



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AUTOMÓVILES

Autor: Pablo Gómez Sánchez de Rojas

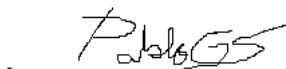
Directoras: Ana María Santos Montes, Yolanda González
Arechavala

Madrid

Julio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio medioambiental en una planta de fabricación de automóviles
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/21 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.



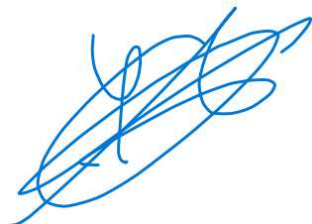
Fdo.: Pablo Gómez Sánchez de Rojas

Fecha: 20/07/2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Yolanda González Arechavala, Ana María Santos Montes Fecha: 20/07/2021





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AUTOMÓVILES

Autor: Pablo Gómez Sánchez de Rojas

Directores: Ana María Santos Montes, Yolanda González
Arechavala

Madrid

Julio de 2021

ESTUDIO MEDIOAMBIENTAL EN UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE AUTOMÓVILES

Autor: Gómez Sánchez de Rojas, Pablo.

Directores: Santos Montes, Ana María; González Arechavala, Yolanda

Entidad Colaboradora: Empresa Stellantis. Planta Villaverde, Madrid

RESUMEN DEL PROYECTO

Palabras clave: Proceso de pintura del automóvil, Análisis de Ciclo de Vida, Desarrollo Sostenible

1. Introducción

En este trabajo fin de grado se realiza un estudio medioambiental sobre una fábrica de vehículos en Madrid con el objetivo de evaluar los impactos que se generan por cada etapa que tiene lugar en la fábrica en vistas a mejorar el proceso productivo. Actualmente formo parte de la Cátedra de Transición Energética de Repsol, para el cual se está desarrollando un estudio en profundidad en vistas a mejorar el proceso productivo, mitigando las emisiones, las materias primas y recursos energéticos consumidos, de manera que el proceso de fabricación de vehículos sea sostenible y el impacto medioambiental sea lo menor posible. Un término clave y destacable para comenzar a hablar del proyecto es el “Desarrollo Sostenible”. Una de las mayores amenazas ante dicho desarrollo sostenible es el cambio climático. Después de más de un siglo y medio de industrialización, deforestación y agricultura la cantidad de gases de efecto invernadero ha crecido desmesuradamente. El gas de efecto invernadero que más predomina es el dióxido de carbono cuyo origen antropogénico está en la combustión de materia fósil. El Acuerdo de París de 2015 fue un hito en la lucha contra el cambio climático, conseguir la reducción de gases de efecto invernadero y compatibilizarlo con un crecimiento económico. En vistas a conseguir este desarrollo sostenible la Unión Europea presentó a finales de 2019 el Pacto Verde Europeo, que plantea lograr una neutralidad climática en el 2050[1].

En España el sector transportes es un sector prioritario en la descarbonización ya que supone un 27,7% de las emisiones de gases de efecto invernadero[2]. Este porcentaje de emisiones solo tiene en cuenta las debidas a la fase de uso del vehículo (consumo de combustible fósil). Sin embargo, la vida de un vehículo tiene más etapas, desde la extracción de materias primas y recursos energéticos, el transporte de los recursos, fabricación y ensamblado del vehículo y final de vida de este; en las cuáles también se generan emisiones.

Como indica el “Plan de Acción de la Economía Circular”[3], durante la fase de producción de un vehículo se debería prestar especial atención en usar recursos más

eficientes, produciendo menos residuos y minimizando emisiones al aire, agua y tierra que supongan un menor peligro para el medioambiente. Durante la fabricación de un vehículo el 62% de los impactos medioambientales totales generados durante la fabricación de vehículos están vinculados al proceso de pintura[4], lo cual es un dato alarmante puesto que la producción de vehículos está en constante auge. Además, cerca del 80-90% del total de las emisiones directas de contaminantes al aire producidas durante la fabricación de automóviles se asocian a la etapa de pintura [5] y se consume en torno al 48-60% de la energía total requerida [6]. Estos son los principales motivos por los que la etapa de pintura es la más importante a considerar en el proyecto.

2. Planteamiento del problema y definición de la metodología

La fábrica objeto de estudio realiza en sus instalaciones las tres últimas fases en la fabricación de un vehículo: configuración de la carrocería (chapa), pintura y montaje.

- Chapa: soldadura de la chapa e incorporación de masillas para estanqueidad.
- Pintura: la carrocería pasa por diferentes etapas, con baños de pintura, lavados y horneados, de tal forma que la chapa va adquiriendo una serie de capas de pintura que confieren a la carrocería diversas propiedades (protección UV, anticorrosión, ...).
 - Tratamiento Superficial (TTS): desengrase de la chapa e incorporación de una capa que favorece la anticorrosión y adherencia de posteriores capas. Se pasó de un tratamiento convencional a un tratamiento Verde. El tratamiento convencional se caracteriza por un baño de fosfatación, mientras que el Verde se trata de un baño de silanoles (polímeros orgánicos e inorgánicos). Este cambio se llevó a cabo dado que, manteniendo la calidad de la pintura, se consigue disminuir los costes, el consumo de energías y de materias primas, se elimina la presencia de metales pesados y sustancias como el nitrato de níquel (caracterizada como sustancia cancerígena y mutágena), en favor de baños con productos más limpios y que generan menos residuos.
 - Cataforesis: formación de una capa anticorrosiva mediante método electrolítico. Gracias a la capa de silanoles se garantiza una fuerte unión química entre las capas de cataforesis y TTS.
 - Estanqueidad: de nuevo se incorpora masillas de PVC para garantizar la estanqueidad de la carrocería.
 - Aprestado, Base B0: capa que protege de los rayos UV y antigrañillado. Pintura por pulverización electrostática en base agua y sin necesidad de horneado, a diferencia del apresto convencional.
 - Lacas y Barniz: dan protección, durabilidad y buena presencia estética. Etapa de mayores emisiones, particularmente compuestos orgánicos volátiles (COV), por el uso de disolventes. Alto consumo energético principalmente por el horneado final.

En esta etapa de pintura se reducen los residuos generados y el consumo de materias primas gracias a la reutilización de baños de pintura ante el uso de filtros en los efluentes de los baños y al tratamiento físico-químico de los efluentes de cataforesis y desengrase. Además, las emisiones de COV se reducen en un 6% gracias a incineradoras a la salida de los efluentes de aire en las lacas-barniz y cataforesis.

- Montaje: ensamblado, puesta a punto y pruebas de funcionamiento del vehículo.

Para desarrollar cada una de las etapas se ha partido de datos e informes proporcionados por la empresa, así como de otros Análisis de Ciclo de Vida y estudios medioambientales de años recientes en la literatura.

La metodología utilizada para este análisis medioambiental es la de Análisis de Ciclo de Vida. Esta técnica atribuye a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y energías necesarias para su manufactura, transporte y distribución, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción, así como los efectos ambientales que surgen del fin de vida del producto como desecho. De acuerdo con la normativa ISO 14040 y 14044 [7], la cual especifica los principios, el marco general y necesidades básicas para la elaboración de un estudio ACV, un proyecto de este tipo puede dividirse en cuatro fases no secuenciales: objetivo y alcance, análisis de inventario, análisis de impacto e interpretación de los resultados.

3. Estado del arte

Existen numerosos estudios de ACV relacionados con el impacto medioambiental en la industria automovilística, la mayoría de ellos centrados en motores de vehículos eléctricos y en estudios comparativos entre vehículos de combustión interna, híbridos, de hidrógeno y eléctricos. Sin embargo, probablemente debido a la dificultad para recopilar información, no hay muchos estudios medioambientales basados en la etapa de pintura del vehículo.

En cuanto a ACVs sobre la industria de pintura de vehículos cabe mencionar un estudio desarrollado a principios de siglo en el que se analizan diferentes pinturas en base agua, polvo y disolvente, centrándose en el uso de pinturas en base polvo como alternativa al uso de disolventes y por su fácil reutilización [8]. Más adelante desarrolló el mismo grupo un estudio de ACV con el proceso de pintado completo, con los consumos de energía y emisiones correspondientes[9]. En estudios más recientes como [10] se resalta la fuerte contribución del consumo de recursos energéticos al impacto ambiental total en una fábrica de producción de vehículos. Otros sin embargo se centran en las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) [11]o en el cómo hacer un uso eficiente de materias primas y recursos energéticos en el proceso de pintado de un vehículo[12].

La limitación está en que estudios de este tipo no dan una perspectiva del impacto total producido durante la fabricación de un vehículo pues otras variables son de especial importancia como el consumo de materias primas, las emisiones producidas por cada

etapa de fabricación, así como los residuos generados y su tratamiento de final de vida llevado a cabo.

En relación a ACVs completos cabe mencionar un estudio desarrollado por A.I.G. Muñoz en el año 2017 [13] en el que, debido a la nueva clasificación del formaldehído como contaminante peligroso, se han llevado a cabo diversas mejoras y propósitos en una planta europea de producción de vehículos para reducir las emisiones de este contaminante y de COV principalmente. Otro estudio similar, desarrollado en el 2016 por J. L. Rivera y T. Reyes-Carrillo [14], centrado en la producción en Francia y Alemania, con el inventario incluido solamente de su etapa de pretratamiento y de los impactos obtenidos. Sin embargo, se echa en falta sus inventarios correspondientes, que no está disponible por motivos de confidencialidad.

El único análisis ambiental encontrado, con su inventario completo disponible, es uno de 2018[15] de una fábrica de producción de vehículos italiana, que servirá de apoyo para el proyecto puesto que sigue una metodología de trabajo muy similar al proceso de fabricación de la planta en estudio.

4. Análisis de Ciclo de Vida

Los objetivos principales considerados en este proyecto son los siguientes:

- Obtener un estudio medioambiental completo sobre las etapas de fabricación de la planta. Analizar los principales focos de contaminación ambiental y de consumos de energía durante el proceso de producción y hacer alusión a las categorías de impacto a las que más afecta. Para ello se darán resultados robustos y representativos de la planta analizada que podrán ser de utilidad para estudios posteriores.
- Sacar conclusiones sobre los ámbitos donde verdaderamente se puedan realizar mejoras sustanciales en vistas a obtener una mayor eficiencia en equilibrio con una fabricación amigable con el medio ambiente.

En el ACV se han considerado las siguientes categorías de impacto: agotamiento abiótico, calentamiento global, destrucción de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad, oxidación fotoquímica, acidificación y eutrofización. La unidad funcional elegida para cuantificar estos impactos es un vehículo producido en la planta, por lo que el inventario irá referido a esta unidad funcional.

Con respecto a los impactos medioambientales, se han cuantificado a través de un método de cálculo conocido como CML-IA baseline disponible en el software utilizado, SimaPro, herramienta líder a nivel mundial para la elaboración de estudios medioambientales y ACVs. Este software incluye la base de datos empleada en este proyecto, Ecoinvent 3, la fuente de ACV más transparente y consistente a día de hoy. Los flujos de entrada y salida del sistema que conforman el inventario se han hecho corresponder con materias primas, recursos energéticos y procesos de la base de datos de Ecoinvent 3 en SimaPro.

5. Interpretación de resultados y conclusiones

Es de especial interés para la empresa el impacto generado por la planta sobre el calentamiento global. Las emisiones de CO_{2eq} para cada etapa o foco de impacto de la fábrica (chapa, pintura, montaje, calefacción de la fábrica, residuos totales) se muestran en la figura 1.

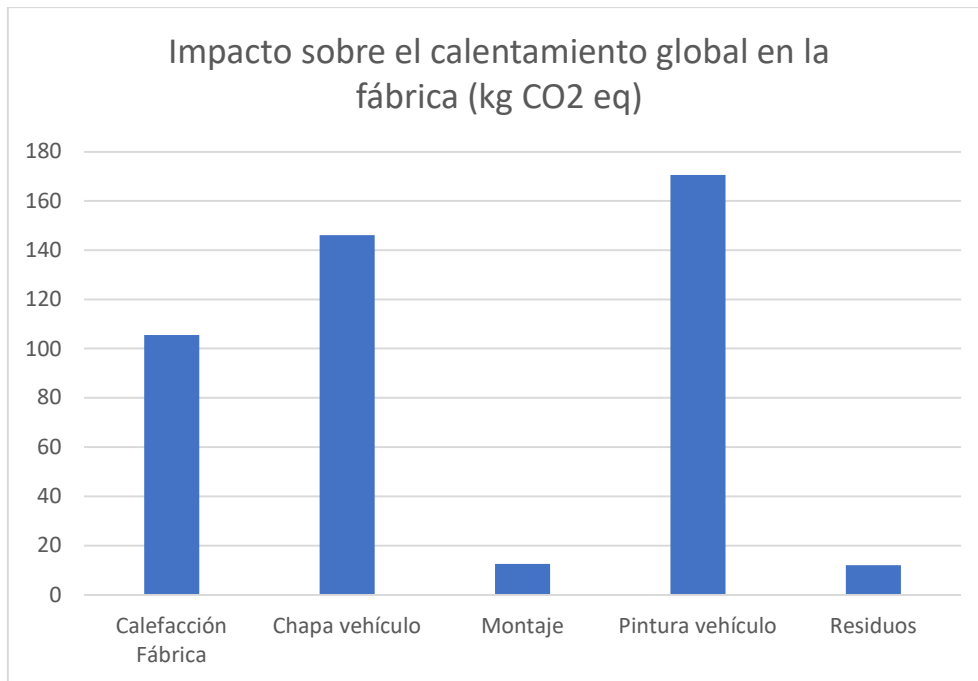


Figura 1. Impacto sobre el calentamiento global en la fábrica [2]

Los resultados obtenidos en la evaluación indican que se han generado 527 kg CO_{2eq}/veh totales producidos en la planta de producción. El proceso de pintura del vehículo es el causante del mayor impacto, en concreto de 171 kg CO_{2eq}/veh. Existe una serie de mejoras llevadas a cabo en la planta de estudio con respecto a la fábrica italiana que hacen que se reduzcan las emisiones de GEI, como el requerimiento de menores fases de producción. Así en la etapa de apresto, debido a la utilización de pintura en base agua, se prescinde de horneado. Además, se reduce el número de enjuagues y baños de pintura en el TTS debido a las características propias del baño de silanoles. También existen otras mejoras que suponen un aminoramiento en las emisiones de GEI, como el ahorro de energía y la minimización de residuos generados en el TTS, la reducción de emisiones en lacas y cataforesis mediante incineradoras, el uso de pinturas en base agua, la reducción de residuos generados o la reducción en el consumo de materia primas gracias a la reutilización de baños (debido al uso de filtros y tratamientos físico-químicos de efluentes). De esta manera se consigue que las emisiones sean inferiores a los 834 kg CO_{2eq}/veh de la fábrica italiana[15].

Los siguientes responsables del cambio climático son la fase de chapa, cuyas emisiones de GEI surgen durante la obtención y procesamiento de materia prima hasta el conformado final de la chapa, seguido de la calefacción de la fábrica. El potencial de calentamiento global generado por la calefacción es de 105 kg CO₂eq, valor muy remarcable considerando que en la etapa de pintura se obtuvieron 171 kg. De este total 44,8 kg proceden de las emisiones de gases de combustión de las calderas, 44,4 kg debido al mix eléctrico español, y el restante ocasionado por el consumo de gas natural.

En la figura 2 se muestra la contribución que tiene cada una de las fases de la etapa de pintura, siendo la que más afecta la etapa de lacas y barniz, etapa que más GEI emite. Las grandes emisiones de CO₂ junto con los grandes potenciales de impacto de los nitratos y clorofluorocarburos (CFCs) hacen que estos gases liberados al aire sean los principales responsables del cambio climático. También es de destacar el consumo energético en la pintura (gas natural y mix eléctrico español), debido a la cantidad considerable de energía requerida principalmente para el calentamiento de baños y hornos[16].

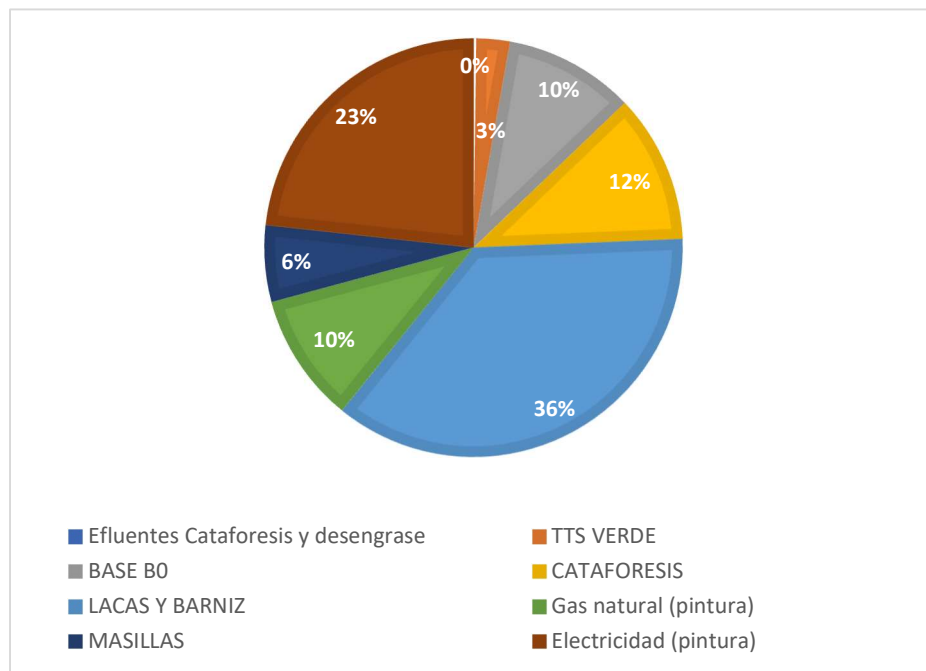


Figura 2. Comparativa de impactos sobre el calentamiento global para la etapa de pintura [Fuente Propia]

Algunas de las conclusiones obtenidas del Análisis de Ciclo de Vida son las siguientes:

- La etapa de chapa ha sido la más destacable en muchas categorías de impacto debido a la gran cantidad de chapa requerida por vehículo. A pesar de ello, es la etapa de pintura la que adquiere más relevancia dado que es aquella en la que se dan las mayores emisiones directas al aire, en la que se realiza mayor control de las materias primas empleadas, de las condiciones de trabajo, y de los recursos energéticos requeridos.

- Los recursos energéticos juegan un papel muy remarcable en los impactos medioambientales. La procedencia de materia fósil para el caso de gas natural y mayoritaria para el mix eléctrico en España, que unido a la necesidad de grandes cantidades de energía para calentar baños, hornos y calefacción hace que el impacto de dichos recursos energéticos sea muy grande. Mediante la incorporación de colectores solares y bombas de calor se conseguiría reducir el uso de recursos energéticos y, consecuentemente reducir el impacto ambiental.
- Uno de los problemas más grandes a considerar son las emisiones directas al aire durante la pintura. Son de especial relevancia las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, sobre todo en la etapa de lacas, que tienen una significativa influencia en el calentamiento global, destrucción de la capa de ozono estratosférica o en la generación de ozono superficial. Por otro lado están los aerosoles generados durante la catáforesis, y que afectan significativamente en la eutrofización y acidificación. Es de especial interés el impacto ocasionado sobre la categoría de cambio climático, que es potenciado mayoritariamente por las emisiones de dióxido de carbono. Este es un gas procedente principalmente de la combustión en calderas y que, debido a las grandes cantidades emitidas durante la pintura, especialmente en la etapa de lacas y barniz, hace que sea el gas más dañino en cuanto a este impacto. Otros gases de combustión en calderas son los óxidos de nitrógeno que influyen principalmente sobre la destrucción de la capa de ozono, acidificación y el calentamiento climático.

ENVIRONMENTAL STUDY IN AN AUTOMOBILE MANUFACTURING PLANT

Author: Gómez Sánchez de Rojas, Pablo.

Supervisors: Santos Montes, Ana María; González Arechavala, Yolanda

Collaborating entity: Stellantis enterprise. Villaverde plant, Madrid

ABSTRACT

Keywords: Automobile painting process, Life Cycle Assesment, Sustainable development

1. Introduction

The final degree project includes an environmental study on a vehicle factory plant in Madrid with the aim of analysing the impacts that generate each manufacturing phase. I am currently part of the Repsol Energy Transition Chair, for which an in-depth study has been developed with the aim of improving the production process, minimising emissions, raw materials and energy resources consumed, so that the vehicle manufacturing process results sustainable and the environmental impact as low as possible. A keyword to begin with the project is “Sustainable Development”. One of the greatest threats to such sustainable development is climate change. After more than a century and a half of industrialization, deforestation and agriculture, the amount of greenhouse gases has grown disproportionately. The most prevalent greenhouse gas (GHG) is carbon dioxide, which origin is in the fossil combustion. The 2015 Paris Agreement was a milestone in the fight against climate change, achieving the reduction of greenhouse gases and making it compatible with economic growth. In order to achieve this sustainable development, the European Union presented the European Green Deal at the end of 2019, which aims to achieve climate neutrality by 2050 [1].

In Spain transport is a priority sector in decarbonisation since it accounts for 27,7% of greenhouse gases[2]. This percentage only takes into account the vehicle’s use phase emissions (fossil fuel consumption). However, the life of a vehicle has more stages, that also contribute to the emissions to air, such as the extraction of raw materials and energy resources, the transportation of resources, manufacturing, assembly and the end of its life.

As indicated in the “Circular Economy Action Plan [3], special attention should be paid during the production of a vehicle to using more efficient resources, producing less waste and minimizing emissions to air, water and ground. During the manufacture of a vehicle, 62% of the total environmental impacts are due to the vehicle coating process [4], which is worrying since vehicle manufacturing is constantly increasing. In addition, about 80-90% of the total direct emissions released to air during automobile manufacturing are associated with the vehicle coating process [5] and around 48-60% of the total energy

required is consumed [6]. These are the main reasons why painting is the more important manufacturing stage to consider in the project.

2. Problem planning and methodology development

The manufacturing plant under study carries out the last three phases stages in the vehicle manufacturing process: body configuration (sheet metal), painting and assembly.

- Sheet metal: welding the car body and applying putties for sealing.
- Painting: the body goes through different stages, with baths of paint, washing and drying processes, so that the metal acquires several paint layers that provide the metal with different properties (UV protection, anti-corrosion, ...), anticorrosion, ...).
 - Surface Treatment: degreasing of car body and then applying a coating layer that avoid corrosion and guarantee adherence of subsequent layers. It was substituted conventional treatment for a Green treatment. Conventional treatment is characterized by a phosphating bath, while the Green is a bath of silanols (organic and inorganic polymers). This change in treatment was carried out since it is possible to reduce costs, consumption of energy and raw materials, eliminate the presence of heavy metals and substances like nickel nitrate (characterized as a carcinogenic and mutagenic substance), while it preserves the same coating quality as the obtained in conventional treatment. In addition, the baths in Green treatment use cleaner products and generate less residues than in the conventional one.
 - Cataphoresis (electrodeposition): formation of an anticorrosive layer by electrolytic method. Thanks to the silanol layer, a strong chemical bond between the electrocoating and surface treatment layers is guaranteed.
 - Water tightness: it is again applied a PVC putty to guarantee the watertightness of the body car.
 - Primer coat (Base B0): layer that protects from UV rays. Water-based electrostatic spray painting without the need of drying, unlike conventional primer.
 - Top coat and clear coat: give protection, durability and Good aesthetic appearance. It is the stage with higher emissions, particularly volatile organic compounds (VOC), due to the use of solvents. It requires a high energy consumption mainly due to the final drying.

During the painting process of the body car the waste generated and the consumption of raw materials are minimised because of paint bath reusing. This reusing has been possible thanks to filters and to physic-chemical treatment of the cataphoresis and degreasing effluents. Furthermore, VOC emissions are reduced by 6% thanks to incinerators at the outlet of the air effluents from top coat, clear coat and cataphoresis stages.

- Assembly: vehicle assembly, tune-up and operational testing of th body car.

Data and reports provided by the company, as well as some Life Cycle Assessment and environmental studies from recent years in literature have been needed to modelize each stage of the vehicle manufacturing process.

The methodology used for the environmental study of the project is the Life Cycle Assessment (LCA). This technique attributes to the products all the environmental effects derived from the consumption of raw materials and energy resources necessary for manufacturing, transport and distribution, emissions and waste generated in the vehicle manufacturing plant, as well as the environmental effects that arise from the end of life of a product. In accordance with the ISO 14040 and 14044 standard [7], which specifies the principles, the general framework and basic needs for the development of a LCA study, an LCA project is divided into four non-sequential phases: objective and scope, inventory analysis, impact analysis and interpretation of results.

3. State of art

There are numerous LCA studies related to environmental impact in the automotive industry, most of them focused on electric vehicle engines and on comparative studies between internal combustion, hybrid, hydrogen and electric vehicles. However, probably due to the difficulty in gathering information, there are not many environmental studies based on the painting stage in manufacturing vehicles.

Regarding LCAs on the vehicle paint industry, it is worth mentioning a study developed at the beginning of the century in which different water, powder and solvent-based paints are analyzed, focusing on the use of powder-based paints as an alternative to the use of solvents. and for its easy reuse [8]. Later, the same group developed an LCA study with the complete painting process, with the corresponding energy consumption and emissions[9]. More recent studies such as [10] highlight the strong contribution of the consumption of energy resources to the total environmental impact in an automobile manufacturing plant. Others, however, focus on emissions of VOC [11] or on how to make efficient use of raw materials and energy resources in the process of painting a vehicle[12].

The limitation is that studies of this type do not give a perspective of the total impact produced during the manufacture of a vehicle since other variables are of special importance such as the consumption of raw materials, the emissions produced by each manufacturing stage, as well as waste generated and their end-of-life treatment carried out.

