónicos y de control. En primer lugar, los sensores actúan como la vista del vehículo, estos equipos corresponden a cámaras, radares, LiDAR, sensores de velocidad y sensores de detección de movimiento entre otros. La información captada por los sensores es enviada a las unidades de control electrónico (ECUs) que procesan la información recibida en tiempo real mediante algoritmos de inteligencia artificial. Una vez comprendida la situación, estos envían órdenes a los actuadores del vehículo para que ejecuten las acciones establecidas. Los actuadores del vehículo corresponden entre otros al control de aceleración del vehículo, el control de dirección asistida y la activación de los elementos de aviso al conductor como luces y señales acústicas. (10)

La integración de los sistemas ADAS en los vehículos permite alcanzar los niveles de automatización SAE 1 y 2, dado que el vehículo es capaz de realizar tareas concretas y de asistencia a la conducción, pero sigue siendo necesaria la presencia activa del conductor. Para alcanzar niveles SAE superiores donde no se requiera la intervención humana durante la conducción es necesario incluir sistemas más avanzados que perciban el entorno de forma completa, planificar rutas y adaptarlas dinámicamente en función de las condiciones de tráfico del momento, predecir comportamientos de otros usuarios en las vías y sean capaces de tomar decisiones de forma instantánea. En este sentido, se requieren algoritmos de inteligencia artificial capaces de imitar la conducción humana y que garanticen en todo momento la seguridad del vehículo, de los ocupantes y del resto de usuarios de la vía.

2.4 MARCO LEGAL

La implantación de los vehículos autónomos en la sociedad está condicionada, además de por la complejidad tecnológica que implican, por limitaciones legales. La regulación sobre la integración de la conducción autónoma en la sociedad debe abordar principalmente los siguientes aspectos: que la conducción autónoma sea segura, que en caso de incidente sepa asignar responsabilidades e incluya temas sobre protección de datos y ciberseguridad dado que los vehículos modernos cada vez están más conectados y este tipo de ataques puede generar un peligro severo para la sociedad. Para que las regulaciones

abarquen estas diferentes temáticas resulta esencial que los diferentes actores implicados se junten. Los principales actores corresponden a organismos de gobierno, fabricantes de vehículos, empresas tecnológicas implicadas en la fabricación, desarrollo y funcionamiento de los vehículos autónomos y organismos que gestionan el tráfico como la Dirección General del Tráfico (DGT) en España. (11)

2.4.1 *NORMATIVA EUROPEA*

A continuación, se detalla el marco normativo europeo actual en relación a la circulación de los vehículos autónomos en Europa:

- Reglamento (UE) 2019/2144, conocido como Reglamento General de Seguridad (GSR2). Se introdujo de forma gradual en julio de 2022 y desde 2024 los nuevos vehículos comercializados deben cumplir plenamente con el reglamento. La aplicación de este reglamento forma parte de la hoja de ruta de la Unión Europea de cumplir con el objetivo “Visión Cero”, cuya meta es alcanzar para 2050 cero muertes y lesiones graves en accidentes de tráfico. (12) Entre las obligaciones que establece el reglamento se encuentra la implementación obligatoria de sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS) como un sistema de frenado de emergencia autónomo, equipos como sensores y cámaras que detecten obstáculos cuando se realiza una maniobra de marcha atrás y se notifique de ello al conductor, sistemas capaces de monitorear el estado del conductor y notificarle una alerta por ejemplo en caso de pérdida de atención, asistencia a la conducción para mantenerse dentro de la vía, sistema de control de la velocidad del vehículo que mantenga su velocidad en los límites establecidos en la vía por la que circula, sistema que detecta si el conductor se encuentra bajo el efecto del alcohol y si es así no permite el arranque del vehículo y la introducción de una caja negra que pueda aclarar lo ocurrido en un accidente (13). Además, incluye indicaciones relacionadas con la protección a ciberataques. (13)
- Reglamento (UE) 2024/1689, Ley de Inteligencia Artificial (AI Act). Se trata de un marco que regula temas sobre la inteligencia artificial. Entró en vigor en agosto de

2024. La finalidad del reglamento es fomentar el desarrollo de una tecnología de confianza en Europa siempre y cuando asegure que la inteligencia artificial no suponga un peligro para la sociedad. El reglamento clasifica en 3 niveles los sistemas de inteligencia artificial en función del riesgo que puedan provocar. Los niveles corresponden a “prohibido” cuando se considera que el sistema de inteligencia artificial tratado supone un riesgo inaceptable para los derechos de las personas, “alto riesgo” cuando los sistemas de inteligencia artificial requieren de una regulación estricta y por último el nivel “bajo” que requieren de regulaciones menos estrictas (14). El reglamento establece que el sistema de conducción automatizada se ubica en el nivel de “alto riesgo”, por lo que la tecnología de inteligencia artificial implementada en un vehículo deberá cumplir de forma rigurosa con los estándares y evaluaciones que exige la ley. (14)

2.4.2 REGULACIÓN ESPAÑOLA

A continuación, se detalla la regulación española en relación con la circulación de los vehículos autónomos en España:

- Real Decreto legislativo 6/2015, recoge los requisitos necesarios para permitir la circulación de un vehículo, los requisitos para conducir un vehículo y las normativas de seguridad vial. (15)
- Programa Marco de Evaluación de la Seguridad y tecnología de Vehículos Automatizados conocido como programa ES-AV. Este programa pertenece al Real decreto legislativo 6/2015 y, es responsable de autorizar y supervisar las pruebas y ensayos realizados por vehículos autónomos en vías públicas. Los vehículos automatizados que pueden ser autorizados por este programa son del nivel SAE 2 al nivel SAE 5. (15)
- Anteproyecto de Ley de movilidad de la Comunidad de Madrid, se trata de una iniciativa de ley en fase de participación ciudadana, que hasta febrero de 2025 se podían hacer aportaciones a través del Portal de Participación. Este anteproyecto de ley, tiene como objetivo fomentar una movilidad sostenible y accesibles para toda la

Comunidad de Madrid y facilitar la introducción de nuevas tecnologías digitales en el sector del transporte como son los vehículos autónomos. (16)

2.5 EJEMPLOS DE PRUEBAS

Siguiendo el Programa Marco de Evaluación de la Seguridad y tecnología de Vehículos Automatizados, se van realizando diversas pruebas en vías públicas con vehículos autónomos. A continuación, se indican algunos de estos casos y sus resultados hasta el momento.

- **E-BUSKAR:** este proyecto se consistía en un autobús urbano autónomo en Leganés (Comunidad de Madrid). Su nivel de automatización correspondía a SAE 4 y estuvo operativo desde el 9 enero de 2025 al 28 de febrero de 2025. Recorrió en total 279,2 km y no se produjeron incidentes graves. (15)
- **ALSA:** este proyecto comenzó el 11 de febrero de 2025 y sigue en funcionamiento hasta el 10 de febrero de 2027. Este proyecto consiste en un minibús eléctrico (shuttle) con nivel de automatización SAE 4, que realiza una ruta en el Campus de Cantoblanco de la Universidad Autónoma de Madrid. Hasta el momento no se han producido incidentes graves. (15)

2.6 BENEFICIOS ESPERADOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL VEHÍCULO AUTÓNOMO EN LA SOCIEDAD

El crecimiento de la población en las ciudades ha dado lugar a que surja un desafío en relación con la movilidad urbana. El informe Cuadro de Indicadores de tráfico Global 2024, desarrollado por la empresa internacional INRIX dedicada a elaborar estudios sobre movilidad y recopilar datos de tráfico, indica que Madrid y Barcelona corresponden con las ciudades españolas con más congestión urbana. El informe estima que la ciudadanía de Madrid y Barcelona perdieron 40 horas y 41 horas respectivamente de media durante el 2024 en un atasco. Los atascos en las ciudades vienen principalmente producidos por la cantidad

de vehículos que circulan en ellas y porque la infraestructura de gran parte de las ciudades no está diseñada para gestionar altos volúmenes de flujos de vehículos. Por ejemplo, en la ciudad de Madrid entran diariamente a la ciudad alrededor de 800.000 vehículos y por encima de un millón de vehículos conducen diariamente por la M-30 (carretera de circunvalación de la ciudad de Madrid). (17)

En este sentido, se espera que la introducción de los vehículos autónomos en las ciudades contribuya a reducir el tráfico en las ciudades a través de la tecnología que implementan. Dado que se prevé que el número de accidentes en vías urbanas se reduzca al suprimir el factor humano, la conducción de los vehículos sea más eficiente, sea más segura para todos, se optimicen las rutas, ahorro de tiempo de buscar plaza de aparcamiento en la ciudad y fomente el uso compartido, conocido como “car sharing”, de vehículos autónomos lo cual reducirá el número de vehículos privados y la congestión de las vías urbanas. (18)

Capítulo 3. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

3.1 INTRODUCCIÓN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

La técnica de Análisis de Ciclo de Vida se utiliza para evaluar los impactos ambientales de un producto, proceso o actividad a lo largo de su ciclo de vida. Esta metodología permite identificar oportunidades que contribuyan a reducir impactos potencialmente negativos de las distintas etapas de ciclo de vida del producto, proceso o actividad. Además, es útil para comparar productos o procesos desde una perspectiva ambiental, aportar información de diseño de un producto para que sea más sostenible, obtener declaraciones ambientales de producto, aplicar los resultados para fines de marketing, crear procesos industriales o logísticos óptimos, comprobar que se cumplen con las normativas ambientales y fomentar la sostenibilidad. (19) (20)

La metodología de ACV está basada en:

1. Norma ISO 14040:2006 Gestión ambiental- Análisis del ciclo de vida- Principios y marco de referencia
2. Norma Internacional ISO 14044:2006 Gestión ambiental-Análisis del ciclo de vida- Requisito y directrices

El ciclo de vida de un producto incluye las etapas de obtención de materia prima, producción, uso, tratamiento final, reciclado y por último disposición final. Este conjunto de etapas de un producto se conoce como de la cuna a la tumba. (19)

3.2 HISTORIA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El análisis de ciclo de vida comenzó como un estudio desarrollado por el Midwest Research Institute para la empresa internacional Coca Cola. El objetivo del estudio era identificar las emisiones al ambiente y reducir el consumo de residuos de los procesos de

fabricación de la empresa. A medida que fueron pasando los años este tipo de estudio se empezó a utilizar de forma pública y a la vez perfeccionando, incluyendo balances de materia y energía y cuantificando los impactos de los procesos en diversas categorías ambientales. (21)

En 1993, la organización internacional dedicada al avance de la ciencia ambiental SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) estableció una metodología homogénea para la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida. Pocos años después la ISO (International Organization for Standardization), recogió la metodología de Análisis de Ciclo de Vida en la serie de normas ISO 14040. (21)

3.3 METODOLOGÍA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

La metodología ACV definida por la Norma ISO 14040 y 14044 se compone de cuatro fases que se muestran en la Ilustración 6:

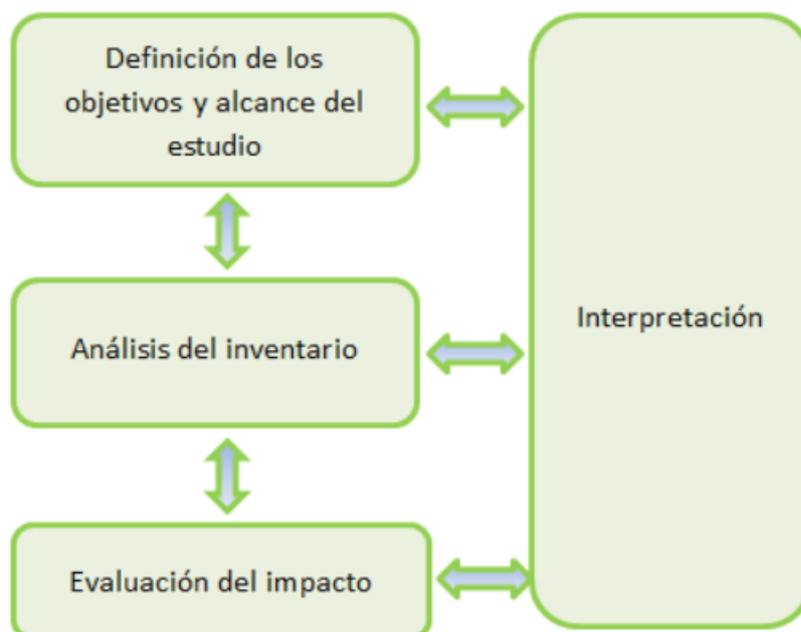


Ilustración 4 Fases del ACV basado en ISO 14040 (22)

- Definición del objetivo y el alcance del análisis, dependiendo del objetivo del estudio el nivel de precisión puede diferir de forma significativa. En esta fase se definen los límites, el grado de precisión que se desea y la unidad funcional del sistema. (19)
El alcance del estudio determina su nivel de amplitud y detalle, en función de los objetivos del estudio se seleccionará un nivel de alcance más reducido o amplio. (23)

Los tipos de alcance se presentan a continuación:

- De la puerta a la puerta (gate to gate): se trata de un tipo de alcance más reducido al considerar solo la fase de producción del producto.
- De la cuna a la puerta (cradle to gate): incluye en su alcance las fases de obtención de materias primas, transporte a la fábrica y procesos de fabricación (24).
- De la cuna a la tumba (cradle to grave): incluye las fases de obtención de materias primas, transporte a la fábrica, procesos de producción, distribución a clientes, fase de uso y la fase de fin de vida donde se realiza la gestión de los residuos al completar su vida útil (24).
- De la cuna a la cuna (cradle to cradle): engloba las mismas fases que el alcance de la cuna a la tumba, pero incorpora además la gestión de los residuos que se encuentran en el final de su vida útil y los reutiliza como materia primera para volver a ser introducidos en la primera fase del ciclo de vida (24).

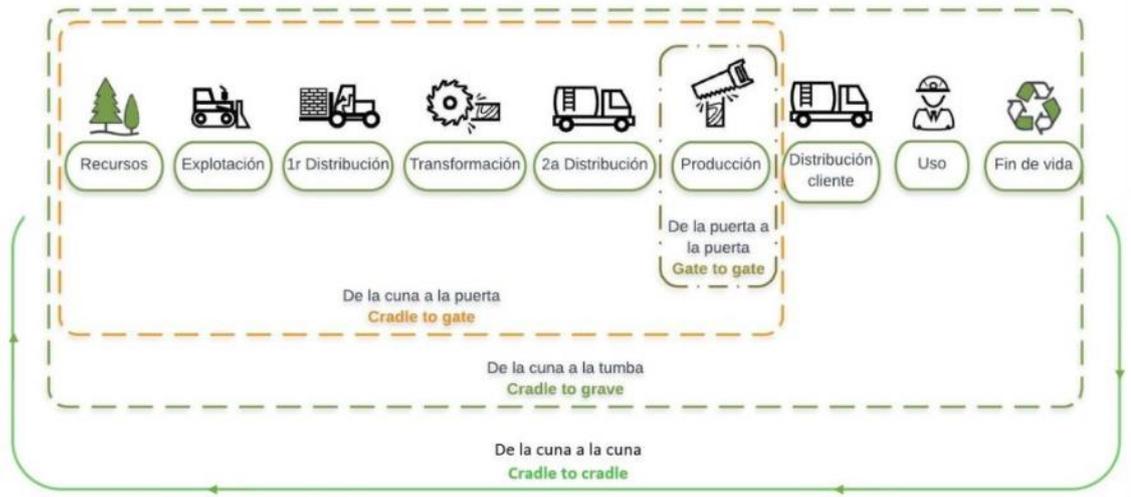


Ilustración 5 Tipos de alcances aplicables en un estudio ACV (23)

- Análisis de inventario del ciclo de vida (ICV): esta fase es responsable de identificar y cuantificar las entradas y salidas del sistema del producto. Las entradas corresponden a los consumos de materias primas y recursos utilizados y las salidas corresponden a la generación de residuos y contaminación de emisiones al aire, suelo y aguas. (24)
- Evaluación impacto del ciclo de vida (EICV): tras la obtención de los resultados obtenidos en el análisis de ciclo de vida, se evalúan los potenciales impactos ambientales del sistema. (24)
- Interpretación: se resumen los resultados obtenidos en las fases ICV o EICV o ambas. Este resumen sirve posteriormente para extraer las conclusiones del impacto ambiental del sistema. (19)

Es conveniente mencionar que las fases del análisis de ciclo de vida no deben entenderse como un proceso secuencial (25). El ACV se debe desarrollar de forma iterativa dado que para alcanzar una precisión y robustez de los resultados posiblemente resulte necesario realizar ajustes y mejoras de forma continua durante todo el proceso de estudio. Esta idea es representada mediante flechas que interconectan las distintas fases en la Ilustración 4.

3.4 HERRAMIENTAS ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Los softwares de análisis de ciclo de vida permiten modelar las distintas etapas del ciclo de vida de un producto, proceso o servicio con el objetivo de cuantificar sus impactos ambientales. Estas herramientas tienen acceso a bases de datos ambientales internacionalmente reconocidas y son capaces de aplicar diversas metodologías de evaluación ambientales.

A continuación, se presentan los principales softwares de ACV:

- **SimaPro:** su desarrollador es PRé Sustainability. Este software incluye bases de datos como Ecoinvent y Agri-footprint y la aplicación de diversas metodologías como ReCiPe, CML-IA, IPCC e ILDC. Tiene como principal limitación el coste elevado de licencia, pero por los aspectos que ofrece suele ser en trabajos de investigación y estudios complejos una de las herramientas seleccionadas para el desarrollo de ACV. SimaPro ofrece herramientas avanzadas que permiten una simulación precisa y fiable. Entre las herramientas más destacadas se encuentra la representación gráfica del modelo que permite visualizar los flujos de materiales y facilita la identificación de posibles incongruencias de los flujos en caso de que existan. Además, el software incluye la pestaña de comprobaciones que contribuye a garantizar la fiabilidad del modelo dado que identifica posibles materiales que hayan podido ser omitidos en el proceso de evaluación de impacto. Otra herramienta que mencionar es sobre el acceso que permite el software a la información de distintos modelos ajenos al proyecto lo que permite realizar comparaciones entre los procesos y por tanto es útil como herramienta para garantizar que los resultados obtenidos tienen sentido. Cabe mencionar también que permite modificar valores de parámetros para poder llevar a cabo análisis de sensibilidad y crear diferentes escenarios para el ACV del producto, proceso o servicio. (20)
- **GaBi:** su desarrollador es Sphera y actualmente se le reconoce también como LCA for Experts. Es una herramienta utilizada internacionalmente para el desarrollo de

ACV empleada por más de 1500 organización de diferentes países. Sus principales ventajas son que permite el desarrollo de modelados precisos y flexibles, realiza informes personalizados lo cual permite generar diversos tipos de informes según al público al que vayan dirigidos y es capaz de integrarse con otros softwares de sostenibilidad permitiendo así la obtención de resultados más completos de los estudios desde un punto de visto medioambiental. Tiene la limitación de que requiere una licencia de pago pero el desarrollador ofrece una prueba gratuita de 30 días para el que quiera explorar sus servicios. Este software incluye el acceso a las bases de datos Ecoinvent y GaBi DB (base de datos de Sphera) y dispone de algunas metodologías para la realización de ACV como CML y ReCipe. (20)

- **OpenLCA:** su desarrollador es GreenDelta y su principal característica es que se trata de un software de análisis de ciclo de vida de acceso gratuito que posee bases abiertas como AGRIBALYSE y otras como Ecoinvent pero que requieren licencia para su acceso. En cuanto a las metodologías se encuentran disponibles todas las principales como ReCiPe, CML-IA, ILDC y Eco-indicator 99. Destaca por sus capacidades de cálculo rápidas y fiables que permiten llevar a cabo ACV de forma óptima, por ofrecer un análisis detallado de los resultados lo que facilita el proceso de identificación de los potenciales factores responsables de los impactos ambientales y proporcionar un abanico amplio de opciones de visualización de resultados. Otra ventaja de este software es que permite importar y exportar datos y modelos ya existentes fomentando un espíritu de comunidad e intercambio de información entre los proyectos desarrollados por los usuarios. La principal limitación que puede surgir utilizando este software es que proporcione menor soporte técnico comparado con los dos softwares presentados anteriormente. Por lo descrito suele ser una herramienta adecuada para ser usada en instituciones educativas y PYMEs. (20)

3.5 METODOLOGÍAS PARA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

En el apartado de Herramientas Análisis de Ciclo de Vida se han mencionado algunas metodologías de evaluación de impactos como ReCiPe, CML e ILDC. Estas metodologías corresponden a estándares de la industria que convierten la información del inventario como pueden ser la generación de residuos, emisiones generadas y uso de recursos en indicadores de impacto ambiental. Como se mencionó en el apartado anterior, estas metodologías pueden estar disponibles en los diversos softwares de análisis de ciclo de vida.

