

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

COMPARATIVA AMBIENTAL ENTRE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE VEHÍCULOS DE COMBUSTIÓN

Alumno: BARBARIAS GARCÍA, GORKA

Directora: HERRANZ SOLER, MARGARITA EUGENIA

Curso: 2017-2018

Fecha: Bilbao, 29 Junio 2018

RESUMEN

En el presente proyecto, realizado en las instalaciones de Ihobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco), se desarrolla el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de tres modelos de vehículos con motor de combustión para Iberdrola.

Teniendo en cuenta los diferentes tipos de vehículos y la variable ambiental, se desean comparar los impactos ambientales asociados a los diferentes vehículos propulsados por motores de combustión con mayor peso en el mercado. Con intención de realizar una comparativa ambiental de los distintos modelos, se deben conocer los aspectos e impactos ambientales asociados a ellos.

Por ello, el estudio se basa en la recopilación y análisis de las entradas y salidas del producto y de los procesos asociados a lo largo de todo su ciclo de vida. Así, empleando el software SimaPro y mediante la metodología ReCiPe se obtienen los resultados que muestran los impactos ambientales potenciales de cada modelo, permitiendo conocer las mejoras ambientales conseguidas al compararlos. Además, es importante señalar, que el estudio se lleva a cabo asegurando el cumplimiento de las normas ISO 14040 e ISO 14044 de ACV para poder certificar la veracidad de los datos.

Se tratará de determinar la mejor alternativa para los clientes buscando el comportamiento más sostenible desde un punto de vista ambiental. Asimismo, se facilitará la información necesaria para poder determinar diferentes soluciones a adoptar permitiendo emplear el ecodiseño en futuros productos.

DESCRIPTORES

- Análisis de Ciclo de Vida.
- Ecodiseño.
- Sostenibilidad.
- Vehículo convencional o de combustión.

LABURPENA

Proiektu honetan, Ihoberen (Eusko Jaurlaritzaren Ingurumen Jarduketarako Sozietate Publikoa) instalazioetan egingo izan dena, konbustiozko motordun hiru autoren Bizi Zikloaren Análisisa (BZA) garatu da Iberdrolarentzat.

Dauden auto mota ezberdinak eta ingurumenaren aldagaia kontuan izanik, salmentan dauden konbustiozko motorrez eraginda dabilen autoetatik ohikoenek ingurumenari egindako eragina aldaratuko da. Auto mota ezberdinen arteko ingurumen konparaketa egiteko asmotan, hauei lotutako ingurumen inpaktu eta aspektuak ezagutu behar dira.

Beraz, analisi hau produktu bakoitzak bizi ziklo osoan zehar dituen sarrera eta irteeren bilketan datza. Horrela, SimaPro softwarea erabiliz eta ReCiPe metodologiaren bitartez lortuko dira auto mota bakoitzetik eratorritako ingurumen inpaktuak, lorturiko ingurumenari loturiko hobekuntzak ezagutzeko konparatzerakoan. Beste alde batetik, ikasketak hau BZA-ren ISO 14040 eta ISO 14044 arauak betetzen direla ziurtatuz egingo da datuen egitasuna bermatuz.

Bestalde, eroslearentzat aukerarik onena bilatuko da ingurumenaren ikuspuntutik jokamolde iraunkorrena zeinek duen bilatuz. Honekin batera, etorkizunean garatuko diren produktuetan ekodiseinua erabiltzeari konponbideak topatzeko asmotan beharrezkoa den informazioa batuko da.

DESKRIBATZAILEAK

- Bizi Zikloaren Analisia.
- Ekodiseinua.
- Iraunkortasuna.
- Ohiko autoa edo konbustiozko motordun autoa.

SUMMARY

In the current research, performed at the facilities of Ihobe (Public Society of Environmental Management of the Basque Government), it is developed the Life Cycle Analysis (LCA) of three models of vehicles with combustion engines for Iberdrola.

Taking into account the different types of the existing vehicles, the market, and the environmental variable, we want to compare the environmental impact associated to different vehicles powered by combustion engines with greater weight in the market. With the intention of making an environmental comparison of the different models, the environmental aspects and impacts associated to them must be known. Therefore, the research is based on the collection and analysis of the inputs and outputs of the product and associated processes throughout its life cycle.

Therefore, using SimaPro software and using the ReCiPe methodology, results that show the potential environmental impacts of each model are obtained, allowing us to know the environmental improvements achieved when comparing them. In addition, it is important to point out that the research is carried out by ensuring the compliance of the ISO 14040 and ISO 14044 ACV standards, in order to certify the veracity of the data.

This research will try to determine the best alternative for clients looking for the most sustainable behavior from an environmental point of view. Likewise, it will be provided the necessary information to determine different solutions, allowing the use of ecodesign in future products.

DESCRIPTORS

- Life Cycle Assessment.
- Ecodesign.
- Sustainability.
- Internal Combustion Engine (ICE) vehicle.

PALABRAS CLAVE

Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Categoría de impacto.

Diésel.

Gasolina.

Gas Licuado del Petróleo (GLP).

Impacto ambiental.

Motor de combustible flexible o BiFuel.

Motor de combustión interna.

Vehículo convencional o de combustión.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.....	1
1.2.	OBJETO DEL PROYECTO	2
1.3.	ANTECEDENTES	3
1.3.1.	Análisis de Ciclo de Vida.....	3
1.4.	ANÁLISIS DE SOLUCIONES.....	10
1.4.1.	Bases de datos	10
1.4.2.	Metodologías.....	12
1.4.3.	Softwares del Análisis de Ciclo de Vida.....	14
1.5.	JUSTIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA.....	14
1.5.1.	Ecoinvent.....	15
1.5.2.	ReCiPe.....	15
1.5.3.	SimaPro	18
2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	20
2.1.	ENFOQUE HISTÓRICO	20
2.1.1.	Vehículos de combustión	20
2.2.	OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS	21
2.3.	UNIDAD FUNCIONAL	21
2.4.	ALCANCE	22
2.5.	ESPECIFICACIÓN FUNCIONAL.....	23
2.6.	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO.....	23
2.6.1.	Variables del sistema.....	24
2.6.2.	Singularidades del sistema	28
2.6.3.	Casos a analizar en el proyecto	29
2.6.4.	Pérdidas de la energía.....	29
2.6.5.	Hipótesis y estimaciones	31
2.7.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	34
2.7.1.	Etapas del Ciclo de Vida	34
2.7.2.	Calidad de los datos.....	35
2.7.3.	Reglas de asignación	36
3.	DISEÑO DEL PROYECTO	37
3.1.	ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	37
3.1.1.	Desarrollo del ACV.....	37
3.1.2.	Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida.....	46

3.1.3.	Interpretación de los resultados.....	50
4.	PLANIFICACIÓN.....	72
4.1.	PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO (TFG)	72
4.1.1.	Fases y etapas del TFG.....	72
4.1.2.	Cronograma del TFG	73
4.2.	PLANIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV).....	73
4.2.1.	Fases y etapas del ACV.....	73
4.2.2.	Cronograma del ACV.....	75
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO	76
6.	CONCLUSIONES	78
7.	BIBLIOGRAFÍA	80
	ANEXO I: NORMATIVA APLICABLE	83
	ANEXO II: CASOS A ANALIZAR EN EL PROYECTO.....	84
	ANEXO III: EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV) - MIDPOINT	89
	ANEXO IV: EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV) - ENDPOINT.....	100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.- Bases de datos del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	11
Tabla 2.- Puntuación de las metodologías de evaluación de impacto ambiental	13
Tabla 3.- Análisis de softwares de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	14
Tabla 4.- Esquema de la metodología de evaluación de aspectos ReCiPe.....	16
Tabla 5.- Vida útil de los subsistemas	31
Tabla 6.- Pérdidas energéticas del sistema	32
Tabla 7.- Distribución de pesos de los vehículos del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	33
Tabla 8.- Consumos de combustible del vehículo de gasolina.....	33
Tabla 9.- Consumos de combustible del vehículo de diésel.....	33
Tabla 10.- Consumos de combustible del vehículo BiFuel o de combustible flexible	34
Tabla 11.- Distancia alimentada con cada combustible por recorrido en los motores BiFuel.....	34
Tabla 12.- Relación de pesos de los subgrupos de los vehículos.....	38
Tabla 13.- Distribución de pesos en los vehículos del estudio.....	39
Tabla 14.- Entradas y salidas del sistema para fabricar el vehículo convencional de gasolina	40
Tabla 15.- Entradas y salidas del sistema para fabricar el vehículo convencional de diésel	40
Tabla 16.- Entradas y salidas del sistema para fabricar el vehículo convencional BiFuel.....	40
Tabla 17.- Entradas del sistema para fabricar el motor de combustión interna	41
Tabla 18.- Salidas del sistema para fabricar el motor de combustión interna.....	41
Tabla 19.- Entradas del sistema para fabricar el vehículo sin el sistema propulsor	42
Tabla 20.- Salidas del sistema para fabricar el vehículo sin el sistema propulsor	43
Tabla 21.- Indicador del vehículo convencional pequeño alimentado por gasolina	44
Tabla 22.- Densidades de los combustibles.....	44
Tabla 23.- Resultados MidPoint y EndPoint para los vehículos de gasolina.	54
Tabla 24.- Resultados MidPoint y EndPoint para los vehículos de diésel.	56
Tabla 25.- Resultados MidPoint y EndPoint para vehículos BiFuel	58
Tabla 26.- Comparativa EndPoint de los procesos más importantes del ciclo de vida de los vehículos medianos en España para 100 km de recorrido	65
Tabla 27.- Comparativa EndPoint de los procesos más importantes del ciclo de vida de los vehículos medianos en Estados Unidos para 100 km de recorrido.....	67
Tabla 28.- Comparativa EndPoint de los procesos más importantes del ciclo de vida de los vehículos medianos en México para 100 km de recorrido	68
Tabla 29.- Comparativa EndPoint de los procesos más importantes del ciclo de vida de 1 kg de combustible quemado	71
Tabla 30.- Duración de las fases y etapas del Trabajo de Fin de Grado (TFG).....	72