In relation to complete LCA studies, it has to be mentioned one developed by A.I.G. Muñoz in 2017 [13] in which, due to the new classification of formaldehyde as a dangerous pollutant, several improvements and purposes have been carried out in a European manufacturing plant of vehicles to reduce emissions of this pollutant and VOC. Another similar study, developed in 2016 by J. L. Rivera y T. Reyes-Carrillo [14], focused on the production in France and Germany, with the inventory included only of its pre-treatment stage and the impacts obtained. However, their corresponding inventories are missing because of confidentiality.

The only environmental analysis found, with its complete inventory available, is one from 2018 [15] of an Italian vehicle production factory, which will support the project since it follows a work methodology very similar to the manufacturing process of the plant. in study.

4. Life Cycle Assessment

The main objectives considered in this project are the following:

- Obtain a complete environmental study on the manufacturing stages of the plant. Analyze the main sources of environmental pollution and energy consumption during the production process and refer to the impact categories that are most affected. For this, robust and representative results of the analyzed plant will be given that may be useful for subsequent studies.
- Draw conclusions about the areas where substantial improvements can truly be made in order to obtain greater efficiency in balance with environmentally friendly manufacturing.

The following impact categories have been considered in LCA: abiotic depletion, global warming, destruction of the ozone layer, human toxicity, ecotoxicity, photochemical oxidation, acidification and eutrophication. The functional unit chosen to quantify these impacts is a vehicle produced at the plant, so the inventory will refer to this functional unit.

Regarding the environmental impacts, they have been quantified through a calculation method known as CML-IA baseline available in the software used, SimaPro, a leading tool worldwide for the development of environmental studies and LCAs. This software includes the database used in this project, Ecoinvent 3, the most transparent and consistent LCA source today. The input and output flows of the system that make up the inventory have been matched with raw materials, energy resources and processes from the Ecoinvent 3 database in SimaPro.

5. Results interpretation and conclusions

The impact that produces the plant on global warming is of special interest to the company. The CO_{2eq} emissions for each stage or source of impact of the factory (sheet metal, painting, assembly, heating system, total waste) are shown in figure 1.

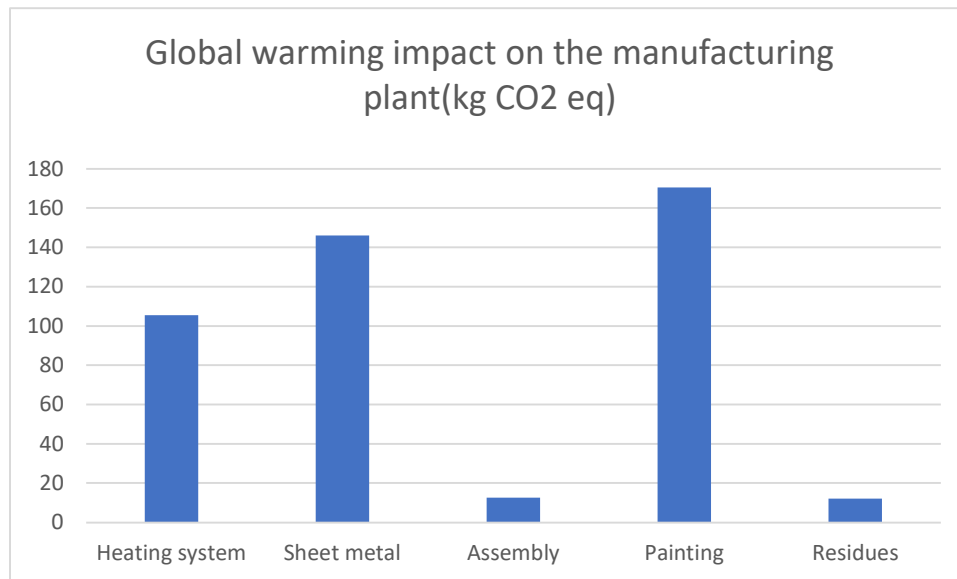
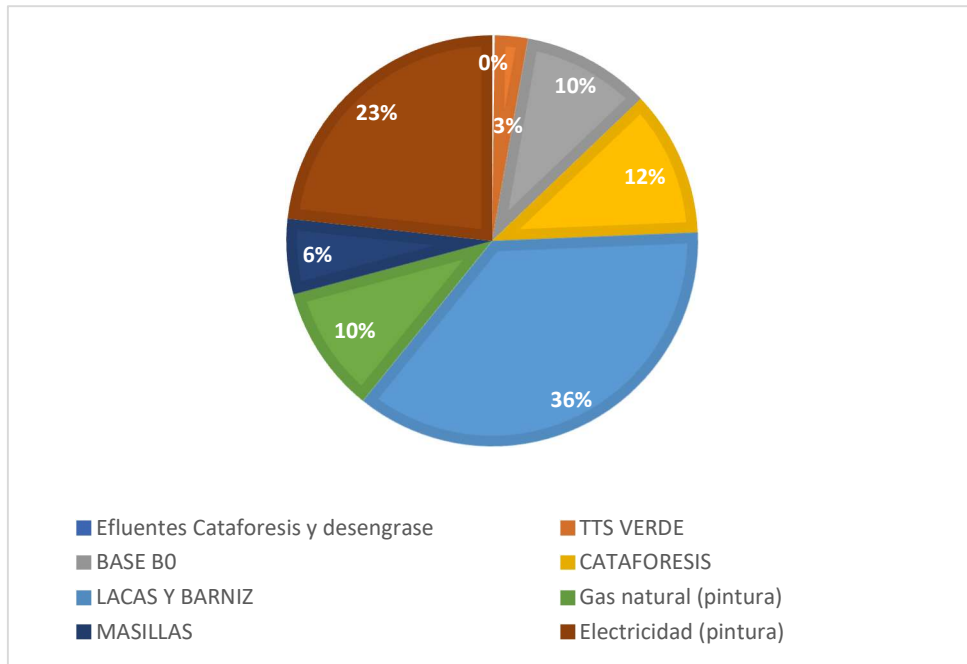


Figure 1. Global Warming impact on the manufacturing plant [2]

The results obtained in the analysis show that have been generated 527 kg CO_{2eq} / veh produced in the plant. The vehicle painting process supposes the greatest impact, 171 kg CO_{2eq} / veh. There are several improvements carried out in the study plant with respect to the Italian factory that reduce GHG emissions, such as the requirement of fewer production phases. Thus, in the primer coat, due to the use of water-based paint, drying processed is not used. In addition, the number of rinses and paint baths in the TTS is reduced due to the characteristics of the silanol bath. There are also other improvements that involve a reduction in GHG emissions, such as energy savings and minimization of waste generated in the TTS, the reduction of emissions in top coat, clear coat and cataphoresis thanks to incinerators, the use of water-based paints, the reduction of waste generated or the reduction of raw materials used thanks to the reuse of paint bath (due to the use of filters and physical-chemical treatment of effluents). In this way it is reached that the emissions are lower than 834 kg CO_{2eq} / veh from the Italian factory [15].

The next responsible for climate change are the sheet metal phase, whose GHG emissions arise during the obtaining and processing of raw material until the final forming of the body car, followed by the heating system of the factory. The global warming potential generated by heating system is 105 kg CO_{2eq}, a very remarkable value considering that 171 kg was obtained in the painting stage. From this total, 44.8 kg come from combustion gas emissions from the boilers, 44.4 kg due to the spanish electricity mix, and the remainder caused by the consumption of natural gas.

Figure 2 shows the contribution of each stage on painting, where the impact is caused mayoritary by the top coat and clear coat stage, the phase that emits the most GHG. The large CO₂ emissions together with the large impact potentials of nitrates and chlorofluorocarbons (CFCs) make these gases released into the air the main responsables of climate change. It is also worth highlighting the energy consumption in painting (natural gas and spanish electricity mix), due to the considerable amount of energy required mainly for heating baths and drying [16].



Figur3 2. Comparative of impacts on Global Warming for painting stage [Own source]

Some of the conclusions obtained during the development of the Life Cycle Analysis are the following ones:

- The sheet metal stage has been very remarkable in many impact categories due to the large amount of metal required per vehicle. Despite this, it is the painting stage the most relevant in the manufacturing process since it is the one in which the greatest direct emissions are released to air, and at the same time the most controllable stage, since the raw materials used, the working conditions and the energy resources required can be adjust.
- Energy resources play a very remarkable role in environmental impacts. The origin of gas natural and the majority of the electricity mix in Spain is fossil materia. This fact together with the need for large amounts of energy to heat baths, drying and heating systems make the impact of energy resources very significant. By incorporating solar collectors and heat pumps it would be possible to reduce the use of energy resources and, consequently, reduce the environmental impact.
- One of the biggest issue to consider is direct emissions to air during the painting stage. The emissions of VOC are of special relevance, especially in the top coat, which have a significant influence on global warming, destruction of the stratospheric ozone layer or on the generation of surface ozone. On the other hand the ammoniums generated during cataphoresis that significantly affect on eutrophization and acidification. It is of special interest for the project the impact cause on climate change, which is mainly enhanced by carbon dioxide emissions. This gas comes mayoritary from combustion processes in boilers and, due to the large amounts emitted during painting (particularly from top coat and clear coat) it supposes to be the most harmful greenhouse gas. Other flue gases from boilers are nitrogen oxides, which mainly get influence on the destruction of the ozone layer, acidification and global warming.

Contenido

1.	Introducción.....	1
2.	Metodología ACV	5
3.	Estado del arte	7
4.	Caso de estudio y objetivos del proyecto	11
5.	Herramientas informáticas para la elaboración del ACV	15
6.	Etapas de fabricación.....	17
6.1.	Sector chapa.....	17
6.2.	Sector pintura.....	17
6.2.1.	Tratamiento superficial.....	19
6.2.2.	Cataforesis	23
6.2.3.	Estanqueidad.....	25
6.2.4.	B0 imprimación	25
6.2.5.	Lacas y barniz.....	27
6.3.	Sector montaje	29
6.4.	Otros procesos de la fábrica	30
6.4.1.	Ciclo del aire (flujo de combustible).....	30
6.4.2.	Ciclo del agua	32
6.4.3.	Tratamiento de efluentes de TTS y cataforesis	34
6.4.4.	Gestión de residuos sólidos	35
7.	Análisis de Ciclo de Vida del caso de estudio.....	37
7.1.	Objetivo y definición del alcance	37
7.1.1.	Límites del sistema	38
7.1.2.	Categorías de impacto	39
7.2.	Inventario de Ciclo de Vida (ICV)	41
7.2.1.	ICV Chapa	41

7.2.2.	ICV Pintura.....	42
7.2.3.	ICV Montaje.....	51
7.3.	Análisis de Impacto de Ciclo de Vida (AICV).....	52
7.3.1.	Agotamiento abiótico	58
7.3.2.	Agotamiento abiótico (combustible fósil).....	59
7.3.3.	Calentamiento global.....	60
7.3.4.	Agotamiento de la capa de ozono.....	62
7.3.5.	Toxicidad humana	63
7.3.6.	Ecotoxicidad en agua fresca	64
7.3.7.	Ecotoxicidad en agua marina.....	65
7.3.8.	Ecotoxicidad terrestre	66
7.3.9.	Oxidación fotoquímica	67
7.3.10.	Acidificación	68
7.3.11.	Eutrofización	69
7.4.	Interpretación de los resultados y conclusiones	71
8.	Relación con los ODS	75
9.	Referencias	77

Índice de Figuras

Figura 1. Emisiones de GEI por sectores en España para el año 2020.....	2
Figura 2. Etapas del ACV	5
Figura 3. Fases fabricación.....	12
Figura 4. Espesor de las distintas capas de pintura sobre la chapa.....	18
Figura 5. Etapas TTS convencional.....	19
Figura 6. Etapas TTS Verde	19
Figura 7. Saponificación y emulsificación de las grasas para su eliminación.....	21
Figura 8. Unión química de la capa de conversión con la cataforesis.....	22
Figura 9. Etapas aplicación de la cataforesis	23
Figura 10. Baño de cataforesis.....	24
Figura 11. Bases de disolución de la pintura en los distintos continentes.....	26
Figura 12. Etapas aplicación de lacas y barniz	27
Figura 13. Pulverizado de lacas	28
Figura 14. Ciclo del aire y las emisiones en la fábrica	32
Figura 15. Ciclo del aire en la fábrica.....	33
Figura 16. Tratamiento físico-químico de los efluentes de TTS y cataforesis	35
Figura 17. Comparativa en % de impactos por etapas. El 100% de impacto para la etapa más contaminante	56
Figura 18. Comparativa normalizada a unidades de energía (MJ) para las categorías de impacto por etapas	57
Figura 19. Comparativa de impactos sobre el comportamiento abiótico para la etapa de pintura.....	58
Figura 20. Procedencia energética de las etapas masillas y lacas-barniz	59
Figura 21. Comparativa de impactos sobre el agotamiento abiótico para la etapa de pintura.....	60

Figura 22. Comparativa de impactos sobre el calentamiento global para la etapa de pintura	61
Figura 23. Comparativa de impactos sobre el agotamiento de la capa de ozono para la etapa de pintura	62
Figura 24. Comparativa de impactos sobre la toxicidad humana para la etapa de pintura	63
Figura 25. Comparativa de impactos sobre la ecotoxicidad en agua fresca para la etapa de pintura	64
Figura 26. Comparativa de impactos sobre la ecotoxicidad en agua marina para la etapa de pintura	66
Figura 27. Comparativa de impactos sobre la ecotoxicidad terrestre para la etapa de pintura.....	67
Figura 28. Comparativa de impactos para la oxidación fotoquímica para la etapa de pintura	68
Figura 29. Comparativa de impactos sobre la acidificación para la etapa de pintura ...	69
Figura 30. Comparativa de impactos sobre la eutrofización para la etapa de pintura...	70
Figura 31. Objetivos de desarrollo sostenible.....	75

Índice de Tablas

Tabla 1. Componentes de la imprimación bases B0.....	26
Tabla 2. Emisiones totales de fábrica	31
Tabla 3. Inputs de chapa para un vehículo	42
Tabla 4. Inputs de TTS Verde para un vehículo	43
Tabla 5. Inputs de Cataforesis para un vehículo.....	44
Tabla 6. Emisiones de Cataforesis para un vehículo	44
Tabla 7. Inputs de Masillas para un vehículo	45
Tabla 8. Emisiones de Masillas para un vehículo.....	45
Tabla 9. Inputs de Base B0 para un vehículo	46
Tabla 10. Inputs de Lacas y Barniz para un vehículo.....	46
Tabla 11. Emisiones de Lacas y Barniz para un vehículo	47
Tabla 12. Inputs de resto de instalación para un vehículo	47
Tabla 13. Emisionesde resto de instalación para un vehículo	49
Tabla 14. Residuos totales en Resto de instalación para un vehículo	49
Tabla 15. Inputs de Efluentes Cataforesis y desengrase para un vehículo	50
Tabla 16. Inputs de Montaje para un vehículo	51
Tabla 17. Inputs de Montaje para un vehículo	51
Tabla 18. Impactos para chapa, montaje, calefacción y residuos. Referidas a un vehículo	54
Tabla 19. Impactos totales sobre la pintura y desglosado por etapas de pintura. Referidas a un vehículo.....	55

1. Introducción

El trabajo de fin de grado abarca un estudio medioambiental sobre una fábrica de vehículos en Madrid. Actualmente me encuentro formando parte de la Cátedra de Transición Energética de Repsol como becario, junto con profesores y otros alumnos de la escuela de ICAI. Se está desarrollando un estudio en profundidad en vistas a mejorar el proceso de producción de vehículos en una fábrica, de manera que se consiga reducir las emisiones, optimizar los recursos energéticos, reducir en todo lo posible el uso de disolvente en pinturas o generar menores residuos; siempre y cuando la implementación de dichas mejoras resulte sostenible. En mi caso me encargo del análisis medioambiental de la planta de fabricación en la actualidad.

La manera más apropiada para comenzar a hablar sobre el tema del trabajo de fin de grado es puntualizando el término “desarrollo sostenible”. Según el Informe Brundtland[17], del que se volverá a hacer mención más adelante, “Desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro para atender sus propias necesidades”.

Una de las mayores amenazas ante dicho desarrollo sostenible es el cambio climático. El planeta Tierra ha sufrido variaciones en su clima mucho antes de la aparición del ser humano debido a factores propiamente naturales como son la modificación de la órbita terrestre, la actividad solar o el vulcanismo. Pero después de más de un siglo y medio de industrialización, deforestación y agricultura a gran escala la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) ha crecido desmesuradamente. El gas de efecto invernadero que más predomina es el dióxido de carbono cuyo origen antropogénico está en la combustión de materia fósil.

El problema no está en el hecho de liberar gases de efecto invernadero, pues gracias a ellos se consiguen unas condiciones climáticas que garantizan la habitabilidad en la Tierra. La cuestión está en que niveles descontrolados de gases de este tipo en la atmósfera traen consigo graves consecuencias como el aumento de las temperaturas medias o la elevación del mar.

El Acuerdo de París de 2015 fue un hito en la lucha contra el cambio climático, conseguir la reducción de gases de efecto invernadero y compatibilizarlo con un crecimiento económico. En vistas a conseguir este desarrollo sostenible la Unión Europea presentó a finales de 2019 el Pacto Verde Europeo (“*Green Deal*”), que plantea lograr una

neutralidad climática en el 2050 [1]. Las emisiones de GEI para el pasado año 2020 dividido por sectores fueron:

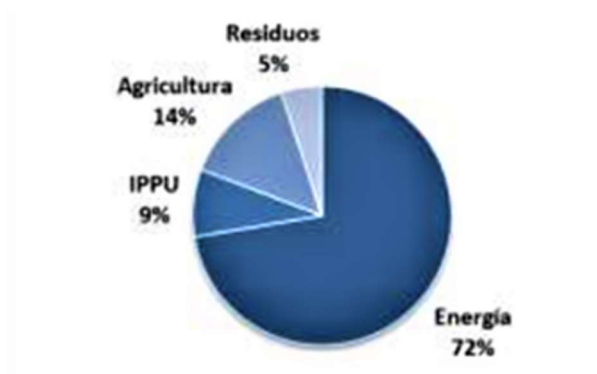


Figura 1. Emisiones de GEI por sectores en España para el año 2020[2]

En España el sector transportes supone un 27,7% [2] de las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, la demanda de vehículos junto con su producción está en continuo auge. En el año 2019 la producción global de vehículos alcanzó una cifra de 91,8 millones comparado con los 56,3 millones de unidades producidas en 1999[18], y el aumento se espera que prosiga en los próximos años, una vez la sociedad global recupere su economía tras la pandemia. Todo ello hace que el transporte sea un sector prioritario en la descarbonización.

En estas estadísticas solo se ha tenido en cuenta las emisiones en la fase de uso del vehículo debidas al consumo de combustible fósil (gasolina o diésel) y, sin embargo, no se está teniendo en cuenta las emisiones indirectas que se producen en la planta de fabricación, por ejemplo, de un coche eléctrico. Entonces dicho esto, ¿un coche eléctrico no es 100% amigable con el medioambiente?

Un vehículo eléctrico a pesar de no consumir combustible fósil en la etapa de uso sí que ha generado emisiones en su etapa de fabricación de las baterías o simplemente el origen de la energía eléctrica puede proceder de fuentes más o menos renovables. Así por ejemplo en países al este de la UE, caracterizados por ser más pobres, con menor concienciación medioambiental y con más recursos petrolíferos, la procedencia de la energía será prácticamente de fuentes no renovables y por tanto más contaminante.

Como indica el “Plan de Acción de la Economía Circular”[3], durante la fase de producción de un vehículo se debería prestar especial atención en usar recursos más eficientes, produciendo menos residuos y minimizando emisiones al aire, agua y tierra

que supongan un menor peligro para el medioambiente. Según se expresa en [4] el 62% de los impactos medioambientales totales en la fabricación de vehículos están vinculados al proceso de pintura, lo cual es un dato alarmante puesto que, como se ha dicho antes, la producción de vehículos está en constante auge. Cerca del 80-90% de las emisiones directas al aire de contaminantes como compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas en suspensión (PM), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO₂), óxido de carbono (CO)... producidas en la fabricación de vehículos se asocian a la etapa de pintura [5], además de que en esta etapa se consume en torno al 48-60% de la energía total requerida [6].

Para evaluar desde una panorámica completa el impacto medioambiental del proceso de fabricación de vehículos en la planta se va a emplear en este trabajo fin de grado la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que se describe a continuación.

2. Metodología ACV

Se trata de un estudio medioambiental que evalúa los impactos en el medioambiente, donde se incluyen la salud humana, el uso de recursos y las consecuencias ecológicas, a lo largo de la vida de un producto o de una actividad (“*cradle to grave*”), desde las materias primas de origen hasta su final de vida. Se atribuyen a los productos todos los efectos ambientales derivados del consumo de materias primas y energías necesarias para su manufactura, transporte y distribución, las emisiones y residuos generados en el proceso de producción, así como los efectos ambientales que surgen del fin de vida del producto como desecho[19].

Todo estudio de ACV deberá ajustarse a un estándar que viene establecido en la normativa ISO [20]. De acuerdo con la normativa ISO 14040[7], la cual especifica los principios, el marco general y necesidades básicas para la elaboración de un estudio ACV, un proyecto de este tipo puede dividirse en cuatro fases no secuenciales: objetivo y alcance, análisis de inventario, análisis de impacto e interpretación de los resultados.

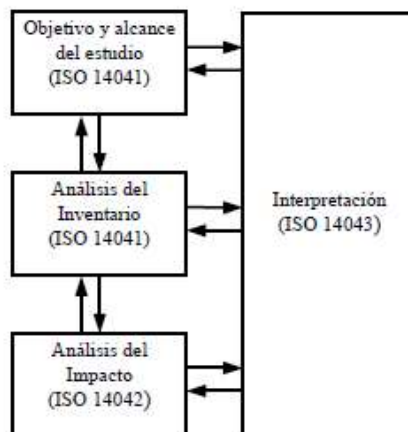


Figura 2. Etapas del ACV [19]

- *Objetivo y alcance del estudio:* se plantea el problema y los motivos por los que se realiza el estudio. Se establece la unidad funcional, es decir la función principal del sistema. Todas las entradas y salidas del sistema irán normalizadas en base a dicha unidad funcional. Se establecen unos límites de estudio. Varios factores determinan estos límites como son la aplicación prevista del estudio, las hipótesis planteadas o los datos de los que se dispone. Otro aspecto de especial relevancia es definir las categorías de impacto que se van a incluir en el estudio.

- *Análisis de inventario:* en esta fase se lleva a cabo la recopilación de datos y los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar todos los efectos ambientales negativos asociados a la unidad funcional. Estos efectos suponen una “carga ambiental”, que viene a ser flujos de entrada y salida de materia o energía del sistema causando un efecto nocivo en el ambiente. Como ejemplo podrían ser las emisiones de gases contaminantes, consumo de recursos naturales, residuos sólidos, radiaciones, efluentes de aguas, etc.
- *Análisis del Impacto:*
 - Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos.
 - Clasificación: asignación de los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado. Una categoría de impacto es una clase que representa las consecuencias ambientales ocasionadas por los procesos.
 - Caracterización: consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada categoría de impacto.

Cada categoría de impacto, *ej. acidificación*, precisa de una representación cuantitativa denominada indicador de categoría, *ej. emisión de ácido equivalente*. La suma de diferentes intervenciones ambientales para una misma categoría se hará en la unidad del indicador de categoría. Para ello las intervenciones ambientales, como la emisión de gases, se tienen que convertir a la unidad del indicador de la categoría mediante factores de caracterización o equivalencia.
- *Interpretación de los resultados:* trata de clarificar los objetivos planteados al comienzo del ACV. Se interpretan los resultados del análisis de inventario y de impacto, evaluando los impactos más significativos de acuerdo con el objetivo y alcance del ACV.

Por último, se establecen las conclusiones, limitaciones y recomendaciones del análisis que serán de gran utilidad para otros estudios.

3. Estado del arte

Se remonta al siglo XX la primera vez que se hace referencia a ACV en la documentación técnica, con la guerra de Yom Kippur, que enfrentó militarmente a Israel contra Siria y Egipto en octubre de 1973. Esto supuso que la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) embargara el suministro de petróleo a los países de Europa y Estados Unidos, como respuesta a la decisión que tomó este último de apoyar militarmente a Israel durante la guerra mencionada. Esto trajo un aumento importante en los precios del petróleo y consiguó una crisis que sorprendió a los países desarrollados, principalmente a Estados Unidos, dado su dependencia en combustibles fósiles. Esto llevó al debate público la necesidad de tomar medidas para el ahorro de energía, la búsqueda de energías alternativas y la necesidad de utilizar productos más limpios [21].

Es interesante destacar la publicación del año 1972 titulada “Un plan para la supervivencia” [22] que precedió la primera cumbre mundial sobre medioambiente y desarrollo que tuvo lugar en Estocolmo en 1972; este fue uno de los primeros escenarios sobre protección ambiental, crecimiento y desarrollo económico, que sentó parte de las bases que se plantearon posteriormente de manera formal en el Informe Brundtland de 1987 [17], para definir el concepto de desarrollo sostenible como política ambiental global y que luego se presentó y discutió ampliamente en la Cumbre de Río de 1992 [23]. En este documento se debatió acerca de la incidencia sobre los recursos naturales y se incitó a efectuar cambios radicales en los niveles de consumo y producción. En el campo de la automoción uno de los primeros pensamientos sobre ACV surgidos fue un aviso publicitario de la compañía de coches “Fiat” en 1974 [24] en el que manifiesta su preocupación por los recursos minerales y la energía. En 1995 nació el “International Journal of Life Cycle Assessment”, que sigue siendo a día de hoy una de las publicaciones más reconocidas de ACV a nivel científico [25]. En junio de 1997 se publicó la primera norma internacional ISO 14040 sobre ACV, titulada “Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework” [7].