A continuación, se describen dos de las principales metodologías:

- ReCiPe: Esta metodología comenzó a desarrollarse en el año 2008 por RIVM, Universidad de Radboud Nijmegen, Universidad de Leiden y PRé Sustainability, la última versión hasta la fecha es ReCiPe 2016 creada por el Instituto Nacional Neerlandés de Salud Pública y medio Ambiente (RIVM), Universidad de Radboud Nijmegen, Universidad de Noruega de Ciencia y Tecnología y PRé Sustainability. ReCiPe traduce datos, sobre la extracción de materias primas y las emisiones generadas de un ACV, en un número reducido de indicadores de impactos ambientales. (26) Esta metodología propone dos categorías de impactos ambientales que se conocen como:
 - Midpoint: corresponde a la categoría de impactos intermedios. Concretamente se han considerado 18 impactos ambientales pertenecientes a esta categoría como cambio climático, uso del agua, toxicidad humana (cancer). (26)
 - Endpoint: corresponde a la categoría de impactos de impactos final. Concretamente se han considerado 3 impactos ambientales pertenecientes a esta categoría que son daño a la salud humana, daño a los ecosistemas y daño a los recursos disponibles. (26)

En la Ilustración 8 se muestra la estructura de la metodología ReCiPe:

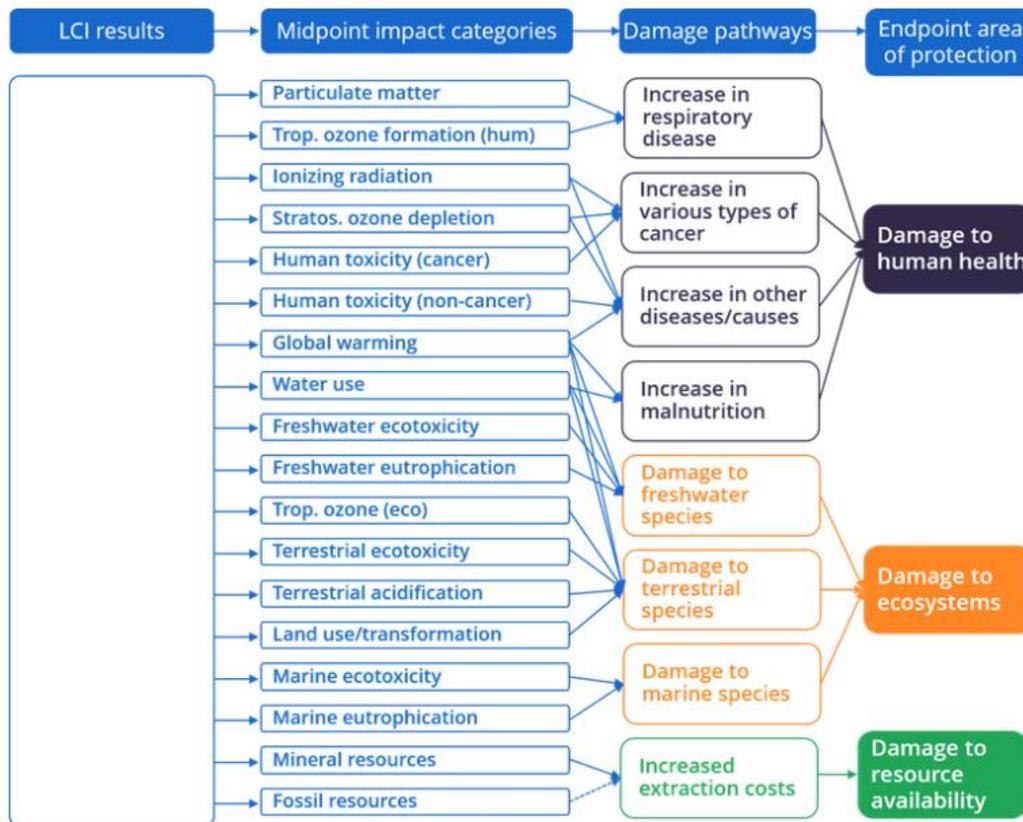


Ilustración 6 Estructura metodológica ReCiPe para ACV (26)

- CML-IA: El centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden propuso en el año 2001 la metodología CML-IA. Esta metodología de ACV basada en un punto de vista midpoint (impactos intermedios) introduce un set de categorías de impacto y una metodología de caracterización para ser aplicada Evaluación impacto del ciclo de vida (EICV). Esta metodología viene incluida en el software de ACV de SimaPro ofreciendo dos tipos de versiones. Una primera versión conocida como baseline que utiliza las diez categorías de impactos más relevantes y una segunda versión más extensa que incluye además otras categorías. (27)

A continuación, se describen las diez categorías de impacto principales:

- Agotamiento de recursos abióticos: esta categoría examina el impacto de la extracción de minerales y combustibles fósiles sobre el bienestar humano, salud y ecosistemas. Para su medición se utiliza un factor de agotamiento

abiótico, unidad utilizada es equivalentes de antimonio por kg extraído basado en la concentración de reservas y tasa de extracción. En la metodología utilizada se estudiará en dos categorías de impacto, agotamiento abiótico y agotamiento abiótico (combustibles fósiles). (27)

- Cambio climático (se calcula con el modelo IPCC): esta categoría evalúa el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero sobre la salud y estado de los ecosistemas. Expresa el potencial de calentamiento global a 100 años (GWP100) utilizando las unidades de kg CO₂ equivalente por kg emitido. (27)
- Agotamiento de la capa de ozono estratosférico (se calcula con el modelo WMO): esta categoría representa el agotamiento del ozono en la estratosfera que provoca que la radiación ultravioleta se incremente en el planeta Tierra. Para ello utiliza como unidad de medida kg equivalente de CFC-11 por kg de emisión. El CFC-11 (tricloro-fluorometano) es una de las sustancias más perjudiciales para la capa de ozono. (27)
- Toxicidad humana (se calcula con el modelo USES-LCA): esta categoría examina aquellas sustancias tóxicas emitidas que pueden afectar a la salud humana. La unidad de medida utilizada es equivalente de 1,4-diclorurobenceno por kg de emisión. El 1,4-diclorurobenceno es considerado cancerígeno para las personas según la Agencia de protección Ambiental (EPA). (27)
- Ecotoxicidad acuática de agua dulce (se calcula con el modelo USES-LCA): esta categoría representa los impactos que tienen las emisiones contaminantes sobre los ecosistemas de agua dulce. El Potencial de Ecotoxicidad (FAETP) se mide en equivalentes de 1,4-diclorobenceno por kg de emisión. El 1,4-diclorurobenceno es considerado tóxico para ecosistemas acuáticos. (27)

- Ecotoxicidad marina: esta categoría representa los impactos que tienen las emisiones contaminantes sobre los ecosistemas marinos. El Potencial de Ecotoxicidad (FAETP) se mide en equivalentes de 1,4-diclorobenceno por kg de emisión. El 1,4-diclorobenceno es considerado tóxico para ecosistemas marinos. (27)
- Ecotoxicidad terrestre: esta categoría representa los impactos que tienen las emisiones contaminantes sobre los ecosistemas terrestres. El Potencial de Ecotoxicidad (FAETP) se mide en equivalentes de 1,4-diclorobenceno por kg de emisión. El 1,4-diclorobenceno es considerado tóxico para ecosistemas terrestres. (27)
- Formación de foto-oxidantes: esta categoría evalúa la generación de sustancias reactivas que su emisión puede generar impactos ambientales perjudiciales en la salud de las personas y los estados de los ecosistemas. Un ejemplo de foto-oxidante sería el ozono troposférico (tipo de contaminante secundario). Para evaluar el impacto de esta categoría se utiliza el potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP) que se mide en kg equivalentes de etileno por kg de emisión. (27)
- Acidificación: esta categoría evalúa la generación de sustancias de carácter acidificantes que tienen impacto dañino en el estado de suelos, ecosistemas y acuíferos. Para evaluar el impacto de esta categoría se utiliza el potencial de acidificación (AP) que se mide en kg equivalentes SO₂ por kg de emisión. (27)
- Eutrofización: esta categoría evalúa el proceso ambiental de la eutrofización generado por el exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) el cual provoca un desequilibrio ecológico. Para evaluar el impacto de esta categoría se utiliza

el potencial de nitrificación (NP) que se mide en kg equivalentes PO₄ equivalente por kg de emisión. (27)

3.6 BASES DE DATOS PARA ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Para el desarrollo de un Análisis de Ciclo de Vida es conveniente disponer del acceso a una base de datos. En este apartado describen algunas de las bases de datos para software de ACV más utilizadas.

- **Ecoinvent:** se creó en Suiza y tiene la ventaja de que ofrece por encima de 18.000 procesos de diferentes áreas ya sea agricultura, transporte, materiales o energía entre otros. Además, se trata de una base de datos compatible con varios softwares como pueden ser SimaPro, GaBi o openLCA.
- **Agri-footprint:** a diferencia de Ecoinvent, esta base de datos es específica para el sector de la agricultura y alimentación. Como ecoinvent también es compatible con varios softwares de LCA.
- **GaBi Database:** al igual que Ecoinvent, tiene la ventaja de proporcionar un abanico variado de procesos de diversos sectores. Tiene la desventaja de que se trata de una base de datos específica al software de ACV GaBi, por lo que resulta incompatible con otros softwares de ACV.

Capítulo 4. ESTUDIO ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

4.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO

Este estudio tiene como finalidad identificar los impactos ambientales debidos al ciclo de vida de un vehículo con características de conducción autónoma, siguiendo la norma ISO 14040 e ISO 14044 que establece la metodología a seguir para el desarrollo de un Análisis de Ciclo de Vida. Mediante este estudio se pretende identificar que procesos, materiales, qué equipos que forman parte del ciclo de vida de un vehículo autónomo poseen mayor impacto ambiental y en que aspecto desde un punto de vista ambiental esta nueva tecnología difiere de los vehículos convencionales de combustión interna.

4.1.1 ALCANCE DEL ESTUDIO

El alcance escogido en la elaboración de este análisis de ciclo de vida sigue un enfoque parcial de la cuna a la tumba (cradle-to-grave). Se incluyen todas las etapas de extracción de materiales, fabricación del vehículo (considera que incluye la entrega a cliente), fase de uso, fase de mantenimiento hasta fase de fin de vida que incluye el desmantelamiento de la carrocería. Sin embargo, no se ha incluido en la fase de fin de vida el análisis de la gestión de la batería y otros equipos electrónicos debido a la falta de datos disponibles, aunque se reconoce que su inclusión podría aportar un impacto ambiental significativo.

En la Ilustración 9, se representan los límites elegidos para el análisis de ciclo de vida del proyecto. Dentro de los límites del sistema se encuentran las fases que representan el enfoque de la cuna a la tumba y la conexión del sistema con el exterior viene dada por la entradas y salidas al mismo. Como entradas al sistema se encontrarían las materias primas necesarias para la fabricación del vehículo y la energía necesaria en los diferentes procesos ubicados en el sistema. Mientras que como salidas al sistema se encuentran emisiones

contaminantes a la atmósfera, suelo y medios acuáticos, residuos sólidos y equipos para ser posteriormente reciclados.

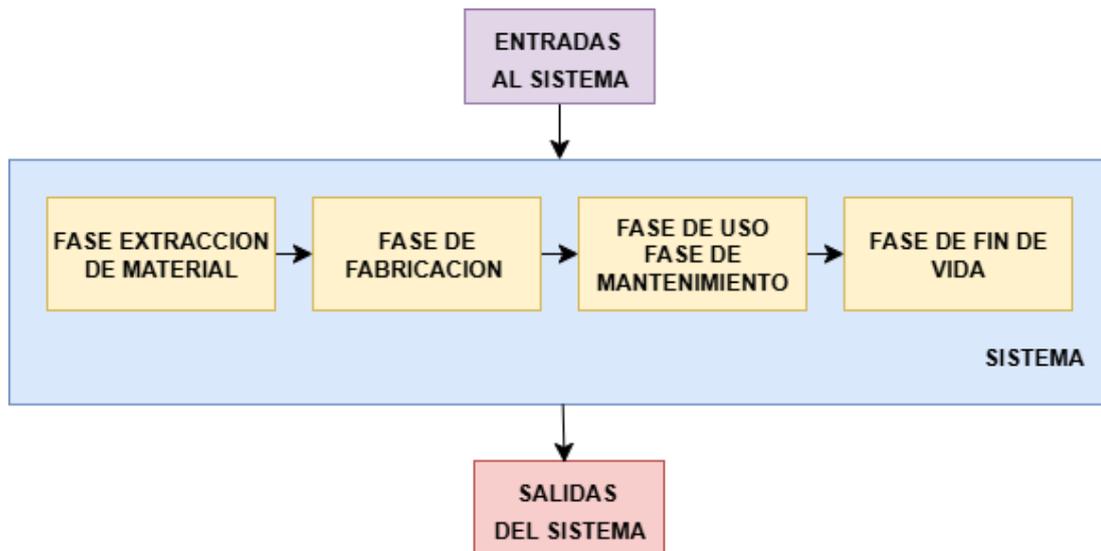


Ilustración 7 Límites del sistema de estudio (Elaboración propia)

4.1.2 UNIDAD FUNCIONAL

Para este estudio de análisis de ciclo de vida sobre los vehículos autónomos se ha escogido como unidad funcional 1 km recorrido. La unidad funcional sirve de base de cálculo para el desarrollo de los balances de materia y energía y facilita las comparaciones de impactos ambientales con otras tecnologías. (28)

4.1.3 JUSTIFICACIÓN HERRAMIENTA UTILIZADA

Para la elaboración de este proyecto se ha elegido emplear el software de ACV de SimaPro. Esta decisión viene respaldada por diversos motivos:

- Ofrece herramientas avanzadas que permiten una simulación precisa y fiable (en el Capítulo 3 Análisis de Ciclo de Vida se detallan de forma más específica estas herramientas avanzadas).

- Es compatible con la base de datos Ecoinvent la cual corresponde con la que se quiere utilizar. Se selecciona Ecoinvent dado que incluye amplitud de procesos de diferentes categorías como sobre materiales, transporte y energía que son necesarias para el desarrollo del proyecto.
- SimaPro permite aplicar la metodología de análisis de resultados elegida. En este caso se ha decidido utilizar la metodología CML-IA.
- La Universidad posee una licencia con este software para ser usada en este tipo de proyectos.

4.1.4 SUPOSICIONES

Para el desarrollo de este análisis de ciclo de vida se han asumido los siguientes aspectos:

- La vida útil seleccionada para el vehículo autónomo a estudiar es de 150.000 km recorridos.
- El vehículo autónomo estudiado, se asume que se trata de un vehículo eléctrico con características que lo convierten en un vehículo con autonomía de nivel 3.

4.2 ANÁLISIS DEL INVENTARIO (LCI)

A continuación, se muestran los procesos introducidos en cada una de las fases consideradas en el estudio. No se detallan en profundidad las entradas (extracción de materias primas) y salidas de cada uno de los procesos dado que son externas, si bien se incluyen el Anexo I la información técnica de cada proceso utilizado.

4.2.1 INVENTARIO DEL VEHÍCULO AUTÓNOMO

4.2.1.1 Inventario de la fase de fabricación del vehículo autónomo

- Producción de vehículo eléctrico sin batería: Se ha utilizado el proceso de la base de datos Ecoinvent v5.3 “*Passenger car, electric, without battery {GLO}*”. Este proceso incluye la producción del vehículo sin batería. La producción del vehículo en el proceso está compuesta por la producción de la carrocería (Glider) y la producción

del motor eléctrico y transmisión (Drivetrain). El proceso incluye también emisiones, energía, materiales e infraestructura requeridas en la fabricación y el desmontaje manual al final de la vida útil y los residuos generados en el desmontaje. Es conveniente aclarar que este proceso no abarca la fase de uso del vehículo.

- Producción de batería de ion-litio tipo LFP: Se ha utilizado el proceso de la base de datos Ecoinvent “*Battery, Li-ion, rechargeable, prismatic {RoW}*”. Este proceso modela la fabricación de 1 kg de batería Li-ion tipo LFP, el sistema representa un pack de 203 kg con 23,5 kWh, compuesto por 137 celdas prismáticas (3,6V-46 Ah). Este proceso incluye las entradas de materiales y componentes necesarios para la fabricación de la batería, la producción de las baterías y la infraestructura necesaria durante el proceso.
- Componentes electrónicos activos no especificados: Se ha utilizado el proceso de la base de datos Ecoinvent “*Electronic component, active, unspecified {GLO}*” para representar la fabricación de los componentes de sensores, radares, cámaras y circuitos electrónicos utilizados en los vehículos autónomos. Se ha utilizado este proceso en el estudio dado que era el proceso en la base de datos más representativo para la fabricación de componentes electrónicos como sensores, radares, cámaras y circuitos electrónicos.
- Sistema de alta tensión del sistema de gestión de batería: Se ha utilizado el proceso de la base de datos Ecoinvent “*High voltage system, for Li-ion battery {GLO}*” para representar el proceso de fabricación del sistema de gestión de una batería de ion-litio. Es necesario incluir este equipo en la fabricación del vehículo autónomo dado que gestiona la energía entre módulos, proporciona protección a circuitos de alto voltaje, protege de cortocircuitos y sobrecargas y puede hasta servir de alimentación a otros equipos instalados en el vehículo como sensores y unidades de procesamiento.

- Placa de circuito impresa montada: Se ha utilizado el proceso de la base de datos Ecoinvent “*Printed wiring board, for power supply unit, desktop computer, Pb free {GLO}*” para representar una placa de circuito impreso montada que suele estar incluida en sistemas electrónicos de los vehículos autónomos. En la base de datos no existe hasta la fecha un proceso específico de estos equipos para vehículos por lo que se ha tomado este dado que es el más representativo existente hasta el momento.
- Circuitos integrados de tipo lógico (microchips): Se ha utilizado el proceso de la base de datos Ecoinvent “*Integrated circuito, logic type {GLO}*” para representar la fabricación de sistemas de inteligencia artificial, procesadores lógicos, chips de control y otros equipos electrónicos requeridos para alcanzar el nivel de autónomo seleccionado para el vehículo autónomo.