Tabla 31.- Duraciones de fases, etapas y sub-etapas del estudio.	74
Tabla 32.- Presupuesto de recursos humanos.....	76
Tabla 33.- Costes de los recursos humanos del proyecto.....	77
Tabla 34.- Costes de los recursos informáticos del proyecto.	77
Tabla 35.- Presupuesto total del proyecto.	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Evolución temporal del precio del barril de petróleo	3
Figura 2.- Desarrollo temporal del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	5
Figura 3.- Concepto de la perspectiva de un ACV y fases que se tienen en cuenta	6
Figura 4.- Alcance del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	7
Figura 5.- Diferencias entre aspectos e impactos ambientales.....	8
Figura 6.- Fases del ACV.....	8
Figura 7.- Inventario del Ciclo de Vida	17
Figura 8.- Bases de datos de SimaPro	18
Figura 9.- Metodologías de evaluación de impactos ambientales en SimaPro	19
Figura 10.- Alcance del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).....	22
Figura 11.- Despiece de un vehículo convencional	23
Figura 12.- Reducción de emisiones de NO _x de 2001 a 2015.....	26
Figura 13.- Países en los que Iberdrola es operador o generador principal	27
Figura 14.- Número de alternativas por variable considerada para el ACV.	29
Figura 15.- Etapas del Ciclo de Vida del sistema	35
Figura 16.- Proceso unifuncional	36
Figura 17.- Distribución de pesos en el vehículo de gasolina.....	37
Figura 18.- Distribución de pesos del vehículo de diésel.....	38
Figura 19.- Distribución de pesos del vehículo BiFuel.....	38
Figura 20.- Comparación de la distribución de los pesos por peso y tipo	39
Figura 21.- Fase de uso del vehículo pequeño de gasolina	43
Figura 22.- Entradas y salidas del mantenimiento de un vehículo.....	45
Figura 23.- Desmantelamiento de vehículo convencional.	45
Figura 24.- Metodología ReCiPe EndPoint	51
Figura 25.- Metodología ReCiPe MidPoint.	51
Figura 26.- Comparativa MidPoint y EndPoint de los vehículos pequeños de gasolina	53
Figura 27.- Comparativa MidPoint y Endpoint para los vehículos medianos de gasolina	53
Figura 28.- Comparativa MidPoint y EndPoint para los vehículos grandes de gasolina	53
Figura 29.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños de diésel.....	55
Figura 30.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos de diésel.....	55
Figura 31.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes de diésel.....	55
Figura 32.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños BiFuel	57
Figura 33.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos BiFuel.....	57
Figura 34.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes BiFuel.....	57
Figura 35.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños de España.....	60
Figura 36.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos en España	60

Figura 37.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes en España	60
Figura 38.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños en Reino Unido....	61
Figura 39.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos en Reino Unido ...	61
Figura 40.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes en Reino Unido	61
Figura 41.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños en Estados Unidos	61
Figura 42.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos en Estados Unidos	62
Figura 43.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes en Estados Unidos	62
Figura 44.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños en México	62
Figura 45.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos en México.....	63
Figura 46.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes en México.....	63
Figura 47.- Árbol del ciclo de vida del vehículo mediano de gasolina en España	65
Figura 48.- Árbol del ciclo de vida del vehículo mediano de gasolina en Estados Unidos	66
Figura 49.- Árbol del ciclo de vida del vehículo mediano de gasolina en México.....	68
Figura 50.- Árbol del ciclo de vida de 1 kg de gasolina quemada	69
Figura 51.- Árbol del ciclo de vida de 1 kg de diésel quemado	70
Figura 52.- Árbol del ciclo de vida de 1 kg de GLP quemado.....	70
Figura 53.- Cronograma del Trabajo de Fin de Grado (TFG).....	73
Figura 54.- Cronograma del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	75

ACRÓNIMOS

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
ALOP	Agricultural Land Occupation Potential (referido a ocupación de suelo rural)
AP	Acidification Potential (referido a acidificación del suelo)
AT	Alta Tensión
BEC	Basque Ecodesign Center
BOD ₅	Demanda Biológica de Oxígeno (<i>Biological Oxygen Demand</i>)
BT	Baja Tensión
BZA	Bizi Zikloaren Analisia
CFC-11	Triclorofluorometano
COD	Demanda Química de Oxígeno (<i>Chemical Oxygen Demand</i>)
CML	Institute of Environmental Sciences – Universiteit Leiden
DALY	Disability-Adjusted Life Year
DB	Diclorobenceno (<i>Dichlorobenzene</i>)
DOC	Carbono Orgánico Disuelto (<i>Dissolved Organic Carbon</i>)
EICV	Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida
FDP	Fossil Depletion Potential (referido a uso de combustibles fósiles)
FEP	Freshwater Eutrophication Potential (referido a eutrofización del agua dulce)
FETP	Freshwater Ecotoxicity Potential (referido a ecotoxicidad del agua dulce)
GLP	Gas Licuado del Petróleo
GRI	Global Reporting Initiative
GWP	Global Warming Potential (referido a cambio climático)
GWP E	Global Warming Potential for Ecosystems (referido a cambio climático para los ecosistemas)
GWP HH	Global Warming Potential for Human Health (referido a cambio climático para la salud humana)
HTP	Human Toxicity Potential (referido a toxicidad humana)
ICE	Internal Combustion Engine

ICV	Inventario del Ciclo de Vida
IRP	Ionising Radiation Potential (referido a radiación ionizante)
ISO	International Organization for Standardization
JRC	Joint Research Center
LCA	Life Cycle Analysis
LPG	Liquified Petroleum Gas
LTP	Land Transformation Potential (referido a transformación de suelo natural)
MDP	Metal Depletion Potential (referido a uso de recursos naturales)
MEP	Marine Eutrophication Potential (referido a eutrofización marina)
METP	Marine Ecotoxicity Potential (referido a ecotoxicidad marina)
MRI	Midwest Research Institute
MT	Media Tensión
NMVOC	Compuestos Orgánicos Volátiles No Metánicos (<i>Non-Methane Volatile Organic Compound</i>)
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
ODP	Ozone Depletion Potential (referido a destrucción de la capa de ozono)
OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo
PMFP	Particulate Matter Formation Potential (referido a formación de partículas)
POFP	Photochemical Oxidant Formation Potential (referido a formación de ozono troposférico)
REPA	Resources and Environmental Profil Analysis
RIVM	Netherlands National Institute for Public Health and the Environment
SETAC	Society of Environmental Toxicity and Chemistry
SO _x	Óxidos de azufre
SPOLD	Society for the Promotion of LCA Development
TETP	Terrestrial Ecotoxicity Potential (referido a ecotoxicidad del suelo)
TOC	Carbono Orgánico Total (<i>Total Organic Carbon</i>)
TFG	Trabajo de Fin de Grado

ULOP	Urban Land Occupation Potential (referido a ocupación de suelo urbano)
UF	Unidad Funcional
WDP	Water Depletion Potential (referido a uso de agua)

1. INTRODUCCIÓN

1.1. MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La constante evolución del mercado internacional, de la legislación medioambiental y de los requerimientos de los clientes finales, presenta una tendencia de integración necesaria del componente ambiental como un apartado empresarial más centrado en el diseño de los productos. A esto se le denomina como ecodiseño, que se basa en introducir el criterio ambiental a la hora de diseñar productos para minimizar los impactos ambientales durante su ciclo de vida.

Actualmente, Euskadi es una de las regiones destacadas en lo que a la eco-innovación se refiere. Hay más de 150 empresas vascas con labores en el ámbito del ecodiseño, siendo Iberdrola una de las empresas más comprometidas con el medioambiente.

Iberdrola es un grupo empresarial dedicado a la producción, distribución y comercialización energética (en especial de electricidad). Nació de la fusión en 1992 de dos empresas eléctricas españolas, Hidroeléctrica Española e Iberduero, ambas provenientes de los inicios de la electrificación en España. En la actualidad, opera en 40 países contando con 30.680 empleados y dando servicio a 32,26 millones de clientes en todo el mundo. Por lo tanto, se puede observar que constituye una de las grandes empresas a nivel internacional, siendo el segundo grupo de producción eléctrica en España y el primer grupo energético español por capitalización bursátil.

Gracias al proceso de crecimiento e internacionalización emprendido fundamentalmente a partir del año 2001, se ha convertido en el líder mundial en energías limpias y es líder en diferentes países además de en España. A continuación, se enumeran los acontecimientos más relevantes de la empresa fuera de España:

- **Reino Unido:** desde que en 2007 se fusionara Iberdrola con Scottish Power, se convirtió en uno de los principales operadores de la región.
- **Estados Unidos:** la filial estadounidense de Iberdrola (Avangrid) comenzó a cotizar en la Bolsa de Nueva York en 2015 y es el segundo operador eólico en los Estados Unidos.
- **Brasil:** desde que Iberdrola adquiriese la distribuidora energética Elektro, es la mayor compañía distribuidora de energía eléctrica por número de clientes en el país.
- **México:** es el primer generador privado de electricidad del país con una capacidad que supera los 5.800 MW.