Existen ciertos estudios de ACV relacionados con el impacto medioambiental en la industria automovilística, la mayoría de ellos centrados en motores de vehículos eléctricos [26] y en estudios comparativos entre vehículos de combustión interna, híbridos, de hidrógeno y eléctricos [27]. Cabe destacar un estudio comparativo actual entre dos vehículos familiares: el nuevo modelo Kadjar con el Scenic 3 de Renault en

cuanto a los recursos empleados, el proceso de ensamblaje y el desmantelamiento[28]. Sin embargo, probablemente debido a la dificultad para recopilar información, no hay muchos estudios de ACV basados en la etapa de pintura del vehículo.

Entre las fases de producción de un vehículo el proceso de pintado es sin duda el que mayor impacto medioambiental genera [29], siendo la principal fuente de emisión de COVs y otros contaminantes atmosféricos[30]. Como medida para reducir estas emisiones se establecieron pinturas con base en agua [31] y se ha tratado de mejorar la eficiencia en la transferencia de pintura a la chapa [32].

A pesar de ello la pintura sigue siendo la etapa de mayor consumo de energía, necesaria principalmente para calentar hornos y cabinas de pintura[33], y la que más residuos genera. La Asociación Europea de Fabricación de Automóviles[34] estima que son aproximadamente 70 kg de residuos los que surgen de la fabricación de un vehículo, de los cuáles el 20% son peligrosos, procedentes especialmente de lodos de pintura y disolventes. En estudios recientes se han desarrollado nuevas tecnologías para tratar los residuos [35], para tratar lodos mediante procesos de clarificación de agua [36], y para generar compost a partir de lodos de pinturas en base agua [37] o métodos para el reciclado de lodos de pintura para ciertas aplicaciones como el pavimentado de carreteras[38].

En cuanto a ACVs sobre la industria de pintura de vehículos cabe mencionar un estudio desarrollado a principios de siglo en el que se analizan diferentes pinturas en base agua, polvo y disolvente, centrándose en el uso de pinturas en base polvo como alternativa al uso de disolventes y por su fácil reutilización [8]. Más adelante desarrolló el mismo grupo un estudio de ACV con el proceso de pintado completo, con los consumos de energía y emisiones correspondientes [9]. En estudios más recientes como [10] se resalta la amplia contribución de los recursos energéticos consumidos al impacto medioambiental total de una fábrica de producción de vehículos. Otros sin embargo se centran en las emisiones de COV [11] o en el cómo hacer un uso eficiente de materias primas y recursos energéticos en el proceso de pintado de un vehículo [12]. Las limitaciones en estos estudios está en que no dan una perspectiva completa del impacto producido en la fabricación y pintado de un vehículo pues otras variables son de especial importancia como el consumo de materias primas, las emisiones producidas por cada etapa de fabricación, así como los residuos generados y su tratamiento de final de vida llevado a cabo.

En relación a ACVs completos cabe mencionar un estudio desarrollado por I. G. Muñoz en el año 2017 [13] en el que, debido a la nueva clasificación del formaldehído como contaminante peligroso, se han llevado a cabo diversas mejoras y propósitos en una planta europea de producción de vehículos para reducir las emisiones de este contaminante y de COV principalmente. Otro estudio similar, desarrollado en el 2016 por J.L. Rivera y T. Reyes-Carrillo [14], centrado en la producción de vehículos en Francia y Alemania, con el inventario incluido solamente de su etapa de pretratamiento y de los impactos obtenidos. Sin embargo, se echa en falta sus inventarios completos correspondientes, que no están disponibles por motivos de confidencialidad.

El único análisis ambiental, con su inventario completo, es uno de 2018[15] de una fábrica de producción de vehículos en Turín (Italia) que será de gran utilidad en el proyecto y que se hará mención más adelante.

4. Caso de estudio y objetivos del proyecto

En este trabajo de fin de grado se estudiarán los impactos medioambientales que se generan en una planta de fabricación de vehículos en Madrid. Se trata de una fábrica de montaje final de automóviles del grupo Stellantis (antiguo PSA). Para ello se hace uso de la metodología del ACV.

La fábrica realiza en sus instalaciones las tres últimas fases en la fabricación de un vehículo, que se nombran a continuación y que se explicarán con más detalle más adelante: kg CO_{2eq}/veh. El esquema de etapas se puede observar en la figura 3. Los proveedores externos y del grupo suministran piezas, componentes y materias para las diferentes etapas del proceso.

Para desarrollar cada una de las etapas se ha partido de datos e informes proporcionados por PSA así como de otros ACVs y estudios medioambientales de años recientes en la literatura. Es importante tener en cuenta que la información proporcionada por PSA está referida al año 2016. Esto se debe a que en años posteriores los valores no han sido del todo precisos y el pasado año se redujo a un turno laboral en lugar de a dos como es habitual debido a la pandemia. La mayoría de los datos de consumos de recursos y emisiones que proporciona PSA vienen referidos a ese año completo, que tienen que referirse a la unidad funcional expuesta más adelante: un vehículo; sabiendo que en el año 2016 se fabricaron un total de 81226 vehículos en la planta[39].

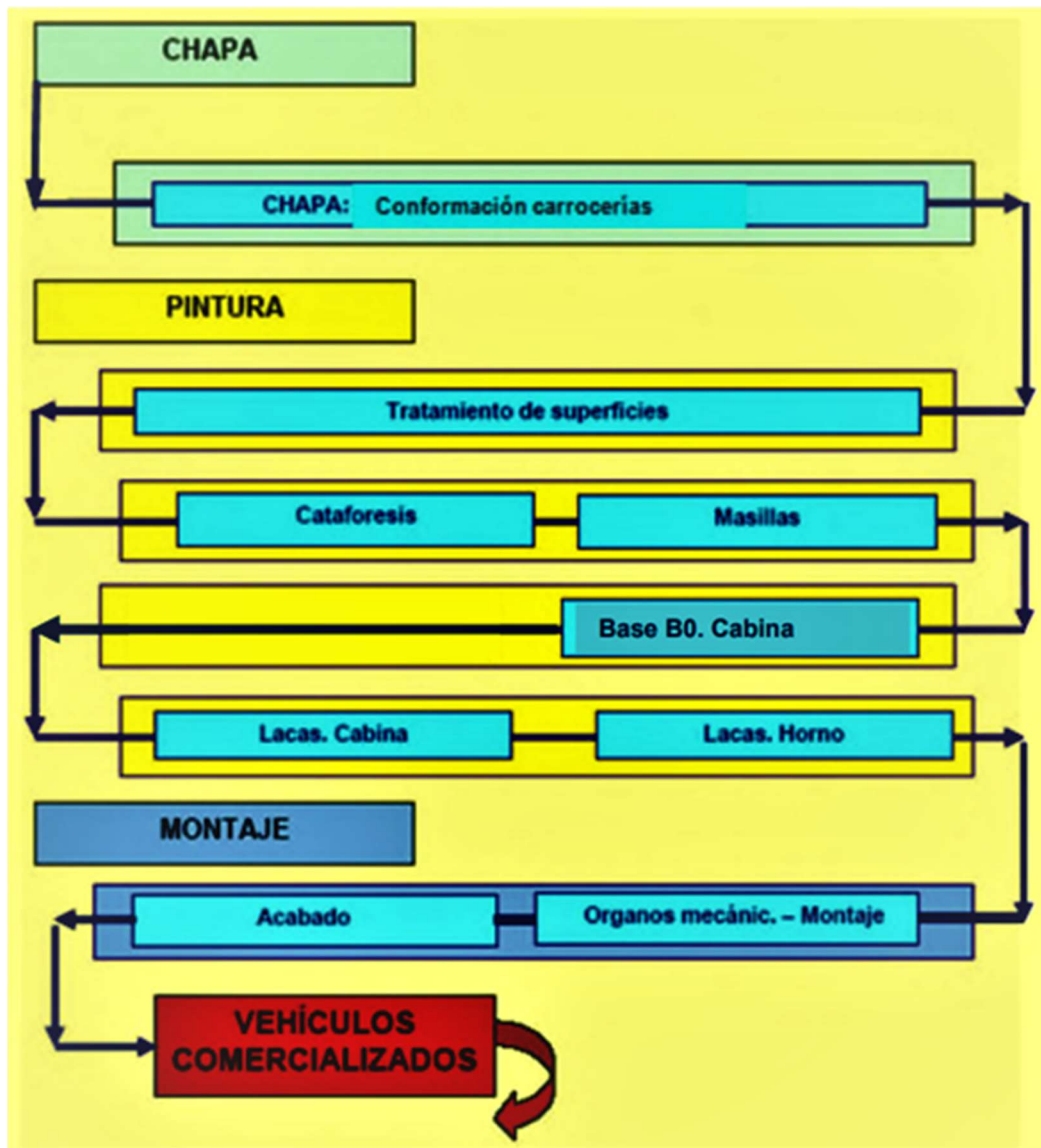


Figura 3. Fases de fabricación [40]

Por tanto, los objetivos perseguidos en este estudio se resumen en los siguientes puntos:

- 1) Obtener un estudio medioambiental completo sobre las etapas de fabricación de la planta con el fin de verificar si la empresa cumple con los objetivos de sostenibilidad que tienen previstos. Para ello se darán resultados robustos y representativos de la empresa que podrán ser de utilidad para estudios posteriores.
- 2) Analizar los principales focos de contaminación ambiental y de consumos de energía durante el proceso de producción y hacer alusión a las categorías de impacto a las que más afecta.

- 3) Sacar conclusiones sobre los ámbitos donde verdaderamente se puedan realizar mejoras sustanciales en vistas a obtener una mayor eficiencia en equilibrio con una fabricación amigable con el medio ambiente.
- 4) A partir de los resultados del estudio se propondrán mejoras posibles en los ámbitos que más lo requieran. Este proyecto se realiza en vistas a un posterior estudio de la viabilidad de las nuevas mejoras tecnológicas que se pretenden implementar.

5. Herramientas informáticas para la elaboración del ACV

Se han desarrollado numerosas herramientas informáticas para facilitar la elaboración del ACV. *Gabi*, *SimaPro*, *LCAiT*, *TEAM* o *Umberto* son algunos de los softwares de uso frecuente a nivel profesional, idóneas para desarrollar planes de acción que favorezcan el logro de las metas de sostenibilidad de entidades o empresas. La herramienta que se ha empleado para el caso de estudio es *SimaPro* [41], desarrollado por la empresa PRÉ Consultants y líder en el mundo profesional.

Simapro es utilizado para medir la huella ambiental de productos y servicios. Cuenta con fundamento científico, proporciona un alto nivel de transparencia y cuenta con las bases de datos más importantes (Ecoinvent, ILCD, ...). La base de datos elegida para el estudio de ACV es Ecoinvent 3 (*“Ecoinvent 3-allocation, default-unit”*), versión más actualizada y unificada en 2015, que contiene alrededor de 2800 procesos de diferentes sectores: agricultura, transporte, productos químicos, recursos energéticos, materiales de construcción, metales, madera, papel y tratamiento de residuos.

En este software se modelizan los procesos que ocurren en la planta. Para ello se selecciona en Ecoinvent los procesos que más se ajusten a los que ocurren en el proceso de fabricación o se crean nuevos procesos que se adapten a las particularidades de la fábrica. Una vez establecidos los procesos se utilizan los datos de los que se dispone para parametrizar correctamente dichos procesos. Una vez el software realiza los cálculos propios se obtienen los resultados medioambientales para las diferentes categorías de impacto. En cuanto a las categorías de impacto, el software también incluye los métodos de cálculo más utilizados como ReCiPe 2016, MidPoint+ o ILCD 2011. En este estudio se utilizará el método CML-IA baseline, al que se hará mención con más detalle en el ACV (sección 6).

6. Etapas de fabricación

6.1. Sector chapa

A partir de los diversos elementos recibidos que configuran la carrocería en este sector se realizan operaciones de soldadura y enmasillado. La soldadura principalmente utilizada es por puntos pues se consigue la unión entre chapas de forma rápida y automatizada. Además, se consigue soldar chapas de diferente grosor y el calentamiento de la pieza solo se produce en una pequeña zona de la pieza lo que supone que no se den apenas deformaciones en las chapas. Todo esto hace que este tipo de soldadura sea el más empleado en la industria del automóvil. También se ha empezado a aplicar soldadura por láser en determinadas zonas de la carrocería en las que se requiere mayor precisión en la unión. Esta tecnología permite alcanzar muy buenas calidades de soldadura mediante cordones muy finos, muchas veces sin necesidad de añadir material de aporte.

No existe en Ecoinvent ningún proceso específico para la soldadura por puntos y láser. Sin embargo, las emisiones generadas durante la soldadura no son significativas en comparación con las producidas en la pintura, con lo cual se ha podido optar por el proceso “*welding, arc, steel*” según se indica en la documentación de dicho proceso. Este proceso abarca los impactos producidos por el consumo de hilo de aporte, de gas de protección no inerte, el transporte del material y las emisiones generadas en el proceso de soldadura MAG.

Dada la gran cantidad de chapa de acero necesario por vehículo[39] el consumo de esta materia es un valor importante a tener en cuenta en el proceso, más bien por el impacto generado desde su origen hasta su fin como chapa para carrocería (“*from cradle to grave*”). El final de vida de la chapa (chatarra) no supondrá ningún impacto dado que recibirán un tratamiento de reciclado, según lo indica PSA en su memoria medioambiental[40].

6.2. Sector pintura

La pintura se aplica a las carrocerías del vehículo con el fin de embellecerlas y protegerlas de la corrosión. Para conseguirlo la película de pintura se debe someter a una serie de tratamientos para incorporar una serie de capas, cada una de ellas con su función particular. Dichas capas le confieren importantes propiedades mecánicas (resistencia a la ralladura, a los choques, adherencia, ...) y físicas (color, resistencia a la corrosión, a la

temperatura, a las radiaciones UV, ...). La pintura también participa en la estanqueidad de la carrocería e insonorización del vehículo.

Los espesores de las diferentes capas del proceso de pintura sobre la chapa zincada son las que se indican en la figura 3, donde además aparece las propiedades que aporta cada una de ellas.

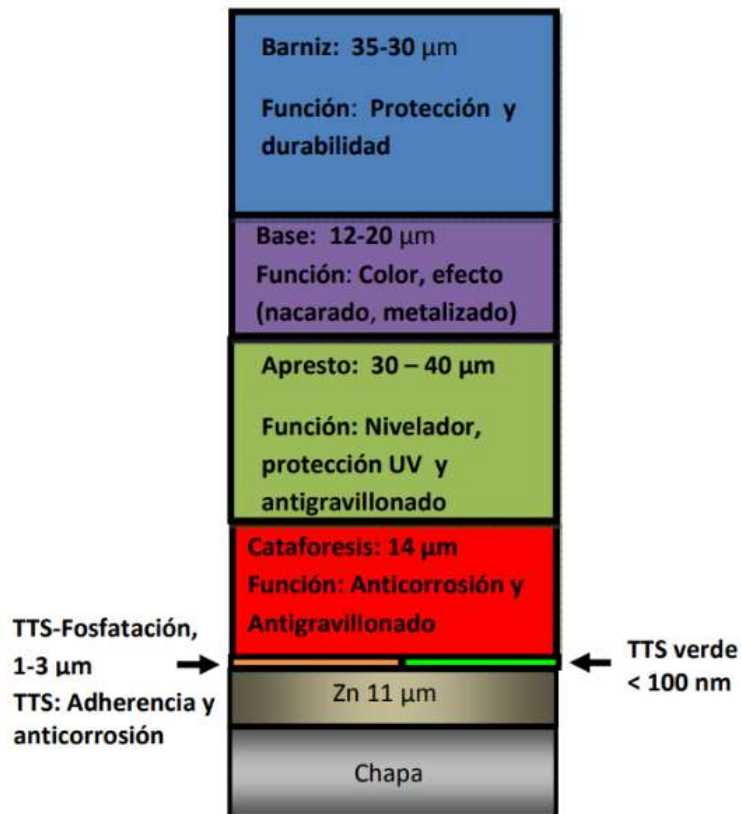


Figura 4. Espesor de las distintas capas de pintura sobre la chapa [42]

La película de pintura tradicional está formada por 4 o 5 capas: fosfatación, cataforesis, aprestos, lacas y/o barniz (según el aspecto final requerido). Sin embargo, en la fábrica se ha implementado en lugar de la fosfatación un tratamiento superficial diferente que se explicará a continuación.

En cada etapa se hace uso de técnicas y tratamientos que requieren de altas cantidades de energía y condiciones de trabajo concretas. Como se ha comentado con anterioridad esta es la etapa productiva que más afecta al medioambiente y por ello requiere de un estudio más detallado.

6.2.1. Tratamiento superficial

El TTS es un tratamiento químico que genera una capa barrera y favorece el buen anclaje de la capa de cataforesis. La carrocería se introduce en diferentes baños con agua y productos químicos. En las figuras 5 y 6 se tienen las diferentes etapas que conforman el TTS convencional y verde.

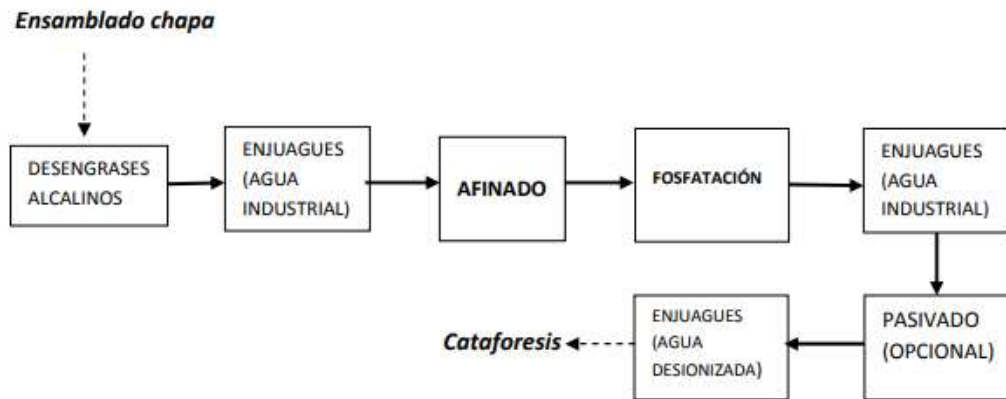


Figura 5. Etapas TTS convencional[42]

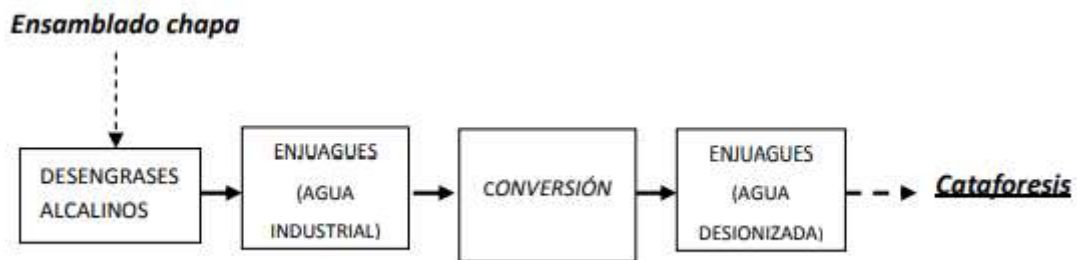


Figura 6. Etapas TTS Verde[42]

Desde septiembre del 2010 la empresa ha incorporado este último tratamiento. Con el cambio del TTS convencional al Verde se ha mantenido la calidad obtenida con la fosfatación, una disminución de costes y a su vez se han conseguido una serie de ventajas respecto al TTS convencional que se comentan a continuación:

- El TTS verde implica una reducción del grosor de la capa (de 1-2 μm a 50-300 nm), lo cual supone un aumento de la conductividad de la chapa con respecto al TTS convencional.
- Para evitar aumentar los espesores depositados la cataforesis ha tenido que adaptarse a ese aumento de conductividad reduciendo los parámetros que aumentan el espesor como

es la tensión o la temperatura del baño. Esto supone una disminución importante en el consumo de energía. También se manifiesta disminución energética en los baños, en el caso de la fosfatación se produce a 50° mientras que en la conversión se da a temperatura ambiente. PSA obtuvo una reducción de consumo de energía eléctrica de 46,65kW/veh en sus últimos años con TTS convencional a 38,20kW/veh en el 2013, tras pasar a TTS Verde [43].

- Disminución de materias primas consumidas y de agua. El menor consumo de agua es debido a la exigencia de menor número de etapas y por tanto menos enjuagues. PSA pasó de un consumo medio de agua de 0,82 m³/veh con el TTS convencional a 0,63m³/veh en el 2013 con TTS Verde [43].

- Con la nueva normativa europea el nitrato de níquel, producto utilizado en la fosfatación, se considera como producto CMR (Cancerígeno, Mutágeno y tóxico para la Reproducción). Además el fósforo es uno de los principales responsables de la eutrofización de las aguas superficiales y cuyo uso está restringido por regulaciones medioambientales europeas[44].

- Se consigue un TTS libre de metales pesados. Además los baños de fosfatación generan una gran cantidad de lodos de iones metálicos que necesita irse frecuentemente retirando para mantener las condiciones óptimas del baño [45].

Etapa de desengrase

Se trata de eliminar los aceites y grasas de protección con que está cubierto las chapas para evitar su oxidación. Los desengrasantes están compuestos por dos partes:

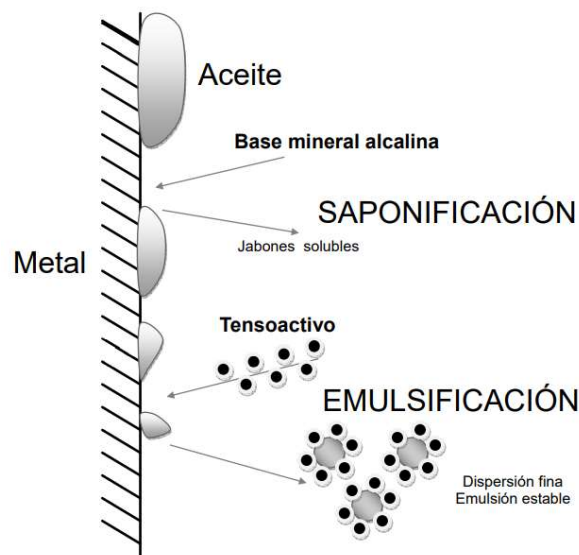


Figura 7. Saponificación y emulsificación de las grasas para su eliminación[42]

- **Base mineral:** productos alcalinos (KOH, NaOH, fosfatos, ...) que actúan saponificando las grasas. Se consume Gardoclean 351[46], un compuesto mineral natural de borato sódico, según lo indica la presentación de PSA[43] y en la cantidad que especifica.
- **Tensoactivos:** o surfactantes, son productos orgánicos complejos que desprenden físicamente las grasas minerales reduciendo la tensión superficial del agua a valores inferiores a los de las grasas. Su propiedad emulsificante obliga a las partículas de grasa a dividirse en pequeñas gotas favoreciendo su dispersión en el baño. La cantidad precisada queda detallada en la misma presentación [43].

Lavado o enjuague

Tiene como objetivo principal la eliminación de los restos de productos de las etapas anteriores para no contaminar las próximas. Se realiza después del desengrase con agua industrial y tras la conversión con agua desionizada. Estos lavados se realizan a presión, lo cual supone un consumo de aire comprimido. No se dispone de información sobre la cantidad requerida, con lo cual, se ha estimado el mismo valor que el del inventario de un ACV italiano mencionado con anterioridad, cuya metodología de trabajo es muy similar al de PSA[15].

La cantidad de agua desionizado que obtiene la empresa en su propia estación de tratamiento se utiliza únicamente en los lavados de las etapas de TTS y cataforesis según

se indica en el informe sobre sus consumos de agua[40]. No se dispone de información sobre la cantidad concreta consumida entre ambas etapas, con lo cual se ha supuesto que esta agua se distribuye por igual entre ambas etapas al igual que ocurre en el inventario de un ACV italiano cuya metodología de trabajo es muy similar[15].

Conversión

Se trata de una solución acuosa de un polímero orgánico-inorgánico (mezcla de silanoles), de inhibidores de corrosión mineral y algún metal. Esta solución forma una capa barrera absorbida químicamente en la superficie metálica, cuyo espesor es controlable ajustando los parámetros físico-químicos del baño. Asimismo, los grupos silanoles suponen el enlace de la unión química con la capa de cataforesis, a diferencia de la fosfatación donde la unión es física.

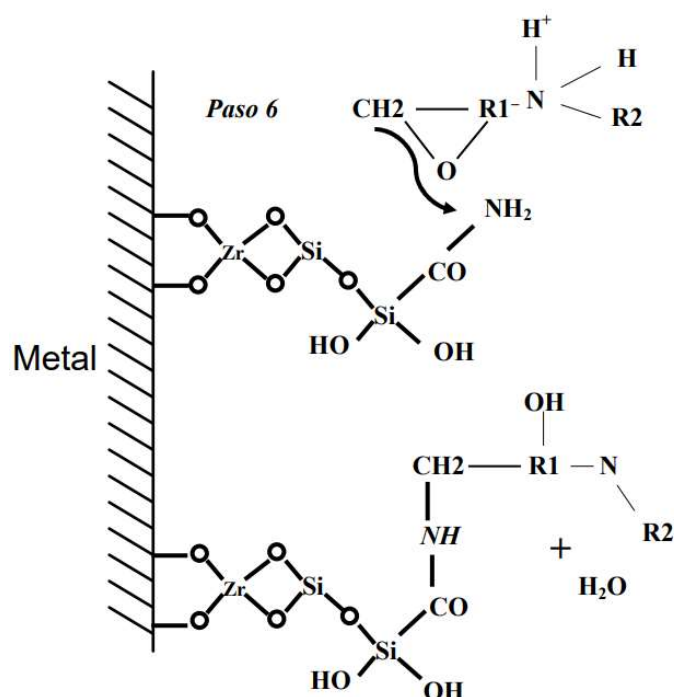


Figura 8. Unión química de la capa de conversión con la cataforesis [42]

Los silanoles que utilizan son Oxsilan[46], una mezcla de polímeros orgánicos e inorgánicos. Los polímeros orgánicos se tratan de éteres de silano que reaccionan a temperatura ambiente con grupos hidroxilos que existen en la superficie metálica desengrasada, conduciendo a uniones estables entre el Oxsilan y el metal. Los polímeros inorgánicos consiguen que la protección anticorrosiva y la adherencia de la película mejore decisivamente modificando la superficie metálica antes de la deposición de la

película orgánica. El baño de conversión consume estos polímeros orgánicos e inorgánicos en las cantidades especificadas en la presentación de PSA[43].