En la pestaña de Etapas de producto en el software SimaPro, concretamente en el apartado de montaje se ha creado un montaje específico que represente el proceso global de la fabricación de un vehículo autónomo. En este montaje se incluyen los procesos mencionados de los diferentes componentes necesarios para obtener un vehículo autónomo introduciendo su valor en kg (representación) correspondiente. En la Ilustración 8 se muestran los valores asignados a cada componente o conjunto de elementos:

| Editar montaje "Fabricacion vehiculo autonomo" | | | | |
|--|------------|------------|----|------------|
| Entrada/salida | Parámetros | | | |
| Nombre | Estado | Comentario | | |
| Fabricacion vehiculo autonomo | Ning. | | | |
| Materiales/Ensamblajes | | | | |
| Battery, Li-ion, LFP, rechargeable, prismatic [RoW]] battery production, Li-ion, LFP, rechargeable, prismatic Cut-off, S | | 478 | kg | Indefinido |
| Electronic component, active, unspecified [GLO]] electronic component production, active, unspecified Cut-off, S | | 10 | kg | Indefinido |
| High voltage system, for Li-ion battery [GLO]] high voltage system production, for Li-ion battery Cut-off, S | | 30 | kg | Indefinido |
| Integrated circuit, logic type [GLO]] integrated circuit production, logic type Cut-off, S | | 2 | kg | Indefinido |
| Printed wiring board, for power supply unit, desktop computer, Pb free [GLO]] printed wiring board production, for power supply unit, desktop computer, Pb free Cut-off, S | | 3 | kg | Indefinido |
| (Insertar línea aquí) | | | | |
| Procesos | | | | |
| Passenger car, electric, without battery [GLO]] passenger car production, electric, without battery Cut-off, S | | 1234 | kg | Indefinido |

Ilustración 8 Introducción de los procesos para la fabricación de un vehículo autónomo

(Elaboración propia)

4.2.1.2 Inventario de la fase de uso del vehículo autónomo

- Consumo de electricidad en la fase de uso: Para simular la fase de uso de un vehículo autónomo, se utiliza el proceso de la base de datos Ecoinvent “*Electricity low voltaje {ES}| market for electricity*”. El consumo de electricidad en kWh (valor introducido considerando la unidad funcional) representa el consumo de electricidad de un vehículo eléctrico y el consumo adicional que supone un vehículo autónomo nivel 3. Tras examinar diversas publicaciones científicas sobre estudios de los vehículos autónomos, se ha introducido como consumo electricidad (kWh) por km 0,17716 kWh/km (29).

4.2.1.3 Inventario de la fase de mantenimiento del vehículo autónomo

Para modelar la fase de mantenimiento del vehículo autónomo durante su vida útil se han utilizado dos procesos:

- Mantenimiento del vehículo eléctrico: El proceso de la base de datos de Ecoinvent “*Maintenance, Passenger car, electric, without battery {GLO}*”. Este proceso cubre las necesidades de mantenimiento y repuesto de equipos por desgaste a lo largo de la vida útil del vehículo eléctrico.
- Mantenimiento de los equipos electrónicos adicionales: Dado que el proceso de mantenimiento anterior solo cubre la parte del mantenimiento de un vehículo eléctrico, se ha creado un proceso que incluye los equipos de repuesto que permiten la conducción autónoma (como sensores y radares) y una batería de recambio. Se ha asumido que, a lo largo de la vida útil del vehículo autónomo, será necesario realizar un reemplazo de la batería.

4.2.1.4 Inventario de la fase fin de vida del vehículo autónomo

Para esta fase, no se introduce específicamente un proceso que corresponda al desmantelamiento del vehículo dado que el proceso de fabricación del vehículo utilizado “*Passenger car, electric, without battery {GLO}*”, incluye el desmantelamiento de este. Lo

que no se va a incluir en el modelado de SimaPro por falta de datos, es la gestión de la batería y resto de equipos electrónicos adicionales.

4.2.2 MODELADO EN SIMAPRO DEL CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO AUTÓNOMO

Para modelar el ciclo de vida del vehículo autónomo en SimaPro, se han considerado las etapas de fabricación, uso y mantenimiento. Importante hay que aclarar que la etapa de fabricación incluye procesos que tienen en consideración el desmantelamiento de algunas partes del vehículo y que la etapa de mantenimiento se compone de un proceso de mantenimiento específico para vehículos eléctricos y un proceso de mantenimiento adicional considerando repuestos para la batería y los equipos electrónicos adicionales.

Para poder integrar las tres etapas (fabricación, uso y mantenimiento) en un único sistema, se ha normalizado cada etapa a la unidad funcional correspondiente a 1 km recorrido, tomando como base una vida útil del vehículo de estudio de 150.000 km.

| Nombre | Estado | Comentario | | | | | |
|---|----------|------------|--------------|--------------|-----|-----|------------|
| Ciclo de Vida vehiculo autonomo | Ning. | | | | | | |
| Montaje | Cantidad | Ud. | Distribución | DS^2 or 2*DS | Mín | Máx | Comentario |
| Fabricacion vehiculo autonomo | 6,67E-6 | p | Indefinido | | | | |
| Procesos | | Cantidad | Ud. | Distribución | | | |
| Electricity, low voltage [ES] market for electricity, low voltage Cut-off, S | | 0,177 | kWh | Indefinido | | | |
| Maintenance, passenger car, electric, without battery [GLO] market for maintenance, passenger car, electric, without battery Cut-off, S version 2 | | 6,67E-6 | p | Indefinido | | | |
| Mantenimiento equipos VA | | 0,00333333 | kg | Indefinido | | | |
| (Insertar línea aquí) | | | | | | | |

Ilustración 9 Introducción procesos ciclo de vida vehículo autónomo (Elaboración propia)

4.2.3 INVENTARIO DEL VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA

Simultáneamente al desarrollo de un modelo de ciclo de vida de un vehículo autónomo, se crea un modelo de ciclo de vida de un vehículo convencional de combustión interna a gasolina del mismo tamaño con el vehículo eléctrico autónomo para poder hacer comparaciones en la fase de análisis de impactos.

4.2.3.1 Inventario de la fase de fabricación del vehículo de combustión interna

El proceso utilizado de la base de datos Ecoinvent corresponde con “*Passenger, car, petrol/natural gas {GLO}*”, que representa la producción de un vehículo de combustión

interna a gasolina cuyo peso asignado es de 1234kg. El proceso incluye los materiales de producción, las emisiones generadas durante el proceso y la infraestructura empleada. El proceso utilizado incluye el desmantelamiento del vehículo al final de la vida útil.

4.2.3.2 Inventario de la fase de uso del vehículo de combustión interna

Para simular la fase de uso de un vehículo combustión interna, se utiliza el proceso de la base de datos Ecoinvent “*Transport, passenger car, EURO 5 {RER}*”. Este proceso es específico para simular el uso de un vehículo de combustión interna. Calcula los impactos ambientales por km recorrido por pasajero en condiciones normales en Europa.

4.2.3.3 Inventario de la fase de mantenimiento del vehículo de combustión interna

Para modelar la fase de mantenimiento del vehículo de combustión interna durante su vida útil se ha utilizado el proceso de la base de datos de Ecoinvent, “*Passenger car maintenance {GLO}*”. Este proceso cubre las necesidades de mantenimiento y repuesto de equipos por desgaste a lo largo de la vida útil del vehículo de combustión interna.

4.2.3.4 Inventario de la fase fin de vida del vehículo de combustión interna

Para esta fase, no se introduce específicamente un proceso que corresponda al desmantelamiento del vehículo dado que el proceso de fabricación del vehículo utilizado “*Passenger, car, petrol/natural gas {GLO}*” incluye el desmantelamiento del vehículo.

4.2.4 MODELADO EN SIMAPRO DEL CICLO DE VIDA DEL VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA

Equivalente al modelado del vehículo autónomo, para modelar el ciclo de vida del vehículo de combustión interna en SimaPro, se han considerado las etapas de fabricación, uso y mantenimiento. Importante hay que aclarar que la etapa de fabricación incluye procesos que tienen en consideración la extracción de materias primas y el desmantelamiento del vehículo.

Para poder integrar las tres etapas (fabricación, uso y mantenimiento) en un único sistema, se ha normalizado cada etapa a la unidad funcional correspondiente a 1 km recorrido, tomando como base una vida útil del vehículo de estudio de 150.000 km.

| Editar ciclo de vida 'Ciclo de vida vehiculo combustion interna' | | | | | | | |
|---|----------|------------|--------------|--------------|-----|-----|------------|
| Entrada/salida | | Parámetros | | | | | |
| Nombre | Estado | Comentario | | | | | |
| Ciclo de vida vehiculo combustion interna | Ning. | | | | | | |
| Montaje | Cantidad | Ud. | Distribución | DS*2 or 2*DS | Mín | Máx | Comentario |
| Fabricación vehiculo combustion interna | 6,67E-6 | p | Indefinido | | | | |
| Procesos | | | | | | | |
| | Cantidad | Ud. | Distribución | | | | |
| Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 [GLO] market for transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 Cut-off, S | 1 | km | Indefinido | | | | |
| Passenger car maintenance [GLO] market for passenger car maintenance Cut-off, S | 6,67E-6 | p | Indefinido | | | | |

Ilustración 10 Introducción procesos ciclo de vida vehículo de combustión interna a gasolina (Elaboración propia)

4.3 EVALUACIÓN DEL IMPACTO E INTERPRETACIÓN

En este apartado de evaluación del impacto se incluyen los resultados obtenidos del modelado en SimaPro. La evaluación se ha llevado a cabo empleando la metodología empleada es CML-IA baseline, la cual permite convertir datos del inventario en un conjunto de categorías de impacto ambiental. Como se explicó anteriormente, este conjunto está formado por 10 categorías de impacto.

4.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO CON MAYOR IMPACTO AMBIENTAL USANDO DIAGRAMAS DE RED

Para ilustrar el impacto ambiental que tiene cada proceso del sistema se utilizan los diagramas de red (network diagrams). Este diagrama resulta útil para mostrar cómo están conectados entre sí los diferentes procesos del sistema, además, facilita la identificación de los procesos críticos para cada categoría de impacto. Cada proceso viene representado por un nodo y las flechas que unen los nodos varían su grosor en función del impacto que tiene cada proceso. Aunque el software de SimaPro permite obtener los diagramas de red de cada categoría de impacto, en este trabajo se incluyen únicamente los diagramas correspondientes a las categorías de impacto: calentamiento global y toxicidad humana.

A continuación, se muestra la Ilustración 11 representa la contribución de los procesos dentro del ciclo de vida del vehículo autónomo en el impacto de calentamiento global.

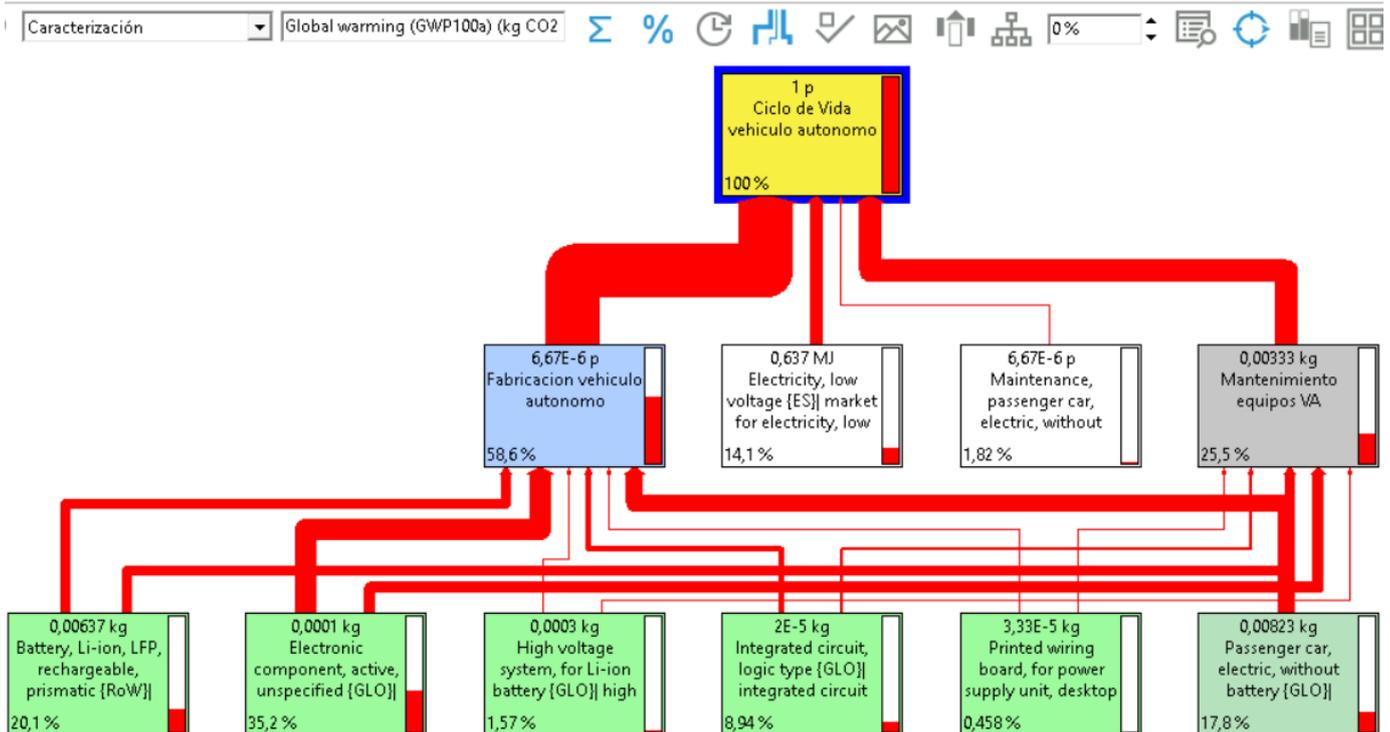


Ilustración 11 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo en la categoría de impacto de calentamiento global (Elaboración propia)

En la Ilustración 11, se han incluido todos los procesos considerados en el sistema de ciclo de vida de un vehículo autónomo. En la Ilustración 12, representa lo mismo, pero incluyendo únicamente los procesos que posean más de un 5% de impacto en la categoría de impacto cambio climático.

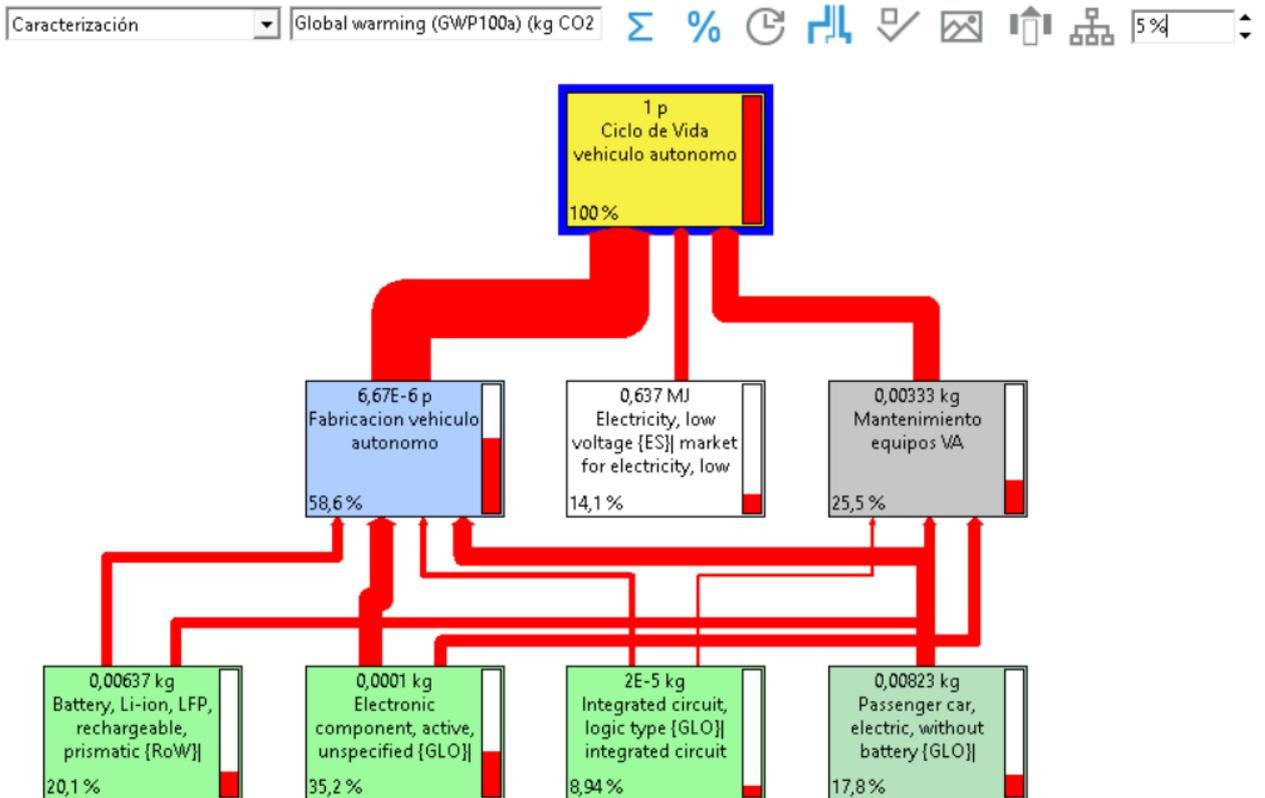


Ilustración 12 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que posean un impacto superior al 5% en la categoría de impacto de calentamiento global (Elaboración propia)

Como puede observarse en la Ilustración 12 la etapa con mayor impacto en la categoría de calentamiento global viene dada por la fabricación del vehículo autónomo representando un 58,6% de total, seguido del mantenimiento de los equipos electrónicos adicionales para adquirir el nivel de autonomía SAE 3 para el vehículo. Entre todos los procesos incluidos en el diagrama red, el proceso de fabricación de componentes electrónicos activos destaca como el principal contribuyente al impacto asociado al calentamiento global. Esto tiene sentido teniendo en cuenta que la producción de componentes electrónicos activos se caracteriza por requerir un alto consumo energético en procesos de extracción de metales y de su posterior procesamiento.