En el año 2004, Iberdrola elaboró su primer Informe de Sostenibilidad adoptando así las mejores prácticas en declaraciones y transparencia. Desde entonces, la compañía se ha convertido en un referente mundial por su defensa de un modelo de crecimiento sostenible y respetuoso con el medio ambiente y ha ido publicando año tras año el Informe de Sostenibilidad de la compañía. Dando continuidad a su compromiso, Iberdrola presentó un año más su Informe de Sostenibilidad correspondiente al ejercicio del año 2017 y aprobado por el Consejo de Administración en la reunión de 20 de febrero de 2018.

Dicho informe, se preparó siguiendo los requerimientos de información y recomendaciones tanto del *Conjunto consolidado de Estándares GRI para la elaboración de Informes de Sostenibilidad 2016* como del *Suplemento para las empresas del sector eléctrico*, ambos regulados por la Global Reporting Initiative (GRI).

Siguiendo con la política ambiental de Iberdrola, en 2011 se convirtió en una de las firmas fundadoras del Basque Ecodesign Center (BEC), polo de innovación en ecodiseño pionero en el sur de Europa. Este acontecimiento demostró su firme compromiso con el medioambiente y la realización de proyectos que siguieran esta línea.

Dentro del BEC, se encuentra un núcleo de actividad formativa en materia de ecodiseño, el denominado Basque Ecodesign HUB. Esta es una iniciativa en la que participan todas las universidades del País Vasco y que se encuentra coordinada por Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco.

De esta forma, con idea de satisfacer la demanda proveniente de un mercado cada vez más concienciado con el medio ambiente, que demanda de información cuantificada y transparente de los bienes y/o servicios consumidos, surge el presente proyecto en Iberdrola. De tal forma, canaliza su idea de proyecto a través del BEC, encontrando como respuesta un proyecto formativo dirigido por Ihobe dentro del HUB.

Finalmente, en 2017 Iberdrola se convirtió en la primera organización en obtener el certificado de Huella Ambiental Corporativa de AENOR, conforme a la especificación técnica ISO 14072 de Gestión ambiental, Evaluación del Ciclo de Vida y Requisitos y directrices para la evaluación del ciclo de vida organizacional.

El objetivo de esta verificación (realizada por una tercera parte independiente y reconocida) era asegurar, de forma objetiva, la precisión e integridad de la información. Para conceder este certificado, AENOR observó 18 impactos ambientales durante el ejercicio analizado, como el comportamiento ante el cambio climático, el agotamiento de combustibles fósiles o los derivados del consumo de agua, entre otros. El cálculo de la Huella Ambiental Corporativa se realizó desde una perspectiva de ciclo de vida, es decir, considerando las afecciones directas e indirectas sobre las cuales tiene influencia, como con sus proveedores.

El certificado de conformidad de la Huella Ambiental Corporativa permitió a Iberdrola conocer y comparar de forma objetiva la afección de su actividad a las diferentes categorías de impacto ambiental, trazar su causa identificando los aspectos ambientales e instalaciones, tecnologías y regiones responsables. Esto se va a realizar con el fin de ser utilizada como un elemento de información adicional en el marco del sistema de gestión de la empresa.

Este certificado refuerza el compromiso de Iberdrola con el medio ambiente y las políticas sistemáticas de la calidad, sumándose a otros certificados como el de Gestión Ambiental, Gestión de la Energía, Huella de Carbono, Gestión de Eventos Sostenibles, Seguridad y Salud en el Trabajo, Seguridad de la Información o I+D+i, entre otros [1-2].

1.2. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es realizar el estudio ambiental de los vehículos convencionales o de combustión más comunes en el mercado para la empresa Iberdrola. Para ello, se realizará un Análisis de Ciclo de Vida (ACV) del vehículo y de sus procesos asociados a lo largo de su ciclo de vida.

Dentro del caso que se va a analizar, se encontrarán diferentes variables (como el combustible o el motor del vehículo) que van a hacer el estudio del vehículo más complejo, ya que en cada caso los impactos ambientales irán variando.

1.3. ANTECEDENTES

En el presente apartado se describe el estado del arte de la metodología que se empleará para la realización del proyecto. Es decir, el Análisis de Ciclo de Vida.

1.3.1. Análisis de Ciclo de Vida

1.3.1.1. Origen y evolución del ACV

El Análisis de Ciclo de Vida no tiene una fecha exacta en la que se comenzase a utilizar, sino que es un concepto que ha ido evolucionando con el paso del tiempo de la mano de diferentes investigaciones. De este modo, con el avance de los métodos para realizar dicho estudio, se ha llegado al concepto actual de ACV que se conoce.

En la década de los 60 y a comienzos de la década de los 70, comenzaron a publicarse los primeros estudios que tenían en cuenta los impactos ambientales durante el ciclo de vida de los productos. Uno de los primeros que se realizó, fue el que Harold Smith, director general de proyectos de la planta de generación nuclear Douglas Point (Canadá), presentó en 1963 en la Conferencia Mundial de la Energía un estudio de los impactos ambientales de los productos, recopilando los requerimientos energéticos al producir productos químicos.

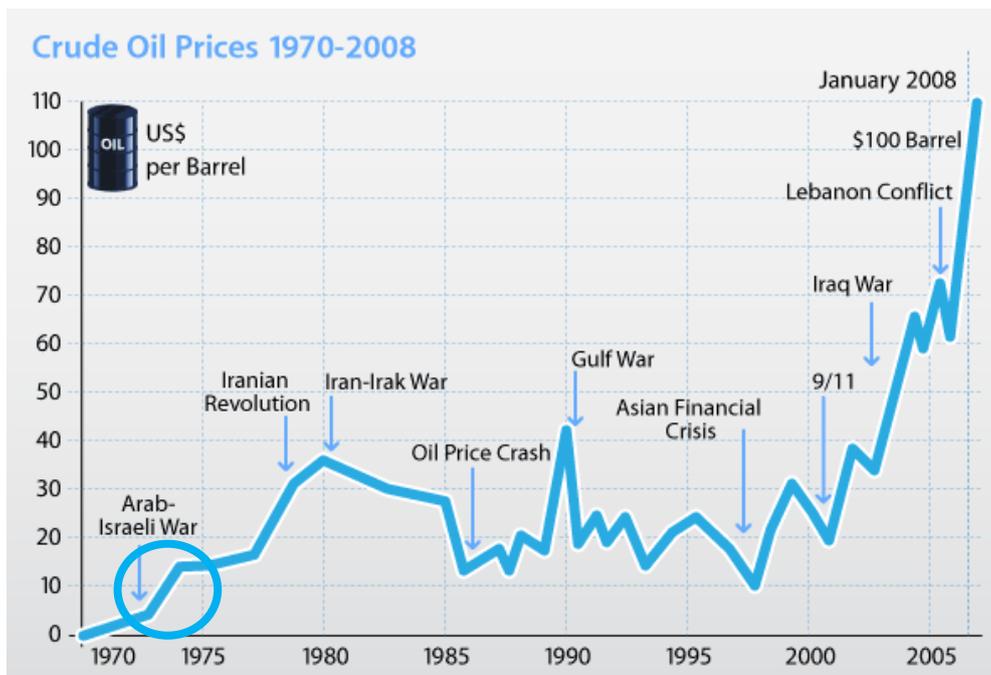


Figura 1.- Evolución temporal del precio del barril de petróleo [31].

Por otro lado, en la década de los setenta tuvo lugar la guerra de Yom Kippur. En dicha guerra, que comenzó en octubre de 1973, se enfrentó militarmente Israel ante Siria y Egipto. Este hecho desencadenó en que la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) requisara el suministro de petróleo a Europa y Estados Unidos. La razón para tal medida, fue que los americanos apoyaron militarmente a Israel en la guerra. Debido este hecho, hubo falta de suministro y los precios de petróleo sufrieron un incremento significativo como bien se puede observar en la Figura 1. Es necesario mencionar, que el precio del barril de petróleo ha estado muy marcado por los diferentes conflictos temporales que han tenido lugar en el mundo como bien se puede observar.

Así fue como comenzó la conocida crisis del petróleo de los años setenta que trajo consigo un mayor interés por el ACV. En cambio, estos próximos estudios, que fueron publicados en la década de los setenta, estaban relacionados con la optimización de energía dejando los impactos ambientales de lado. Esto fue debido a que el funcionamiento de las empresas industriales requería una importante cantidad de energía que, unido al alto precio del petróleo, trajo consigo una mentalidad en la que era necesario optimizar recursos energéticos.

En 1969 Coca-Cola Company realizó uno de los primeros estudios que tenía en cuenta varios criterios asociados al ciclo de vida de un producto. Fue Harry E. Teasley Jr., responsable de la División de Envases de la compañía, quien encargó el estudio al Midwest Research Institute (MRI) con objeto de determinar las cantidades de energía, materiales e impactos ambientales asociados a lo largo del ciclo de vida de los envases (desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final). Este estudio fue denominado *Análisis del perfil ambiental y de recursos (Resources and Environmental Profil Analysis, REPA)* y fue la primera vez que se tuvo en cuenta todo el ciclo de vida del producto. Por otro lado, se comenzó a denominar como *REPA* a la metodología para evaluar aspectos e impactos ambientales de un producto.