Según detalla PSA como inhibidor de corrosión se utiliza ácido hexafluoruro de zirconio, cuya concentración es aproximadamente de 3 a 5 veces la de los silanoles[47]. El problema está en que no hay información precisa sobre el procedimiento de obtención de hexafluoruro de zirconio y el impacto asociado a su obtención, con lo cual no ha sido posible modelizar concretamente este compuesto en Simapro. Sin embargo, existe alternativa a este producto pues en el baño de conversión son igualmente utilizados los cationes de Titanio y los de Zirconio como inhibidores y son suministrados como componentes hexafluoruros pero también como tetracloruros de Titanio[45], creando los mismos efectos en cantidades similares. Por ello se ha hecho uso del tetracloruro de titanio, cuyo proceso está disponible en Ecoinvent.

El baño incorpora además un metal con el objetivo de aumentar la cinética de formación del recubrimiento. Es muy común el uso de manganeso para lograr ese fin, y cuya concentración estará en torno a 7 veces menos que la de los silanoles[47].

6.2.2. Cataforesis

Se trata de un método electrolítico que permite recibir a la carrocería una capa protectora contra la corrosión que lo protegerá de las variaciones de temperatura y de la salinidad.

La carrocería pretratada por el TTS se introduce en un baño de pintura con carga eléctrica positiva. Al aplicar una diferencia de potencial entre el cátodo (carrocería con carga negativa) y los ánodos (electrodos con carga positiva) se genera un campo eléctrico que consigue que la pintura se adhiera a la carrocería de manera uniforme. La cataforesis consta de las fases que se observan en la figura 9, antes de pasar a la etapa de incorporación de masillas.

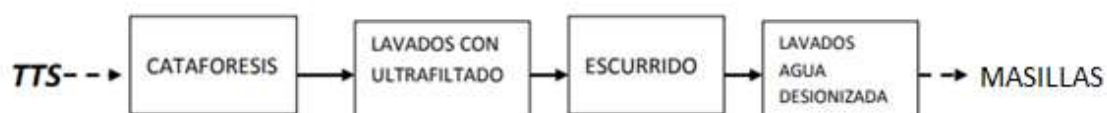


Figura 9. Etapas aplicación de la cataforesis [42]

El baño está formado por los siguientes componentes:

- Agua desmineralizada: agua a la que se le han eliminado las sales mediante resinas catiónicas o aniónicas a través de un intercambio iónico.
- Ligante catiónico: se trata de una resina generalmente epoxi con grupos nitrogenados neutralizados con un ácido para solubilizarla.
- Pasta pigmentada: componente pigmentado de la pintura. Quedan retenidos en la resina por tener una carga superficial que asegura su unión. Se ha optado por el sulfato de bario, uno de los pigmentos más utilizados en automoción por sus buenas propiedades extensoras y su bajo coste.

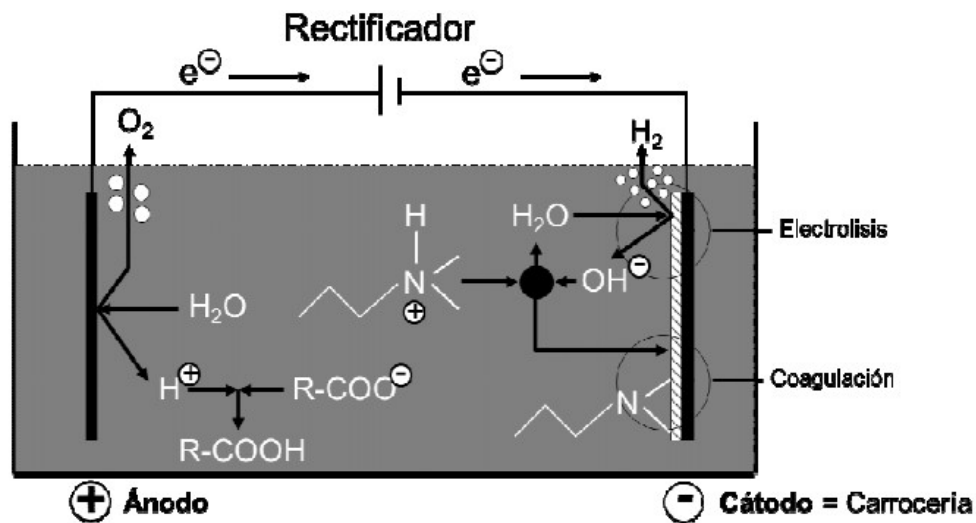


Figura 10. Baño de cataforesis[42]

La proporción de cada componente en el baño es del 77,5% de agua, 2,5% de disolventes y un 20% de sólidos [48]. Además se tiene la cantidad concreta de sólidos (pasta catiónica y ligante) de la declaración de materias primas y residuos de la empresa[39], con lo cual se puede deducir la cantidad de disolvente utilizado para reducir la viscosidad del ligante y la pasta. A partir de [49] la proporción de pigmentos y resina se estima en un 33% y 67% respectivamente, con lo cual se conoce la cantidad concreta de pasta y ligante.

Al finalizar el baño mediante un circuito de lavado por ultrafiltración se recupera toda la pintura no adherida, y que si no fuese eliminada aportaría un mal aspecto a la película. Este consiste en un sistema de filtrado a nivel molecular por medio de membranas semipermeables que separa el baño de cataforesis en una solución acuosa y en un

concentrado de coloides. Posteriormente hay varios lavados con agua desionizada con el fin de eliminar los restos de ultrafiltrado y de sales de la carrocería. La capa de pintura adherida será horneada tras la incorporación de las masillas (sección 6.2.3) para favorecer su polimerización.

6.2.3. Estanqueidad

Sobre todas las uniones de chapa y los bajos de la carrocería se aplican cordones de masillas con el objetivo de proteger las uniones soldadas y, además, impedir que el agua, los olores y el polvo se introduzcan dentro de la carrocería. Posteriormente la carrocería se seca en un horno de pregelificado. Los selladores más utilizados en el mundo de la automoción son los de PVC. La cantidad de PVC incorporado se especifica en[39].

6.2.4. B0 imprimación

El B0 o imprimación corresponde a la etapa de apresto, con la peculiaridad de que, tras ser aplicado, pasa directamente a la aplicación de las lacas y barniz sin pasar por un horno de secado intermedio.

Se trata de una capa cuya función es la de aumentar la adherencia de las capas de acabado, resistir los impactos (antigravillonado), nivelar las capas y de protección de la capa de cataforesis contra los rayos UV.

Este tratamiento se lleva a cabo mediante pulverización electrostática. Esto consiste en que las partículas de pintura con carga positiva se adhieren, una vez suministrada tensión, a la carrocería que está conectada a tierra. De esta forma se consigue una superficie uniforme idónea para la aplicación del acabado y asegurando la adherencia de los productos de pintura finales.

A lo largo de los años, la sustitución de pinturas base disolvente por base agua ha ido progresando y ganando terreno en Europa de acuerdo con los requerimientos legales por reducir las emisiones debido al uso de disolventes. Mientras que en Europa las pinturas en base agua han logrado ser la tecnología estándar en Estados Unidos la base en polvo es la que ha logrado más éxito[50].

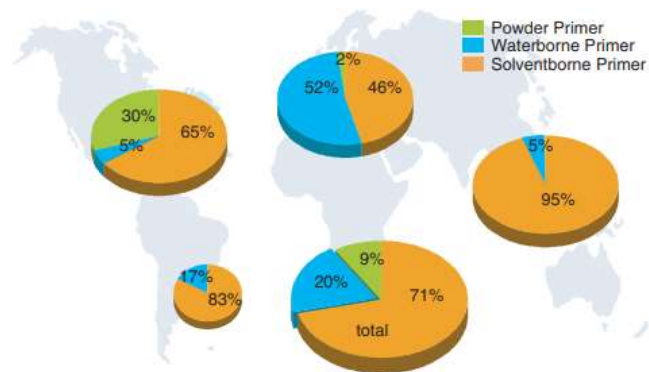


Figura 11. Bases de disolución de la pintura en los distintos continentes [51]

La superficie de imprimación transmitida por el agua tiene un contenido en sólidos de 52% en peso, tan solo un 4,8% en disolvente y el resto agua. Esta pintura en base agua consta de una mezcla de pigmentos y extensores (dióxido de titanio, carbón negro, sulfato de bario y talco) con alguno de los poliésteres que se usan en automoción. El agua desionizada se utiliza para ajustar el contenido en sólidos.

La superficie de imprimación en base agua consta de un conjunto de compuestos sólidos en las proporciones siguientes[51]:

Componentes	% en peso
Poliéster	8,4
Dióxido de titanio	11,2
Blanc fixe (sulfato de bario)	11
Talco	1,3
Carbón negro	0,1
Poliuretano	16
Resina HMMM	4
Total	52

Tabla 1. Componentes de la imprimación base B0 [51]

La cantidad específica de pintura utilizada en esta etapa no ha sido detallada por PSA, pero sí que se conoce la cantidad completa utilizada para las etapas de apresto, lacas y barniz[39]. Las etapas de apresto y de lacas y barniz están compuestas de las mismas fases de pintado y horneado que las de la fábrica italiana mencionada con anterioridad, por ello se ha supuesto que las cantidades consumidas de barniz, lacas y apresto van en la misma proporción, con el fin de que los grosores de capas sean similares. Esta suposición no tiene en cuenta por ejemplo el hecho de que para el caso de esta fábrica la pintura es en base agua y no en disolvente como ocurre en la italiana, lo cual puede que haga diferir estas proporciones y generar cierto error.

Para el proceso de pintado la pulverizadora de pintura consume aire comprimido, cuya cantidad consumida también se desconoce. Esta cantidad se ha estimado igual a la consumida durante el apresto en el ACV italiano [15] pues en ambos casos existe un único baño de pintura por aspersión.

6.2.5. Lacas y barniz

En esta etapa se consigue el acabado final de la carrocería. Antes de su aplicación en carrocería esta se limpia automáticamente. A continuación, se pulveriza la base de laca que da el color y luego el barniz transparente, que dará el brillo a la pintura. Las etapas del proceso vienen esquematizadas en la figura 12.



Figura 12. Etapas aplicación de lacas y barniz [42]

Al igual que en el apresto se usan pulverizadores electrostáticos para aplicar la pintura automáticamente y de forma eficiente, como se observa en la figura 13. Posteriormente se hace pasar la carrocería con las pinturas depositadas por estufas para polimerizar la pintura.



Figura 13. Pulverizado de lacas [42]

La composición de las lacas consta de una resina aglutinante y de pigmentos, principalmente. Dado el espesado de las pinturas se ha diluido las lacas en base agua y los barnices en disolvente orgánico.

La cantidad consumida por PSA de lacas y barniz y las estimaciones realizadas se han detallado en el apartado anterior (sección 6.2.4). No se dispone de información por parte de la empresa de la composición específica de las lacas y los barnices. A pesar de ello se ha optado por los procesos “*coating powder*” y “*acrylic varnish*” puesto que su composición consta de los elementos más utilizados en automoción [51] y además son procesos válidos para utilizarlos en el pintado final y barnizado del vehículo, según se indica en la documentación técnica asociada a dichos procesos en Ecoinvent.

Los componentes de las lacas y barniz son los siguientes:

Aglutinantes:

Resinas o polímeros, cuya finalidad principal es la de mantener o aglutinar todos los componentes entre sí, tanto antes como después de su aplicación. El aglutinante forma una película protectora dura y lisa. Las resinas más utilizadas, y que forman parte de la laca seleccionada “*coating powder*” de Ecoinvent, son:

- Resina éster-epoxi: reemplazó a las alquídicas por su mejor rendimiento. Gracias a esta resina se consigue una película de pintura perfectamente plana y bien adherida a las anteriores, muy flexible y resistente. La principal desventaja es su inestabilidad ante rayos UV.

- Poliéster: están hechos de una variedad de ácidos grasos sintéticos con un equilibrio adecuado para garantizar las propiedades necesarias. Son las más en los aprestos.

Pigmento:

Pintura compuesta por partículas sólidas insolubles en el aglutinante. Su función principal es la de dar color decorativo a la chapa, además de proporcionar resistencia a la grava y a la corrosión. Uno de los pigmentos más usados y el pigmento blanco más importante es el dióxido de titanio, que forma parte del “*coating powder*”.

Barniz acrílico melanina

El perjuicio para el medio ambiente es mínimo, y sus propiedades como brillo, calidad y durabilidad hacen que estos barnices sean los más utilizados en automoción. Se basan en combinaciones de polioles acrílicos y agentes de reticulación amino. Este producto está disponible en Ecoinvent (“*acrylic varnish*”).

Disolvente orgánico

Se ha usado principalmente para reducir la viscosidad del barniz acrílico, con el fin de mejorar la fluidez y consiguiendo una mejor aplicación de este, así como conseguir mayor uniformidad. También se utiliza como procedimiento de limpieza para asegurar que no quedan restos de pintura de otros colores dentro de los pulverizadores[13]. La cantidad total consumida de disolvente en esta etapa de pintura será la total consumida por PSA[39] descontando la cantidad de disolvente consumido en la cataforesis. Se trata por tanto de la etapa que más cantidad de disolvente consume y consecuentemente la que mayores emisiones de COV produce.

Tanto en el tratamiento de lacas como barnizado la pulverizadora de pintura consume aire comprimido cuya cantidad específica se desconoce. Esta cantidad se ha estimado igual a la consumida durante la misma etapa de pintura en el ACV italiano [15] pues en ambos casos existe el mismo número de baños de pintura por aspersion.

6.3. Sector montaje

Proceso realizado en una línea de montaje y dividido en tres zonas:

- a) Órganos mecánicos donde se realizan diversas preparaciones en motores, trenes delanteros y traseros, cajas de velocidades, etc.

- b) Montaje, donde se van incorporando al vehículo diversos elementos.
- c) Acabado, donde se realiza la terminación del automóvil de acuerdo con su mecánica y queda listo.

Para garantizar la calidad la totalidad de los vehículos que salen de la línea de montaje son sometidos a rigurosos controles estáticos, dinámicos y de estanqueidad.

En esta etapa solo se han tenido en cuenta los consumos de agua y de electricidad, sin embargo, el consumo de materias necesarias para poner a prueba el vehículo como líquidos de frenos, fluidos refrigerantes, ... no se han tenido en consideración por acuerdo entre los miembros de la Cátedra, puesto que son elementos que no interceden en el conformado final de la carrocería.

6.4. Otros procesos de la fábrica

6.4.1. Ciclo del aire (flujo de combustible)

El ciclo de los gases que surgen en la fábrica se muestra en la figura 14. Las emisiones a la atmósfera se deben principalmente a las emisiones de combustión de calderas y debidos al secado de las carrocerías en los hornos, así como a los COV del pintado de carrocerías con pinturas de base disolvente. Como combustible se ha empleado gas natural cuyo consumo es de un 40-50% menor que si fuese de carbón [52].

Como mejora técnica disponible (MTD) aplicada por el centro se encuentra la incineración de los efluentes de aire con su correspondiente recuperación de calor. Estos efluentes proceden de los procesos de horneado tras el pintado con lacas y cataforesis[40]. Gracias a esto se consigue una disminución del 6% de los COV emitidos en los procesos de lacas y cataforesis[53].

Las emisiones al aire de los principales contaminantes, registrados por PSA en un año[40], vienen recogidos en la tabla 2.

Contaminante	Cantidad anual (kg)
CO ₂	9.082.000
COV	346.022,76
CO	8.364,88
NO _x	8.147,23
PM	1.446,44

Tabla 2. Emisiones totales de la fábrica [40]

Las emisiones de cada contaminante se han repartido entre cada una de las etapas de pintura y la calefacción de la planta. Se concretarán estas emisiones en el análisis de inventario (sección 7.2).

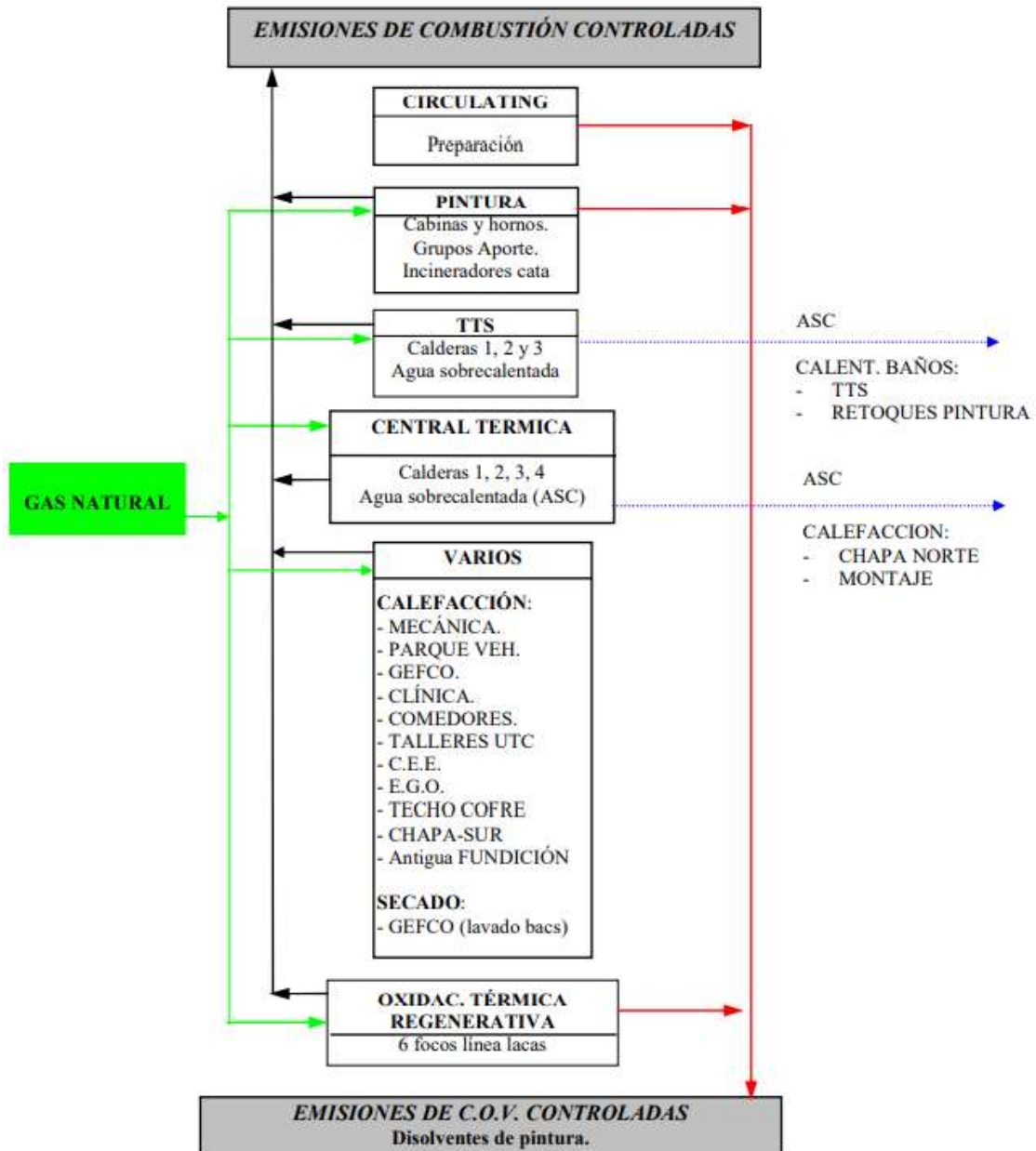


Figura 14. Ciclo del aire y las emisiones en la fábrica [40]

6.4.2. Ciclo del agua

El ciclo que sigue el agua en toda la instalación se muestra de forma esquemática en la figura 15. La propia empresa lleva a cabo la producción de agua desmineralizada en la fábrica mediante procedimientos de ósmosis, consumiéndose agua y electricidad. La cantidad de agua desmineralizada producida es utilizada para los lavados y baños en las etapas de TTS y cataforesis, según se ha detallado en dichas etapas anteriormente. Se ha supuesto que se ha consumido la misma cantidad de agua desmineralizada en el TTS que en la cataforesis, siendo el total consumido al año de 22.000 m³[40].

El agua procedente de los efluentes de TTS y cataforesis que son tratados físico-químicamente, junto con el que procede de las calderas, aseos y demás servicios es vertido a la red de saneamiento de la comunidad de Madrid, estando su composición química dentro de los márgenes establecidos por la comunidad.

El vertido de agua supone un impacto al medioambiente pues a pesar de ser vertida dentro de valores límite establecidos esta agua acabará en ríos, cuyas aguas serán tratadas siguiendo el ciclo del agua (depuración, potabilización). Por tanto, en el inventario se incorpora el vertido de 151.500 m³ [40] a ser tratada.

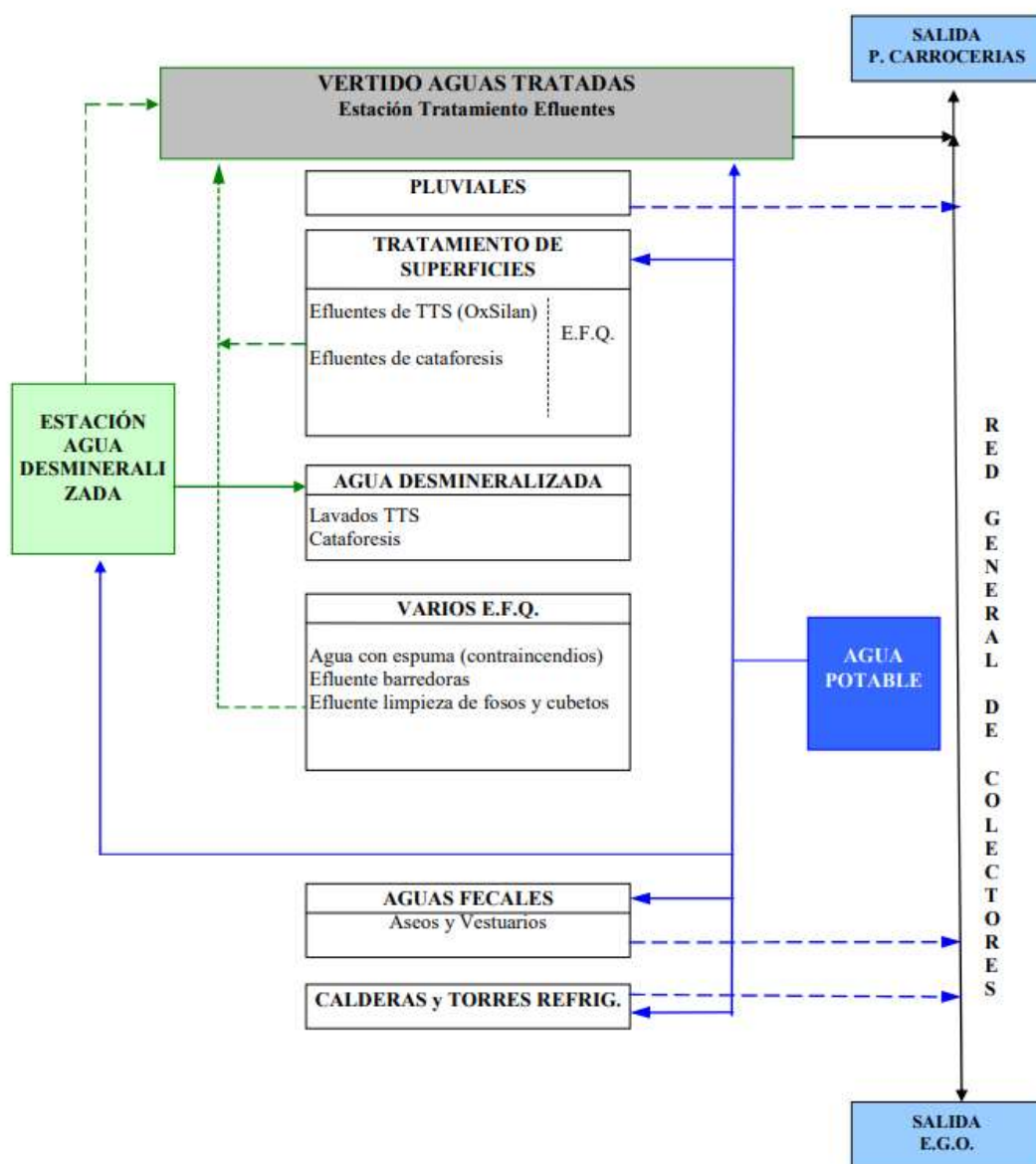


Figura 15. Ciclo del agua en la fábrica [40]

6.4.3. Tratamiento de efluentes de TTS y cataforesis

En la empresa los efluentes de TTS y cataforesis contienen ciertos contaminantes que son necesarios eliminar antes de su vertido a la red de saneamiento de Madrid. Para ello se lleva a cabo un proceso físico-químico de depuración de dichos efluentes de pintura[40], siguiendo el esquema de flujos que aparece en la figura 16. Las etapas de este proceso son las siguientes:

- Coagulación: se basa en la desestabilización de coloide; partículas con carga que tras el aporte de coagulante se consigue neutralizar las cargas. El coagulante utilizado ha sido sulfato de alúmina, siendo el gasto anual de este producto el especificado en[39].
- Floculación: las partículas coloidales neutras en carga tienden a unirse, favoreciendo su unión mediante agitación lenta del baño.
- Decantación lamelar: añadiendo un polielectrolito como método auxiliar de floculación, muy útil tras la adición de coagulantes para aumentar el volumen y peso de los flóculos. El policloruro de aluminio es el polielectrolito utilizado según especifica PSA en[46]. Para que los metales precipiten el baño debe estar en un pH 7-9, para ello se añade ácido sulfúrico o hidróxido de calcio (cal) según se quiera subir o bajar el pH. La cantidad consumida por cada producto viene especificada en [39].
- Vertido: el agua limpia sale del decantador para incorporarse en la red de saneamiento cumpliendo los requisitos de calidad exigidos por la comunidad de Madrid. El lodo hidróxido resultante del proceso es acondicionado con cal, después se pasa el vertido por un filtro de prensa, y por último es secado térmicamente para deshidratar el lodo.