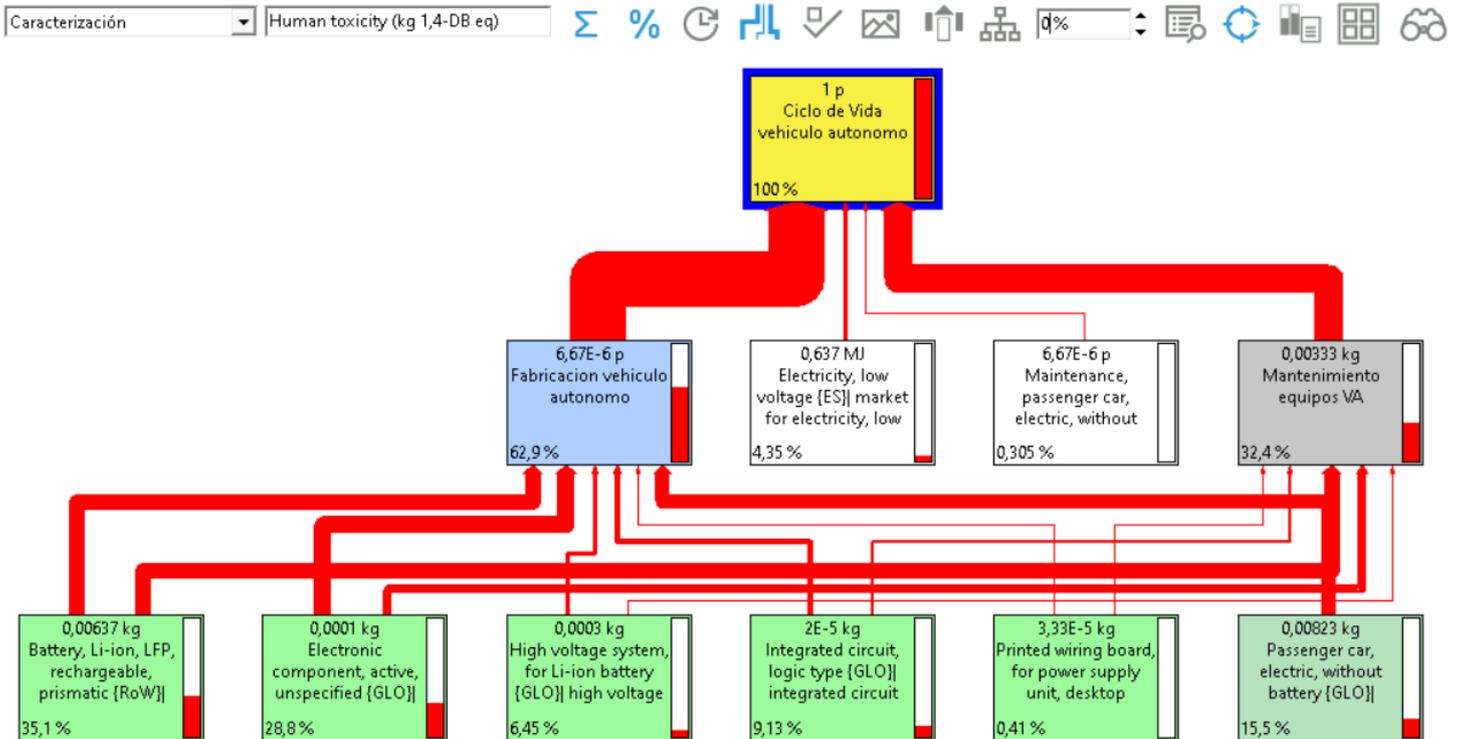


Ilustración 13 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que posean un impacto en la categoría de impacto de toxicidad humana (Elaboración propia)

La Ilustración 13 refleja el caso de cómo afectan los procesos incluidos en el sistema de ciclo de vida del vehículo autónomo en la categoría de impacto de toxicidad humana. En este caso se observa igualmente que la etapa de fabricación del vehículo se mantiene como la etapa con mayor impacto con respecto a la de uso del vehículo (consumo de electricidad) y mantenimiento, pero el proceso de fabricación de componentes electrónicos activos no es el único principal responsable sobre el impacto de toxicidad humana. En este caso el impacto de toxicidad humana es principalmente causado por la producción de la batería de iones de litio, componentes electrónicos activos y el proceso de fabricación de vehículo eléctrico sin batería.

Por otro lado, se observa que la etapa de uso (consumo de electricidad) no alcanza el 5% de impacto sobre la categoría de toxicidad humana. Mientras que para la categoría de calentamiento global su impacto es más significativo. Esto coincide con lo esperado, dado que el proceso de consumo de electricidad de la etapa de uso del vehículo eléctrico representa

el mix energético de España disponible en la base de datos Ecoinvent el cual una parte de la electricidad generada procede de fuentes de combustibles fósiles. Estas fuentes generan emisiones de CO₂ las cuales contribuyen negativamente al calentamiento global. Mientras que el proceso de generación de electricidad no afecta de forma tan significativa a la categoría de impacto toxicidad humana como lo hace con el impacto de cambio climático.

4.3.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS FASES DEL CICLO DE VIDA DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO CON MAYOR IMPACTO AMBIENTAL USANDO DIAGRAMAS DE BARRAS

Simultáneamente el software SimaPro permite visualizar como los procesos del sistema impactan en cada una de las categorías de impacto de forma conjunta en un diagrama de barras. En la Ilustración 14 el color verde oscuro representa la fase de fabricación del vehículo autónomo, el color verde claro representa la fase de consumo de electricidad, el color naranja representa la fase de mantenimiento de vehículo eléctrico sin batería y el color amarillo representa la fase de mantenimiento de los equipos electrónicos adicionales y batería recambios.

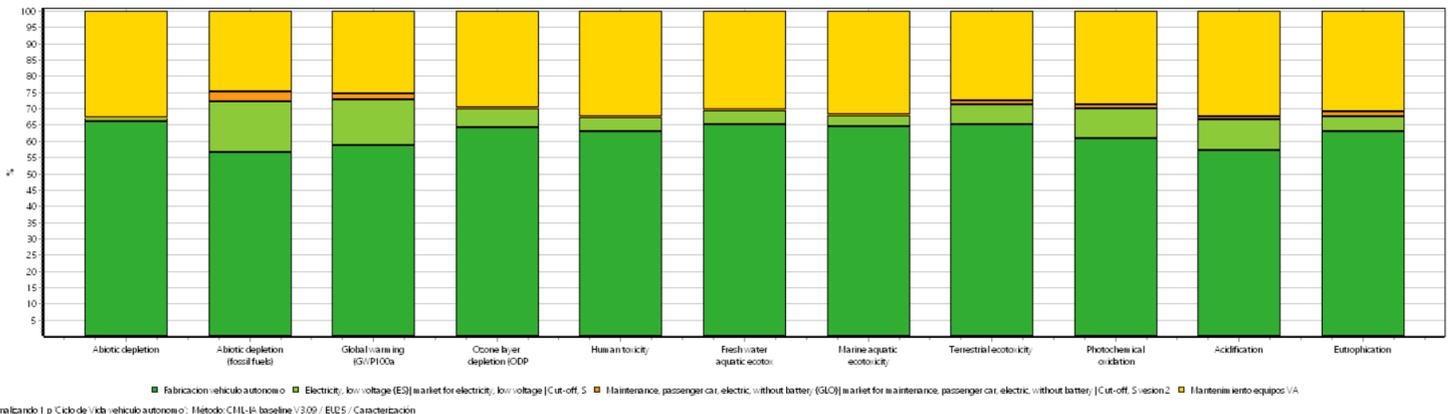


Ilustración 14 Impacto de cada etapa del ciclo de vida del vehículo autónomo según categorías de impacto (Elaboración propia) (Ver Ilustración 25 Anexo II)

La Ilustración 14, resume parte de las observaciones comentadas en el apartado anterior. Como se puede observar la fase de fabricación del vehículo autónomo corresponde con la fase de mayor impacto en todas las categorías de impacto y la siguiente fase corresponde con el mantenimiento de los equipos electrónicos, lo cual tiene sentido dado

que también posee procesos de fabricación de los diversos dispositivos electrónicos y batería los cuales poseen un gran impacto ambiental en su fabricación. En cuanto a la fase de uso (producción de electricidad) se observa que tiene un mayor impacto en las categorías de agotamiento abiótico (combustibles fósiles) y calentamiento global (cambio climático). Lo cual resulta coherente, dado que el mix energético español empleado incluye electricidad procedente de fuentes contaminantes (combustibles fósiles), lo que hace que este proceso tenga un impacto más significativo en estas categorías.

4.3.3 INCREMENTO DEL IMPACTO AMBIENTAL POR LA INCORPORACIÓN DE SISTEMAS DE CONDUCCIÓN AUTÓNOMA

Por otro lado, resulta interesante evaluar cuál es el impacto ambiental de un vehículo eléctrico autónomo con respecto a un vehículo eléctrico convencional, es decir, conducido por una persona. Para analizar este caso de estudio, en el software SimaPro se diseña el ciclo de vida de un vehículo eléctrico con nivel de autonomía SAE 0. Dado que se quiere compararlo con el ciclo de vida ya diseñado de un vehículo eléctrico autónomo, se realiza una copia del ciclo de vida del vehículo eléctrico autónomo y se modifican los procesos para adaptarlo a las condiciones de nivel de autonomía SAE 0. Las modificaciones realizadas han correspondido a eliminar los procesos de fabricación de los equipos electrónicos que permiten que el vehículo alcance el nivel de autonomía 3, igualmente se han eliminado la fabricación de estos equipos de la fase de mantenimiento de los equipos electrónicos adicionales y se ha modificado el consumo de electricidad en la fase de uso de 0,17716 kWh/km (valor utilizado para vehículo eléctrico autónomo) a 0,206 kWh/km (29). Se aplica un incremento del consumo de electricidad en la fase de uso del vehículo eléctrico sin automatización respecto al introducido para el vehículo eléctrico autónomo, dado que se considera que el vehículo eléctrico autónomo circula de forma más eficiente que un vehículo eléctrico conducido por una persona.

A continuación, en las siguientes dos tablas (Tabla 1 y Tabla 2) se muestran los valores obtenidos para cada categoría de impacto en cada fase del ciclo de vida y el total, para el caso de vehículo eléctrico autónomo y el caso de vehículo eléctrico convencional respectivamente.

| Categoría de impacto | Unidad | Total | Fabricación vehículo autónomo | Consumo electricidad | Mantenimiento básico vehículo eléctrico | Mantenimiento equipos VA y equipo batería |
|----------------------------------|-----------------|------------|-------------------------------|----------------------|---|---|
| Abiotic depletion | kg Sb eq/km | 7,38E-05 | 4,88E-05 | 7,50E-07 | 4,94E-08 | 2,42E-05 |
| Abiotic depletion (fossil fuels) | MJ/km | 3,9269111 | 2,2228322 | 0,6153816 | 0,11095364 | 0,97774363 |
| Global warming (GWP100a) | kg CO2 eq/km | 0,34847791 | 0,20435058 | 0,049066773 | 0,006340747 | 0,088719809 |
| Ozone layer depletion (ODP) | kg CFC-11 eq/km | 1,71E-08 | 1,10E-08 | 9,92E-10 | 6,58E-11 | 5,08E-09 |
| Human toxicity | kg 1,4-DB eq/km | 1,8254623 | 1,1483375 | 0,079404873 | 0,005558905 | 0,59216102 |
| Fresh water aquatic ecotox. | kg 1,4-DB eq/km | 1,3331074 | 0,86824908 | 0,057152667 | 0,004255195 | 0,40345048 |
| Marine aquatic ecotoxicity | kg 1,4-DB eq/km | 2173,3881 | 1401,9277 | 72,837903 | 8,6653693 | 689,95706 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg 1,4-DB eq/km | 0,0063156 | 0,00412159 | 0,000369363 | 8,66E-05 | 0,001738017 |
| Photochemical oxidation | kg C2H4 eq/km | 0,00011374 | 6,90E-05 | 1,06E-05 | 1,37E-06 | 3,28E-05 |
| Acidification | kg SO2 eq/km | 0,00255924 | 0,00146047 | 0,000246258 | 2,42E-05 | 0,000828348 |
| Eutrophication | kg PO4-- eq/km | 0,00130722 | 0,0008252 | 6,00E-05 | 1,82E-05 | 0,000403779 |

Tabla 1 Resultados impacto ambiental del ciclo de vida de un vehículo eléctrico autónomo para cada categoría de impacto (Elaboración propia)

| Categoría de impacto | Unidad | Total | Fabricación vehículo autónomo SAE 0 | Consumo electricidad | Mantenimiento básico vehículo eléctrico | Mantenimiento equipo batería |
|----------------------------------|-----------------|------------|-------------------------------------|----------------------|---|------------------------------|
| Abiotic depletion | kg Sb eq/km | 1,79E-05 | 1,14E-05 | 8,72E-07 | 4,94E-08 | 5,53E-06 |
| Abiotic depletion (fossil fuels) | MJ/km | 2,3501881 | 1,1042422 | 0,71620684 | 0,11095364 | 0,41878533 |
| Global warming (GWP100a) | kg CO2 eq/km | 0,2011278 | 0,10073347 | 0,057105962 | 0,006340747 | 0,03694763 |
| Ozone layer depletion (ODP) | kg CFC-11 eq/km | 5,23E-09 | 2,93E-09 | 1,15E-09 | 6,58E-11 | 1,07E-09 |
| Human toxicity | kg 1,4-DB eq/km | 1,1398076 | 0,682241 | 0,092414711 | 0,005558905 | 0,35959296 |
| Fresh water aquatic ecotoxicity | kg 1,4-DB eq/km | 0,62309198 | 0,38835582 | 0,066516663 | 0,004255195 | 0,1639643 |
| Marine aquatic ecotoxicity | kg 1,4-DB eq/km | 878,32187 | 530,03141 | 84,771797 | 8,6653693 | 254,8533 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg 1,4-DB eq/km | 0,00464522 | 0,0029668 | 0,000429881 | 8,66E-05 | 0,001161901 |
| Photochemical oxidation | kg C2H4 eq/km | 8,46E-05 | 4,86E-05 | 1,23E-05 | 1,37E-06 | 2,24E-05 |
| Acidification | kg SO2 eq/km | 0,00182776 | 0,00094551 | 0,000286606 | 2,42E-05 | 0,000571469 |
| Eutrophication | kg PO4-- eq/km | 0,00059454 | 0,00034326 | 6,98E-05 | 1,82E-05 | 0,000163217 |

Tabla 2 Resultados impacto ambiental del ciclo de vida de un vehículo eléctrico convencional para cada categoría de impacto (Elaboración propia)

En la Tabla 3, se muestra los resultados de los factores que relacionan el impacto ambiental de los vehículos eléctricos convencionales con el impacto ambiental de los vehículos eléctricos autónomos. Estos factores se han calculado a partir de los resultados obtenidos en la Tabla 1 y Tabla 2 (columna valor total). Como se puede observar en la Tabla 3, el impacto ambiental total del ciclo de vida del vehículo eléctrico autónomo supera en todas las categorías al del vehículo eléctrico convencional. Se observa que el impacto ambiental de la conducción autónoma tiene especialmente mayor impacto en las categorías Agotamiento de recursos abióticos, Agotamiento de la capa de ozono estratosférico,

Ecotoxicidad marina, Eutrofización y Ecotoxicidad acuática de agua dulce. Lo que indica que los equipos electrónicos adicionales necesarios para hacer que el vehículo alcance un nivel de autonomía concreto tienen un impacto considerable en todas las categorías de impacto, pero más especialmente en las que se acaban de mencionar.

A partir de estos resultados se tiene que los vehículos eléctricos autónomos tienen un impacto en la categoría de impacto calentamiento global 1,73 veces superior al correspondiente de un vehículo eléctrico convencional es decir se incrementan en un 73,26%. Las emisiones de kg CO₂ eq/km corresponden a 0,34847791 kg CO₂ eq/km para vehículo eléctrico autónomo y 0,2011278 kg CO₂ eq/km para vehículo eléctrico convencional. Gran parte del impacto ambiental de calentamiento global del ciclo de vida de un vehículo eléctrico convencional sigue procediendo de la fase de producción de vehículo y la producción de la batería.

Desde la perspectiva de la categoría de impacto toxicidad humana, el factor es de 1,6 veces el impacto de un vehículo eléctrico convencional, es decir se incrementan en un 60,16%. Pasando de 1,1398076 kg 1,4-DB eq/km a 1,8254623 kg 1,4-DB eq/km. Gran parte del impacto ambiental de toxicidad humana del ciclo de vida de un vehículo eléctrico convencional sigue procediendo de la fase de producción de vehículo y la producción de la batería.

Observando únicamente el impacto ambiental de la fase de uso (proceso de consumo de electricidad) sobre las categorías de impacto, se observa que es superior para el caso del vehículo eléctrico convencional que para el caso del vehículo eléctrico autónomo. Esto coincide con lo esperado dado que se introdujeron en el programa los consumos de electricidad asumiendo que el vehículo eléctrico autónomo era más eficiente en su conducción que el vehículo eléctrico convencional. Aunque para esta fase los impactos ambientales son menores para el vehículo autónomo, a nivel general su impacto ambiental es muy superior al del vehículo eléctrico convencional.

| Categoría de impacto | Unidad | Factor que relaciona los impactos ambientales de un vehículo eléctrico autónomo con los de un vehículo eléctrico convencional (Impacto VEA ~ factor*Impacto VEC) |
|----------------------------------|-----------------|--|
| Abiotic depletion | kg Sb eq/km | 4,13 |
| Abiotic depletion (fossil fuels) | MJ/km | 1,67 |
| Global warming (GWP100a) | kg CO2 eq/km | 1,73 |
| Ozone layer depletion (ODP) | kg CFC-11 eq/km | 3,27 |
| Human toxicity | kg 1,4-DB eq/km | 1,60 |
| Fresh water aquatic ecotoxicity | kg 1,4-DB eq/km | 2,14 |
| Marine aquatic ecotoxicity | kg 1,4-DB eq/km | 2,47 |
| Terrestrial ecotoxicity | kg 1,4-DB eq/km | 1,36 |
| Photochemical oxidation | kg C2H4 eq/km | 1,34 |
| Acidification | kg SO2 eq/km | 1,40 |
| Eutrophication | kg PO4--- eq/km | 2,20 |

Tabla 3 Impacto ambiental del ciclo de vida de un vehículo eléctrico convencional para cada categoría de impacto (Elaboración propia)

4.3.4 COMPARACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO Y UNO DE VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN INTERNA

Además de identificar cuáles son los procesos más dañinos para el medio ambiente dentro del ciclo de vida del vehículo autónomo, también resulta interesante comparar esta tecnología con otro tipo de vehículos. Existen una gran variedad de opciones con la que se podría comparar el impacto ambiental de un vehículo autónomo, en este proyecto se ha decidido por los datos que ofrece la base de datos (Ecoinvent) utilizada compararlo con un vehículo de uso personal de combustión interna a gasolina.

De nuevo la metodología empleada para el cálculo de comparaciones corresponde a CML-IA baseline, por lo que los resultados obtenidos se visualizan comparando que tipo de vehículo tiene mayor impacto para cada categoría de impacto.

Tras realizar los cálculos, se ha observado que dependiendo de la fase que se está comparando se obtienen unos resultados u otros.

En un primer cálculo, se ha realizado la comparación entre las fases de fabricación de ambos tipos vehículos. Como se podía prever, la fase de fabricación del vehículo autónomo supera en todas las categorías de impacto a la fase de fabricación del vehículo de combustión interna. Tiene sentido teniendo en cuenta que la fabricación del vehículo autónomo posee una mayor complejidad tecnológica que requiere de materiales críticos con impactos relevantes en categorías de impacto como agotamiento abiótico, toxicidad humana y ecotoxicidad terrestre y en ecosistemas de agua dulce. La fabricación de estos componentes electrónicos incluida la batería requieren también de altos procesos intensivos en energía, que parte de la energía utilizada tiene origen de combustibles fósiles, lo que supone que se eleve el impacto en categorías de impacto como agotamiento abiótico (fósil) y calentamiento global. En la Ilustración 15 se muestra el resultado de esta comparación en la cual se representa en color verde oscuro los impactos de la fabricación de un vehículo autónomo y en color verde claro la fabricación de un vehículo de combustión interna.