El motivo que llevó a Coca-Cola a realizar el estudio fue conocer los efectos ambientales de la fabricación y uso de los envases para así poder decidir si utilizar envases de vidrio o de plástico, si encargarle la fabricación de estas a una empresa externa y conocer la gestión ambiental que se le debía aplicar al envase escogido. Inesperadamente, el estudio concluyó que los recipientes de plástico eran menos contaminantes. Debido a la confidencialidad del análisis, los datos nunca fueron publicados, excepto un breve resumen que se publicó en la revista *Science* en 1976 que llevó a varias discusiones sobre la validez de este tipo de estudios y el llegar a normalizar como realizarlos.

En 1973 se creó la primera herramienta informática para el Análisis de Ciclo de Vida, que, aunque contenía varios errores en lo que al software se trataba, fue el precedente de este tipo de herramientas.

Posteriormente, tras superar el bache de la crisis del petróleo, comenzó a decaer el interés de los ACV hasta 1988. En ese año se originó la preocupación por los residuos sólidos debido a la crisis de los recursos sólidos y la presión de las empresas multinacionales con sedes en Europa debido al Movimiento Verde de la época.

En 1990, en el primer taller de la Sociedad de Toxicología Ambiental y Química (Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC), se discutió sobre la metodología y utilidad de los REPA. Cabe mencionar que en este taller se acabó adoptando para Estados Unidos el término actual de *Life Cycle Assessment* o Análisis de Ciclo de Vida, que posteriormente sería adoptado internacionalmente.

Por otro lado, en 1992 se creó en Europa la SPOLD (Society for the Promotion of LCA Development), asociación formada por las 20 empresas europeas más importantes, que sirvió para incentivar el desarrollo y la aplicación de los ACV.

Cinco años más tarde, el 16 de junio de 1997, fue publicada la primera norma ISO 14040 a nivel internacional referida al Análisis de Ciclo de Vida. La guía de prácticas que publicó la SETAC en 1993 acerca de los ACV para materiales de construcción fue un gran impulso para el desarrollo de la norma.

En 1999, se publicó la Política Integrada de Productos de la UE, enfocada en la política ambiental para mejorar el desempeño de los productos y servicios en todas las fases del ciclo de vida referidos al apartado ambiental. Asimismo, se amplió la serie de normas ISO 14040, con la ISO 14021 e ISO 14024 entre otras, referidas al etiquetado ecológico a las declaraciones ambientales (tipo I y tipo II).

Un año más tarde, en el año 2000 se fundó el Centro Suizo para Inventarios de Ciclo de Vida (The Swiss Centre for Life Cycle Inventories), formado por instituciones y departamentos de los institutos federales suizos. Este sería el centro que desarrollaría más tarde la base de datos de origen europeo Ecoinvent, conocida y utilizada internacionalmente para los Análisis de Ciclo de Vida.

En 2001, nació el Centro Americano de Análisis de Ciclo de Vida (American Center for Life Cycle Assessment), para conseguir reforzar la capacidad en la dispersión del conocimiento del ACV.

En 2006, se revisaron la familia de las normas ISO 14040 y se incorporó la norma ISO 14025 referente al etiquetado ecológico y declaraciones ambientales (tipo III).

De una manera resumida, en la Figura 2, se recoge el progreso del ACV en la historia explicado en el presente apartado [3].

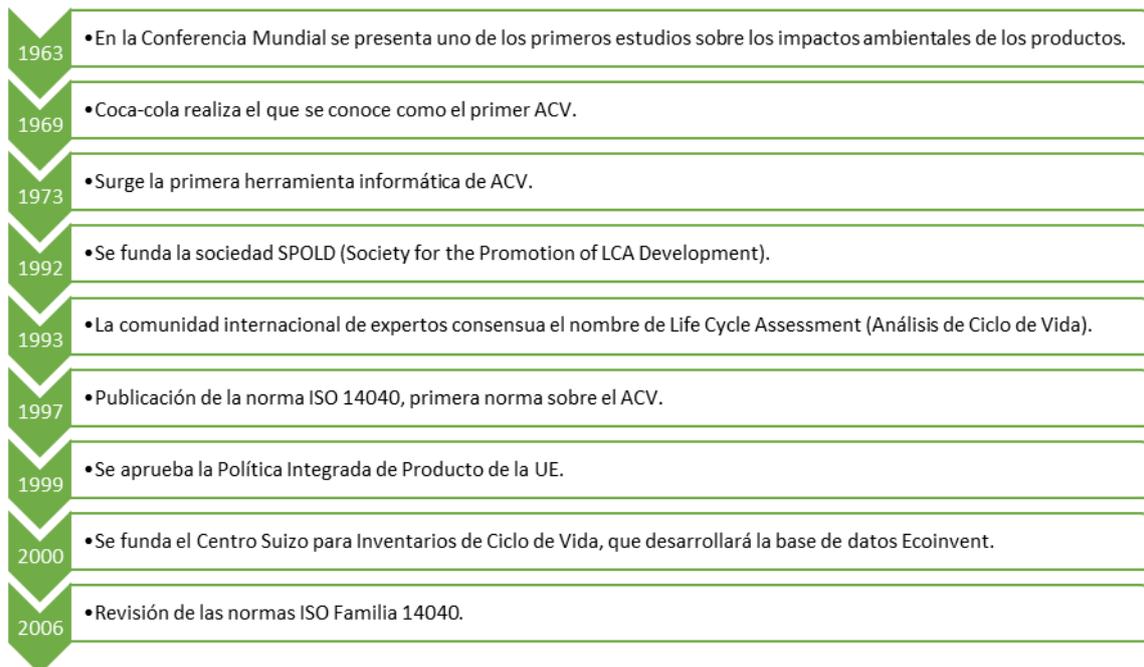


Figura 2.- Desarrollo temporal del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

1.3.1.2. Definición

El Análisis de Ciclo de Vida es un estudio que tiene como destino evaluar las cargas que están vinculadas a un producto, proceso o actividad en lo que al medioambiente se refiere, teniendo en cuenta la vida del producto al completo [4].

El estudio se basa en el cómputo del material y la energía del sistema, identificando sus entradas y salidas junto con los diferentes impactos ambientales que pueda generar. En resumen, en la Figura 3 se explica el criterio para analizar la vida de los productos.

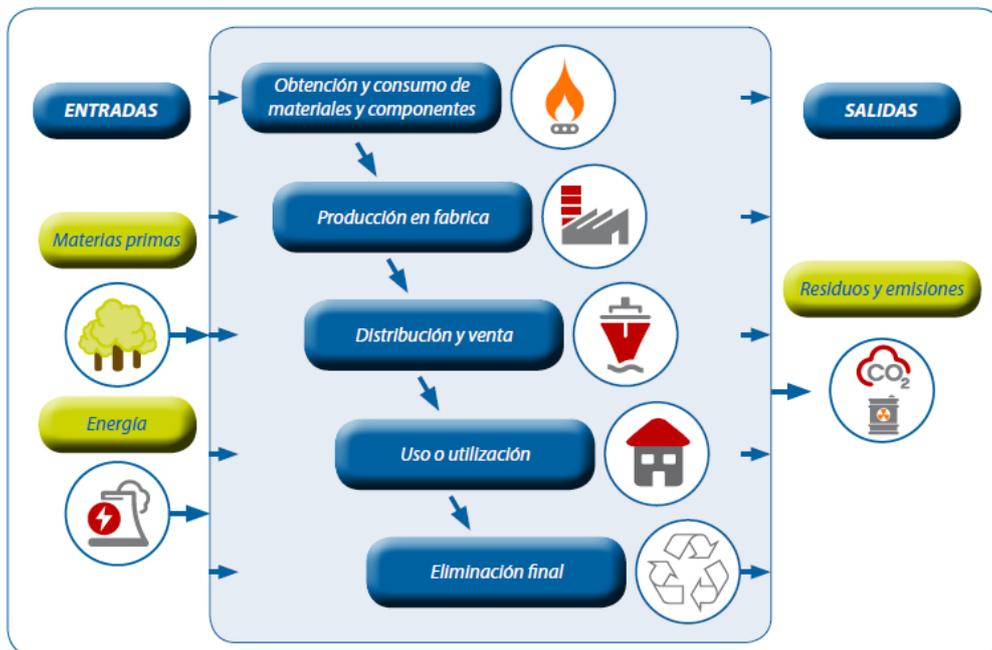


Figura 3.- Concepto de la perspectiva de un ACV y fases que se tienen en cuenta [4].

De este modo, se puede decir que un ciclo de vida está formado por cada una de las fases de un producto comenzando desde la obtención de las materias primas hasta eliminar los residuos de este. Para ello, hay que tener en cuenta unas entradas, salidas y cinco diferentes fases del producto:

- **Entradas:** son las materias primas que se utilizan para fabricar un producto, componentes del producto, consumos de energía, transportes, etc.
- **Salidas:** son las emisiones al aire, agua y suelo, residuos y sub-productos generados en cada fase del sistema.
- **Fases del ciclo de vida:** es la obtención y consumo de materiales y componentes, producción en la fábrica, distribución durante el ciclo de vida, uso y el fin de vida o eliminación final.

1.3.1.3. Alcance de un Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

En el ACV hay diferentes alcances que puede tener un proyecto dependiendo de las etapas de ciclo de vida que se tengan en cuenta para hacer el análisis [4]. Estos tipos se encuentran ilustrados en la Figura 4.



Figura 4.- Alcance del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) [4].