Por último, se ha tenido en cuenta en este proceso de tratamiento de efluentes un producto empleado en las cantidades especificadas en[39], que es el ácido clorhídrico. Este producto es utilizado para ajustar el baño de conversión a un pH ácido de 4 a 6[45], y que no fue referido en la etapa de TTS Verde pues en la declaración de consumos de PSA también viene referido a este proceso[39].

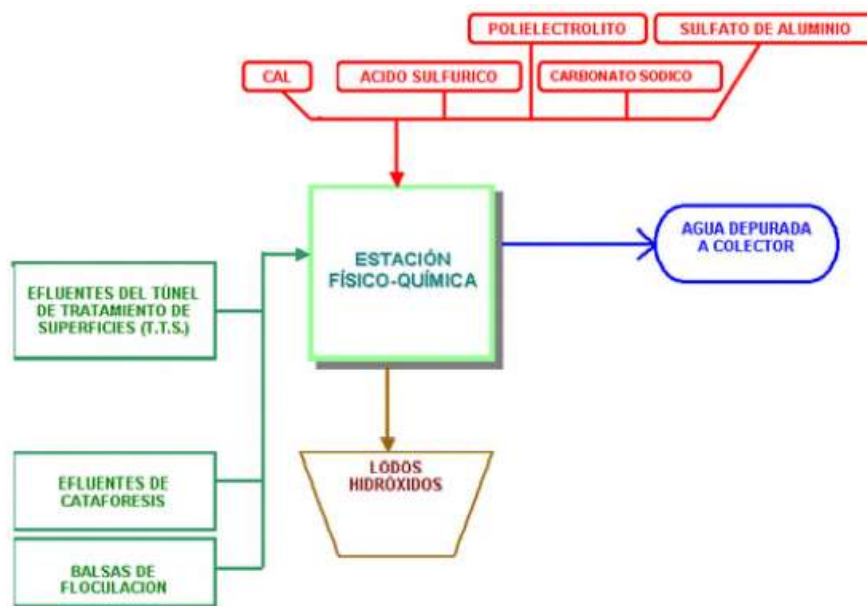


Figura 16. Tratamiento físico-químico de los efluentes de TTS y cataforesis [40]

6.4.4. Gestión de residuos sólidos

Los residuos se han categorizado según la lista europea de residuos[54] y según el tratamiento de recuperación y eliminación conveniente. Para ello se ha incorporado en el análisis de inventario del ACV los kilogramos de residuo junto con su tratamiento, asociando los residuos declarados por PSA [39] al tratamiento que aparece en la base de datos de Ecoinvent que mejor se adapte.

Los residuos generados son de distinta naturaleza: residuos no peligrosos de tipo urbano, residuos no peligrosos recuperables (papel y cartón, madera, chatarra, vidrio) y residuos peligrosos (pinturas, disolventes manchados, lodos).

- El proceso de recuperación de los residuos no peligrosos recuperables se lleva a cabo mediante el reciclado, transformándose en materia prima. Para el caso de los palets de madera directamente serán reutilizados.
- Los residuos categorizados de urbanos se asocian al proceso de Ecoinvent “Municipal solid waste, ES”, llevando a cabo la gestión correspondiente para este tipo de residuo en España.
- A los residuos peligrosos de lodos de pintura, pinturas sobrantes y disolvente se le ha asignado tratamientos disponibles en Ecoinvent y relativos a las especificaciones declaradas por PSA.

- Para los restos de pintura, disolvente , aceites y masillas sobrantes existe procesos concretos para la Europa occidental (*“Waste paint”, “Spent solvent mixture”, “Waste mineral oil”, “Waste polyvinylchloride”*), que llevan a cabo la valorización de estas sustancias y el posterior tratamiento de final de vida del producto (incineración y vertedero).
- El resto de residuos, que carecen de tratamiento específico y que son categorizados de peligrosos (trapos manchados de pintura y disolventes, filtros usados, lodos de pintura, ...), se han podido asociar al tratamiento *“Hazardous waste, for incineration”* para el occidente de Europa, según se precisa en la documentación asociada a dicho tratamiento en Ecoinvent.

7. Análisis de Ciclo de Vida del caso de estudio

Una vez contextualizado todo el proyecto se procede a desarrollar el estudio medioambiental de la fábrica. Siguiendo la metodología ACV explicada con anterioridad se procede a desarrollar cada uno de los puntos que debe incluir: objetivo y alcance, inventario, análisis de impacto y conclusiones.

7.1. Objetivo y definición del alcance

El objetivo de estudio se basa en la evaluación del impacto medioambiental que genera el proceso de fabricación de un vehículo. Como ya se ha comentado en la sección 4 se trata de una planta de fabricación de vehículos en Villaverde (Madrid), perteneciente al antigua grupo PSA y ahora parte del grupo Stellantis, que se encarga del conformado final de los vehículos, siguiendo las etapas siguientes: soldadura de la chapa de la carrocería, pintura de la carrocería en diversas fases y montaje y puesta a punto final.

Se ha determinado la unidad funcional del sistema a un vehículo, es decir, todo el análisis de inventario y resultados de impacto vienen referidos a un vehículo fabricado en la planta. Todos los datos de consumos de recursos y emisiones que proporciona PSA vienen referidos al año 2016 por lo que se han normalizado todos ellos a la unidad funcional de un vehículo. Los recursos consumidos y las emisiones resultantes de los procesos que lleva a cabo PSA han sido expuestos a lo largo de la sección 6, con lo cual en este ACV se expondrá todo ese inventario, entradas y salidas, de manera organizada. Se han modelizado en SimaPro todos los procesos de la fábrica haciendo uso de la base de datos de Ecoinvent[55] que incluye todas las materias primas y recursos que han sido requeridos.

Como estudios comparativos similares se tienen dos ACV recientes sobre las etapas de pintura del coche, que ya han sido referenciados en la sección 6, para complementar los recursos y emisiones recibidos por PSA. Uno de ellos, y el que ha sido de mayor utilidad, es un ACV del año 2019 sobre una fábrica de vehículos en Turín (Italia)[15] con el inventario correspondiente a la etapa de pintura[15], a excepción del pretratamiento que no está incluido puesto que las emisiones en dicha etapa son despreciables.

Además una fábrica anónima europea[13] en 2017 ha desarrollado un ACV que evalúa y compara el impacto medioambiental de la fábrica tras diversas mejoras tecnológicas implementadas desde 2015, y que ha servido para comprender mejor el proceso de

fabricación de vehículos en Europa y contrastar información con el ACV italiano. También se ha utilizado como método de contraste de información un LCI estadounidense[49] a pesar de que en EEUU la pintura de automóviles lleva a cabo diferentes metodologías como la priorización de las pinturas en polvo en lugar de en base agua (como sucede en Europa)[50] o uso de unas materias primas u otras, en otras etapas como la cataforesis o lacas es de utilidad. Aun así, tiene cierta utilidad en todas las etapas de pintura pues los kilogramos de ciertas entradas y salidas del inventario como es la cantidad de pintura, de electricidad o de agua consumida deben tener los mismos órdenes de magnitud.

Para alcanzar los objetivos del estudio previsto se debe poder responder a preguntas como ¿cuánto es el impacto medioambiental en comparación con estudios similares?, ¿cuáles son las áreas de impacto más afectadas y a qué es debido?, ¿en qué fases del proceso de pintado es mejor o peor la situación respecto a otros estudios y a qué es debido?, ¿qué fase en el pintado es la que más emisiones genera y por qué?

7.1.1. Límites del sistema

Para poder responder a las preguntas planteadas primero se debe seleccionar la unidad funcional del sistema: un vehículo. Esto supone que la metodología ACV es empleada pero no en toda su extensión, no el ciclo de vida completo de un vehículo, es decir, etapas como la de uso o final de vida del vehículo no se tendrán en cuenta.

Por tanto, los límites del sistema incluyen los ciclos de vida "*from cradle to gate*" (de la cuna a la puerta) de los recursos empleados (materias primas, materias procesadas y fuentes de energía), junto con el final de vida de los desechos generados durante el proceso productivo, su transporte al lugar indicado y su tratamiento residual correspondiente. Tampoco se ha tenido en cuenta el consumo de las materias utilizadas en la etapa de montaje, concretamente en los procedimientos de puesta a punto del vehículo al consumidor como son el consumo de líquidos para frenos, fluidos refrigerantes o aceites lubricantes, puesto que son elementos que no interceden en el conformado final de la carrocería.

Para poder comparar las etapas de la pintura del vehículo se requiere conocer con detalle las entradas y salidas para cada una de estas etapas, sin embargo, no se precisa información concreta del consumo de agua, electricidad y gas natural disgregada por etapas. Algo similar ocurre con los efluentes de desengrase y cataforesis, que son tratados

físico-químicamente de manera conjunta, con lo cual hay dificultad para hacer corresponder las materias primas consumidas en este tratamiento a una etapa u otra. De forma análoga ocurre con el agua residual vertida, y con muchos de los residuos sólidos declarados por la empresa, que vienen clasificados según su tipología y no según la etapa concreta de la que proceden, facilitando así su traslado por los gestores correspondientes.

7.1.2. Categorías de impacto

Una vez determinado el objetivo y los límites del sistema se procede a definir las categorías de impacto, las cuáles se analizarán en la fase de Evaluación de Impactos mediante el método de cálculo CML-IA baseline, así como la unidad que cuantifica cada impacto.

Agotamiento de los recursos abióticos

Se define como la disminución de la disponibilidad de recursos naturales. Hay dos categorías de impacto: agotamiento abiótico (elementos, reservas finales) y agotamiento abiótico (combustibles fósiles).

Agotamiento abiótico (elementos, reservas finales) está relacionado con la extracción de minerales debido a “inputs” del sistema. El factor de agotamiento abiótico (ADF) se determina para cada extracción de minerales (kg equivalentes de antimonio/ kg de extracción) en función de las reservas de concentración y la tasa de desacumulación. Agotamiento abiótico de combustibles fósiles está relacionado con el valor calorífico menor (LHV) expresado en MK por kg de m³ de combustible fósil. La razón por la que se toma el LHV es porque los combustibles son considerados totalmente sustituibles.

Calentamiento global

La tierra absorbe la radiación de sol. Esta energía es redistribuida por la atmósfera y regresa en forma de radiación infrarroja. Parte de esta radiación infrarroja la absorben gases en la atmósfera produciendo el calentamiento del planeta, fenómeno conocido como efecto invernadero. El modelo de caracterización desarrollado por el Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC) se selecciona para el desarrollo de factores de caracterización. Estos factores se expresan como potencial de calentamiento global para un horizonte de tiempo de 100 años (GWP100), en kg de dióxido de carbono equivalente/kg emitido.

Agotamiento del ozono estratosférico

La capa de ozono se encuentra en la estratosfera y actúa como filtro de los rayos UV. La disminución de la capa de ozono provoca un aumento de la radiación UV que llega a la tierra. Estas radiaciones son las causantes de un aumento de algunas enfermedades en los seres humanos (cáncer de piel, cataratas, supresión sistema inmunitario, ...), afectan a la producción agrícola, a los ecosistemas y degradan los materiales plásticos. El modelo de caracterización es desarrollado por la organización mundial meteorológica (WMO) y define el potencial de agotamiento del ozono de diferentes gases (kg CFC-11 equivalente/kg de emisión).

Oxidación fotoquímica

Los óxidos de nitrógeno (NO_x) reaccionan con los compuestos orgánicos volátiles (COV) para producir ozono troposférico, junto con la presencia de radiación solar. Este fenómeno se presenta principalmente durante el estío. La presencia de CO también contribuye a la generación de ozono. Estos oxidantes fotoquímicos pueden ser perjudiciales para los ecosistemas, a salud y la agricultura. Por tanto, afecta a las cuatro áreas de protección: la salud humana, recursos naturales, entorno natural y modificado por el hombre. El modelo es desarrollado por Junkin & Hayman y Derwent y define la oxidación fotoquímica expresada en kg equivalentes de etileno por Kg de emisión.

Acidificación

Se trata de la deposición de ácidos procedentes de la liberación de NO_x y SO_x en la atmósfera, suelo y agua, haciendo variar la acidez en estos medios al que afectará su flora y fauna. También produce deforestación y afecta a las materias de construcción. Las áreas de protección implicadas son por tanto la salud humana, recursos naturales, entorno natural y modificado por el hombre. El potencial de acidificación se expresa en kg de SO_2 por kg de emisión. El modelo es desarrollado por Huijbregts.

Eutrofización

Supone el impacto debido al aumento de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en el agua las algas crecen más rápido, consumen oxígeno y generan un exceso de materia orgánica. Este consumo de oxígeno puede conducir a alcanzar condiciones anaerobias generando microorganismos patógenos y algas tóxicas. Además, el exceso de algas tiende a cubrir la superficie y enturbiarla de manera que la luz no penetre en el interior del agua muriendo

la vegetación y consecuentemente la vida piscícola. El potencial de eutrofización es desarrollado por Heijungs et al y es expresado en PO₄ equivalente por kg de emisión.

7.2. Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

Como ya se ha comentado en la sección 7.1, el inventario se ha generado a partir de la información recibida de la empresa de fabricación de vehículos de Villaverde (Madrid), perteneciente al antiguo grupo PSA y ahora parte del grupo Stellantis, a través de informes técnicos y memorias medioambientales. Como ya se dijo en secciones anteriores los datos recibidos son referentes al año 2016 pues son los más significativos. Además, ha sido necesario complementar toda la información de PSA con artículos, informes y otros estudios similares para poder llegar a conseguir un estudio completo y obtener resultados lo más realistas posible. Recordar que se tiene que tener en cuenta que la unidad funcional es un vehículo, por tanto la información recibida para un año completo debe ser referenciada para un vehículo, sabiendo que en ese año se produjeron un total de 81.226 vehículos[39].

Este inventario se ha hecho corresponder con materias primas, recursos energéticos y procesos de la base de datos de Ecoinvent 3 en SimaPro. Para ello se ha seleccionado de la base de datos aquel que, según las hojas técnicas de especificación de cada producto/proceso, mejor encaje con el sistema de estudio, y siguiendo las limitaciones especificadas en la sección anterior (sección 7.1).

7.2.1. ICV Chapa

El inventario correspondiente a la fase de soldadura se muestra en la tabla 3. La soldadura empleada por puntos y láser no requiere de material de aporte ni gas de protección, con lo cual solo se requiere de electricidad para su puesta en funcionamiento y agua para evitar el sobrecalentamiento de los electrodos. Además, como ya se hizo alusión en la sección 6, la soldadura no es un proceso de especial relevancia en cuanto a las emisiones que genera la fábrica. Es por todo esto que se ha optado por el proceso de Ecoinvent “*welding, arc, processing (RER)*” proceso válido si la soldadura no es de especial importancia en el inventario, según se indica en la documentación de dicho proceso en Ecoinvent. A este proceso se le ha eliminado la fuente de electricidad, que era un mix eléctrico del este de Europa. En su lugar se ha añadido el consumo de electricidad real de bajo voltaje procedente de España, que da información más concreta del origen de esa energía, y cuya cantidad viene especificada en[40].

Inputs	Cantidad	Ud
Water, well, ES	0,25	m3
Polyester-complexed starch biopolymer (GLO) market for Cut-off, U	2,28	kg
Steel, low-alloyed (RER) steel production, electric, low-alloyed Cut-off, U	295	kg
Welding, arc, steel (RER) (Sin electricidad)	10	m
Electricity, low voltage (ES) Cut-off, U	86,79	kWh

Tabla 3. Inputs de Chapa para un vehículo [Fuente propia]

7.2.2. ICV Pintura

Según se muestra en la tabla 4 se ha generado el proceso “Pintura vehículo” con cada una de las etapas de pintura, con el tratamiento físico-químico de los efluentes de cataforesis y desengrase, el consumo de gas natural y de electricidad. Como ya se detalló en las limitaciones del sistema (sección 7.1.1), estos consumos energéticos que ha proporcionado PSA[40] no vienen especificados para cada etapa de pintura, por ello se ha incorporado dentro de este proceso más genérico.

TTS Verde

Las materias primas de las que consta los baños de desengrase y de conversión se han detallado anteriormente en la sección 6.2.1. El proceso seleccionado de desionización del agua, “*water, deionised*”, se ha modificado de tal manera que los “inputs” de consumo de electricidad y de agua para este proceso se han eliminado pues se ha tenido en cuenta dichos consumos en el proceso genérico “Pintura vehículo”.

Se han despreciado las emisiones al aire al igual que ocurre en el ICV de la fábrica italiana[15]. Esto se ha contrastado también con las emisiones de la etapa de pretratamiento del ICV americano[49], considerando órdenes de magnitud ínfimos (el mayor de E-4). En ambas referencias la etapa de TTS es de fosfatación, proceso mucho más perjudicial para el medioambiente indica en[43], con lo cual es bastante sensato considerar nulas las emisiones del TTS Verde.

Input	Cantidad	Ud
Non-ionic surfactant (GLO) non-ionic surfactant production, ethylene oxide derivate) Cut-off, U	0,085	kg
Sodium borates (GLO)) market for Cut-off, U	0,73	kg
Ammonium chloride (GLO) amination of chlorosilane Cut-off, U	0,31	kg
Hexamethyldisilazane (GLO) amination of chlorosilane Cut-off, U	0,13	kg
Titanium tetrachloride (GLO) production Cut-off, U	1,095	kg
Manganese (GLO) market for Cut-off, U	0,065	kg
Water, deionised (Europe without Switzerland) Sin inputs de electric. y agua	147,29	kg
Compressed air, 1200 kPa gauge (RER) compressed air production, <30kW, average generation Cut-off, U	0,032	m3

Tabla 4. Inputs de TTS Verde para un vehículo [Fuente propia]

Cataforesis

Las materias primas consumidas en el baño se han detallado en la sección 6.2.2. El proceso seleccionado de desionización del agua, “*water, deionised*”, se ha modificado de tal manera que los “inputs” de consumo de electricidad y de agua para este proceso se han eliminado pues se ha tenido en cuenta dichos consumos en el proceso “Pintura vehículo”.

Las emisiones se han estimado iguales a las del ICV de la fábrica italiana pues en esta etapa se llevan a cabo las mismas fases (baño, lavado ultrafiltrado, lavado agua desionizada y secado tras las masillas) con condiciones de trabajo similares. La excepción está en los COV emitidos, pues la fábrica dispone de una incineradora utilizada en los efluentes de salida de aire de la cataforesis y las lacas, que los reduce en un 6% según se especificó en la sección 6.4.1.

Input	Cantidad	Ud
Catonic resin{RER} market for cationic resin Cut-off, U	2,28	kg
Barium sulfide {GLO} brium sulfide production Cut-off, U	1,097	kg
Solvent, organic {GLO} production Cut-off, U	0,42	kg
Compressed air, 1200 kPa gauge (RER) compressed air production, <30kW, average generation Cut-off, U	0,032	m3
Water, deionised (Europe without Switzerland) Sin inputs de electric. y agua Cut-off, U	147,29	kg

Tabla 5. Inputs de Cataforesis para un vehiculo [Fuente propia]

Emisiones al aire	Cantidad	Ud
VOC, volatile organic compounds, unspecified origi	0,06	kg
Nitrogen oxides, ES	0,025	kg
Alkane (unspecified)	0,27	kg
Phospate	0,27	kg
Ammonia, ES	0,27	kg
Carbon monoxide	0,02	kg
Carbon dioxide	14	kg
Particulates, <10 um	0,007	kg

Tabla 6. Emisiones de Cataforesis para un vehiculo [Fuente propia]

Masillas

La especificación de la cantidad de PVC gastado se ha comentado en la sección 6.2.3. En cuanto a las emisiones producidas en su aplicación se estima una cantidad de COV de 0,4Kg por vehículo, según se detalla en la guía tecnológica de Fundación Entorno (Empresa y Medio Ambiente)[53].

Inputs	Cantidad	Ud
Polyvinylchloride, bulk polymerised {RER} polyvinylchloride production, bulk polymerisation Cut-off, U	4,049	kg

Tabla 7. Inputs de Masillas para un vehículo [Fuente propia]

Emisiones	Cantidad	Ud
VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	0,3	kg

Tabla 8. Emisiones de Masillas para un vehículo [Fuente propia]

Imprimación B0

Las materias primas consumidas para esta etapa de pintura por pulverizado se han detallado en la sección 6.2.4. Por el mismo motivo que en la etapa anterior se han estimado las mismas emisiones de contaminantes al aire, a excepción de las emisiones de COV, las emisiones más significantes en la industria de la pintura. La principal diferencia con el apresto de la fábrica italiana, según se indica en[15], está en que la base de la pintura es agua en lugar de disolvente, por tanto, la cantidad de COV emitido se reduce de un 60 a 90% la de base disolvente[53], tomando 60% (como caso más desfavorable) de los 1,1kg.

Inputs	Cantidad	Ud
Water,well, ES	0,0007	m3
Polyester resin, unsaturated {GLO} market for Cut-off, U	0,14	kg
Rutile, 95% titanium dioxide {GLO} rutile production, synthetic, 95% titanium dioxide Cut-off, U	0,18	kg
Barite {RER} rutile production, 95% synthetic, 95% titanium dioxide Cut-off, U	0,18	kg
Carbon black {GLO} production Cut-off, U	0,016	kg
Melamine formaldehyde resin {RER} production Cut-off, U	0,065	kg
Solvent, organic {GLO} production Cut-off, U	0,078	kg
Compressed air, 1200 kPa gauge (RER) compressed air production, <30kW, average generation Cut-off, U	0,064	m3
Polyurethane, flexible foam {RoW} market for polyurethane, flexible foam Cut-off, U	0,26	kg

Tabla 9. Inputs de Base B0 para un vehículo [Fuente propia]

Emisiones al aire	Cantidad	Ud
Carbon monoxide, fossil	0,02	kg
Nitrogen oxides, ES	0,02	kg
Carbon dioxide	14	kg
Particulates, < 10 um	0,0046	kg
VOC, volatile organic compounds as C	0,44	kg

Tabla 10. Emisiones de Base B0 para un vehículo [Fuente propia]

Lacas y Barniz

Las materias primas consumidas en el baño se han detallado en la sección 6.2.2. Las emisiones se han estimado iguales a las del ICV de la fábrica italiana pues en esta etapa se llevan a cabo las mismas fases (aplicación de lacas, aplicación de barniz, horneado final) y con condiciones de trabajo similares. La excepción está en los COV emitidos, pues la fábrica dispone de una incineradora utilizada en los efluentes de salida de aire de la cataforesis y las lacas, que los reduce en un 6% según se detalló en la sección 6.4.

Inputs	Cantidad	Ud
Coating powder {GLO} market for Cut-off, U	1,7	kg
Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RER} acrylic varnish production, product in 87.5% solution state Cut-off, U	1,7	kg
Compressed air, 1200 kPa gauge (RER) compressed air production, <30kW, average generation Cut-off, U	0,086	m3
Solvent, organic {GLO} production Cut-off, U	2,35	kg

Tabla 11. Inputs de Lacas y Barniz para un vehículo [Fuente propia]

Emisiones al aire	Cantidad	Ud
Particulates, < 10 um	0,006	kg
Carbon monoxide	0,0027	kg
Carbon dioxide	39	kg
Nitrogen oxides, ES	0,026	kg
VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	3,06	kg

Tabla 12. Emisiones de Lacas y Barniz para un vehículo [Fuente propia]

Resto de la instalación (calefacción + residuos totales)

El CO₂ y NO_x son los contaminantes emitidos por la industria que más afectan al calentamiento global, por su abundancia y su alto potencial de calentamiento respectivamente. El total emitido procede principalmente de fuentes de combustión de calderas de gas empleados en las fases de horneado, en el calentamiento de baños y calefacción. El consumo de calefacción forma parte del proceso considerado como “Resto de la instalación” creado en SimaPro según se muestra en las tablas 14 y 15. Para poder repartir las cantidades totales de contaminantes especificados en la tabla 2 primero se ha estimado que la cantidad de CO₂ y NO_x emitidos por cada etapa de pintura son los mismos que los del LCI de la fábrica italiana, según se ha explicado con anterioridad en cada etapa, pues presentan las mismas etapas de horneado con condiciones de tiempos, temperaturas de secado y curado semejantes. Las emisiones relativas al proceso “Resto de la instalación”, que se ha considerado se deben en su totalidad a la combustión en la calefacción; se han obtenido de la diferencia entre las emisiones totales (tabla 2) y las emisiones supuestas para cada etapa de pintura, resultando un total de 44,81kg CO₂ y 0,029 kg NO_x.

Para el año 2016 las emisiones de CO_{2 eq} debidas a la calefacción de gas natural son de 0,202 Kg/kW de gas natural consumido{Citation}. El potencial de calentamiento global del NO_x es de 298[56], es decir un kilogramo de este equivale a 298 kilogramos de CO₂, por tanto se puede comprobar la estimación de CO₂ emitido por la calefacción puede tomarse por válida. La cantidad consumida de gas natural para la calefacción es de 306kW según[40], de manera que el potencial de cambio climático es de 61,81 Kg CO_{2 eq}, frente a los 44,81kg CO₂ que sumados al impacto generado por los nitratos 0,029(kg NO_x)*298kg CO_{2 eq} da como resultado 53,4Kg CO_{2 eq}, valor del mismo orden y bastante próximo.

En este proceso también se ha incorporado todos los residuos del sistema, pues según se ha comentado en las limitaciones del sistema (sección 7.1.1), no ha sido posible clasificarlos por etapas concretas.