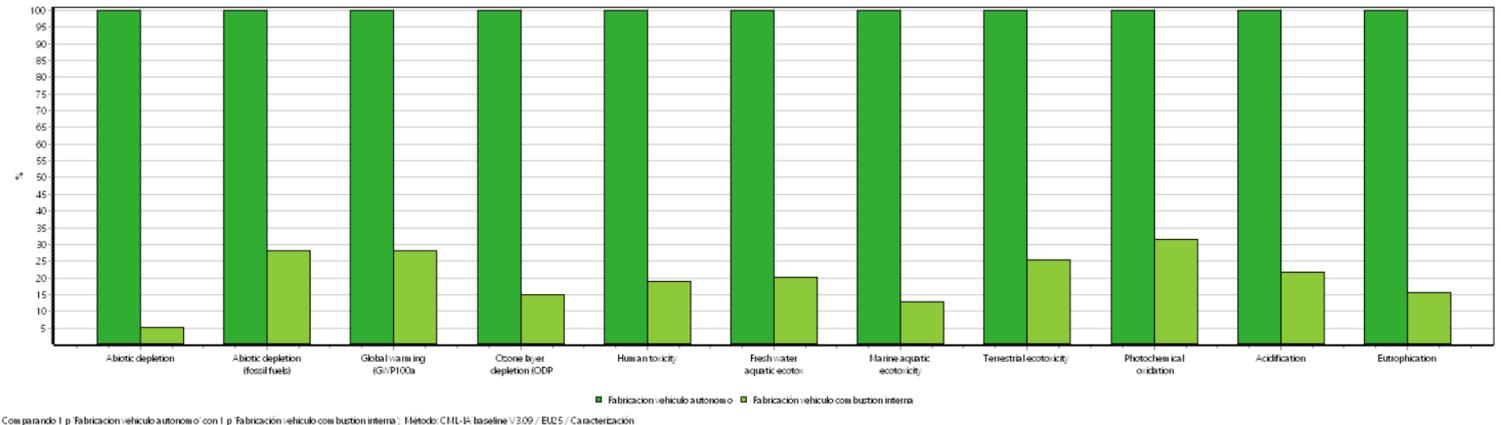
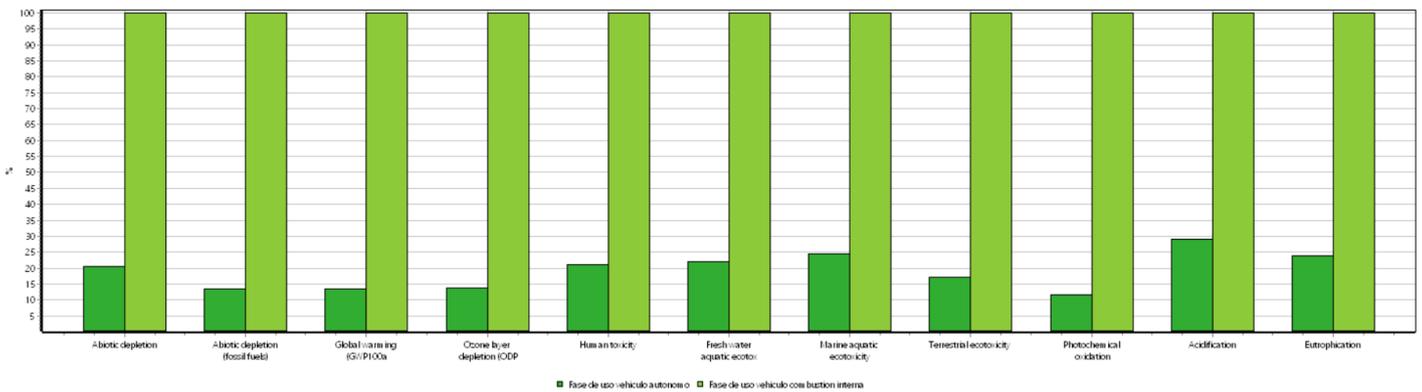


Ilustración 15 Resultados comparación entre las fases de fabricación de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia) (Ver Ilustración 26 Anexo III)

En un segundo cálculo se ha realizado la comparación de las fases de uso de ambos tipos de vehículos. Para este cálculo se ha tenido en cuenta únicamente para el vehículo autónomo la electricidad consumida durante la etapa de uso y para el vehículo de combustión interna la gasolina requerida durante la etapa de uso. En este segundo cálculo ocurre lo contrario al primer cálculo comparativo, se obtiene que el impacto de consumo de gasolina para 1 km recorrido supera en todas las categorías de impacto a la electricidad consumida para 1 km recorrido. En la Ilustración 16 se muestra el resultado de esta comparación en la cual se representa en color verde oscuro los impactos de la fase de uso de un vehículo autónomo y en color verde claro los impactos de la fase de uso de un vehículo de combustión interna.

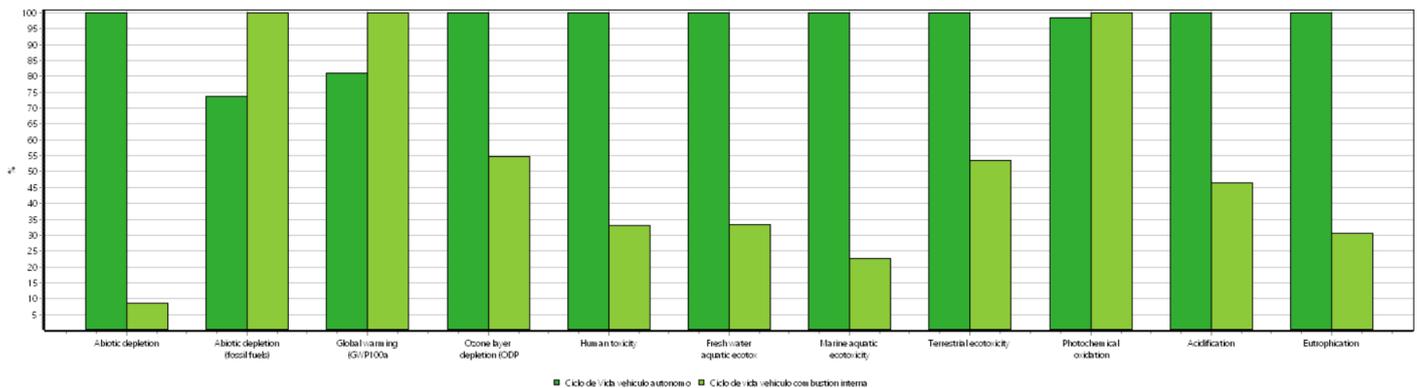


Comparando I p Fase de uso vehículo autónomo con I p Fase de uso vehículo combustión interna. Método: CHIL-IL baseline V3.09 / EUE5 / Caracterización

Ilustración 16 Resultados comparación entre las fases de uso de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia) (Ver Ilustración 27 Anexo III)

Tras comprobar que dependiendo de la fase que se compara una tecnología resulta más contaminante que la otra se realiza un tercer cálculo comparando el ciclo de vida de ambos tipos de vehículos. Los resultados obtenidos en este tercer cálculo indican que ambos tipos de vehículos dependiendo de la categoría de impacto tienen mayor o menor influencia. Los resultados obtenidos muestran que el vehículo de combustión interna tiene mayor impacto en las categorías de agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global y oxidación fotoquímica. Esto coincide con lo esperado dado que las emisiones generadas en la fase de uso de un vehículo de combustión interna afectan en gran medida a estas categorías de impacto. El resto de las categorías reciben mayor impacto del ciclo de vida del vehículo autónomo lo cual también tiene sentido teniendo en cuenta lo que se ha comentado a lo largo de la evaluación. En la Ilustración 17 se muestra el resultado de esta

comparación en la cual se representa en color verde oscuro los impactos del ciclo de vida de un vehículo eléctrico autónomo y en color verde claro los impactos del ciclo de vida de un vehículo de combustión interna a gasolina.



Comparando 1 p Ciclo de vida vehículo autónomo con 1 p Ciclo de vida vehículo con bujón interna. Método: CHL-IA baseline V3.09 / EUC5 / Caracterización

Ilustración 17 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia) (Ver Ilustración 28 Anexo III)

4.3.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

A la hora de desarrollar un análisis de ciclo de vida resulta enriquecedor para el estudio incluir análisis de sensibilidad. Este tipo de práctica consiste en variar datos de entrada del sistema del caso base y observar cómo este cambio influye en los resultados con respecto al caso base. En este trabajo se van a realizar dos enfoques de análisis de sensibilidad. El primer enfoque tiene como objetivo estudiar cómo variarían los resultados al modificar el proceso de generación de energía empleado en la fase de uso del vehículo autónomo y el segundo enfoque tiene como objetivo estudiar como variarían los resultados al considerar que la batería del vehículo autónomo no requiere de recambio a lo largo del ciclo de vida del vehículo.

4.3.5.1 Análisis de sensibilidad proceso producción electricidad

Este análisis de sensibilidad tiene como objetivo estudiar como cambiaría la contribución de la fase de uso del vehículo autónomo en la categoría calentamiento global si se utilizara un proceso de generación de electricidad 100 % renovable. En el caso base se utilizó el mix energético de España (2014-2022) disponible en la base de datos utilizada compuesto de electricidad procedente de fuentes no renovables, nuclear, fósil, renovable

principalmente. Dado que el mix utilizado en el caso base no está formado únicamente por fuentes 100% renovables es esperable que en los resultados se detecte que la fase de uso reduzca su impacto en cuanto al calentamiento global. Esto puede identificarse en la Ilustración 19, donde se observa que se ha reducido en un 12,87% el impacto.

La Ilustración 18, permite identificar igualmente que las categorías de impacto de agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global y oxidación fotoquímica se han visto reducidos respecto al caso base lo que coincide con lo esperado.

Igualmente se podría realizar un análisis de sensibilidad utilizando el mix energético de otro país. Por ejemplo, si se utiliza el mix energético de Francia disponible en la base de datos utilizada, en el cual la energía nuclear ocupa un porcentaje importante (caracterizada por no producir gases de efecto invernadero) se consigue un resultado similar al caso anterior. Los impactos agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global y oxidación fotoquímica se reducen, aunque en menor proporción dado que en el mix energético de Francia considera incluye también fuentes de energías procedentes de combustibles fósiles.

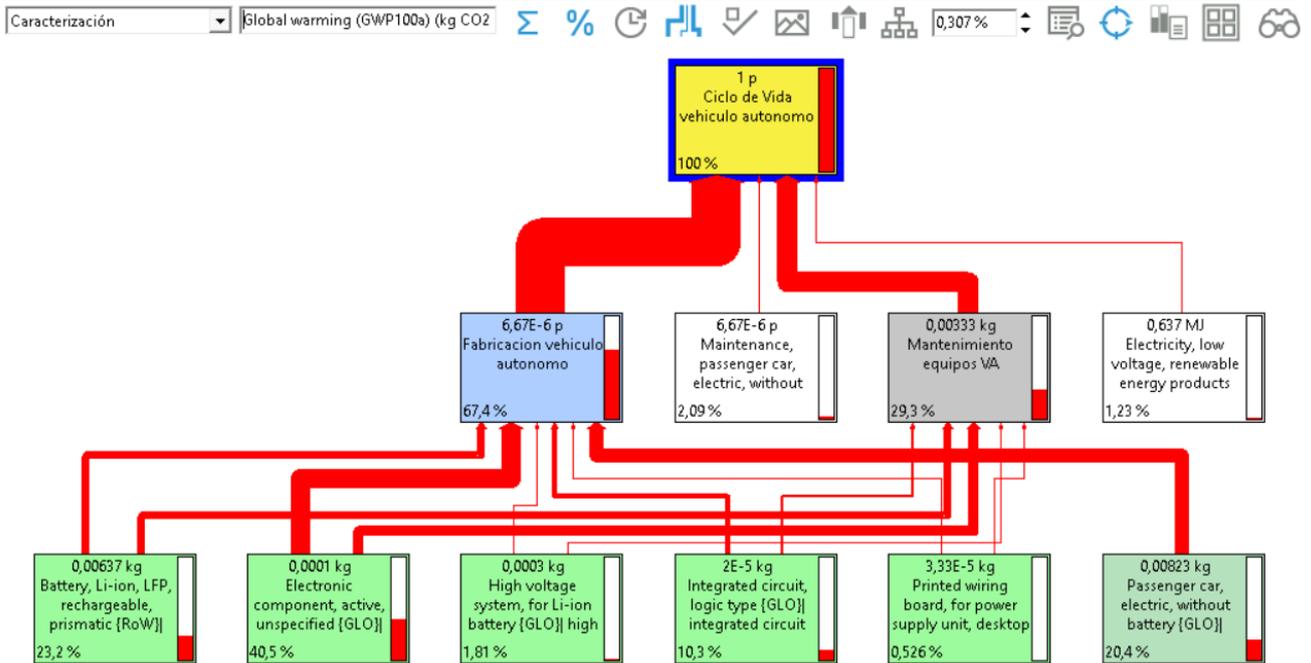


Ilustración 19 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo en la categoría de impacto de calentamiento global utilizando proceso de generación de electricidad de fuentes 100% renovables (Elaboración propia)

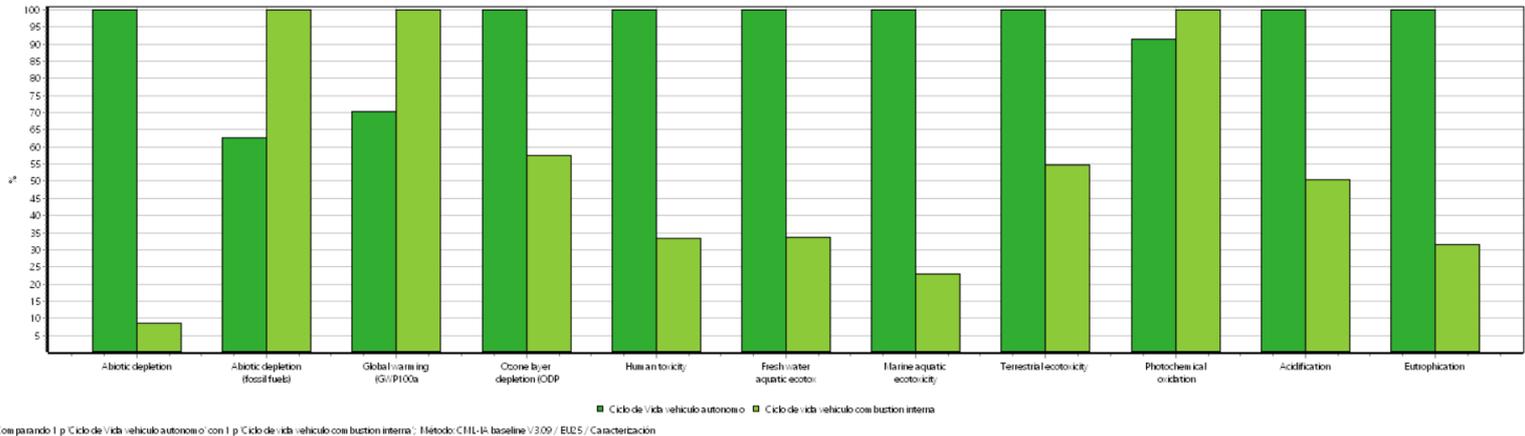


Ilustración 18 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo utilizando proceso de generación de electricidad de fuentes 100% renovables y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia) (Ver Ilustración 29 Anexo IV)

4.3.5.2 Análisis de sensibilidad mantenimiento equipos vehículo autónomo

En el caso base se ha observado que la fase de fabricación del vehículo autónomo tiene un alto impacto en las diferentes categorías y la siguiente fase con mayor impacto corresponde con la fase de mantenimiento de los equipos de vehículo autónomo y batería. Se considera que reducir el impacto de la fase de fabricación es complicado, a menos de que se utilicen materiales no tan críticos, se reutilicen materiales y que para los procesos intensivos en energía se utilicen energías que provengan de fuentes no contaminantes. En ese sentido a la fase de mantenimiento de estos equipos le ocurre similar dado que ofrece el repuesto de gran parte de los equipos necesarios. En este análisis de sensibilidad se va a suponer que la batería empleada no necesita recambio a lo largo de la vida útil del vehículo, por lo que se puede omitir la producción de la batería de repuesto. Se observa en la Ilustración 20, habiendo aplicado este cambio, la fase de mantenimiento emite $1,07E-14$ kg de CO₂ equivalente, lo que significa que se ha reducido en un 8% las emisiones que afectan a la categoría de calentamiento global en la fase de uso.

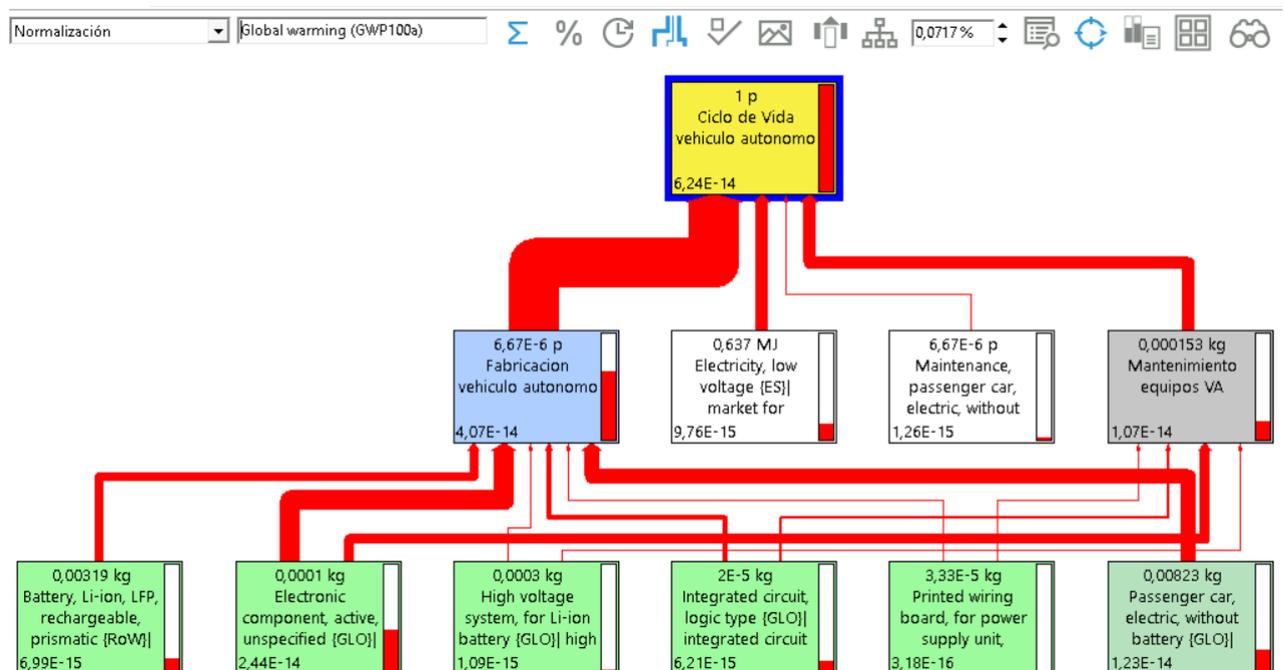


Ilustración 20 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo en la categoría de impacto de cambio climático en el caso que no se considera necesario un recambio de batería a lo largo de la vida útil del vehículo autónomo (Elaboración propia)

Este enfoque de análisis de sensibilidad también puede ser útil para evaluar cómo afecta el hecho de suprimir un proceso de batería de ion-litio para otras categorías de impacto que se pueden ver especialmente afectadas por el uso de materiales críticos. En la Ilustración 21, se muestra el diagrama de red del ciclo de vida del vehículo autónomo para la categoría impacto toxicidad humana. Se comprueba que respecto al caso base, el impacto en toxicidad humana de la fase de mantenimiento de los equipos se ha reducido en un 14,3%.