Los alcances que se pueden aplicar en el ACV, y vienen mostrados en la imagen, son los siguientes e incluye las siguientes fases del ciclo de vida:

- **De la puerta a la puerta (*gate to gate*):** el ciclo de vida sólo incluye la fase de producción del producto. Es decir, únicamente tiene en cuenta los procesos que tienen lugar en un emplazamiento específico.
- **De la cuna a la puerta (*cradle to gate*):** alcanza las fases desde la extracción de la materia prima (cuna) hasta el final de la producción (puerta). Este alcance abarca la zona denominada “aguas arriba” de la producción.
- **De la cuna a la tumba (*cradle to grave*):** incluye todas las fases del ciclo de vida de un producto (extracción de las materias primas, tratamiento, distribución, almacenamiento, uso y eliminación o reciclado). Este alcance considera todas las entradas y salidas.
- **De la cuna a la cuna (*cradle to cradle*):** es un nuevo punto de vista que continúa considerando todas las entradas y salidas del sistema. Como variante, se van a valorar las corrientes de salida (consideradas como etapas de fin de vida) como materias primas o entradas a otro sistema.

1.3.1.4. Concepto de aspecto e impacto ambiental

Muchas veces se considera que no existe diferencia entre la definición del aspecto y el impacto ambiental. Pero no solo son diferentes, sino que son totalmente opuestos como bien se ve en la Figura 5. Las definiciones de ambos conceptos del ACV vienen dadas por la norma ISO 14001 [5] y son las siguientes:

- **Aspecto ambiental:** es el elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.
- **Impacto ambiental:** es cualquier modificación del medioambiente, sea adversa o beneficiosa, como resultado total o parcial de las actividades, productos o servicios de una organización.

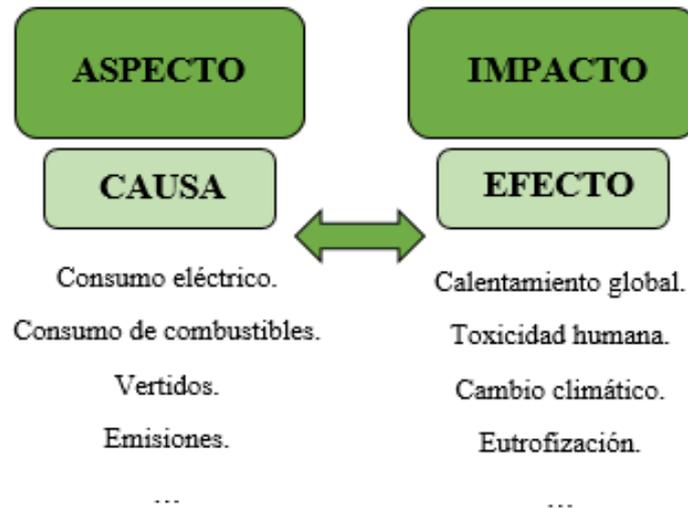


Figura 5.- Diferencias entre aspectos e impactos ambientales.

1.3.1.5. Normalización del ACV según la familia de normas ISO 14040

La ISO (International Organization for Standardization) establece un marco para lograr la estandarización de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida, en base a la familia de normas ISO 14040 [4]. La mencionada familia de normas es la siguiente:

- **UNE-EN ISO 14040:2006:** gestión ambiental, ACV, principios y marco de referencia.
- **UNE-EN ISO 14044:2006:** gestión ambiental, ACV, requisitos y directrices.



Figura 6.- Fases del ACV.

Teniendo en cuenta la metodología definida con las normas ISO 14040 y la ISO 14044, hay cuatro fases en las que se va a realizar el Análisis de Ciclo de Vida como se muestra en la Figura 6 y están descritas de la siguiente manera:

- **Definición de objetivos y alcance:** la primera fase consiste en definir cuál es el objetivo del estudio y su uso previsto. Se va a determinar el alcance del sistema en función de sus límites, unidad funcional y los flujos en el ciclo de vida, de la calidad de datos exigida y los parámetros tecnológicos y de evaluación.
- **Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV):** es la recopilación de información relacionada con las fases del ciclo de vida de los productos a analizar. Es decir, obtención y consumo de materiales y componentes, procesos de fabricación, uso, mantenimiento y fin de vida.
- **Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV):** se define como análisis de los datos recogidos en las fases previas, convirtiendo el inventario de entradas y salidas del sistema a indicadores de impactos al medio ambiente, impactos a la salud humana y disponibilidad de recursos naturales.
- **Interpretación de los resultados:** es la fase final del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en la que se van a tratar los resultados de las fases previas teniendo en cuenta cuáles son los objetivos y el alcance marcados en el primer paso. Para concluir, se analizan los resultados y definir las conclusiones.

1.3.1.6. Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida (EICV)

Es la fase más compleja de todas las nombradas previamente, en la que los datos recopilados en el ICV (entradas y salidas de los procesos) van a ser convertidos en impactos ambientales potenciales del sistema [4].

Para obtener dichos impactos ambientales, mediante los aspectos recogidos en las mediciones, se establecen un número de pasos o etapas entre los que están la clasificación, caracterización, normalización o la ponderación.

Por otro lado, debe mencionarse que no hay un modelo común en la comunidad internacional para evaluar los impactos ambientales. No obstante, hay ciertas etapas reiteradas en las diferentes evaluaciones realizadas por las organizaciones u organismos internacionales dedicados al estudio de impactos ambientales. Debido a ello se instauran un criterio mediante el que se impondrán unas etapas obligatorias (clasificación y caracterización) y otras etapas optativas (normalización y ponderación) que se explicarán a continuación:

- **Clasificación**

Es el primer paso a realizar dentro del marco de un ACV. Consiste en la asignación de entradas y salidas de materia o energía que han sido inventariadas en el uso de recursos y de emisiones a categorías de impacto. De este modo, se sabe la aportación que tiene cada sustancia a cada categoría de impacto considerada en el estudio.

Por lo tanto, resulta evidente que lo primero que hay que hacer para realizar la clasificación es seleccionar las categorías de impacto a las que van a estar asignados los datos del ICV.

- **Caracterización**

Una vez se ha asignado a cada sustancia del ICV sus respectivas categorías de impacto ambiental, hay que contrastar su valor con la sustancia que haya como referencia en dicha categoría de impacto.

Por ello, la caracterización es el cálculo de la magnitud de la contribución de cada entrada o salida clasificada en relación a las respectivas categorías de impacto. Esto precisa una

multiplicación lineal de los datos del inventario aplicando los factores de caracterización de cada sustancia y cada categoría de impacto que se ha tenido en cuenta.

- **Normalización**

Tras la caracterización, la normalización es una de las fases opcionales en la que los resultados de evaluación de impacto se van a multiplicar por los factores de normalización que forman el inventario general de la unidad de referencia.

Los resultados normalizados de la evaluación de impacto muestran la parte relativa a los impactos del sistema analizado como términos de contribución total a cada categoría de impacto por unidad de referencia. Al presentarlos en conjunto, los resultados normalizados del EICV de los diferentes tipos de impacto, resulta evidente sobre qué categorías de impacto va a tener mayor incidencia.

Es necesario mencionar, que los resultados normalizados de la evaluación de impacto del ciclo de vida sólo muestran la aportación del sistema analizado al impacto total, no la gravedad o importancia que tiene sobre el total. Por otro lado, los resultados normalizados son adimensionales.

- **Ponderación**

Es la última de las fases, al margen de ser no obligatoria, que aporta en la interpretación y comunicación de los resultados. Para ello, se multiplican los resultados obtenidos en la normalización por unos factores de ponderación que muestran la importancia de las categorías de impacto que se tienen en cuenta.

Los resultados que han sido ponderados, se pueden comparar con todas las categorías de impacto incluso sumar a todas las categorías de impacto para tener un único indicador de impacto global.

1.4. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

En el presente apartado se analizan las diversas soluciones posibles a la hora de realizar un Análisis de Ciclo de Vida. Se consideran tres apartados a analizar donde se barajarán diferentes soluciones: las bases de datos, las metodologías de evaluación del impacto ambiental y las diferentes herramientas informáticas.

1.4.1. Bases de datos

El realizar un Análisis de Ciclo de Vida tiene como requisito utilizar bases de datos, que son necesarias al tener una amplia variedad de materiales y procesos. Las bases de datos se utilizan a la hora de hacer la EICV, en la que se introducen en la herramienta informática los datos recogidos previamente en el inventario.

Como se puede observar en la Tabla 1, hay diferentes bases de datos a nivel internacional. En dicha tabla, vienen indicados la cantidad de datos que incluye, la compañía por la que fue creada y su procedencia. Este último dato es de gran importancia a la hora de seleccionar que base de datos se va a utilizar, ya que se considera que para ese país o zona comunitaria habrá una mayor cantidad de datos. Por lo tanto, este será un factor a tener en cuenta [4].

El formato de los datos es relevante a la hora de proveer una información concreta de un modo transparente. De este modo, el formato Ecospol es utilizado por una amplia mayoría de las herramientas de ACV ya que aparte de ser un formato sencillo, es compatible con diferentes hojas de cálculo (incluyendo Microsoft Excel). Cabe destacar también la importancia de revisar y actualizar los datos periódicamente intentando tener unos datos más completos.

Por otro lado, quedan excluidas las bases de datos orientadas únicamente a sectores como agricultura o construcción, ya que no tienen relación con el objetivo del proyecto en cuestión.