Inputs	Cantidad	Ud
Water, well, ES	0	m3
<i>Natural gas, from medium pressure network (0,1-1 bar), at service station (RoW) Cut-off, U</i>	22,86	kg
Electricity, low voltage {ES} market for Cut-off, S	134,17	kWh

Tabla 13. Inputs de Resto de instalación para un vehículo [Fuente propia]

Emisiones al aire	Cantidad	Ud
VOC, volatile organic compounds, unspecified origin	0,49	kg
Carbon dioxide	44,81	kg
Nitrogen oxides	0,029	kg
Carbon monoxide	0,036	kg

Tabla 14. Emisiones de Resto de instalación para un vehículo [Fuente propia]

Residuos	Cantidad	Ud
Wastewater, average {CA-QC} treatment of wastewater, average, capacity 1.6E8l/year MIX	1,87	kg
Municipal solid waste {ES} market for municipal solid waste Cut-off, U	5,09	kg
Waste mineral oil {GLO} market for Cut-off, U	0,06	kg
Scrap lead acid battery {GLO} market for Cut-off, U	0,08	kg
Fly ash and scrubber sludge {RoW} market for fly ash and scrubber sludge Cut-off, U	0,144	kg
Hazardous waste, for incineration {Europe without Switzerland} treatment of hazardous waste, hazardous waste incineration Cut-off, U	1,45	kg

Spent solvent mixture {Europe without Switzerland} treatment of spent solvent mixture, hazardous waste incineration Cut-off, U	0,13	kg
Waste paint {Europe without Switzerland} treatment of waste Paint, hazardous waste incineration Cut-off, U	0,25	kg
Waste plastic, consumer electronics {RoW} market for waste plastic, consumer electronics Cut-off, U	0,07	kg
Used fluorescent lamp {GLO} treatment of Cut-off, U	0,04	kg
Used Li-ion battery {GLO} market for Cut-off, U	0,0025	kg
Used toner module, laser printer, colour {GLO} market for Cut-off, U	0,006	kg
Waste polyvinylchloride {Europe without Switzerland} market for waste polyvinylchloride Cut-off, U	0,26	kg
Used tyre {Europe without Switzerland} Clinker production Cut-off, U	0,016	kg
Waste plastic, mixture {ES} market for waste plastic, mixture Cut-off, U	1,7	kg
Mixed plastics (waste treatment) {GLO} recycling of mixed plastics Cut-off, U	0,56	kg
Spent antifreezer liquid {RoW} treatment of, hazardous waste incineration Cut-off, U	0,011	kg
Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper	5,53	kg
Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron	4,6	kg
Scrap steel {Europe without Switzerland} market for scrap steel	1,09	kg

Tabla 15. Residuos totales en Resto de instalación para un vehículo [Fuente propia]

Efluentes de cataforesis y desengrase

Las materias primas consumidas durante este tratamiento y sus cantidades correspondientes se han precisado en la sección 6.4.3. Durante este proceso aparentemente no se generan gases contaminantes, con lo cual solo existen entradas al

sistema, pues las salidas de lodos hidróxidos tras la decantación se han tenido en cuenta como residuos sólidos en “Resto de instalación”.

Inputs	Cantidad	Ud
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution rate {GLO} market for Cut-off, U	0,16	kg
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER} Cut-off, U	0,16	kg
Sulfuric acid {RER} production Cut-off, U	0,055	kg
Lime, hydrated, packed {RER} market for lime, hydrated, packed Cut-off, U	0,043	kg
Aluminium sulfate, powder {RER} market for aluminium sulfate, powder Cut-off, U	0,2	kg
Polyaluminium chloride {GLO} polyaluminium chloride production Cut-off, U	0,002	kg

Tabla 16. Inputs de Efluentes Cataforesis y desengrase para un vehículo [Fuente propia]

7.2.3. ICV Montaje

En esta etapa solo existen entradas al sistema, de electricidad y agua. Productos como líquidos para frenos, refrigerantes, ... no se han tenido en cuenta, de acuerdo con los límites establecidos del sistema (sección 7.1.1).

Respecto a las salidas del sistema no hay emisiones de contaminantes al aire, aunque sí que hay residuos sólidos resultantes que se han tenido en cuenta en el proceso “Resto de instalación”.

Inputs	Cantidad	Ud
Water, well, ES	0,068	m3
Electricity, low voltage {ES} electricity voltaje transformation from medium to low voltaje Cut-off, U	38,07	kWh

Tabla 17. Inputs de Montaje para un vehículo [Fuente propia]

7.3. Análisis de Impacto de Ciclo de Vida (AICV)

El sistema de estudio ha sido evaluado mediante el método CML-IA baseline. Se trata de una metodología de ACV desarrollada por el Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden, en Holanda.

El método CML-IA se trata de la actualización del CML 2 baseline 2000 y corresponde a documentos publicados por CML en agosto del 2016. Han sido añadidos ciertas materias primas y factores de caracterización han sido actualizados, conforme a la base científica.

Se consideran dos opciones de análisis de efecto de las categorías de impacto medioambiental, por un lado el efecto último de impacto, "*endpoint*", o bien, considerar efectos intermedios, "*midpoints*". Las categorías intermedias son más cercanas en cuanto a la intervención ambiental, lo que hace que sea más fácil la creación de modelos de cálculo que se ajusten bien a dicha intervención. Éstas proporcionan con mayor detalle de qué manera y en qué punto se afecta al medio. Las categorías de impacto finales tienen la ventaja de que son variables que afectan de forma directa sobre la sociedad, lo cual es más relevante para el estudio de impacto. Sin embargo, la manera de cuantificarlo es compleja y no queda del todo definida, además, no existe el suficiente consenso a nivel científico como para recomendarlo.

Es por todo esto que actualmente se recurre al uso de categorías de impacto intermedias, como es para el caso del CML-IA baseline. La guía CML proporciona una lista de categorías de evaluación de impacto agrupadas en:

- Categorías de impacto obligatorias (indicadores de categoría usados en la mayoría de los ACV)
- Categorías de impacto adicionales (existen indicadores operacionales, pero a menudo no se incluyen los estudios ACV)
- Otras categorías de impacto (no hay indicadores operacionales disponibles por lo que es imposible incluirlos cuantitativamente en el ACV)

Las categorías más importantes, que se evalúan en este proyecto de fin de grado y que han sido explicadas detalladamente en la sección 7.1, son las siguientes:

- Agotamiento abiótico (kg Sb equivalente). Indicador de impacto: escasez de recursos abióticos.
- Agotamiento abiótico (combustibles fósiles) (MJ). Indicador de impacto: escasez de recursos, combustibles fósiles.
- Calentamiento global (kg CO₂ equivalente). Indicador de impacto: aumento de la temperatura global y fenómenos climáticos.
- Destrucción de la capa de ozono (kg CFC-11 equivalente). Indicador de impacto: aumento de las radiaciones ultravioletas.
- Toxicidad humana (kg 1,4 DB-equivalente). Indicador de impacto: aumento de enfermedades en los humanos como enfermedades respiratorias, cáncer, ...
- Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4 DB-equivalente). Indicador de impacto: pérdida de biodiversidad y/o extinción de especies terrestres.
- Ecotoxicidad en agua marina (kg 1,4 DB-equivalente). Indicador de impacto: pérdida de biodiversidad y/o extinción de especies de aguas marinas.
- Ecotoxicidad en agua dulce (kg 1,4 DB-equivalente). Indicador de impacto: pérdida de biodiversidad y/o extinción de especies de aguas dulces.
- Oxidación fotoquímica (kg C₂H₄ equivalente). Indicador de impacto: aumento del Smog fotoquímico en la superficie terrestre.
- Acidificación (kg SO₂ equivalente). Indicador de impacto: incremento de la acidez de los ecosistemas.
- Eutrofización (kg PO₄ equivalente). Indicador de impacto: exceso de nutrientes en ecosistemas acuáticos.

Los resultados obtenidos para cada categoría se encuentran desglosados por etapas o focos de impacto de la fábrica en la tabla 20: tres etapas de fabricación principales (chapa, pintura, montaje), junto con los asociados al consumo de calefacción de la fábrica y los residuos totales generados. En esta misma tabla se refleja el impacto total generado por toda la planta, como suma del resto de etapas o focos de contaminación.

El impacto de pintura se debe al de cada una de las fases de pintado (tabla 21) junto con el consumo de electricidad y gas natural. Según se ha indicado en la sección 7.1, los residuos asociados a la pintura no se han podido clasificar por fases de pintura.

	Ud (eq)	Chapa	Pintura	Montaje	Calefacción	Residuos	Total
Agot. abiótico	kg Sb	2,23E-03	1,03E-03	3,86E-05	4,12E-04	6,40E-05	9,58E-05
Agot.Abiot.(comb.fósil)	MJ	1,97E+03	2,45E+03	1,44E+02	1,67E+03	4,07E+01	4,22E+02
Calentamiento global	kg CO ₂	1,46E+02	1,71E+02	1,26E+01	1,05E+02	1,21E+01	5,27E+02
Agot. Capa ozono	kgCFC-11	1,89E-05	6,19E-05	1,81E-06	1,32E-05	6,69E-07	8,22E+05
Toxicidad humana	kg1,4-DB	2,50E+02	1,17E+02	6,40E+00	4,82E+01	1,53E+01	2,13E+01
Ecotox. terrestre	kg1,4-DB	3,81E+02	8,62E+01	5,85E+00	5,40E+01	5,57E+01	1,28E-01
Ecotox. agua marina	kg1,4-DB	5,04E+05	1,92E+05	2,10E+04	1,05E+05	2,47E+05	1,98E+00
Ecotox. Agua dulce	kg1,4-DB	1,94E+01	1,40E+00	4,39E-02	4,84E-01	4,37E-02	9,43E-01
Oxid. fotoquímica	kgC ₂ H ₄	5,17E-02	5,40E-02	3,42E-03	1,92E-02	4,97E-03	9,58E-05
Acidificación	kgSO ₂	8,10E-01	6,48E-01	9,39E-02	4,33E-01	2,33E-02	4,22E+02
Eutrofización	kgPO ₄ ⁻	3,86E-01	4,35E-01	2,14E-02	1,01E-01	6,46E-02	5,27E+02

Tabla 18. Impactos para chapa, montaje, calefacción y residuos. Referidas a un vehículo [Fuente propia]

	Ud (eq)	TTS	Cataforesis	Masillas	B0	Lacas
Agot. abiótico	kg Sb	6,43E-05	1,01E-04	2,31E-04	2,34E-05	2,22E-04
Agot. Abiot.(comb.fósil)	MJ	5,15E+01	9,83E+01	2,07E+02	4,95E+01	3,72E+02
Calentamiento global	kg CO ₂	4,43E+00	1,96E+01	1,01E+01	1,71E+01	6,22E+01
Agot. Capa ozono	kgCFC-11	9,48E-07	6,34E-06	4,72E-06	1,43E-06	3,54E-05
Toxicidad humana	kg1,4-DB	8,26E+00	2,86E+01	1,04E+01	2,78E+00	2,19E+01
Ecotox. terrestre	kg1,4-DB	6,59E+00	1,10E+01	6,67E+00	1,90E+00	1,07E+01
Ecotox. agua marina	kg1,4-DB	8,72E+03	3,58E+04	1,33E+04	3,23E+03	3,45E+04
Ecotox. Agua dulce	kg1,4-DB	8,59E-01	7,14E-03	1,87E-02	1,14E-02	7,03E-02
Oxid. fotoquímica	kgC ₂ H ₄	4,91E-03	2,58E-03	2,30E-03	3,96E-03	2,30E-02
Acidificación	kgSO ₂	2,34E-02	2,63E-02	4,06E-02	1,43E-02	1,54E-01
Eutrofización	kgPO ₄ -	1,18E-02	2,75E-01	1,41E-02	6,76E-03	3,71E-02

Tabla 19. Impactos totales sobre la pintura y desglosado por etapas de pintura. Referidas a un vehículo [Fuente propia]

Los resultados comparativos obtenidos en cada categoría para las etapas o focos de impacto de la fábrica se muestran de forma gráfica en la figura 17 y 18. Para el caso de la figura 17 se ha establecido una relación (proporción) entre el impacto generado por cada etapa de la planta, de tal manera que el foco o etapa de mayor impacto se ha establecido para el 100% y seguidamente el resto de etapas. En la figura 18 se ha normalizado cada categoría a términos de energía equivalente para evaluar las categorías de impacto que más se ven afectadas. Estas gráficas se analizarán a continuación, para cada categoría de impacto.

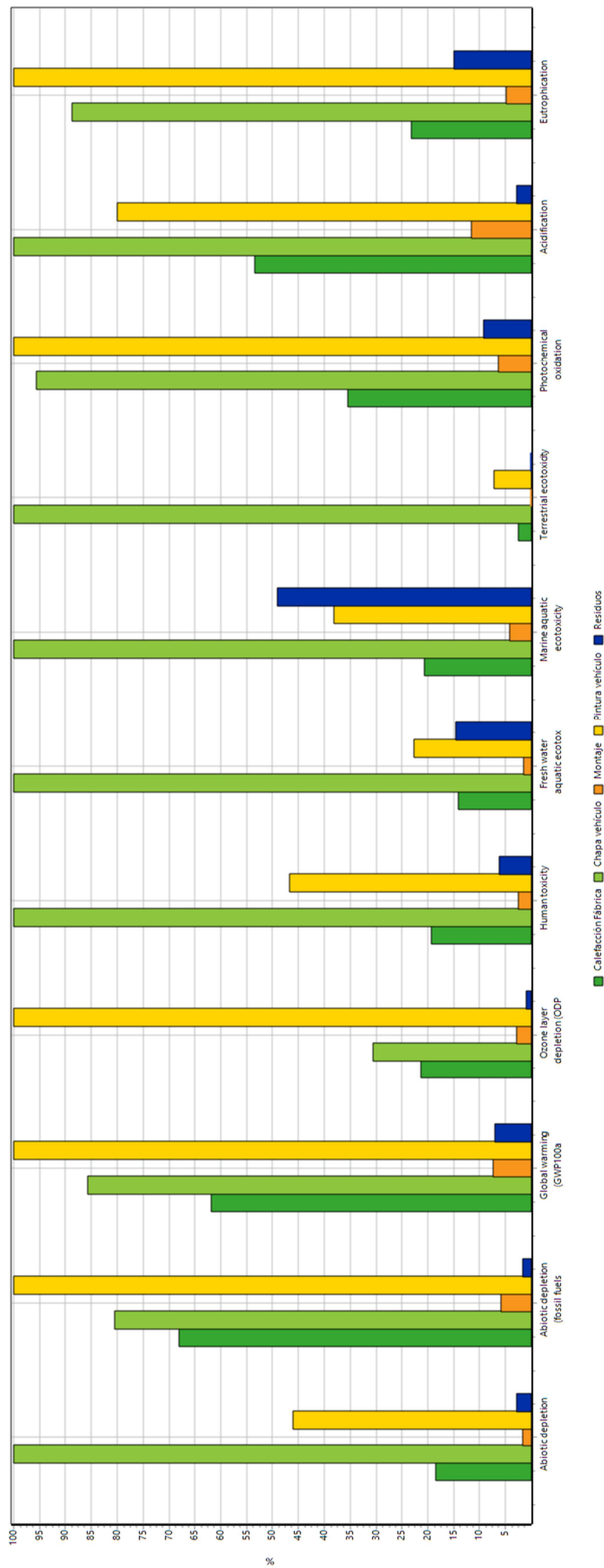


Figura 17. Comparativa en % de impactos por etapas. El 100% de impacto para la etapa más contaminante[Fuente propia]

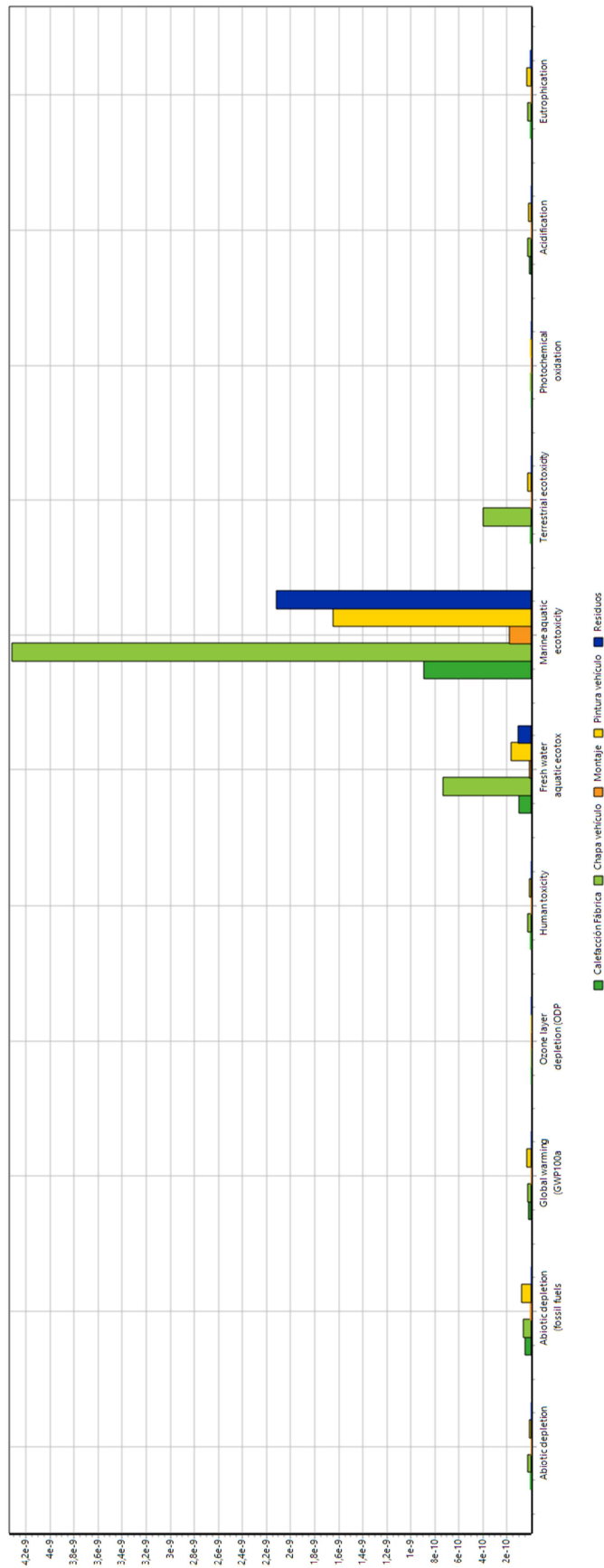


Figura 18. Comparativa normalizada a unidades de energía (MJ) para las categorías de impacto por etapas [Fuente propia]

7.3.1. Agotamiento abiótico

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación del agotamiento abiótico para producir un vehículo, desglosada por etapas. Este impacto, como se ha explicado en la sección 7.1.2, incluye la utilización de recursos no biológicos (agua, minerales, ...) pero que influyen en la vida de los seres vivos. Se incluye la utilización de recursos abióticos limitados, exceptuando los combustibles fósiles.

En la figura 17 se observa que la chapa es la etapa que más impacto genera en esta categoría (más del doble del que produce la pintura), lo cual es debido principalmente a la gran cantidad de chapa requerida por vehículo. Tras la chapa se posicionan la pintura y la calefacción. Por otro lado, según se indica en la figura 19, la etapa más significativa en la pintura es el consumo de electricidad, donde el mix español tiene una parte destacable procedentes de fuentes renovables. Seguidamente se encuentran las masillas y las lacas. A pesar de la fuerte procedencia de fuentes de energía no renovable de las masillas y las lacas, según indica el diagrama de barras de la figura 20 (obtenido mediante el método de cálculo CED), son estas etapas de pintura las que más impacto generan precisamente porque son las que más cantidad de materias primas consumen, tanto fósiles como no fósiles.

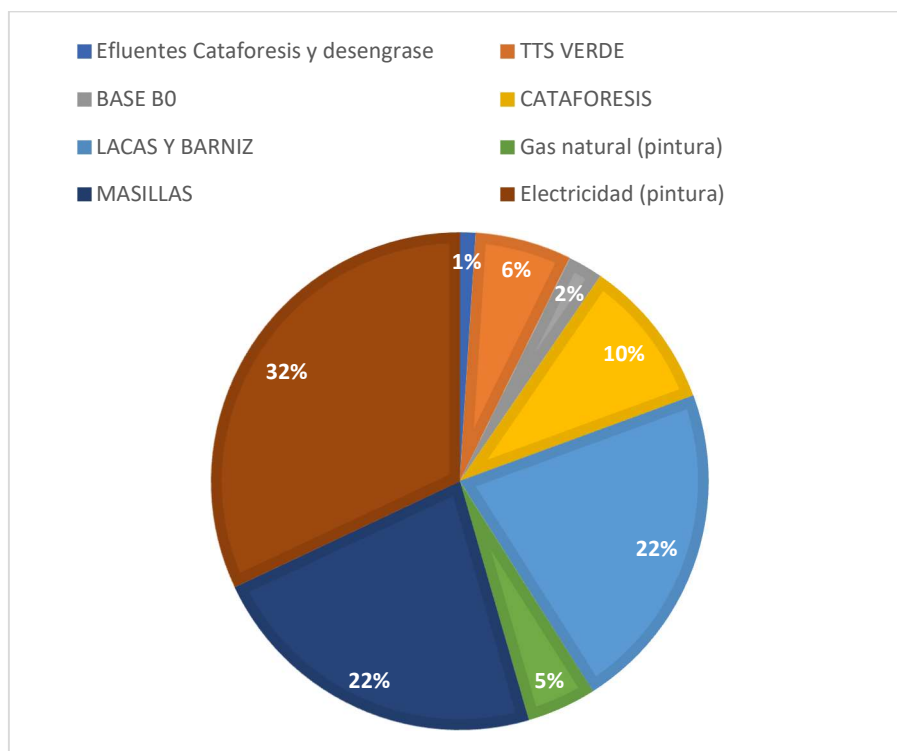


Figura 19. Comparativa de impactos sobre el agotamiento abiótico para la etapa de pintura [Fuente Propia]

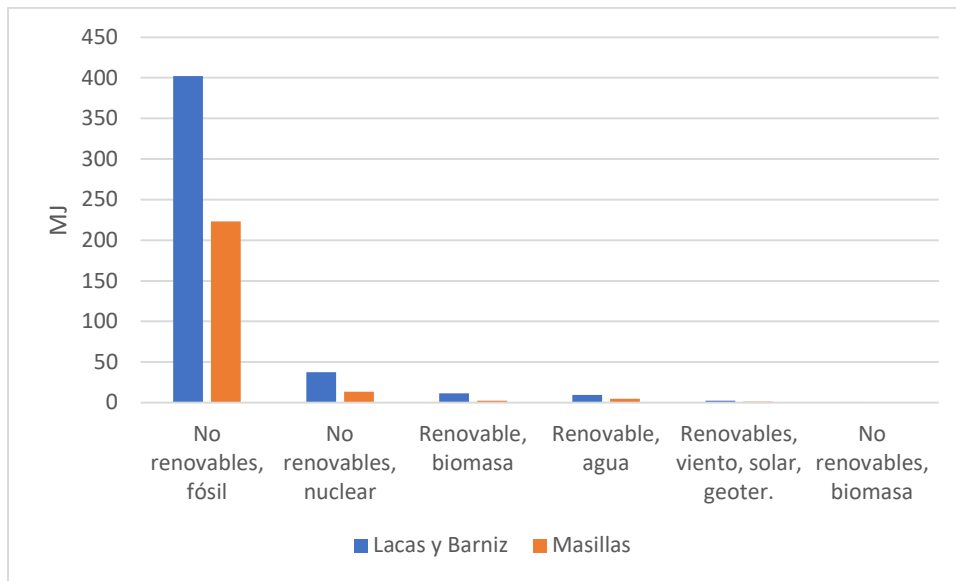


Figura 20. Procedencia energética de las etapas de masillas y lacas-barniz [Fuente Propia]

7.3.2. Agotamiento abiótico (combustible fósil)

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación del agotamiento abiótico para producir un vehículo, desglosada por etapas. Este impacto, como se ha explicado en la sección 7.1.2, incluye la escasez de combustibles fósiles. En esta ocasión la etapa de pintura es la que más impacto genera pues es la que utiliza más recursos procedentes de fuentes no renovables y que más contaminantes (de origen fósil) emite, según se aprecia en la figura 17. Tras la pintura se posicionan la chapa y la calefacción. En la puesta en funcionamiento de la calefacción se hace uso de cantidades considerables de gas natural, así como de electricidad, cuyo mix español tiene una parte considerable de procedencia de energías no renovables.

Por otro lado, según se indica en la figura 21, el mayor consumo en la pintura se debe al consumo de gas natural, como aporte de energía para el calentamiento de baños y hornos. A continuación, se encuentran la correspondiente parte no renovable originaria de la electricidad española, seguido de las lacas y masillas. Las masillas de PVC están compuestas de una parte proveniente del petróleo bruto y otra parte de la sal, es por ello que intervengan en el impacto de ambas categorías de agotamiento abiótico.