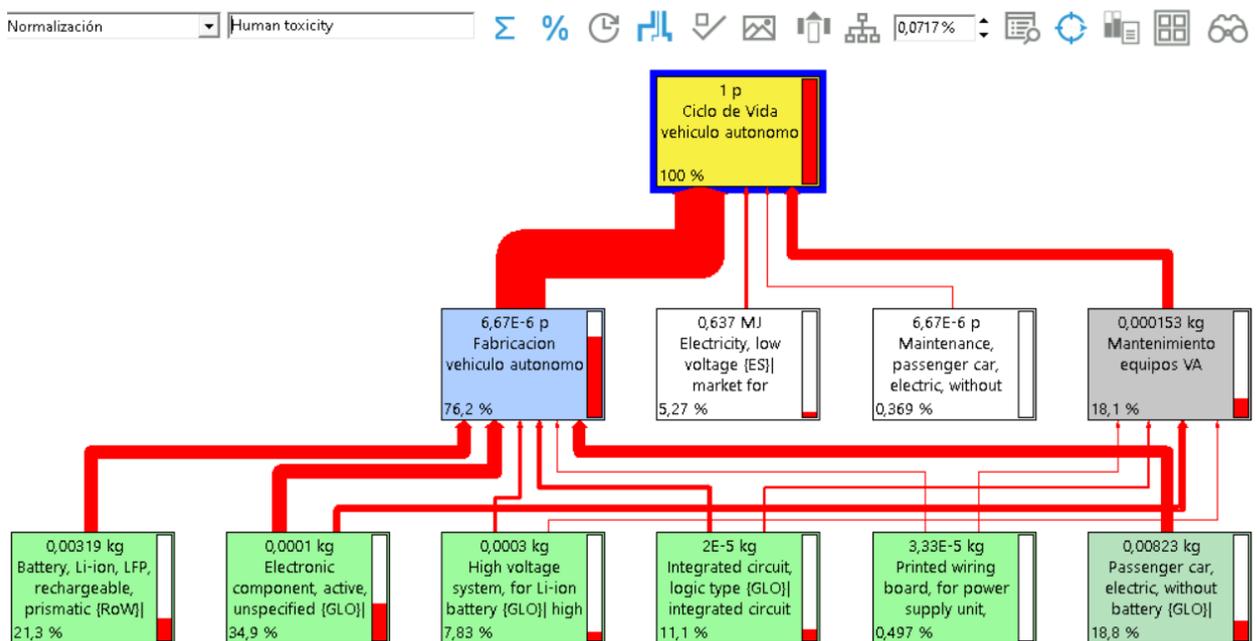
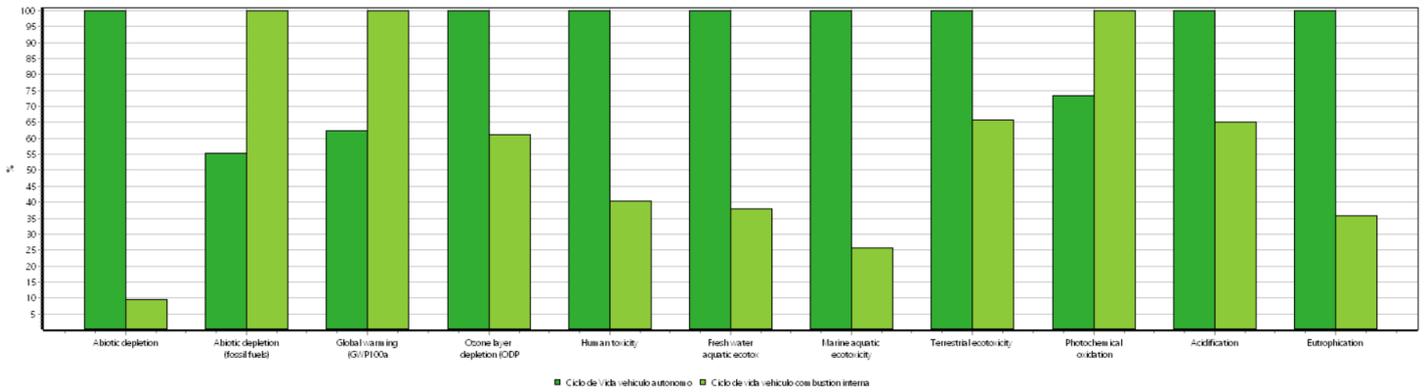


Ilustración 21 Contribución de los procesos dentro del ciclo de vida de un vehículo autónomo que posean un impacto en la categoría de impacto de toxicidad humana en el caso de que no se considera necesario un recambio de batería a lo largo de la vida útil del vehículo autónomo (Elaboración propia)

4.3.5.3 Aplicación simultánea de ambos análisis de sensibilidad

Por otro lado, también resulta interesante comprobar qué ocurriría si se aplican los cambios propuestos en ambos análisis de sensibilidad: cambio del mix energético español a fuente de energías 100% renovables y asumir que la batería del vehículo autónomo no requiere de recambio a lo largo de la vida útil del vehículo.

Como se puede observar en la Ilustración 22, la aplicación de cambios propuestos contribuye a reducir el impacto del ciclo de vida de los vehículos autónomos. Comparando con el caso base puede observarse que el impacto en las categorías de agotamiento abiótico (combustibles fósiles), calentamiento global y oxidación fotoquímica se han reducido considerablemente. En cuanto al resto de categorías de impacto, en algunos casos como toxicidad humana y acidificación se puede observar que la diferencia de impacto del vehículo autónomo y vehículo de combustión interna se ha reducido.



Comparando 1 p Ciclo de vida vehículo autónomo con 1 p Ciclo de vida vehículo con bustron interna; Método: CHL-R baseline v3.09 / EIO3 / Caracterización

Ilustración 22 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo aplicando los cambios propuestos en ambos análisis de sensibilidad (Elaboración propia)(Ver Ilustración 30 Anexo IV)

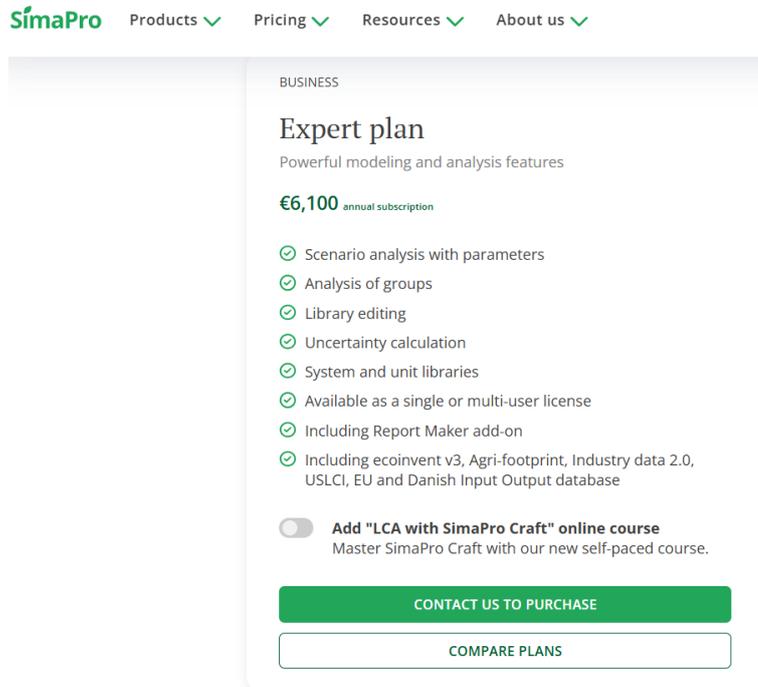
Capítulo 5. PRESUPUESTO REALIZACIÓN ACV

En este capítulo se presenta una estimación económica de lo que supondría la realización de un análisis de ciclo de vida de un vehículo autónomo. En este contexto, se consideran que los costes asociados al desarrollo de un proyecto como el presentado incluyen la licencia del software de análisis de ciclo de vida empleado, formación del manejo del software, consultas externas y el tiempo dedicado por el desarrollador del análisis.

A continuación, se presenta la estimación económica asignada a cada uno de los costes considerados:

- Licencia software Análisis de Ciclo de Vida SimaPro

En la siguiente ilustración se muestra el plan seleccionado de SimaPro para llevar a cabo el análisis de ciclo de vida.



The screenshot shows the SimaPro website's pricing page for the 'Expert plan'. The page is titled 'BUSINESS' and 'Expert plan'. It features a list of benefits including scenario analysis, group analysis, library editing, uncertainty calculation, and system/unit libraries. The price is listed as €6,100 per annual subscription. There is also an option to add an 'LCA with SimaPro Craft' online course. At the bottom, there are two buttons: 'CONTACT US TO PURCHASE' and 'COMPARE PLANS'.

Ilustración 23 Características licencia del software SimaPro seleccionada (30)

Se selecciona este plan enfocado para negocios dado que ofrece las características necesarias para el desarrollo del proyecto y porque el presupuesto se elabora desde un punto de vista de una empresa.

Aunque el desarrollo del proyecto pueda durar menos de un año, la licencia escogida es válida durante un año dado que SimaPro ofrece únicamente planes anuales. Según se indica en la ilustración, el coste de este plan corresponde a 6.100€. Se asume que el desarrollador utilizará esta misma licencia durante el año para otros análisis de ciclo de vida. Por ello, se calcula el coste proporcional del acceso al software SimaPro para los cuatro meses que dura el proyecto.

Por tanto el coste del acceso a SimaPro para los cuatro meses que dura el proyecto corresponde a 2.033,33€.

- **Formación manejo software SimaPro**

Se considera que el desarrollador del proyecto es ingeniero junior por lo que requiere de una formación previa para aprender el funcionamiento del software a utilizar. En la siguiente ilustración se muestra que el curso online seleccionado de duración 20 horas y precio de 950€ por comprarlo desde la página oficial de SimaPro.

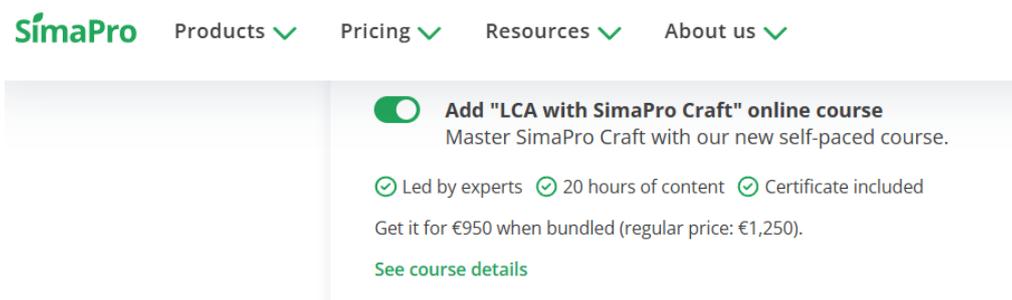


Ilustración 24 Características curso online del software SimaPro (30)

- **Servicio de consultas externas**

Se considera que se deberá contratar expertos externos a lo largo del desarrollo del proyecto que aporten información específica de los procesos del ciclo de vida de un

vehículo autónomo que no se facilite en las bases de datos ofrecidas por el software SimaPro, que revisen y validen el análisis de ciclo de vida realizado y verifiquen que cumple con los estándares de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ISO 14040 e ISO 14044). Se considera que el servicio de los expertos externos tiene un coste de 50€/hora y el número total de horas que se ha contratado su servicio corresponde a 60 horas. Por tanto, el coste para la empresa por contratar servicios externos es de es de 3.000€.

- Sueldo del desarrollador del proyecto

Se considera que la duración del proyecto ha sido de cuatro meses. Se considera que el desarrollador cobra 12€/hora y que las horas trabajadas durante los cuatro meses corresponden a 640 horas. Por tanto, el coste que debe pagar la empresa al desarrollador por los cuatro meses trabajados corresponde a 7.680€.

| Servicio | Coste del servicio |
|---|--------------------|
| Licencia ACV (Software SimaPro) | 2.033,33€ |
| Curso online formación | 950€ |
| Servicio consultas externas | 3.000€ |
| Sueldo desarrollador por realizar el proyecto | 7.680€ |
| Coste total | 13.663,33€ |

Tabla 4 Presupuesto elaboración ACV (Elaboración propia)

Por tanto, el coste total que supondría para una empresa desarrollar un análisis de ciclo de vida de un vehículo autónomo correspondería a 13.663,33€.

Capítulo 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En los capítulos del principio de este Trabajo de Fin de Máster se ha tratado de exponer el contexto actual de los vehículos autónomos en la sociedad europea y más concretamente en España. Como ya se comentó en los primeros capítulos de este documento, el sector del transporte forma parte de los principales responsables de la contaminación ambiental a nivel mundial en el caso de España el 30,7% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero son debidas a este sector, siendo el 28,4% debidas al transporte por carretera. Lo que motiva a buscar alternativas de medios de transportes más sostenibles. (3)

Simultáneamente a la motivación actual por tratar de ser más respetuosos con el medio ambiente, se están produciendo avances tecnológicos que pueden cambiar a la sociedad de forma importante en el futuro. En el sector automovilístico la inteligencia artificial se está convirtiendo en la herramienta clave que permite y permitirá alcanzar la automatización en los vehículos. Como se ha descrito en este documento la Sociedad de Ingenieros de Automoción establece cinco niveles de automatización en la conducción, en función de la tecnología con la que esté equipada el vehículo alcanzará un mayor o menor nivel de automatización.

En este sentido, los avances tecnológicos pueden convertirse en una herramienta clave para mejorar la calidad de vida de las personas y proponer soluciones que puedan ser más respetuosas con el medio ambiente al ofrecer servicios más eficientes y en el caso de los vehículos autónomos contribuir a reducir el número de accidentes graves en las vías. Esto no quita, que es necesario que se realicen estudios medio ambientales e investigación sobre cómo puede afectar el desarrollo de este tipo de tecnologías en el medio ambiente.

En este proyecto se ha utilizado la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida con el fin de aportar una estimación de cómo podría impactar en diferentes categorías de impacto y que soluciones pueden compensar su impacto. A continuación, se incluyen las principales conclusiones extraídas tras la elaboración del estudio:

- La tecnología de los vehículos autónomos aún se encuentra en fase de desarrollo. Aunque existan ya casos pilotos y casos de implementación en distintos países, la información en las bases de datos de softwares de análisis de ciclo de vida resulta limitada o desactualizada, lo que ha dificultado realizar el presente proyecto con un nivel de precisión óptimo.
- Tras la simulación se ha observado que el impacto ambiental total del vehículo eléctrico autónomo supera en todas las categorías al del vehículo eléctrico convencional (conducido por una persona). Entre las categorías analizadas, se destacan por su relevancia que tienen en la discusión científica y política las categorías de calentamiento global y toxicidad humana. Los vehículos eléctricos autónomos tienen un impacto en la categoría de impacto calentamiento global 1,73 veces superior al correspondiente de un vehículo eléctrico convencional es decir la integración de la automatización en un vehículo eléctrico hace que su impacto se incremente un 73,26%. Las emisiones de kg CO₂ eq/km corresponden a 0,34847791 kg CO₂ eq/km para vehículo eléctrico autónomo y 0,2011278 kg CO₂ eq/km para vehículo eléctrico convencional. Aún así la mayor parte del impacto ambiental de calentamiento global del ciclo de vida de un vehículo eléctrico convencional sigue procediendo de la fase de producción de vehículo y las baterías (incluye batería de recambio). Desde la perspectiva de la categoría de impacto toxicidad humana, el factor es de 1,6 veces el impacto de un vehículo eléctrico convencional, es decir el impacto se incrementa en un 60,16%. Pasando de 1,1398076 kg 1,4-DB eq/km a 1,8254623 kg 1,4-DB eq/km. Igualmente la mayor parte del impacto ambiental de toxicidad humana del ciclo de vida de un vehículo eléctrico convencional sigue procediendo de la fase de producción de vehículo y la producción de las baterías (incluye batería de recambio). Estos resultados muestran que la fabricación de los equipos electrónicos adicionales para equipar al vehículo con un nivel de autonomía nivel SAE 3, generan un impacto importante en las categorías de impacto ambiental consideradas. Aunque los vehículos electrónicos de conducción automatizada pueden resultar una solución atractiva por su eficiencia en su consumo de energía y contribuir a reducir el tráfico en las vías, este resultado pone de manifiesto que es

necesario seguir investigando en alternativas de producción de componentes electrónicos que supongan un impacto medio ambiental menor. Esto podría conseguirse optimizando los procesos de fabricación, utilizando energías de origen renovable en los procesos que requieran de altos niveles de energía y realizar una adecuada gestión de la vida útil que fomente la reutilización y en reciclaje, reintroduciendo en el ciclo de vida el máximo de componentes y materiales. Estas iniciativas contribuirían a aplicar los principios de la economía circular de forma que la vida útil de los materiales se prolongue, lo que permitirá reducir los procesos de extracción de materiales críticos y por tanto se reducirían las emisiones asociadas a los procesos de fabricación de nuevos equipos.

- El tema de investigación sobre los impactos ambientales de los vehículos autónomos ofrece un amplio abanico de posibilidades de investigación. En este proyecto se ha planteado un análisis de carácter general, pero de cara a futuros trabajos sería interesante profundizar en la gestión de la vida útil de equipos electrónicos necesarios para alcanzar altos niveles de automatización, así como la gestión de la batería del vehículo.
- Por otro lado, el estudio de análisis de ciclo de vida se ha centrado en el estudio de un vehículo de uso personal. Como se comentó en los capítulos iniciales de este documento, muchos de los proyectos piloto en curso o ya completados tienen como fin impulsar el uso de vehículos autónomos en servicios de movilidad compartida y transporte público. Esta estrategia permite compensar los altos niveles de contaminación que suponen la fabricación de los vehículos autónomos, dado que al ser accesibles a un mayor número de personas se optimiza el uso de los recursos empleados en fabricar el vehículo. Por otro lado, crear un sistema de transporte autónomo que sea eficiente y accesible para un amplio número de personas reducirá la necesidad de adquirir un vehículo propio y por tanto hará que el número de vehículos en circulación se reduzca, lo que provocará que la congestión urbana disminuya igualmente y por tanto las emisiones asociadas al transporte en carretera también.

En conclusión, tras la realización de este estudio, se considera que la introducción de los vehículos autónomos en la sociedad avanza de manera constante, aunque depende de estrictos requerimientos legales para su funcionamiento en la sociedad. Esta tecnología puede aportar ventajas como seguridad vial, eficiencia en el transporte, reducir el número de accidentes de tráfico y víctimas mortales y reducir la congestión urbana. Esto no quita que los procesos de fabricación de los equipos electrónicos y batería del vehículo puedan causar impactos severos en el medio ambiente y por tanto se requiere de investigación, buscar alternativas sostenibles y fomentar el aprovechamiento, aplicando técnicas de reciclaje y reutilización de los recursos.

Capítulo 7. REFERENCIAS

1. **Humanidades, Enciclopedia.** Historia del automóvil. [En línea] <https://humanidades.com/historia-del-automovil/>.
2. **DGT.** Vehículos de conducción automatizada. *Dirección General de Tráfico*. [En línea] 21 de Marzo de 2024. <https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/tecnologia-e-innovacion-en-carretera/vehiculos-de-conduccion-automatizada/>.
3. **Demográfico, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto.** Sector del transporte. [En línea] <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/transporte.html>.
4. **Geographic, National.** ¿Qué impacto medioambiental tienen los coches? [En línea] <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-impacto-medioambiental-tienen-los-coches>.
5. **AIXAM.** ¿Cuál es el impacto de los coches en el medio ambiente? [En línea] <https://www.aixam-mega.com/es/-cual-es-el-impacto-de-los-coches-en-el-medio-ambiente>.
6. **Navarro, Manuel.** El coche autónomo reducirá la contaminación en las ciudades. *Neumáticos en verde*. [En línea] 17 de 10 de 2021. <https://blog.signus.es/coche-autonomo-menos-contaminacion/#:~:text=Un%20humano%20no%20realiza%20una,una%20menor%20contaminaci%C3%B3n%20del%20aire..>
7. **Saloz, Juan Carlos.** Google está construyendo tres centrales nucleares con un único propósito: alimentar a sus sistemas de Inteligencia Artificial. [En línea] 16 de 05 de 2025. <https://www.lavanguardia.com/neo/20250516/10690953/google-esta-construyendo-tres-centrales-nucleares-unico-proposito-alimentar-sistemas-inteligencia-artificial.html>.