Tabla 1.- Bases de datos del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Nombre	Compañía	País	Nº de datos de ICV	Formato
Boustead	Boustead Consulting	Reino Unido	13.000	Modelo propio
DEAM	Ecobilane (PwC)	Francia	1.200	Ecospol
Ecoinvent 3.1	Ecoinvent centre	Suiza	8.200	Ecospol
ELCD	National Renewable Energy Laboratory	Europa	334	Ecospol
ETH-ESU 96	ETH-ESU	Suiza	1.200	Ecospol
GaBi Database	PE International	Alemania	10.000	Ecospol
GEMIS 4.4	Öko-Institut	Alemania	5.000	Excel
IVAM LCA	IVAM Environmental Research	Holanda	1.350	Ecospol
NREL US-LCI	National Renewable Energy Laboratory (NREL)	Estados Unidos	950	Ecospol
ProBas	Federal Environment Agency	Alemania	8.000	Ecospol
Umberto library 5.5	Ifu Hamburg	Alemania	600	Ecospol

A continuación, se detallan brevemente las bases de datos empleadas con mayor frecuencia:

- **Ecoinvent:** contiene gran variedad de procesos incluyendo energía, transporte, materiales de construcción, productos químicos, agricultura, gestión de residuos, etc.
- **ELCD:** contiene materiales y procesos de transformación de energía, transporte y gestión de residuos. Los datos de la base son oficialmente proporcionados y aprobados por el sector industrial correspondiente, pero no tienen distinción por país o región (son promedios de datos de regiones europeas).
- **ETH-ESU 96:** base de datos que se basa en la información de Suiza y de Europa occidental. Incluye las emisiones de la extracción de energía primaria, refinación y suministro, extracción de recursos minerales, producción de la materia prima, producción de materiales semi-manufacturados, transporte, tratamiento de residuos, construcción de infraestructuras, etc.
- **NREL US-LCI:** es una base de datos estadounidense que incluye los flujos de energía y los materiales para los procesos unitarios más comunes, aunque al igual que la base de datos ELCD, no distingue por país o región. Solo contiene datos medios estadounidenses.

- **GaBi Database:** contiene procesos del sector agrícola, construcción, productos químicos, componentes electrónicos y de telecomunicación, energía, alimentación, metales, plásticos, etc. Es decir, es una base de datos muy amplia y con gran cantidad de información, pero su uso está ligado al programa de software de ACV desarrollado por la misma empresa (PE International).
- **IVAMLCA:** esta base de datos, a pesar de considerarse genérica, posee una gran cantidad de materiales y procesos orientados a la construcción.

1.4.2. Metodologías

Teniendo en cuenta la norma ISO 14044:2006, uno de los elementos de carácter obligatorio en la EICV es la selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización. Siguiendo las directrices de la norma ISO, “la mayor parte de los estudios de ACV seleccionarán categorías de impacto, indicadores de categoría o modelos de caracterización ya existentes. Cada vez que se seleccionen las categorías de impacto, los indicadores de categoría o los modelos de caracterización en un estudio de ACV se ha de referenciar dicha información”. Por ello, dirigido por diferentes criterios se va a realizar el proceso de selección del método de evaluación de impacto. Estos criterios serán los siguientes:

- **Criterio 1: Puntuación única**

Dependiendo de cuál sea la aplicación, puede llegar a ser útil calcular la carga ambiental total como un único valor. De acuerdo con las normas ISO 14040 y 14044, las puntuaciones no pueden ser utilizadas para comparar productos dirigidos al público, aunque sí para otros casos. Es importante mencionar que las puntuaciones únicas son interesantes para guiar a los diseñadores y gestores en las tomas de decisiones internas en lo que a políticas o diseños se refiere.

Para el presente estudio, el ACV se encuentra orientado a realizar una comparativa entre varios estudios, por lo que la puntuación única puede facilitar o simplificar las comparaciones a realizar de cara a presentar los resultados a la empresa. Por otro lado, de cara a publicar los resultados, se desglosará en las categorías de impacto correspondientes para evitar confusiones.

- **Criterio 2: Perspectiva temporal**

Ciertas sustancias, como pueden ser los pesticidas o los metales pesados, permanecen en el medio durante largos periodos de tiempo. Es por esto que pueden llegar a producir efectos tóxicos.

De este modo, para los vehículos del proyecto se les estima una vida útil de aproximadamente 155.000 km por lo que no se espera que surjan efectos graves relacionados con la toxicidad a largo plazo. Por ello, la perspectiva temporal estimada es a corto plazo.

- **Criterio 3: Cobertura geográfica y aceptación**

En este apartado analiza que los métodos de evaluación planteados para hacer el estudio sean válidos en la ubicación donde se realice el análisis. Esto se debe a que algunos de los métodos no están aceptados internacionalmente o no son del todo conocidos en ciertas regiones.

Para este caso de estudio, se valorará positivamente que el método de evaluación utilizado tenga alcance mundial, ya que se trata de un estudio con repercusión internacional por las localizaciones geográficas en los que se analiza cada caso.

- **Criterio 4: Simplicidad contra calidad**

Entre los métodos de evaluación de impactos, algunos se desarrollan utilizando modelos científicos complejos, mientras que otros se basan en datos simples y directos. Por un lado, aunque los métodos más complejos pueden estar basados en métodos científicos, resultan ser de difícil comprensión. En cambio, los métodos más directos tienen la ventaja de ser fácilmente comprensibles, aunque pueden tener un menor fundamento científico. De este modo, la valoración de este aspecto es puramente subjetiva.

No obstante, para el presente estudio interesa utilizar modelos relativamente simples, que faciliten las comparativas entre ACV. Además, se valora positivamente la transparencia que pueda otorgar el método seleccionado, de cara a una posible futura publicación de la comparativa ambiental entre diferentes alternativas de vehículos de combustión.

- **Criterio 5: Completitud**

De alguna manera, hay conformidad al decir qué categorías de impacto han de ser incluidas en la evaluación de impacto. Del mismo modo, la norma ISO 14044:2006 propone que todas las categorías de impacto que puedan ser relevantes para el producto del estudio realizado han de tenerse en cuenta, sin omitir datos trascendentes.

Así pues, de acuerdo con la norma previamente mencionada, en el presente estudio es necesario considerar el mayor número posible de categorías de impacto, pero sin perder la simplicidad que permita comparar entre los diferentes casos.

- **Criterio 6: Interpretación**

La metodología empleada debe permitir una fácil interpretación de los resultados, sin importar la cuantía de los mismos.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados y utilizando un método de decisión multicriterio, se ha obtenido la jerarquización de distintas metodologías de evaluación del impacto como bien se indica en la Tabla 2. Es importante mencionar, que las puntuaciones otorgadas poseen un rango del 0 al 5, donde cero es el mínimo y 5 el máximo.

Tabla 2.- Puntuación de las metodologías de evaluación de impacto ambiental.

Metodología	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Criterio 6	Total
EC99	2	2	3	1	3	4	15
ReCiPe	2	2	4	2	3	5	18
CML 2001	3	1	2	4	3	2	15
IPCC 2007	2	1	4	3	0	2	12
EDIP/UMIP 96	3	0	1	1	1	4	10
EPS200	1	0	2	2	3	3	11
ECOPOINTS 97	1	2	2	3	4	3	15
TRACI	4	1	2	2	3	3	15
IMPACT 2002+	2	1	3	2	4	2	14

1.4.3. Softwares del Análisis de Ciclo de Vida

Las herramientas informáticas comerciales para realizar el ACV son en su mayoría bases de datos que alimentan a los algoritmos de un software que realiza el análisis. De este modo, se puede decir que cada una de las herramientas mencionadas en la Tabla 3 emplea los mismos principios, siendo herramientas similares entre sí, pero con características particulares que las hacen diferentes [4].

Tabla 3.- Análisis de softwares de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Software	Compañía	País	Descripción
Aveny LCA 2	Aveny GmbH	Suiza	Solución completa de LCA con una interfaz de usuario intuitiva y elaborada flujo de trabajo para los requisitos mínimos de formación.
GaBi	Boustead Consulting	Reino Unido	Permite realizar análisis exhaustivos que incluyen una descripción gráfica a través de una estructura jerárquica.
LCA iT	Chalmers Industriteknik Ekologik	Suecia	Herramienta para la evaluación ambiental de los productos y procesos. Incluye una base de datos de evaluación de impacto, incluyendo los factores de caracterización y los factores de ponderación.
Open LCA	GreenDelta	Alemania	Software libre, de código abierto, que permite realizar análisis desde los tres puntos de la sostenibilidad: medio ambiente, sociedad y economía.
SimaPro	Pré-consultants	Holanda	Analiza y compara complejos productos y/o servicios desglosándolos en todos sus materiales y procesos. Es el más utilizado, pero requiere conocimientos previos de la metodología.
TEAM	PwC	Reino Unido	Herramienta para la evaluación del ciclo de vida de los perfiles ambientales y de los costes de los productos y las tecnologías. Permite construir y utilizar grandes bases de datos.
Umberto	Ifu Hamburg	Alemania	Herramienta potente y flexible que permite un manejo intuitivo.

Hay que mencionar también la herramienta ECO-it, desarrollada para Ihobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco). Es una herramienta sencilla y gratuita que se encuentra al alcance de las diferentes empresas del País Vasco, de fácil manejo y permite realizar de modo integrado el cálculo simplificado de ACV (en base a la metodología ReCiPe) y de Huella de Carbono sin necesidad de tener conocimientos avanzados de la metodología.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA

Teniendo en cuenta las propuestas expuestas como alternativa para realizar el Análisis de Ciclo de Vida, se ha optado por una de las soluciones propuestas que sea más sensible al caso que se va a estudiar.