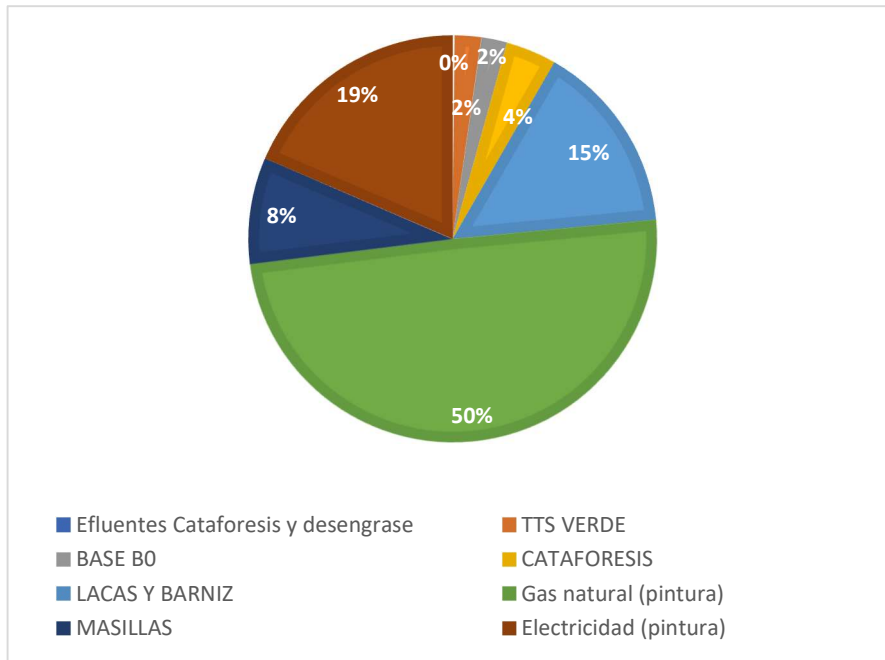


Figura 21. Comparativa de impactos sobre el agotamiento abiótico (combustible fósil) para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.3. Calentamiento global

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación del calentamiento global para producir un vehículo desglosada por etapas. Este impacto, como se ha explicado en la sección 7.1.2, indica el calor generado en la atmósfera a causa de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Según se puede comprobar en la figura 17, los resultados de las distintas etapas son bastante similares a los de agotamiento abiótico por combustibles fósiles ya que las emisiones de GEI están asociadas a los recursos cuyo origen es materia fósil, además de las emisiones generadas en las diversas etapas que componen la pintura y durante el proceso de combustión en la calefacción.

Un resultado muy importante para la empresa en vistas a optimizar su producción y reducir los GEI generados son los 527 kg CO_{2eq}/veh totales producidos en la planta. El proceso de pintura del vehículo es el causante del mayor impacto, en concreto de 171 kg CO_{2eq}/veh. Existe una serie de mejoras llevadas a cabo en la planta de estudio con respecto a la fábrica italiana que hacen que se reduzcan las emisiones de GEI, como el requerimiento de menores fases de producción. Así en la etapa de apresto, debido a la utilización de pintura en base agua, se prescinde de horneado. Además, se reduce el número de enjuagues y baños de pintura en el TTS debido a las características propias del baño de silanoles. También existen otras mejoras que suponen un aminoramiento en las

emisiones de GEI, como el ahorro de energía y la minimización de residuos generados en el TTS, la reducción de emisiones en lacas y cataforesis mediante incineradoras, el uso de pinturas en base agua, la reducción de residuos generados o la reducción en el consumo de materia primas gracias a la reutilización de baños (debido al uso de filtros y tratamientos físico-químicos de efluentes). De esta manera se consigue que las emisiones sean inferiores a los 834 kg CO_{2eq}/veh de la fábrica italiana[15].

Los siguientes responsables del cambio climático son la fase de chapa, cuyas emisiones de GEI surgen durante la obtención y procesado de materia prima hasta el conformado final de la chapa, seguido de la calefacción de la fábrica. El potencial de calentamiento global generado por la calefacción es de 105 kg CO_{2eq}, valor muy remarcable considerando que en la etapa de pintura se obtuvieron 171 kg. De este total 44,8 kg proceden de las emisiones de gases de combustión de las calderas, 44,4 kg debido al mix eléctrico español comentado anteriormente, y el restante ocasionado por el consumo de gas natural. En la figura 22 se observa que el impacto mayor en la pintura es ocasionado por la etapa de lacas, etapa que más GEI emite. Las grandes emisiones de CO₂ junto con los grandes potenciales de impacto de los nitratos y clorofluorocarburos (CFCs) hacen que estos gases liberados al aire sean los principales responsables del cambio climático. También es de destacar el consumo energético en la pintura (gas natural y mix eléctrico español), debido a la cantidad considerable de energía requerida principalmente para el calentamiento de baños y horneados[16].

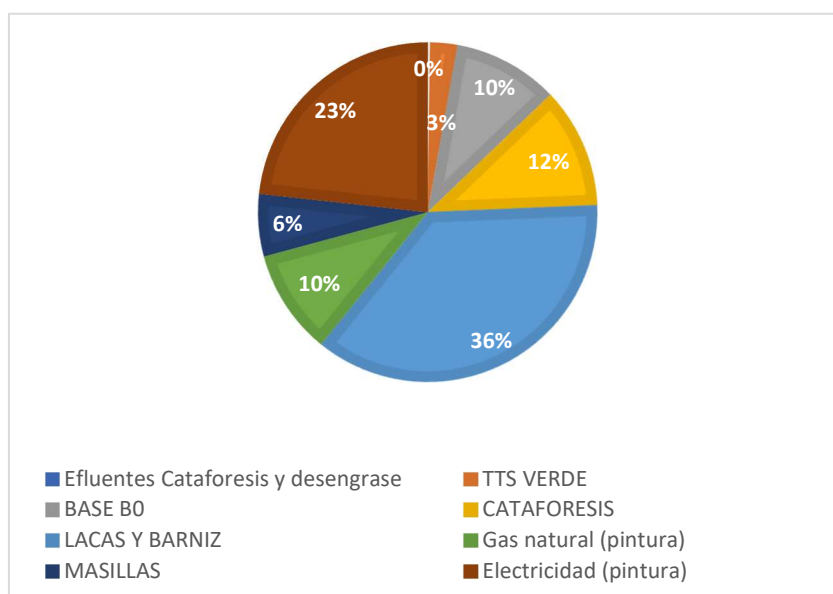


Figura 22. Comparativa de impactos sobre el calentamiento global para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.4. Agotamiento de la capa de ozono

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación del agotamiento del ozono estratosférico para producir un vehículo, desglosada por etapas. Esta categoría hace referencia, según se explicó en la sección 7.1.2, a la emisión de gases (CFCs, HCFCs, halógenos, ...) que producen la destrucción de la capa de ozono.

En esta ocasión la etapa de pintura es la que más impacto genera, según se aprecia en la figura 17, y posteriormente se posicionan la chapa y la calefacción.

El impacto producido sobre el proceso de pintura es de $6,19E-5$ kg CFC-11_{eq}. Las grandes emisiones durante la etapa de lacas y barniz hacen que esta sea la que mayor impacto produce sobre la etapa de pintura, según se muestra en la figura 23. En particular se trata de los compuestos orgánicos volátiles como los clorofluorocaburos (CFCs), que se encuentran en pinturas/disolventes, y que tiene un gran poder de destrucción del ozono estratosférico. Seguidamente se genera mayor impacto con el consumo de recursos energéticos (gas natural y electricidad).

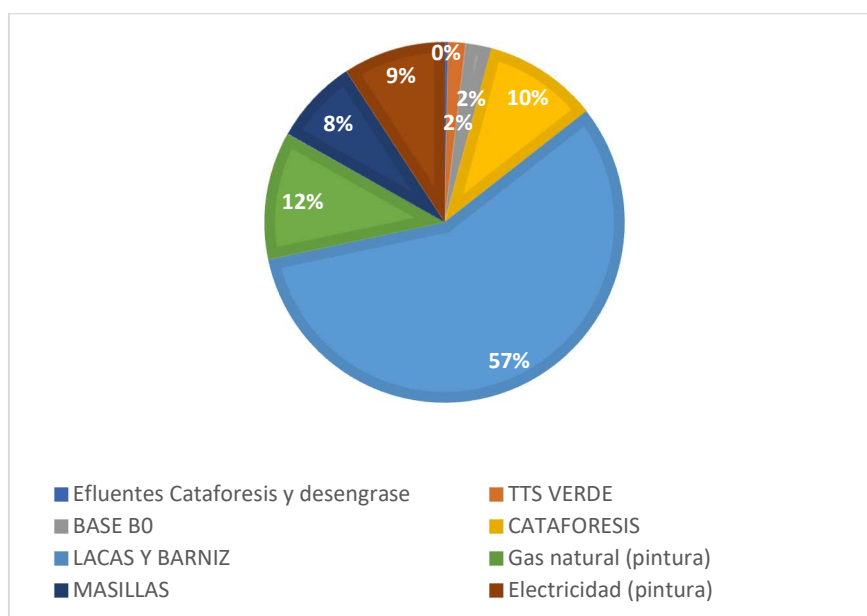


Figura 23. Comparativa de impactos sobre el agotamiento de la capa de ozono para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.5. Toxicidad humana

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación de la toxicidad humana resultante para producir un vehículo, por etapas. Esta categoría hace referencia, según se explicó en la sección 7.1.2, a las emisiones que son muy dañinas para el ser humano como es el caso del arsénico, el fluoruro de hidrógeno y el dicromato de sodio.

Como se puede apreciar gráficamente en la figura 17 la etapa que mayor impacto genera es la chapa, debido de forma mayoritaria a las emisiones de este tipo de contaminantes mencionados durante la fase de obtención y procesado de materia prima hasta el conformado de la chapa. Tras el impacto de la chapa se posiciona la pintura (en menos de la mitad respecto la chapa) seguido de la calefacción.

Según se muestra en la figura 24, es el consumo de electricidad el causante de la mayor parte del impacto en la etapa de pintura. Por otra parte, el pigmento utilizado de sulfuro de bario es la consecuencia mayoritaria de que la cataforesis sea la siguiente etapa más dañina. Tras el impacto de la cataforesis se posiciona las lacas y barniz, cuya mayor contribución se debe a las emisiones generadas durante la etapa, seguido de la laca empleada.

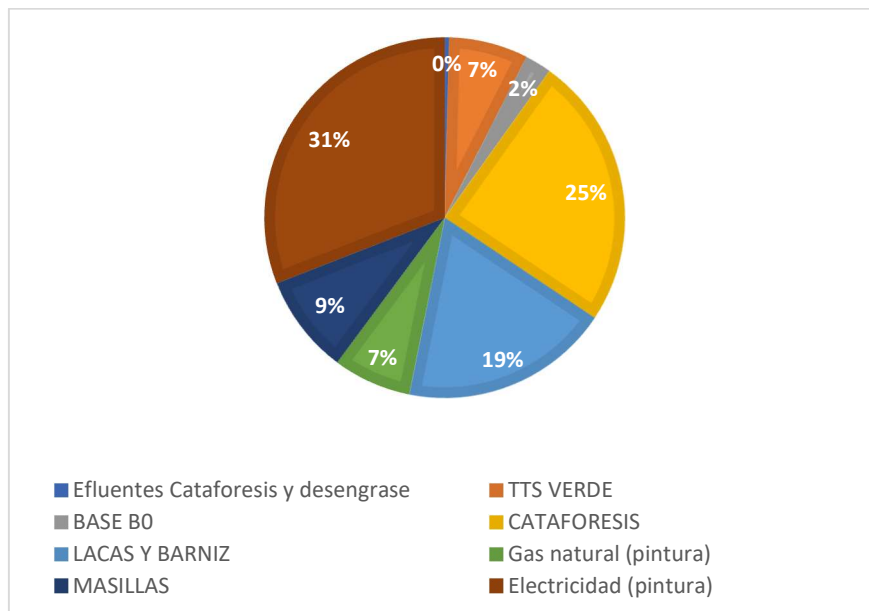


Figura 24. Comparativa de impactos sobre la toxicidad humana para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.6. Ecotoxicidad en agua fresca

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación de la ecotoxicidad en agua fresca o dulce para producir un vehículo, desglosada por etapas. Esta categoría hace referencia, según se explicó en la sección 7.1.2, a las emisiones de sustancias tóxicas en ecosistemas de agua dulce nocivas para sus especies.

Como se puede apreciar en la figura 16 la etapa que impacta más notablemente es la chapa, debido de forma mayoritaria a la emisión de este tipo de sustancias mencionadas durante la fase de obtención y procesado de materia prima hasta el conformado de la chapa. Tras el impacto de la chapa se posiciona la pintura (en menos de la cuarta parte respecto la chapa) seguido de la calefacción.

El abundante consumo de electricidad en la etapa de pintura hace que sea la principal fuente de impacto en la pintura (figura 25). Al igual que ocurría en la categoría anterior es el pigmento utilizado de sulfuro de bario la principal consecuencia de que la cataforesis sea la etapa de pintura más dañina. Tras el impacto de la cataforesis se posiciona las lacas y barniz, cuyo impacto es debido principalmente a la laca utilizada, seguido de los contaminantes emitidos al aire durante dicha etapa.

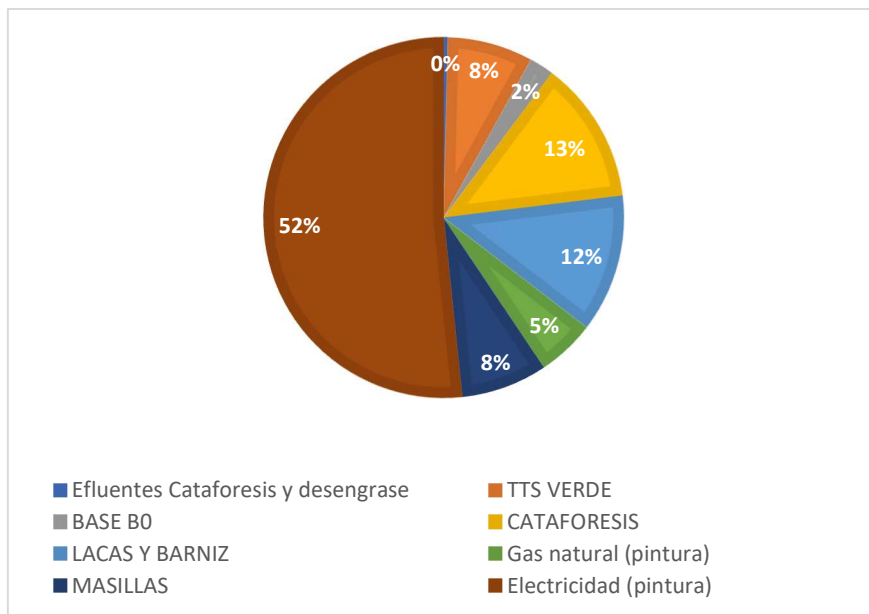


Figura 25. Comparativa de impactos sobre la ecotoxicidad en agua fresca para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.7. Ecotoxicidad en agua marina

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación de la ecotoxicidad en agua marina para la producción de un vehículo. Esta categoría hace referencia, según se explicó en la sección 7.1.2, a las emisiones de sustancias tóxicas en ecosistemas de agua marina nocivas para sus especies.

De la figura 18 se comprueba que esta categoría es la que resulta más perjudicada. Los ciclos naturales de la tierra desembocan en su mayoría en la mar, a través del movimiento generado por el viento, los ríos, movimientos de aguas subterráneas, escorrentías, ... Por eso el final de vida de muchas materias ocurre en el mar, afectando en dicho ecosistema.

Como se puede apreciar en la figura 17 la etapa que impacta más notablemente es la chapa, mayoritariamente debido a la emisión de sustancias tóxicas para el medio marino durante la fase de obtención y procesado de materia prima hasta el conformado de la chapa. Tras el impacto de la chapa se posicionan los residuos generados (en algo menos de la mitad respecto la chapa), seguido de la pintura y la calefacción.

La cantidad considerable de residuos sólidos municipales generados por la fábrica son los causantes, prácticamente en su totalidad, del impacto generado por los residuos. La mayoría de estos son depositados en vertederos concretos, que, debido a factores como el viento, pueden hacer que estos residuos sean arrastrados y acaben en mares u océanos.

El abundante consumo de electricidad en la etapa de pintura hace que sea la principal fuente de impacto en la pintura (figura 26). Al igual que ocurría en las categorías anteriores (sección 7.3.5 y 7.3.6) es el pigmento utilizado de sulfuro de bario la principal consecuencia de que la cataforesis sea la etapa de pintura más dañina. Tras el impacto de la cataforesis se posiciona las lacas y barniz, cuyo impacto es debido a las materias primas utilizadas en las lacas y el barniz.

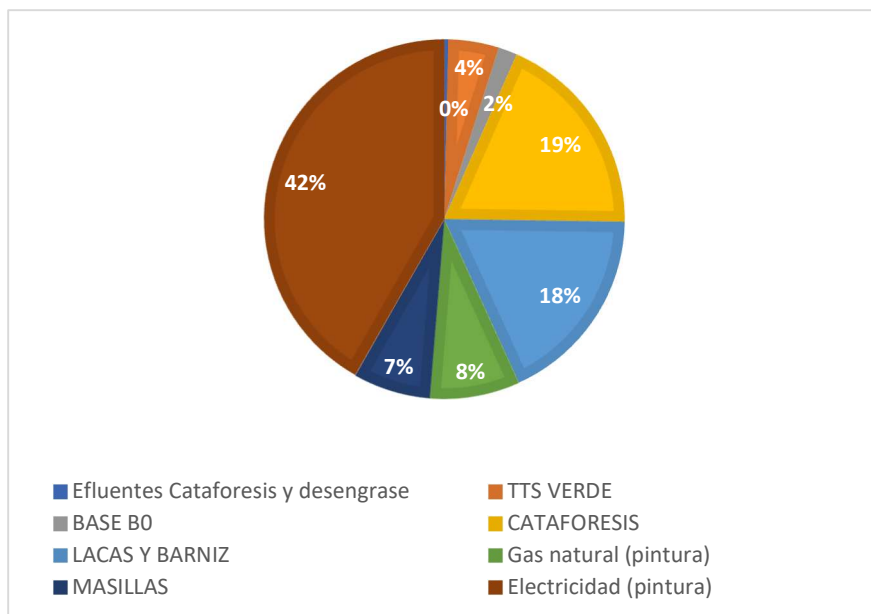


Figura 26. Comparativa de impactos sobre la ecotoxicidad en agua marina para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.8. Ecotoxicidad terrestre

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación de la ecotoxicidad terrestre para producir un vehículo desglosada por etapas. Esta categoría hace referencia, según se explicó en la sección 7.1.2, a las emisiones de sustancias tóxicas en ecosistemas terrestres, afectando sobre ellos y sus especies.

Como se muestra en la figura 17 la etapa que impacta más notablemente es la chapa, debido mayoritariamente a la emisión de sustancias tóxicas al medio durante la fase de obtención y procesado de materia prima hasta el conformado de la chapa. Tras el impacto de la chapa se posiciona la pintura (en torno a la dieciseisava parte respecto la chapa) seguido de la calefacción.

El uso del tensoactivo, utilizado para el baño de desengrase, es el causante de que la etapa de TTS sea la que más intervenga en el impacto ocasionado por la pintura. Tras el impacto del TTS se encuentra el consumo de electricidad, según se indica en la figura 27.

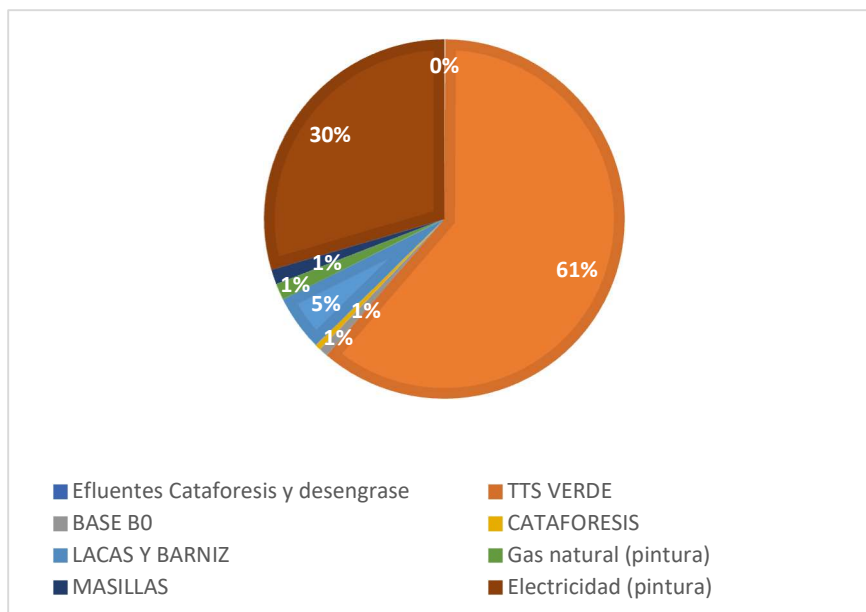


Figura 27. Comparativa de impactos sobre la ecotoxicidad terrestre para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.9. Oxidación fotoquímica

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación de la oxidación fotoquímica para producir un vehículo, desglosada por etapas. Esta categoría hace referencia, según se explicó en la sección 7.1.2, a formación de ozono a nivel de la superficie debido a la reacción de óxidos de nitrógeno con COV en presencia de luz y agua. Los gases que más impacto generan sobre esta categoría son: COV, amonio, óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre (SO_x).

Como se muestra en la figura 17 la etapa que más impacto produce es la pintura, con un total de 0,054 kg C₂H_{4eq}, frente a los 0,3328 kg C₂H_{4eq} producidos por la fábrica italiana[15]. Para que ambos valores puedan ser totalmente comparables se debe sumar el impacto generado por los residuos de pintura, que se deduce que es inferior a los 0,00497 kg C₂H_{4eq} generados por los residuos totales. Aún incluso teniéndolos en cuenta el impacto generado por PSA es muy inferior al de la empresa italiana.

La razón principal de esta reducción sustancial es la misma que la considerada en el calentamiento global (subsección 7.3.3), que supuso una fuerte disminución de los GEI, y de igual manera supone que la emisión directa e indirecta de gases de generación de ozono se aminore. Tras el impacto de la pintura se posiciona la chapa.

La etapa de lacas y barniz es la que más contribuye al impacto global generado por la pintura, según se muestra en la figura 28, lo cual se debe principalmente al proceso de producción de las lacas a partir de materias primas, seguido de las emisiones directas producidas en esta etapa. A continuación, los recursos fósiles de los que surge gran parte del mix eléctrico español son los siguientes responsables del impacto total de la pintura.

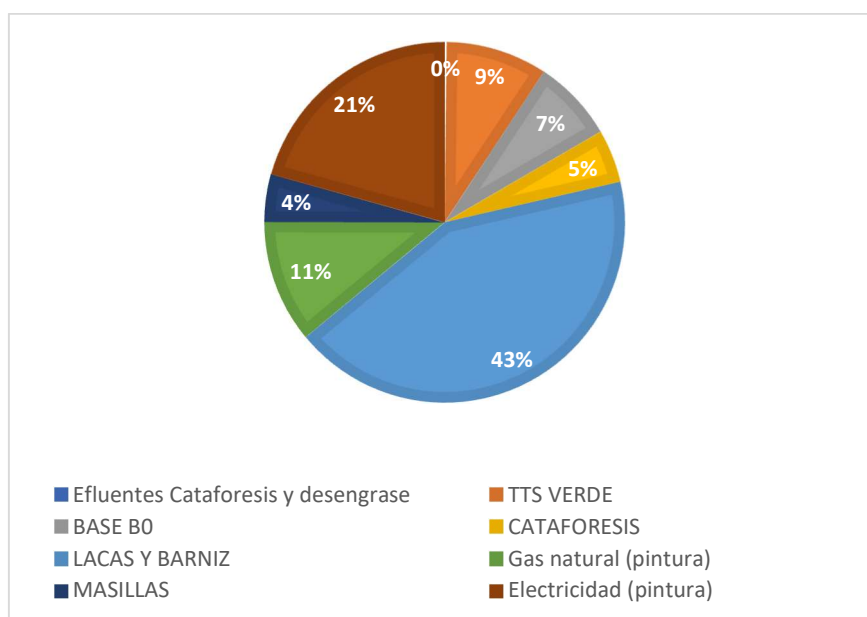


Figura 28. Comparativa de impactos sobre la oxidación fotoquímica para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.10. Acidificación

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación de la acidificación para producir un vehículo desglosada por etapas. Esta categoría hace referencia, según se explicó en la sección 7.1.2, a la emisión de gases de carácter ácido que al entrar en contacto con el agua de las nubes podría ocasionar precipitaciones en forma de lluvia ácida. Los gases que más afectan son los amonios, los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los óxidos de azufre (SO_x).

El potencial de impacto del proceso de pintura es de 0,648 kg SO₂ eq, frente a los 0,05152 kg. Para el caso de la fábrica italiana la principal fuente de impacto son las emisiones mientras que, para este proyecto, además de las emisiones también ejerce una gran contribución la electricidad consumida, a pesar de que se consume menos cantidad que en la fábrica italiana. Según se ha analizado mediante el método CML-IA baseline para

el mix eléctrico español e italiano en Ecoinvent 3, el impacto es aproximadamente 1,4 veces superior para el mix eléctrico español.

En la figura 17 se observa que el impacto de la pintura se posiciona tras el de la chapa (en torno al 10% más de impacto que la pintura), cuyo impacto se debe en su mayoría a las emisiones generadas durante el proceso de conformado de la chapa. Según se observa en la figura 29, el mayor impacto en la pintura se debe al consumo de recursos energéticos. De la obtención de una parte de estos recursos a partir de materia fósil surgen cantidades de SO_x que contribuyen notablemente a la acidificación de los medios. La etapa de lacas y barniz es la que más contribuye a la acidificación, pues según se ha podido comprobar en la figura 20 el origen mayoritario de los procesos llevados a cabo en esta etapa reside en fuentes de energía no renovable. Son los ciclos de vida de las materias primas de las que proceden las lacas y el barniz las que mayoritariamente contribuyen en dicho impacto.