8. **Española, Pacto Mundial Red.** 17 Objetivos de Desarrollo para transformar el mundo. [En línea] <https://www.pactomundial.org/que-puedes-hacer-tu/ods/>.
9. **Yohana Li, Marielis Díaz, Shantall Morantes, Yazmín Dorati.** Vehículos autónomos: Innovación en la logística urbana. [En línea] 06 de 2018. <https://core.ac.uk/download/pdf/234019727.pdf>.
10. **DGT, Dirección general de Tráfico.** Sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ADAS). [En línea] 24 de 04 de 2023. [Citado el: 05 de 07 de 2025.] <https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/sistemas-avanzados-ayuda-conduccion/Sistemas-avanzados-de-ayuda-a-la-conduccion-ADAS/>.
11. **DGT, Dirección General de Tráfico.** Vehículos automatizados Los vehículos de conducción automatizada representan una revolución para la movilidad del futuro. [En línea] 01 de 07 de 2025. [Citado el: 06 de 07 de 2025.] <https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/vehiculos-seguros/conduccion-automatizada/vehiculos-de-conduccion-automatizada/>.
12. **Garcés, Mario.** carwow GSR, la normativa que hará a los coches nuevos más seguros (y molestos) a partir de 2024. [En línea] 20 de 12 de 2023. [Citado el: 06 de 07 de 2025.] <https://www.carwow.es/noticias/3928/normativa-gsr-coches-nuevos-europa-2024#gref>.
13. **Gordo, Daniel.** Autofácil La seguridad de los coches nuevos va a cambiar, y mucho, a partir de este 7 de julio. [En línea] 06 de 07 de 2024. [Citado el: 06 de 07 de 2025.] <https://www.autofacil.es/sistemas-seguridad-coches-nuevos/>.
14. **Mallocci, Ivan.** AI Act (Artificial Intelligence Regulation (EU) 2024/1689): An Overview. [En línea] Compliancegate, 09 de 01 de 2025. [Citado el: 06 de 07 de 2025.] https://www.compliancegate.com/eu-artificial-intelligence-act/?utm_source=chatgpt.com.
15. **Tráfico, DGT Dirección General de.** Marco de autorización de pruebas de vehículos automatizados: ES-AV. [En línea] 30 de 06 de 2025. [Citado el: 06 de 07 de 2025.]

<https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/vehiculos-seguros/conduccion-automatizada/marco-pruebas-vehiculos-automatizados/>.

16. **Transparencia, Comunidad de Madrid Portal de.** Anteproyecto de Ley de movilidad de la Comunidad de Madrid. [En línea] 17 de 01 de 2025. [Citado el: 06 de 07 de 2025.] <https://www.comunidad.madrid/transparencia/anteproyecto-ley-movilidad-comunidad-madrid>.

17. **Quintana, Javier.** Madrid, la ciudad más congestionada de España: este es el tiempo que los madrileños pierden por los atascos. [En línea] El Periódico de España, 09 de 04 de 2025. [Citado el: 06 de 07 de 2025.] https://www.epe.es/es/madrid/20250409/madrid-ciudad-congestionada-madrilenos-pasaron-atascos-dv-116206501?utm_source=chatgpt.com.

18. **mobility, Celering Reimagine.** Introducción a los Vehículos Autónomos y su Evolución. [En línea] [Citado el: 10 de 07 de 2025.] <https://celering.com/el-impacto-de-los-vehiculos-autonomos-en-la-movilidad-urbana/>.

19. **Standardization, ISO - International Organization for.** Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida. [En línea] <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>.

20. **Geoinnova.** Principales herramientas para el Análisis de Ciclo de Vida: comparativa completa de software. [En línea] 11 de 06 de 2025. [Citado el: 05 de 08 de 2025.] https://geoinnova.org/blog-territorio/principales-herramientas-para-el-analisis-de-ciclo-de-vida/#3_Comparativa_de_softwares_de_Analisis_de_Ciclo_de_Vida_ACV.

21. **Mazahua, Nidia Rodríguez.** Historia y Análisis del Ciclo de Vida de Producto ACV. [En línea] gestiopolis, 08 de 04 de 2016. [Citado el: 12 de 07 de 2025.] <https://www.gestiopolis.com/historia-analisis-del-ciclo-vida-producto-acv/#autores>.

22. **Olga Alejandra Ramírez, Juan Camilo Ruis y Valentina Veléz.** Análisis de ciclo de vida con el software SimaPro: Procedimiento para realizar el ACV. [En línea] 16 de 04 de

2014. [Citado el: 05 de 08 de 2025.]
<https://aciclovidasimapro.wordpress.com/2014/04/16/procedimiento-para-realizar-el-acv/>.
23. **industria, Grupo de Investigación Sostenibilidad en la construcción y en la.** Análisis del ciclo de vida (ACV) . [En línea] 19 de 05 de 2022. [Citado el: 05 de 08 de 2025.]
<http://blogs.upm.es/gisci/2022/05/19/analisis-del-ciclo-de-vida-acv-una-guia-completa-de-los-acv/>.
24. **Nuevo, David.** TECPA ¿Qué es el análisis de ciclo de vida ACV? [En línea] 27 de 03 de 2023. [Citado el: 05 de 08 de 2025.] <https://www.tecpa.es/que-es-el-analisis-de-ciclo-de-vida-acv/>.
25. **Ruiz, Inmaculada Caballero.** *Comparativa medioambiental de diferentes tipos de transporte de viajeros utilizando una perspectiva de análisis de ciclo de vida.* Madrid : s.n., 2019.
26. **Schumacher, Laura.** ReCiPe. [En línea] 29 de 08 de 2016. [Citado el: 06 de 08 de 2025.] https://pre-sustainability.com/articles/recipe/?utm_source=chatgpt.com.
27. **PRé, various authors.** SimaPro Database Manual Methods Library. [En línea] 06 de 2020. [Citado el: 07 de 08 de 2025.] <https://simapro.com/wp-content/uploads/2020/06/DatabaseManualMethods.pdf>.
28. **Ambiental, Facultad de Ingeniería Gestión.** Análisis del Ciclo de Vida. [En línea] [Citado el: 06 de 05 de 2025.]
https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf.
29. **Samantha Heiberg, Emily Emond, Cody Allen, Dheeraj Raya, Venkataramana Gadhamshetty, Saurabh Sudha Dhiman, Achyuth Ravilla, Ilke Celik.** Environmental Impact Assessment of Autonomous Transportation Systems. [En línea] 28 de 06 de 2023. [Citado el: 12 de 05 de 2025.]
[Environmental_Impact_Assessment_of_Autonomous_Tran.pdf](#).

30. **SimaPro.** SimaPro Plans and pricing. [En línea] [Citado el: 19 de 08 de 2025.]
https://simapro.com/plans/?_types=business%2Ceducation.

ANEXO I

En este anexo se incluyen las fichas técnicas de los procesos utilizados en el desarrollo de ACV con el software SimaPro.

1. Procesos del inventario del vehículo autónomo

Inventario de la fase de fabricación del vehículo autónomo

Producción de vehículo eléctrico sin batería (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This dataset describes the production of an electric passenger car without its battery. The entries are based on a per kg basis. The model is optimized for a vehicle of about 1200kg including the battery. It is subdivided in two modules, the glider and the drivetrain. Each module contains the specific materialization and production efforts and emissions. The specific end of life treatment of each module is covered in the respective dataset. The dataset includes the manual dismantling of the car at the end of its life and the waste fractions deriving from this process. The battery of the vehicle is in the respective transport dataset.

Production volume: 8263980 kg

Included activities start: The dataset takes as input the two modules (glider and drivetrain) which build the vehicle without battery. The production efforts, emissions and manufacturing infrastructure are in the respective modules. The dataset also includes the manual dismantling of the vehicle at the end of its lifetime.
Included activities end: The activity ends with the assembly of the car without battery and returns the waste fractions from the dismantling.

Energy values: Undefined

Geography: The inventory is modelled for Global

Technology level: Modern

Technology: The dataset is based on averages over passenger car technologies spanning from 2000 to 2010 which are expected to be representative up to 2015.

Start date: 01/01/2000

End date: 31/12/2022

Is data valid for entire period: True

Time period:

Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 5.3.0.0

Created: 5/21/2012 4:45:50 PM

Last edited: 9/13/2012 1:10:40 PM

Source: 58b2c103-f777-5093-8f6d-2e7070d54794_dc983030-0544-4718-a910-dbc6f52d09e7.spold

UUID: 58b2c103-f777-5093-8f6d-2e7070d54794

Producción de batería de ion-litio tipo LFP (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This dataset represents the production of 1 kg of Li-ion battery pack used e.g. for mechanical drive of an electric vehicle. The inventory is modelled according to the publication of Dai et al. (2017, 2018), in which a battery pack of 203 kg, with gross pack energy of 23.5 kWh made of 137 3.6V- 46Ah prismatic cells is presented. Cells are made of lithium iron phosphate (LFP) cathode and a graphite-based anode, liquid electrolyte and a porous plastic separator. Infrastructure is included as well in this dataset as "electronic component factory".

Reference:

Reference:

Dai, Q., Dunn, J., Kelly, J. C., & Elgowainy, A. (2017). Update of Life Cycle Analysis of Lithium-Ion Batteries in the GREET Model. 2017. Argonne National Laboratory.

Dai, Q., Kelly, J. C., Dunn, J., & Benavides, P. (2018). Update of Bill-of-Materials and Cathode Materials Production for Lithium-Ion Batteries in the GREET Model. 2018. Argonne National Laboratory.

Production volume: 64203876 kg

Included activities start: The activity starts with the battery cells, module packaging and the materials for additional components (external case, tabs, etc.) entering the factory gate.

Included activities end: The activity ends with the production of Li-ion battery pack.

Energy values: Undefined

Geography: The inventory is modelled for Rest-of-World

Technology level: Current

Technology: The battery pack is made of cells connected together and packed into modules, which are further connected and inserted into the metallic case of the battery pack. The cells in the battery pack of this dataset specifically have LFP cathode and graphite-based anode. Additional components include tabs, cable and electronic components for the connection of battery modules and their management, and a cooling system for safety reason.

Start date: 31/12/2018

End date: 31/12/2025

Is data valid for entire period: True

Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 1.3.0.0

Created: 5/30/2022 9:52:32 AM

Last edited: 5/30/2022 10:11:48 AM

Source: edc70641-88ac-54a4-9c3e-e492d70c7822_40d890a5-47da-4e75-b7f2-d0f98d41f1a8.spold

UUID: edc70641-88ac-54a4-9c3e-e492d70c7822

Componentes electrónicos activos no especificados (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This dataset represents the production of 1 kg of active electronic components, for all those cases, where no information is given about the active component type. It is an unweighted mean value of: diodes, transistors and integrated circuits datasets. Hence, the uncertainty values are accordingly high.

[This dataset was already contained in the ecoinvent database version 2. It was not individually updated during the transfer to ecoinvent version 3. Life Cycle Impact Assessment results may still have changed, as they are affected by changes in the supply chain, i.e. in other datasets. This dataset was generated following the ecoinvent quality guidelines for version 2. It may have been subject to central changes described in the ecoinvent version 3 change

report (<http://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-version-3/reports-of-changes/>), and the results of the central updates were reviewed extensively. The changes added e.g. consistent water flows and other information throughout the database. The documentation of this dataset can be found in the ecoinvent reports of version 2, which are still available via the ecoinvent website. The change report linked above covers all central changes that were made during the conversion process.]

Production volume: 1 kg
Included activities start: From reception of mix of various components at the factory gate.

Included activities end: This dataset includes the mix of various components.
Energy values: Undefined
Geography: The inventory is modelled for Global
Technology level: Current
Technology: see general comments
Start date: 01/01/1994
End date: 31/12/2022
Is data valid for entire period: True

Time period:
Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 28.3.0.0
Created: 7/28/2010 6:50:25 PM
Last edited: 9/20/2011 2:50:21 PM
Source: cba5a9a-2757-5169-8f82-053d5ce2b87c_d1e72526-546c-48f2-a363-e1e3b1c9aebc.spold
UUID: cba5a9a-2757-5169-8f82-053d5ce2b87c

Sistema de alta tensión del sistema de gestión de batería (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This dataset represents the production of 1 kg high voltage system (HVS), which is part of the Battery Management System (BMS) of a Li-ion battery. The high voltage system is modeled according to the publication of Ellingsen et al. (2014). It is assumed that the high voltage system is manufactured at an electronic component production plant.

Reference:

Ellingsen, L. A. W., Majeau-Bettez, G., Singh, B., Srivastava, A. K., Valøen, L. O., & Strømman, A. H. (2014). Life cycle assessment of a lithium-ion battery vehicle pack. *Journal of Industrial Ecology*, 18(1), 113-124.

Production volume: 1439417.75 kg
 Included activities start: The activity starts with the electronic and other material entering the factory.
 Included activities end: The activity ends with the production of high voltage system at the factory gate.
 Energy values: Undefined
 Geography: The inventory is modelled for Global
 Technology level: Current
 Technology: The high voltage system contains cables, nylon clips, intermodule fuse, neoprene gaskets, both plastic- and aluminum connectors, and an aluminum lid.

Start date: 01/01/2014
 End date: 31/12/2022
 Is data valid for entire period: True
 Time period: The time period is from 2014 (year of the publication of data) and 2020 (year of the dataset)
 Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

 Version: 2.3.0.0
 Created: 11/21/2020 2:26:54 PM

Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

 Version: 2.3.0.0
 Created: 11/21/2020 2:26:54 PM
 Last edited: 5/6/2021 1:37:54 PM
 Source: d6f931a6-3c8c-5c4c-a039-bd3868c872b7_d7eb78bc-ed18-4080-95de-728ae6d73a73.spold
 UUID: d6f931a6-3c8c-5c4c-a039-bd3868c872b7

Placa de circuito impresa montada (Fuente: base de datos Ecoinvent):

The data represent the PWB of a power supply unit, used in modern Desktop PCs. Material data are based on own dismantling activities. Infrastructure and production efforts are based on own assumptions.

 This dataset represents the average composition and production efforts for 1 kg of a mounted PWB of a power supply unit (PSU), as used in a desktop PC. Main data are taken from own dismantling activities.

 Production volume: 1 kg
 Included activities start: From reception of printed wiring board at the factory gate.

Included activities end: This dataset includes component input and production efforts (incl. PWB waste due to failure in mounting) for the production of a PWB used in the power supply unit of a desktop PC, using Pb-free solder material.
 Energy values: Undefined
 Geography: The inventory is modelled for Global
 Technology level: Current
 Technology: Average PWB mounting technology (wave soldering)
 Start date: 01/01/2005

End date: 31/12/2022
 Is data valid for entire period: True
 Time period:
 Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

 Version: 29.3.0.0
 Created: 7/28/2010 6:51:26 PM
 Last edited: 9/10/2012 5:23:29 PM

Source: 4ffb1bbf-5d1a-557b-a676-2f714c5e8bc5_c8e0343b-d1e9-4850-b235-2f3e931b01e6.spold
 UUID: 4ffb1bbf-5d1a-557b-a676-2f714c5e8bc5

Circuitos integrados de tipo lógico (microchips) (Fuente: base de datos Ecoinvent):

| |
|---|
| <p>This dataset represents the production of 1 kg of a logic type integrated circuit, including the processes and materials required to package up a fabricated wafer into a logic type microchip. It is mainly based on literature data.</p> <p>[This dataset was already contained in the ecoinvent database version 2. It was not individually updated during the transfer to ecoinvent version 3. Life Cycle Impact Assessment results may still have changed, as they are affected by changes in the supply chain, i.e. in other datasets. This dataset was generated following the ecoinvent quality guidelines for version 2. It may have been subject to central changes described in the ecoinvent version 3 change report (http://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-version-3/reports-of-changes/), and the results of the central</p> |
| <p>updates were reviewed extensively. The changes added e.g. consistent water flows and other information throughout the database. The documentation of this dataset can be found in the ecoinvent reports of version 2, which are still available via the ecoinvent website. The change report linked above covers all central changes that were made during the conversion process.]</p> <p>Production volume: 13356575744 kg Included activities start: From reception of plastics and metals at the factory gate. Included activities end: It includes all the processes required to produce a logic type microchip. Included are 'die</p> |
| <p>separation', 'encapsulation', 'die attachment', 'lead bonding', 'plating', and 'marking'. These operations are represented by the material input of glass epoxy, metals, epoxy resin, doped silicon, glue, gold (wires) etc. and the assembly process energy used. No water is required for the assembly of the integrated circuit. Neither direct air emissions nor any waste are balanced for this packaging dataset.</p> <p>Energy values: Undefined Geography: The inventory is modelled for Global Technology level: Current Technology: The chip packaging technology operations are: backside preparation, die separation (scribing,</p> |
| <p>sawing), die pick, die attach, inspection, lead bonding, preseat inspection, packaging sealing, plating, lead trim, marking and final test. In particular:</p> <p>Die attaching: in the center of every package is an area where the chip is securely attached into the package, with the goals of creating a strong physical bond between the chip and the package, providing either an electrical conducting or insulating contact between the die and the package, and serving as a medium to transfer heat from the chip to the package.</p> |
| <p>Lead bonding: thin wires are bonded between the chip bonding pads and the inner leads of the package, the methods of connecting the chip to the package are: wire bonding, bump (ball) technology, and tape automated bonding (TAB).</p> <p>Start date: 01/01/2000 End date: 31/12/2022 Is data valid for entire period: True Time period: Macro-economic scenario name: Business-as-Usual</p> |

Version: 28.3.0.0
Created: 7/28/2010 6:44:28 PM
Last edited: 12/2/2016 2:43:41 PM
Source: c34ae419-b0ed-5f71-95ec-3707540214f0_ad2a5d44-4e6d-430d-873b-0068ea24b9d5.spold
UUID: c34ae419-b0ed-5f71-95ec-3707540214f0

Inventario de la fase de uso del vehículo autónomo

Consumo de electricidad en la fase de uso (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This is a market activity. Each market represents the consumption mix of a product in a given geography, connecting suppliers with consumers of the same product in the same geographical area. Markets group the producers and also the imports of the product (if relevant) within the same geographical area. They also account for transport to the consumer and for the losses during that process, when relevant.

This dataset describes the electricity available on the high voltage level in Spain. This is done by showing the transmission of 1kWh electricity at high voltage.

Production volume: 136108457984 kWh

Included activities start: This activity starts from 1kWh of electricity fed into the low voltage transmission network.
Included activities end: This activity ends with the transport of 1 kWh of low voltage electricity in the transmission network over aerial lines and cables.

This dataset includes:

- electricity inputs produced in this country and from imports and transformed to low voltage
- the transmission network
- direct emissions to air (SF6 from the insulation gas in the high voltage level switchgear are allocated to the

electricity demand on medium voltage).

- electricity losses during transmission

This dataset doesn't include

- electricity losses during transformation from high to medium voltage or medium to low, as these are included in the dataset for transformation
- leakage of insulation oil from cables and electro technical equipment (transformers, switchgear, circuit breakers) because this only happens in case of accidental release
- SF6 emissions during production and deconstruction of the switchgear, as these are accounted for in the

transmission network dataset.

Energy values: Undefined

Geography: The inventory is modelled for Spain

Technology level: Current

Technology: Average technology used to transmit and distribute electricity. Includes underground and overhead lines, as well as air-, vacuum- and SF6-insulated high-to-medium voltage switching stations. Electricity production according to related technology datasets.

Start date: 01/01/2014

Start date: 01/01/2014

End date: 31/12/2022

Is data valid for entire period: True

Time period: The 'Start of Period' and 'End of Period' do not refer to the year for which this market is valid. See general comment for the year for which the shares are based on.

Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 2.3.0.0

Created: 12/20/2022 4:10:33 PM
Last edited: 7/27/2015 10:49:34 AM
Source: d06f2ef8-0c47-5f8d-bd1b-cf461d27fb14_d69294d7-8d64-4915-a896-9996a014c410.spold
UUID: d06f2ef8-0c47-5f8d-bd1b-cf461d27fb14

Inventario de la fase de mantenimiento del vehículo autónomo

- Mantenimiento del vehículo eléctrico (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This is a market activity. Each market represents the consumption mix of a product in a given geography, connecting suppliers with consumers of the same product in the same geographical area. Markets group the producers and also the imports of the product (if relevant) within the same geographical area. They also account for transport to the consumer and for the losses during that process, when relevant.

This is the market for 'maintenance, passenger car, electric, without battery', in the Global geography.

This market contains no transport or losses, as they are irrelevant for the delivered product.

This is delivering the service of maintenance, passenger car, electric, without battery. The service includes the needed materials (ethylene, steel, synthetic rubber), waste and electricity. The maintenance of battery is not included.

Production volume: 45000 p

Included activities start: This activity starts with the service generation.

Included activities end: This activity ends with the service supplied to its consumers. Transport or losses are considered irrelevant for this product.

Energy values: Undefined
Geography: The inventory is modelled for Global
Technology level: Current
Technology:
Start date: 01/01/2000
End date: 31/12/2022
Is data valid for entire period: True
Time period:

Time period:
Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 2.3.0.0
Created: 9/19/2012 11:42:08 AM
Last edited: 9/19/2012 11:42:08 AM
Source: 02f086d6-672e-50a2-8543-5f13d3abe95b_f5944d71-0b10-4275-b5e3-850cc72edcb8.spold
UUID: 02f086d6-672e-50a2-8543-5f13d3abe95b

- Mantenimiento de los equipos electrónicos adicionales: Se ha creado el proceso (Elaboración propia).

2. Procesos del inventario del vehículo de combustión interna

Inventario de la fase de fabricación del vehículo de combustión interna

Producción de vehículo de combustión interna (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This dataset describes the production of a petrol passenger car of compact size. The entries are based on a per kg basis. The model is optimized for a vehicle of about 1234kg. It is subdivided in two modules, the glider and the drivetrain. Each module contains the specific materialization and production efforts and emissions. The specific end of life treatment of each module is covered in the respective dataset. The treatment of the used passenger car only includes the manual dismantling of the car in the various modules.

Production volume: 35999997952 kg

Included activities start: The dataset takes as input the two modules (glider and drivetrain) which build the vehicle.

The production efforts, emissions and manufacturing infrastructure are in the respective modules.

Included activities end: The activity ends with the assembly of the car and the dismantling of the vehicle at the end of its life.

Energy values: Undefined

Geography: The inventory is modelled for Global

Technology level: Modern

Technology: The dataset is based on averages over passenger car technologies spanning from 2000 to 2010 which are expected to be representative up to 2015.

Start date: 01/01/2000

End date: 31/12/2022

Is data valid for entire period: True

Time period:

Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 5.3.0.0

Created: 5/22/2012 4:59:25 PM

Last edited: 9/13/2012 3:13:38 PM

Source: d3223e3d-634b-5f91-98b0-0c5c1407bc65_of26d3c7-c362-4f36-bd45-250bcdf1825e.spold

UUID: d3223e3d-634b-5f91-98b0-0c5c1407bc65

Inventario de la fase de uso del vehículo de combustión interna

Consumo de gasolina de un vehículo de combustión interna en la fase de uso (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This is a market activity. Each market represents the consumption mix of a product in a given geography, connecting suppliers with consumers of the same product in the same geographical area. Markets group the producers and also the imports of the product (if relevant) within the same geographical area. They also account for transport to the consumer and for the losses during that process, when relevant.

This is the market for 'transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5', in the Global geography.

This market contains no transport or losses, as they are irrelevant for the delivered product.

This is delivering the service of average transportation of passenger/s across one kilometre (km). This service only considers the transportation of passengers. The vehicle operates with petrol, its emission standard is classified as EURO5. The average passenger load factor is considered to be in total 97.2 kg. The dry weight of the vehicle is considered to be 1200 kg and its lifetime is 150000 km. A user that wish to model a different average load factor should modify this product or its producing activity.

Production volume: 751670394880 km

Included activities start: This activity starts with the service generation.

Included activities end: This activity ends with the service supplied to its consumers. Transport or losses are considered irrelevant for this product.
Energy values: Undefined
Geography: The inventory is modelled for Global
Technology level: Current
Technology:
Start date: 01/01/2012
End date: 31/12/2022

Is data valid for entire period: True
Time period:
Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 2.3.0.0
Created: 7/18/2012 6:07:13 PM

Last edited: 7/18/2012 6:07:13 PM
Source: 93d865fd-ccc5-5d52-b3cc-bf5d58df0b45_e110266e-a20e-41ae-a5f6-7dbcf0935abd.spold
UUID: 93d865fd-ccc5-5d52-b3cc-bf5d58df0b45

Inventario de la fase de mantenimiento del vehículo de combustión interna

Mantenimiento del vehículo de combustión interna (Fuente: base de datos Ecoinvent):

This is a market activity. Each market represents the consumption mix of a product in a given geography, connecting suppliers with consumers of the same product in the same geographical area. Markets group the producers and also the imports of the product (if relevant) within the same geographical area. They also account for transport to the consumer and for the losses during that process, when relevant.

This is the market for 'passenger car maintenance', in the Global geography.

This market contains no transport or losses, as they are irrelevant for the delivered product.

This is delivering the service of maintenance, passenger car. The service includes the replacement of regular components and substances such as tyres, motor oil, coolant, sundry items and battery. Disposal of these materials is also accounted for.

Production volume: 99724992 p
Included activities start: This activity starts with the service generation.
Included activities end: This activity ends with the service supplied to its consumers. Transport or losses are considered irrelevant for this product.

Energy values: Undefined
Geography: The inventory is modelled for Global
Technology level: Current
Technology:
Start date: 01/01/2000
End date: 31/12/2022
Is data valid for entire period: True
Time period:

Macro-economic scenario name: Business-as-Usual

Version: 2.3.0.0

Created: 9/19/2012 11:24:04 AM

Last edited: 9/19/2012 11:24:04 AM

Source: d4e0589f-4ff4-5aec-adbe-c6a2f7ab5d53_32b92bba-6384-4d3e-9d19-d64be49c3c56.spold

UUID: d4e0589f-4ff4-5aec-adbe-c6a2f7ab5d53

ANEXO II

En la siguiente ilustración se muestra el impacto de cada etapa del ciclo de vida del vehículo autónomo para cada categoría de impacto.

Se representa con el siguiente código de colores: color verde oscuro representa la fase de fabricación del vehículo autónomo, el color verde claro representa la fase de consumo de electricidad, el color naranja representa la fase de mantenimiento de vehículo eléctrico sin batería y el color amarillo representa la fase de mantenimiento de los equipos electrónicos adicionales y batería recambios.

Las categorías de impacto ambiental representadas en la Ilustración corresponden de izquierda a derecha: Agotamiento abiótico, Agotamiento abiótico (combustibles fósiles), Calentamiento global (GWP100a), Agotamiento de la capa de ozono (ODP), Toxicidad humana, Ecotoxicidad acuática en agua dulce, Ecotoxicidad acuática marina, Ecotoxicidad terrestre, Oxidación fotoquímica, Acidificación y Eutrofización.

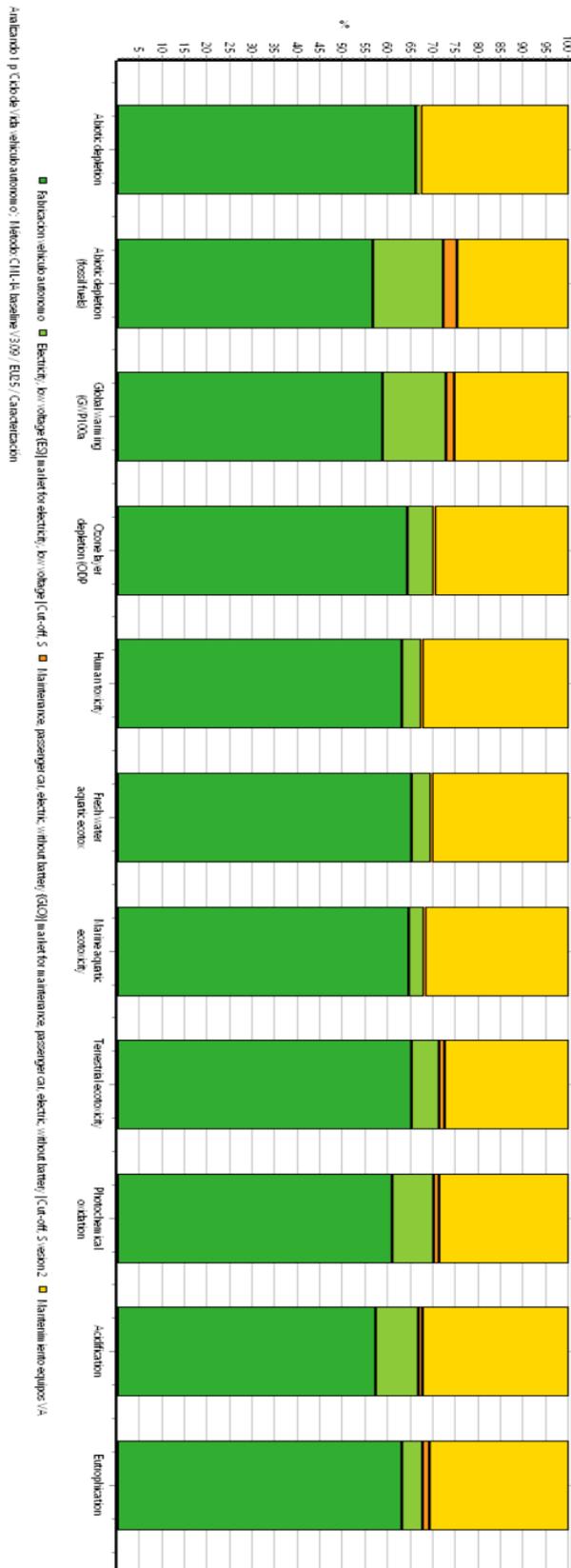


Ilustración 25 Impacto de cada etapa del ciclo de vida del vehículo autónomo según categorías de impacto (Elaboración propia)

ANEXO III

En este anexo se incluyen los resultados de las comparaciones de los ciclos de vida de un vehículo eléctrico autónomo con respecto al ciclo de vida de un vehículo de combustión interna a gasolina.

Se representan las ilustraciones con el siguiente código de colores: color verde oscuro representa el impacto de un vehículo autónomo y el color verde claro representa el impacto de un vehículo de combustión interna a gasolina.

Las categorías de impacto ambiental representadas en las ilustraciones corresponden de izquierda a derecha: Agotamiento abiótico, Agotamiento abiótico (combustibles fósiles), Calentamiento global (GWP100a), Agotamiento de la capa de ozono (ODP), Toxicidad humana, Ecotoxicidad acuática en agua dulce, Ecotoxicidad acuática marina, Ecotoxicidad terrestre, Oxidación fotoquímica, Acidificación y Eutrofización.

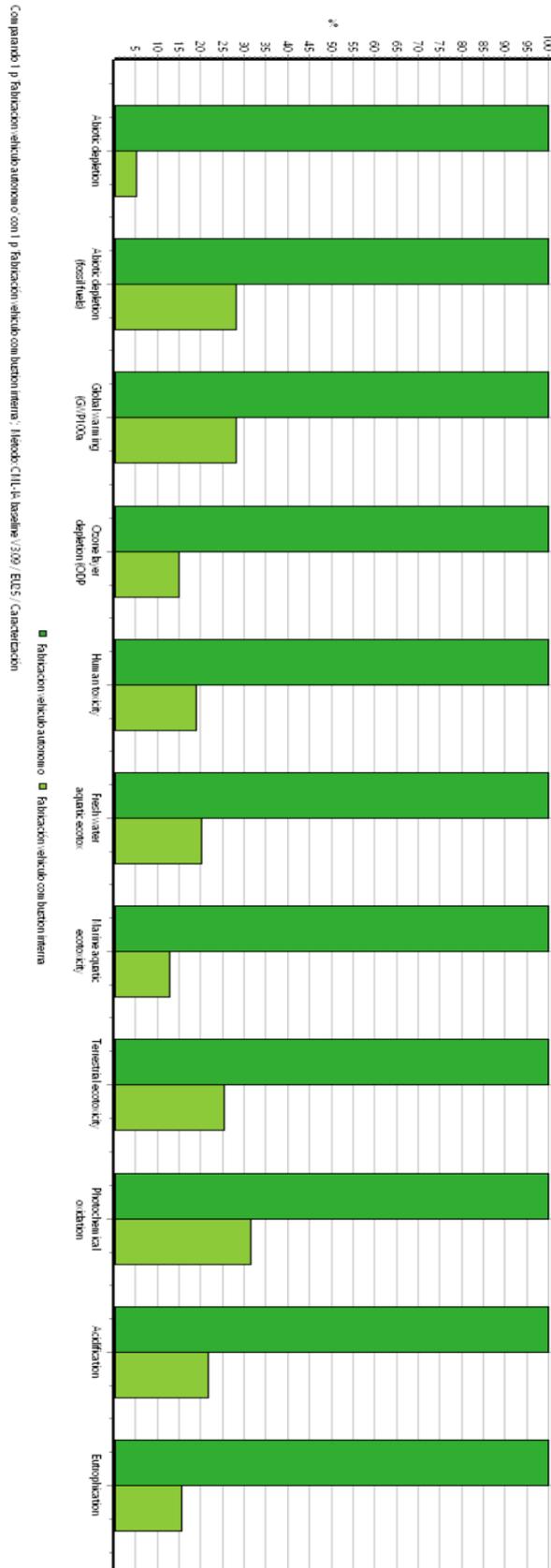


Ilustración 26 Resultados comparación entre las fases de fabricación de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia)

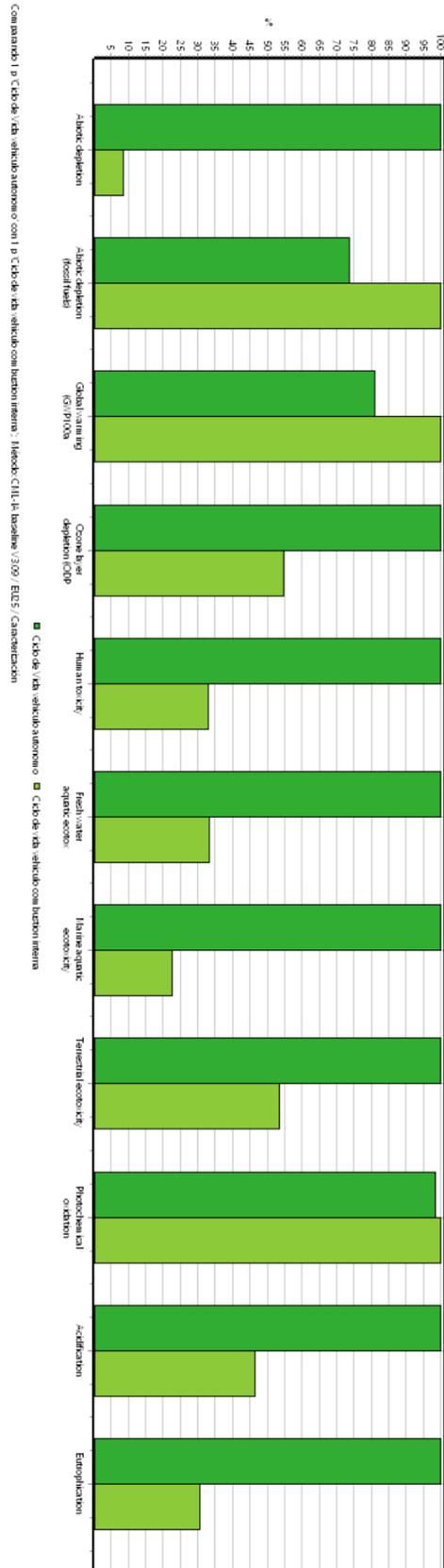


Ilustración 28 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia)

ANEXO IV

En este anexo se muestran las gráficas obtenidas en los análisis de sensibilidad realizados.

Se representan las ilustraciones con el siguiente código de colores: color verde oscuro representa el impacto de un vehículo autónomo y el color verde claro representa el impacto de un vehículo de combustión interna a gasolina.

Las categorías de impacto ambiental representadas en las ilustraciones corresponden de izquierda a derecha: Agotamiento abiótico, Agotamiento abiótico (combustibles fósiles), Calentamiento global (GWP100a), Agotamiento de la capa de ozono (ODP), Toxicidad humana, Ecotoxicidad acuática en agua dulce, Ecotoxicidad acuática marina, Ecotoxicidad terrestre, Oxidación fotoquímica, Acidificación y Eutrofización.

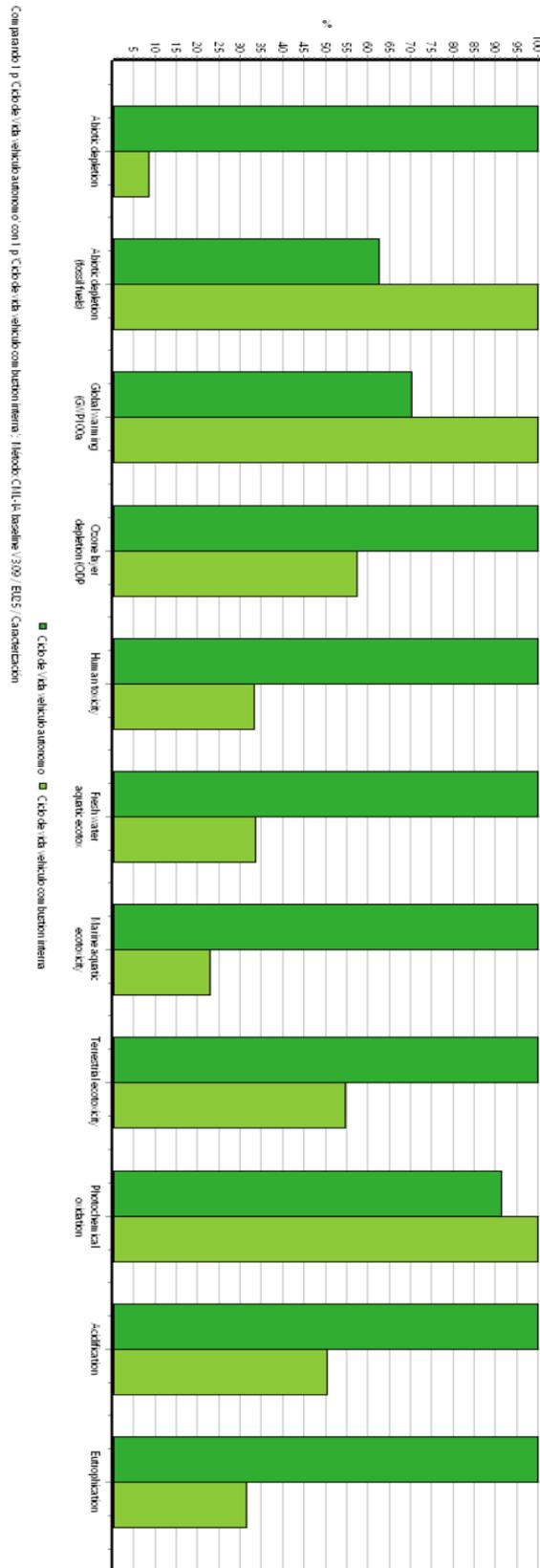


Ilustración 29 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo utilizando proceso de generación de electricidad de fuentes 100% renovables y un vehículo de combustión interna (Elaboración propia)

Ilustración 30 Resultados comparación entre los ciclos de vida de un vehículo autónomo aplicando los cambios propuestos en ambos análisis de sensibilidad (Elaboración propia)