1.5.1. Ecoinvent

Como se puede observar, la base de datos seleccionada para realizar el ACV ha sido Ecoinvent por diferentes características por las que destaca, siendo así la más apta [6]. Entre ellas se pueden observar las siguientes razones:

- Tiene una base de datos extensa de ICV con más de 8.000 datos.
- Proporciona un conjunto de datos de alta calidad.
- Es una base de datos que no está orientada hacia ningún sector en concreto. Es decir, se trata de una base de datos genérica.
- Es compatible con un amplio rango de los softwares informáticos de ACV existentes en el mercado en la actualidad.

1.5.2. ReCiPe

La metodología de evaluación del impacto ambiental utilizada en el cálculo del ACV de los vehículos analizados para Iberdrola es la metodología ReCiPe. Dicha metodología está basada en las normas UNE-EN ISO 14040:2006 y UNE-EN ISO 14044:2006, y permite el análisis cuantitativo del ciclo de vida de cada caso analizado.

La metodología ReCiPe fue creada por el Ministerio de Salud y Medio Ambiente de los Países Bajos (RIVM) [7], la Facultad de Ciencias de la Universidad de Leiden (CML) [8], la consultora Pré-Consultants [9] y la facultad de ciencias de la universidad de Radboud [10].

De este modo, el sitio web de la metodología ReCiPe [11] tiene los siguientes objetivos:

- Proporcionar información genérica sobre el método, cómo se aplica y en qué principios se basa.
- Proporcionar información detallada sobre los modelos utilizados y permitir que todos los investigadores puedan analizar y mejorar potencialmente los modelos.

El informe donde se detalla toda la información sobre la metodología, los principios y el proceso seguido es el documento denominado *ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level* [12].

El presente método se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML 2001 y Eco-Indicador 99, utilizando la solidez científica del método CML y la facilidad de interpretación de la metodología Eco-Indicador 99.

Han sido muchos los aspectos que han llevado a la elección de esta metodología como herramienta para el cálculo de la huella ambiental. Entre ellos destacan los siguientes: la gran representatividad de categorías de impacto ambiental que aglutina, la facilidad que plantea para la interpretación de los resultados, su gran aplicación a nivel europeo y la similitud que plantea frente a lo recogido en la nueva metodología que está creando la Unión Europea sobre el cálculo de un ACV [13].

Actualmente, la Comisión Europea está analizando la idoneidad de un método de normalización de impactos ambientales propio desarrollado por el Joint Research Center (JRC) en 2014 [14]. En la medida en que se demuestre la validez de este método, el objetivo será incorporarlo al estudio del cálculo del ACV de los diferentes casos analizados para Iberdrola.

Para la interpretación de los resultados, se utilizan dos formatos de datos, los MidPoint y EndPoint, ambos disponibles en la metodología ReCiPe cuya diferencia se explica a continuación:

- **MidPoint**

Es el formato de expresión de las diferentes categorías de impacto ambiental en base a las magnitudes asociadas a los parámetros de emisión o generación del impacto ambiental analizado. Expresan por tanto el valor de los impactos ambientales potenciales. Se caracteriza por tener gran robustez y muy difícil interpretación agregada debido a que la diferencia de unidades de cada uno de los impactos representados es significativa.

Tabla 4.- Esquema de la metodología de evaluación de aspectos ReCiPe.

MIDPOINT <i>18 categorías de impacto potencial</i>			ENDPOINT <i>17 categorías de impacto ambiental + 3 indicadores de daño + 1 puntuación única</i>					
Categorías de impacto potencial			Categorías de impacto ambiental			Categorías de daño	Puntuación única	
1.	Destrucción capa ozono	(kg CFC-11 eq)	→	1.	Destrucción capa ozono	Salud humana (Daly)	Single Score (Puntos)	
2.	Toxicidad humana	(kg 1,4-DB eq)	→	2.	Toxicidad humana			
3.	Formación fotoquímica de ozono	(kg NMVOC)	→	3.	Formación fotoquímica de ozono			
4.	Formación de partículas	(kg PM ₁₀ eq)	→	4.	Formación de partículas			
5.	Radiación ionizante	(kBq U ²³⁵ eq)	→	5.	Radiación ionizante			
6.	Cambio climático	(kg CO ₂ eq)	→	6.	Cambio climático a la salud humana			
7.	Acidificación al suelo	(kg SO ₂ eq)	→	7.	Cambio climático en los ecosistemas			
8.	Eutrofización agua dulce	(kg P eq)	→	8.	Acidificación al suelo			
9.	Ecotoxicidad al suelo	(kg 1,4-DB eq)	→	9.	Eutrofización agua dulce			
10.	Ecotoxicidad agua dulce	(kg 1,4-DB eq)	→	10.	Ecotoxicidad al suelo			
11.	Ecotoxicidad marina	(kg 1,4-DB eq)	→	11.	Ecotoxicidad agua dulce			
12.	Ocupación suelo rural	(m ² a)	→	12.	Ecotoxicidad marina			
13.	Ocupación suelo urbano	(m ² a)	→	13.	Ocupación suelo rural			
14.	Transformación suelo natural	(m ²)	→	14.	Ocupación suelo urbano			
15.	Eutrofización marina	(kg N eq)	→	15.	Transformación suelo natural			
16.	Uso de agua	(m ³)	→	-	-			-
17.	Uso de recursos naturales	(kg Fe eq)	→	16.	Uso de recursos naturales			Recursos (\$)
18.	Uso de combustibles fósiles	(kg oil eq)	→	17.	Uso de combustibles fósiles			

ETAPAS DEL ACV QUE CUBRE

↓	↓
CLASIFICACIÓN CARACTERIZACIÓN	CLASIFICACIÓN CARACTERIZACIÓN NORMALIZACIÓN PONDERACIÓN

En el caso de la metodología ReCiPe, se incluyen un total de 18 categorías de impacto diferentes para el presente formato de disposición de daños.

- **EndPoint**

Es el formato de expresión de las diferentes categorías de impacto ambiental en base a las consecuencias que ese impacto puede generar en el medio, bien sea en formato de daño a la salud humana, daño a los ecosistemas o agotamiento de recursos naturales. Este formato de datos tiene una certeza menor que el formato MidPoint (al no ser siempre perfectamente conocida la consecuencia de los daños causados por los diferentes impactos ambientales), pero facilita significativamente la interpretación de los resultados al permitir la agregación de todas

las categorías de impacto ambiental en un único valor agregado (basado en una puntuación en milipuntos de impacto ambiental total).

En el caso de la metodología ReCiPe, se incluyen un total de 17 categorías de impacto ambiental, 3 indicadores de daño y 1 de puntuación única.

El esquema de la metodología de evaluación de aspectos ReCiPe es el mostrado en la Tabla 4. En él, se muestran todas las categorías de impacto en MidPoint, EndPoint, las diferentes categorías de daño y la puntuación única y las relaciones que hay de unas a otras.

En el presente estudio se generarán resultados con la metodología ReCiPe, utilizando los formatos MidPoint y EndPoint con el objetivo de facilitar la comprensión y la comparación de los mismos.

1.5.2.1. Esquema seguido para el cálculo de los impactos del ACV

En la Figura 7, que es presentada a continuación, se representa el proceso que se sigue en el Análisis de Ciclo de Vida desde la obtención de los aspectos de entrada o salida de la organización, hasta la obtención de los resultados, bien sean los indicadores en MidPoint o la puntuación única en EndPoint.

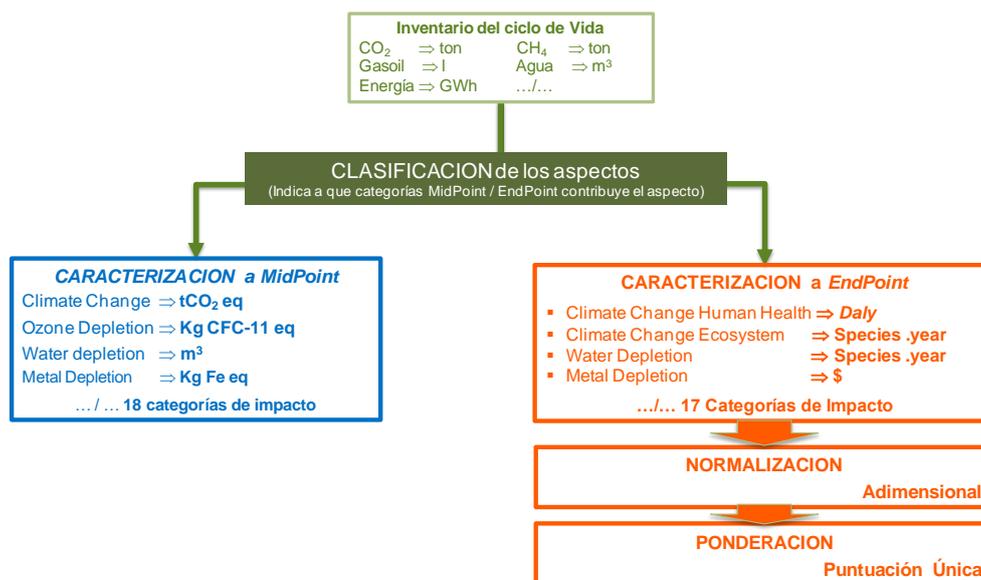


Figura 7.- Inventario del Ciclo de Vida.