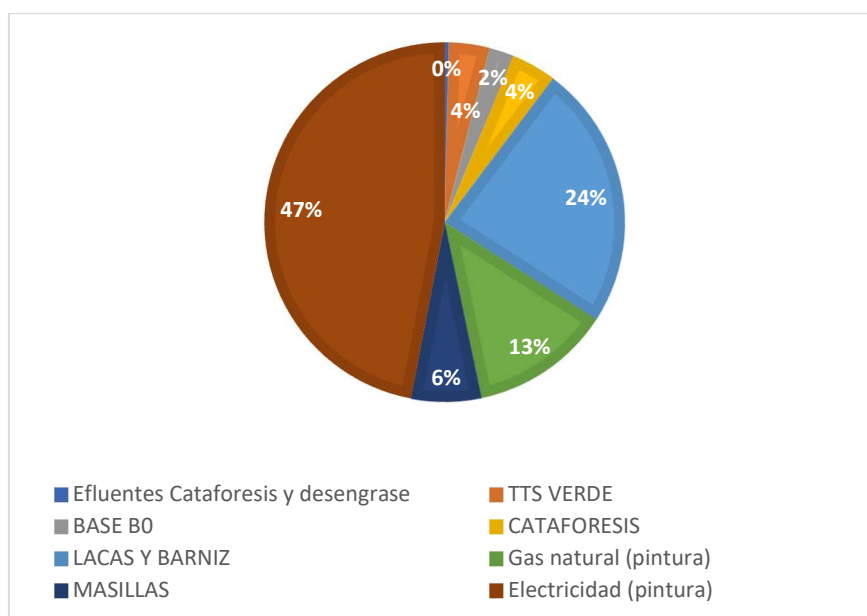


Figura 29. Comparativa de impactos sobre la acidificación para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.3.11. Eutrofización

En las tablas 18 y 19 aparece la cuantificación de la eutrofización para producir un vehículo, desglosada por etapas. Esta categoría hace referencia, según se explicó en la sección 7.1.2, a la emisión de sustancias contribuyentes en la formación de nutrientes

como el nitrógeno y el fósforo, que favorecen un desarrollo anormal de algas, afectando a la vida de las especies acuáticas.

El potencial de impacto del proceso de pintura es de 0,435 kg PO₄ eq, algo inferior a los 0,5724 kg de la fábrica italiana. Mejoras como por ejemplo el hecho de eliminar el baño de fosfatación en el pretratamiento ha contribuido en que el valor obtenido sea menor, pero la causa fundamental está en la disminución de emisiones al aire. Para que ambos valores puedan ser totalmente comparables se debe sumar el impacto generado por los residuos de pintura, que se deduce que son inferiores a los 0,0646 kg PO₄ eq totales generados. Aún incluso teniéndolos en cuenta el impacto generado por PSA es inferior al de la empresa italiana.

En la figura 17 se observa que tras el impacto de la pintura se posiciona la chapa (en torno al 5% menos de impacto que la pintura), cuyo impacto se debe en su mayoría al consumo de materias primas y emisiones generadas durante el proceso de conformado de la chapa.

Según la gráfica de la figura 30, la cataforesis resulta ser la etapa que más afecta en la pintura. Los gases emitidos durante esta etapa de pintura son los plenos responsables del impacto generado. En particular es de destacar el amoníaco, sustancia que mayoritariamente se emite en la cataforesis (ir a ICV, sección 7.2) y con el mayor factor de caracterización en esta categoría de impacto, y que por tanto más contribuye en la eutrofización.

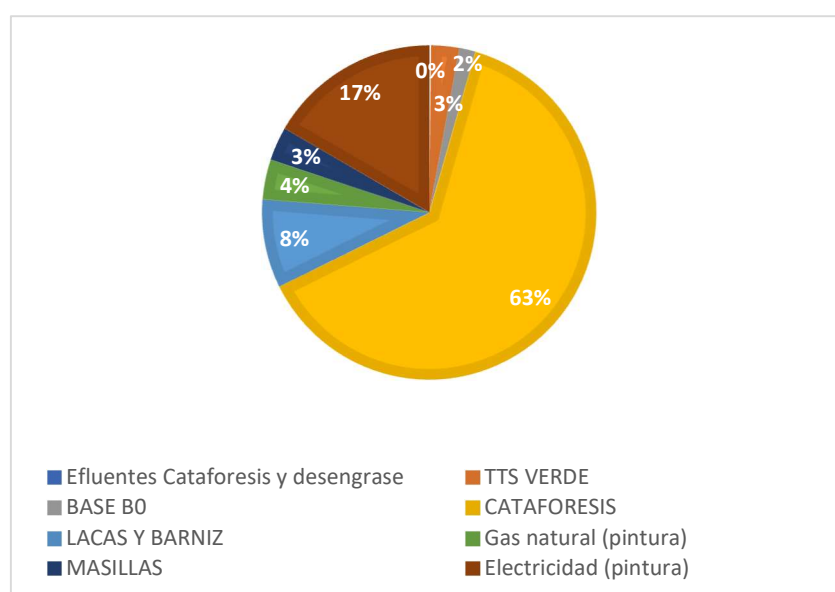


Figura 30. Comparativa de impactos sobre la eutrofización para la etapa de pintura [Fuente Propia]

7.4. Interpretación de los resultados y conclusiones

En los siguientes puntos se recogen una serie de conclusiones que han sido obtenidas a lo largo del proyecto, aunque algunas han sido ya comentadas, así como algunas limitaciones y posibles mejoras.

- El ciclo de vida de un vehículo abarca un conjunto de fases, desde el aprovisionamiento de materias primas y recursos energéticos, el proceso de fabricación de este, su uso y final de vida. En este proyecto, como se ha visto, se prescinde de las dos últimas fases mencionadas, las cuáles suponen el mayor impacto, principalmente debido a las grandes emisiones generadas durante la etapa de uso del vehículo. A pesar de ello, esta fábrica pretende realizar mejoras y contribuir en tanto como le sea posible.
- La etapa de chapa ha sido la más destacable en muchas categorías de impacto al tener en cuenta el ciclo de vida completo de todos los recursos, esto es, debido a la gran cantidad de kilogramos de chapa requerido por vehículo. A pesar de ello, es la etapa de pintura la que adquiere más relevancia dado que es aquella en la que se dan las mayores emisiones directas al aire, en la que se realiza mayor control de las materias primas empleadas, de las condiciones de trabajo, y de los recursos energéticos requeridos. En definitiva, es la etapa en la que verdaderamente se pueden implementar mejoras en vistas a reducir el impacto medioambiental.
- Los recursos energéticos juegan un papel muy remarcable en el impacto para las diversas categorías. Como ya se ha comentado a lo largo del ACV, se debe a la procedencia de materia fósil para el caso de gas natural y mayoritaria para el mix eléctrico en España, que unido a la necesidad de grandes cantidades de energía para calentar baños, hornos y calefacción hace que el impacto de dichos recursos energéticos sea muy grande. Mediante la incorporación de colectores solares y bombas de calor se conseguiría reducir el uso de recursos energéticos y conseguir por tanto una reducción del impacto ambiental. El compañero Marcos Roa, también de la Cátedra de Transición Energética, ha desarrollado en su trabajo de fin de máster un estudio medioambiental de la fábrica una vez implementadas estas mejoras[57].
- Según se ha detallado en el estado del arte, se dispone de escasos análisis medioambientales actuales que abarquen todas las etapas de producción de vehículos o al menos las fases en la pintura. Como se ha expresado en el estado

del arte, muchos ACVs no están del todo completos, van enfocados a asuntos concretos y no al ciclo de vida completo de toda la fábrica o simplemente son muy antiguos como para que puedan ser de utilidad. En la literatura únicamente se ha podido encontrar el ACV prácticamente completo de la fábrica italiana mencionada a lo largo del proyecto, que sigue una metodología de trabajo muy similar a la de PSA y que ha servido de gran apoyo en este proyecto.

- Como se ha detallado a lo largo del desarrollo del ACV, existe una serie de mejoras llevadas a cabo en la planta de estudio con respecto a la fábrica italiana como el requerimiento de menores fases de producción. Así en la etapa de apresto, debido a la utilización de pintura en base agua, se prescinde de horneado. Además, se reduce el número de enjuagues y baños de pintura en el TTS debido a las características propias del baño de silanoles. También existen otras mejoras que suponen un aminoramiento de los impactos ambientales, como el ahorro de energía y la minimización de residuos generados en el TTS, la reducción de emisiones en lacas y cataforesis mediante incineradoras, el uso de pinturas en base agua, la reducción de residuos generados o la reducción en el consumo de materia primas gracias a la reutilización de baños (debido al uso de filtros y tratamientos físico-químicos de efluentes).
- Como se ha indicado a lo largo del proyecto, uno de los problemas más grandes a considerar son las emisiones directas al aire durante la pintura. Son de especial relevancia las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), sobre todo en la etapa de lacas, que tienen significativa influencia en el calentamiento global, destrucción de la capa de ozono estratosférica o en la generación de ozono superficial. Por otro lado están los amonios generados durante la cataforesis, y que afectan significativamente en la eutrofización y acidificación. Es de mencionar la categoría de cambio climático, que es potenciado mayoritariamente por las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). Este es un gas procedente principalmente de la combustión en calderas y que, debido a las grandes cantidades de este emitidos durante la pintura especialmente en la etapa de lacas y barniz, hace que sea el gas más dañino en cuanto a este impacto. Otros gases de combustión en calderas son los óxidos de nitrógeno (NO_x) que influyen principalmente sobre la destrucción de la capa de ozono, acidificación y el calentamiento climático.

- Lo ideal hubiese sido conocer la cantidad exacta de consumo energético y agua, así como de residuos emitidos por cada etapa de pintura, para así poder hacer una comparación entre dichas etapas de una manera más amplia y precisa. De esta forma, además, se conseguiría comparar el impacto de estas etapas con las del LCIA de la fábrica italiana, planteando las causas para cada caso. A pesar de ello se ha podido contrarrestar resultados para la fase completa de pintura para las categorías de impacto expuestas en el ACV italiano.
- Es difícil obtener un estudio de alta precisión por la limitación de la información por parte de la empresa, además se han tenido que realizar hipótesis y estimaciones para poder asemejar al máximo la realidad a los procesos disponibles en Ecoinvent.

8. Relación con los ODS

La ONU aprobó en 2015 la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para alcanzar la prosperidad de todos. La Agenda consta de 17 objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la erradicación de la pobreza hasta la lucha contra el cambio climático, la educación, la igualdad o la defensa del medio ambiente.



Figura 31. Objetivos de Desarrollo Sostenible[58]

Como ya se ha expuesto anteriormente el fin de este proyecto está en evaluar los aspectos ambientales en cuanto a la metodología desarrollada por la empresa en la fabricación de automóviles. Este fin va en vistas a continuar realizando mejoras para optimizar el proceso productivo, mitigando las emisiones, las materias primas y recursos energéticos consumidos, de manera que el impacto medioambiental sea lo menor posible. A continuación, se exponen los objetivos de Desarrollo Sostenibles referentes para la empresa en vistas a alcanzar esta finalidad ambiental:

Objetivo 9. Industria sostenible, innovación e infraestructura: el proyecto medioambiental va en vistas a introducir y promover nuevos avances tecnológicos, no solo en busca de un ahorro económico si no para disminuir el impacto medioambiental de la fábrica.

Objetivo 12. Producción sostenible y consumo responsable: una de las tareas de reducción del impacto ambiental se encuentra en aumentar la eficiencia de la fábrica haciendo un uso racional de los recursos naturales y energéticos, y siempre desvinculando el crecimiento económico de la degradación ambiental.

Objetivo 13. Cambio climático: la fábrica ha llevado a cabo una serie de mejoras a lo largo de los años para reducir el CO2 equivalente emitido a la atmósfera. En este proyecto se ha conseguido evaluar los focos principales de emisiones de GEI como es el consumo de recursos energéticos, ante el cuál se ha propuesto medidas de reducción de impacto.

Objetivo 14. Uso sostenible de océanos, mares y recursos marinos: la contaminación marina supone uno de los mayores impactos según se ha analizado en el proyecto, lo cual supone un incentivo a poner en marcha reglamentos que reduzcan estos contaminantes llegados a mar.

9. Referencias

- [1] Red Eléctrica de España, «Transición energética y cambio climático | Red Eléctrica de España», España, 2020. Accedido: mar. 19, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/sostenibilidad/descarbonizacion-de-la-economia/transicion-energetica-y-cambio-climatico>
- [2] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Nota informativa sobre el Avance de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero correspondientes al año 2020», España, 2020. Accedido: jul. 10, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/avance-gei-2020_tcm30-528804.pdf
- [3] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Economía Circular en la Unión Europea», España, 2021. Accedido: jul. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/economia-circular/comision-europea/>
- [4] A. A. Zorpas y V. J. Inglezakis, «Automotive industry challenges in meeting EU 2015 environmental standard», *Technol. Soc.*, vol. 34, n.º 1, pp. 55-83, feb. 2012, doi: 10.1016/j.techsoc.2011.12.006.
- [5] K. D. Weiss, «Paint and coatings: A mature industry in transition», *Prog. Polym. Sci.*, vol. 22, n.º 2, pp. 203-245, ene. 1997, doi: 10.1016/S0079-6700(96)00019-6.
- [6] T. Kolta, «Selecting Equipment to Control Air Pollution from Automotive Painting Operations», SAE International, Warrendale, PA, SAE Technical Paper 920189, feb. 1992. doi: 10.4271/920189.
- [7] International Organization for Standardization, *ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. 2006.
- [8] S. Papisavva, S. Kia, J. Claya, y R. Gunther, «Characterization of automotive paints: an environmental impact analysis», *Prog. Org. Coat.*, vol. 43, n.º 1, pp. 193-206, nov. 2001, doi: 10.1016/S0300-9440(01)00182-5.
- [9] S. Papisavva, S. Kia, J. Claya, y R. Gunther, «Life cycle environmental assessment of paint processes», *J. Coat. Technol.*, vol. 74, n.º 925, pp. 65-76, 2002.
- [10] H. Hao, Q. Qiao, Z. Liu, F. Zhao, y Y. Chen, «Comparing the life cycle Greenhouse Gas emissions from vehicle production in China and the USA: implications for targeting the reduction opportunities», *Clean Technol. Environ. Policy*, 2017, doi: 10.1007/s10098-016-1325-6.
- [11] J. Li, R. G. Uttarwar, y Y. Huang, «CFD-based modeling and design for energy-efficient VOC emission reduction in surface coating systems», *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 15, n.º 6, pp. 1023-1032, 2013.
- [12] E. Alkaya y G. N. Demirer, «Improving resource efficiency in surface coating/painting industry: practical experiences from a small-sized enterprise», *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 16, n.º 8, pp. 1565-1575, 2014.
- [13] A. I. G. Muñoz, «Pursuing environmental sustainability in the vehicle painting process in view of compliance with formaldehyde emission limits», Trabajo Fin de Máster, Universidad de Santiago de Compostela, España, 2017.

- [14] J. L. Rivera y T. Reyes-Carrillo, «A life cycle assessment framework for the evaluation of automobile paint shops», *J. Clean. Prod.*, vol. 115, pp. 75-87, mar. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.12.027.
- [15] I. Bianco, D. Panepinto, G. A. Blengini, M. Onofrio, y M. Zanetti, «Inventory and life cycle assessment of an Italian automotive painting process», *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 22, n.º 1, pp. 247-258, ene. 2020, doi: 10.1007/s10098-019-01780-3.
- [16] R. Kawamoto *et al.*, «Estimation of CO2 Emissions of Internal Combustion Engine Vehicle and Battery Electric Vehicle Using LCA», *Sustainability*, vol. 11, n.º 9, Art. n.º 9, ene. 2019, doi: 10.3390/su11092690.
- [17] Naciones Unidas, «Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Nota del Secretario General», Estados Unidos, 1987. Accedido: feb. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- [18] International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, «2019 Statistics | www.oica.net», Francia, 2019. Accedido: jul. 11, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.oica.net/category/production-statistics/2019-statistics/>
- [19] M. A. Vallejo, «Capítulo 3. Metodología del Análisis de Vida», España, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6827/04CAPITOL3.pdf>
- [20] International Organization for Standardization, *ISO - International Organization for Standardization*. 2021.
- [21] O. A. E. Cabañas, «3 historia ampliada comentada analisis ciclo vida», 2008. Accedido: feb. 16, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/4339026/3_historia_ampliada_comentada_analisis_ciclo_vida
- [22] P. Linares, J.C.R. Mora, «The Ecologist January 1972: a blueprint for survival», ene. 2021. Accedido: feb. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://theecologist.org/2012/jan/27/ecologist-january-1972-blueprint-survival>
- [23] Departamento de Coordinación de Políticas y de Desarrollo Sostenible y Naciones Unidas, «Cumbre para la Tierra. Un futuro sostenible», Estados Unidos, jun. 1997. Accedido: feb. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm>
- [24] New York Times, «"The Times Magazine. Siegenthaler, 2008», 2008, [En línea]. Disponible en: <https://mamaisproud.com/2014/03/19/new-york-times-magazine-noviembre-2008/>
- [25] J. Kulczycka *et al.*, «The Polish Centre for Life Cycle Assessment—the centre for life cycle assessment in Poland», *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 16, n.º 5, pp. 442-444, jun. 2011, doi: 10.1007/s11367-011-0276-8.
- [26] M. Hernández, M. Messagie, O. Hegazy, L. Marengo, O. Winter, y J. Mierlo, «Environmental impact of traction electric motors for electric vehicles applications», *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2015, doi: 10.1007/s11367-015-0973-9.
- [27] L. Lombardi, L. Tribioli, R. Cozzolino, y G. Bella, «Comparative environmental assessment of conventional, electric, hybrid, and fuel cell powertrains based on

- LCA», *Int. J. Life Cycle Assess.*, vol. 22, n.º 12, pp. 1989-2006, dic. 2017, doi: 10.1007/s11367-017-1294-y.
- [28] Renault, «LCA Renault KADjar», Francia, 2015. Accedido: jul. 17, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.google.es/search?q=LCA+Renault+KADjar.pdf%C2%BB&sxsrf=ALeKk01uCVFvLafPu170UOlcT0D1vNhoCQ%3A1626445254144&ei=xpXxYOP_B5SK8gLg_oLQCA&oq=LCA+Renault+KADjar.pdf%C2%BB&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAM6BwgjEOoCECdKBAhBGABQ7eCdG1jt4J0bYPXlnRtoAXACeACAAAcEBiAGrApIBAzAuMpgBAKABAaABAqoBB2d3cy13aXqWAQrAAQE&scIent=gws-wiz&ved=0ahUKEwj-vnc5OfxAhUUhVwKHWC_AIoQ4dUDCBE&uact=5
- [29] A. Giampieri, J. Ling-Chin, W. Taylor, A. Smallbone, y A. P. Roskilly, «Moving towards low-carbon manufacturing in the UK automotive industry», *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 3381-3386, feb. 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.946.
- [30] C. Geffen y S. Rothenberg, «Suppliers and Environmental Innovation: The Automotive Paint Process», *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 20, pp. 166-186, ene. 2000, doi: 10.1108/01443570010304242.
- [31] L. Prendi, P. Henshaw, y E. K. L. Tam, «Automotive coatings with improved environmental performance», *Int. J. Environ. Stud.*, vol. 63, n.º 4, pp. 463-471, ago. 2006, doi: 10.1080/00207230600802098.
- [32] S. Poozesh, N. Akafuah, y K. Saito, «Effects of automotive paint spray technology on the paint transfer efficiency – a review», *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J. Automob. Eng.*, vol. 232, n.º 2, pp. 282-301, feb. 2018, doi: 10.1177/0954407017695159.
- [33] P. P. Rao y A. Gopinath, «Energy savings in automotive paint ovens: a new concept of shroud on the carriers», *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 135, n.º 4, 2013.
- [34] European Automobile Manufacturers Association, «The Automobile Industry Pocket Guide», Italia, 2017. [En línea]. Disponible en: https://www.acea.auto/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2017-2018.pdf
- [35] R. Mohtashami y J. Q. Shang, «Treatment of automotive paint wastewater in continuous-flow electroflotation reactor», *J. Clean. Prod.*, vol. 218, pp. 335-346, may 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.326.
- [36] J. Maroušek *et al.*, «Ferrous sludge from water clarification: Changes in waste management practices advisable», *J. Clean. Prod.*, vol. 218, pp. 459-464, may 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.037.
- [37] N. K. Salihoglu, S. Ucaroglu, y G. Salihoglu, «Bioconversion of industrial wastes: paint sludge from automotive manufacturing», *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 20, n.º 4, pp. 2100-2109, 2018.
- [38] M. C. Zanetti, B. Ruffino, A. Vercelli, D. Dalmazzo, y E. Santagata, «Reuse of paint sludge in road pavements: Technological and environmental issues», *Waste Manag. Res.*, vol. 36, n.º 11, pp. 1023-1028, nov. 2018, doi: 10.1177/0734242X18804628.
- [39] E. en *et al.*, «Peugeot Citroen Automoviles España, Sa | eInforma», *EINFORMA. Información de empresas | Informes de empresas | Datos de empresas y registros empresas*. <https://www.einforma.com/informacion-empresa/peugeot-citroen-automoviles-espana> (accedido jul. 16, 2021).

- [40] PSA Groupe, «Informe Ambiental CPMA Villaverde», Madrid. [En línea]. Disponible en: https://www.google.es/search?q=memoria+psa+villaverde+&sxsrf=ALeKk00rq1tw-LEmKe83eg7eicZbIPh55g%3A1626442208133&source=hp&ei=4InxYM_KBJaIU83clKAL&iflsig=AINFCbYAAAAAYPGX8EYCOwNWbf3C-6Llyq14Q3r_xBq9&oq=memoria+psa+villaverde+&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EAMyBQghEKABOgcIIxDqAhAnOgQIIxAnOgQIABBDOgoILhDHARCjAhBDOgoIABCxAXCDARBDog4ILhCxAxCDARDHARCjAjoICAAQsQMqgwE6CAGuELEDEIMBOgIIADoCCC46BQgAELEDOgUIABDJAzoFCC4QsQM6BggAEBYQHjoECAAQDToKCCEQFhAKEB0QHjoHCCEQChCgAToHCAAQsQMqQzoECC4QQzoICC4QxwEQrwE6BAgAEAM6BAghEBVKBQg8EgE5ULsIWUijEGDwpXBoC3AAeAGAAcQCiAGIMJIBCTMzLjI1LjAuMZgBAKABAaoBB2d3cy13aXqWAQo&scient=gws-wiz&ved=0ahUKEwjPur2w2efxAhUWxBQKHU0uBbQQ4dUDCAk&uact=5 (accedido jul. 16, 2021).
- [41] «SimaPro | The world's leading LCA software». <https://simapro.com/> (accedido feb. 16, 2021).
- [42] M. N. Díaz, «Reducción de partículas ocluidas en carrocería cataforizada en una instalación de pintura de automóviles», Tesis, Universidad de Vigo, España, 2015.
- [43] C. Davin, M.P. Vazquez, «Cinco años de Oxsilan en el automovil», España, oct. 2014. [En línea]. Disponible en: http://media.firabcn.es/content/S036014/docs/eurocar/2%20_5a%20C3%B1osdeOxsilanenelautomovil.pdf
- [44] The European Commission, *European Commission proposes to ban phosphates in laundry detergents*. 2010. Accedido: jun. 20, 2021. [En línea]. Disponible en: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_10_1465
- [45] I. Milošev y G. S. Frankel, «Review—Conversion Coatings Based on Zirconium and/or Titanium», *J. Electrochem. Soc.*, vol. 165, n.º 3, pp. C127-C144, 2018, doi: 10.1149/2.0371803jes.
- [46] Chemetall Group, «Chemetall Group - Product», España, 2021. Accedido: jun. 14, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.chemetall.com/Special/Product-Search-Result.jsp#GARDOCLEAN%20351/all/all/all/all/all/all/all>
- [47] Patentados, «Procedimiento para el revestimiento de superficies metálicas con una composición acuosa que contiene silano/silanol/siloxano/polisiloxano, y esa composición», España. <https://patentados.com/2020/el-revestimiento-de-superficies.25> (accedido jun. 15, 2021).
- [48] Gabi Software, Ecoinvent 3, «Process data set: Coating electrodeposition mix; 2,5% organic solvents; production mix, at plant; 1 kg (en)». Accedido: jun. 15, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://gabi-documentation-2021.gabi-software.com/xml-data/processes/023688f7-ad28-4db3-9ff0-3854c912cdfd.xml>
- [49] National Renewable Energy Laboratory, Environmental Protection Agency. United States, National Energy Technology Laboratory, Argonne National Laboratory, Federal Highway Administration, NIST, Forest Service Department Agriculture, Department of Defense. United States, «Federal LCA Commons», Estados Unidos. Accedido: jun. 15, 2021. [En línea]. Disponible en:

https://www.lcacommons.gov/lca-collaboration/National_Renewable_Energy_Laboratory/USLCI_2021_Q1_v1/data/set/PROCESS/65d88b9a-d73a-354d-b9ff-c8503ec42c78

- [50] H. Wonnemann, «Primer Surfacer», en *Automotive Paints and Coatings*, H.-J. Streitberger y K.-F. Dssel, Eds. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008, pp. 129-174. doi: 10.1002/9783527622375.ch5.
- [51] F. G. García, «Proceso de pintura en la industria de automoción», Trabajo Fin de Máster, Universidad de Valladolid, Valladolid, España, 2014.
- [52] Los Mejores Profesionales, «Emisiones de las Calderas de gas», España, 2018. Accedido: jun. 20, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repaexpress.com/noticias/emisiones-de-las-calderas-de-gas/>
- [53] Fundación Entorno. Empresa y Medio Ambiente, «Sector tratamiento de superficies con disolventes orgánicos. Guías tecnológicas», España, oct. 2000. [En línea]. Disponible en: <https://prtr.es/Data/images/Gu%C3%ADa%20Tecnol%C3%B3gica%20de%20Tratamiento%20de%20Superficies%20son%20disolventes%20org%C3%A1nicos%20en%20el%20sector%20automoci%C3%B3n-3AC86E516BD90AEF.pdf>
- [54] *BOE.es - BOE-A-2002-3285 Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.* 2021. Accedido: jul. 08, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-3285>
- [55] «ecoinvent». <https://www.ecoinvent.org/> (accedido jun. 15, 2021).
- [56] Fundación Solón, «Gases de efecto invernadero», España, 2014. Accedido: jun. 24, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://obccd.org/informacion-basica-2/gases-de-efecto-invernadero-co2e-co2-y-carbono/>
- [57] R. Escobar, «Soluciones de eficiencia energética y Análisis de Ciclo de Vida de una planta de automoción», Trabajo Fin de Máster, Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, España, 2021.
- [58] M. Moran, «Océanos», *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/oceans/> (accedido jul. 08, 2021).