Todos los pasos mostrados en la imagen, que han sido explicados en el apartado “1.3.1.6. Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida (EICV)” al detalle, son los siguientes:

- **Primer paso:** clasificación de aspectos
- **Segundo paso:** caracterización de aspectos en MidPoint y en EndPoint.
- **Tercer paso:** normalización.
- **Cuarto paso:** ponderación.

1.5.3. SimaPro

Como opción más favorable a la hora de escoger una herramienta informática para realizar el ACV, se ha escogido SimaPro. Esta elección viene dada por diferentes argumentos:

- Las características del producto y su ciclo de vida.
- El tipo de datos con el que se va a trabajar.
- La base de datos con la que va a trabajar el software (Ecoinvent).
- La metodología de evaluación de impacto ambiental que se va a utilizar (ReCiPe).
- La simplicidad del programa a la hora de trabajar con él y la facilidad para introducir una gran cantidad de datos nuevos.

Cabe destacar, que la herramienta que se va a emplear es una de las más conocidas internacionalmente y una de las más utilizadas. Sus resultados son fácilmente interpretables y comparables, por lo que va a ser de gran utilidad.

Por otro lado, en la Figura 8, se puede observar de un modo sencillo cuáles son las bases de datos incluidas en el programa y cuáles están seleccionadas o en uso.

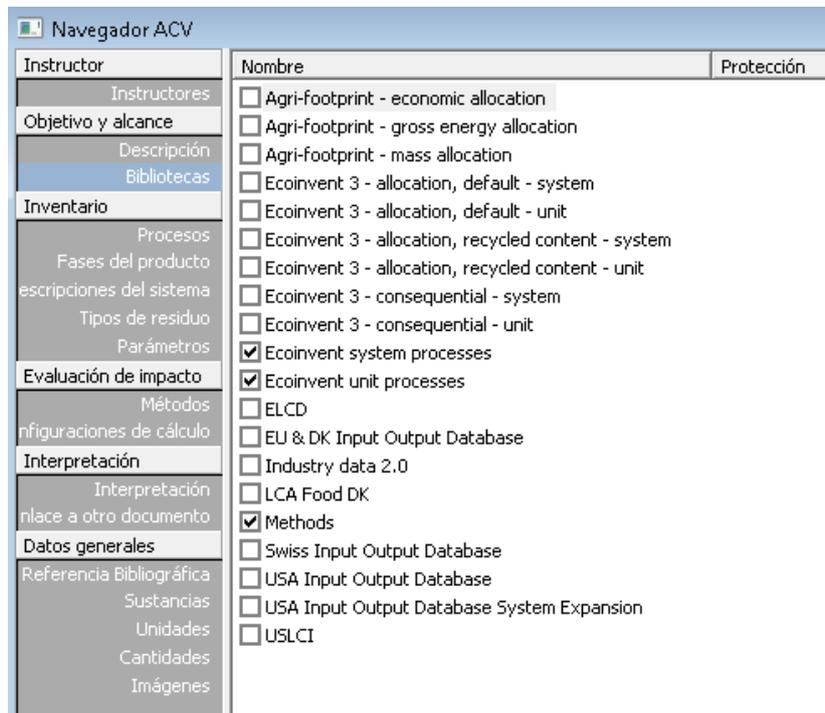


Figura 8.- Bases de datos de SimaPro.

De igual manera, en la Figura 9 se pueden observar cuáles son las diferentes metodologías de evaluación de impactos que se pueden utilizar en el programa, que como anteriormente se ha mencionado van a ser ReCiPe MidPoint y EndPoint.

Instructor	Métodos	Nombre	Version	Project
Instructores	European	CML-IA baseline	3.03	Methods
Objetivo y alcance	North American	CML-IA non-baseline	3.02	Methods
Descripción	Others	Ecological Scarcity 2013	1.02	Methods
Bibliotecas	Otros	EDIP 2003	1.05	Methods
Inventario	Single issue	EPD (2013)	1.02	Methods
Procesos	Superseded	EPS 2000	2.08	Methods
Etapas de producto	Water footprint	ILCD 2011 Midpoint+	1.07	Methods
Tipos de residuo		IMPACT 2002+	2.12	Methods
Parámetros		ReCiPe Endpoint (E)	1.12	Methods
Evaluación de impacto		ReCiPe Endpoint (H)	1.12	Methods
Métodos		ReCiPe Endpoint (I)	1.12	Methods
Configuraciones de cálculo		ReCiPe Midpoint (E)	1.12	Methods
Interpretación		ReCiPe Midpoint (H)	1.12	Methods
Interpretación		ReCiPe Midpoint (I)	1.12	Methods
Enlace a otro documento				
Datos generales				
Referencia Bibliográfica				
Sustancias				
Unidades				
Cantidades				
Imágenes				

Figura 9.- Metodologías de evaluación de impactos ambientales en SimaPro.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1. ENFOQUE HISTÓRICO

La invención del vehículo ha facilitado en gran parte la vida del ser humano a la hora de transportarse, acortando el tiempo que transcurre a la hora de realizar un trayecto. Comenzando desde el siglo XVIII (en el que se creó el primer vehículo autopropulsado por vapor) y pasando por el año 1885 (en el que se creó el primer vehículo de combustión interna de gasolina), la evolución de las tecnologías propulsoras de un coche han sido diversas hasta la actualidad y lo seguirán siendo en un futuro. El hecho principal que ha generado la renovación de las tecnologías propulsoras del vehículo es la contaminación que generan, dado que un gran volumen del mercado está constituido por vehículos con motor de combustión, y que el combustible que utilizan hoy en día viene de una fuente no renovable (el petróleo).

En el transcurso de la renovación del funcionamiento y componentes del vehículo han existido diferentes alternativas. En un principio, se planteó modificar el combustible utilizado por los motores de los vehículos (combustibles alternativos y renovables) o el renovar el motor de combustión llegando a crear motores para varios combustibles, hasta llegar a innovar el apartado del funcionamiento o método de propulsión del vehículo.

De este modo, contemplado la cuota del mercado que hay en la actualidad, para el presente estudio se van a tener en cuenta diferentes tipos de vehículos. Por un lado, se van a considerar los tipos de vehículos que mayor cuota de mercado ocupan en la actualidad. Estos son los vehículos llamados convencionales y que tienen un motor de combustión. Este motor puede estar alimentado de diferentes combustibles de los que se hablará más adelante. Por otro lado, se va a analizar la variable de motor utilizada por los vehículos convencionales para disminuir las emisiones de este tipo de vehículo. Esta variable es el motor BiFuel y reducirá las emisiones utilizando un tipo de combustible para cada momento [15-16].

2.1.1. Vehículos de combustión

Como previamente ha sido mencionado, el primer vehículo de combustión interna de gasolina fue creado en 1885 por Karl Benz y poco después, en 1888, lo empezó a producir. Posteriormente, entre 1893 y 1897, el vehículo de combustión interna de diésel fue creado por Rudolf Diesel en los talleres de la empresa MAN AG.

Desde entonces hasta ahora se ha buscado mejorar la tecnología de los motores de combustión interna. Esto se ha conseguido mediante numerosos avances tanto en el aspecto de la creación de combustibles que generen menos contaminación en la fase de uso como con avances en el modo de funcionamiento del motor.

Por un lado, en el apartado de los combustibles alternativos, se han creado diferentes combustibles que llegan a reducir el impacto ambiental al quemarlos en el motor de combustión interno. Algunos de ellos son el etanol (derivado del maíz, por ejemplo), el biodiésel (sacado de aceites vegetales y grasas animales), el gas natural, el propano o Gas Licuado del Petróleo (GLP) y el hidrógeno (producido a partir de combustibles fósiles, energía nuclear, etc). Cada uno de ellos reduce las emisiones en diferentes aspectos, como emisiones de gas de invernadero o contaminantes al aire.

Por otro lado, a la hora de analizar los avances del funcionamiento de los motores se valorará el impacto que tiene la producción de la nueva variable y el combustible utilizado por esta nueva

variable. La principal variable que se tiene en cuenta es la del motor BiFuel. Es un tipo de motor que comenzó a ser utilizado en 1995 por Volvo combinando la gasolina y el GLP dependiendo del recorrido o la cantidad de combustible que tendrá el depósito. Desde entonces, ha comenzado a ser un tipo de motor más utilizado y hoy en día varias marcas de vehículos tienen una gama del producto dedicada al coche con motor BiFuel.

El funcionamiento de este tipo de motores tiene tres diferentes modos de uso: modo eco (mezcla entre gasolina y GLP), modo gasolina y modo GLP. El modo de uso depende de cuál quiera utilizar el usuario y la cantidad de combustible que hay en cada depósito. En caso de tener seleccionado el modo eco, el vehículo funcionará con ambos combustibles, pero no con una mezcla de los dos.

Debido a que para la combustión del GLP el vehículo requiere de una cierta temperatura, en el modo eco el vehículo comenzará a funcionar con la gasolina. Al llegar a los 40 °C (temperatura a la que llega tras unos minutos de funcionamiento) pasará a funcionar con GLP. La razón por la que el GLP es el combustible seleccionado para conducir el vehículo en el modo eco es que sus emisiones son menores, al igual que su precio. La distancia recorrida hasta cambiar el combustible dependerá del tipo de recorrido en el que se vaya a conducir (en ciudad o carretera/autopista). Por ello, en ciudad se estimará que la distancia a recorrer hasta que el vehículo alcance la temperatura requerida será de 15 km y en carretera o autopista de 5 km por las revoluciones que tiene el motor en cada trayecto.

Aunque tanto el avance en los combustibles alternativos como la innovación en los motores ha sido significativo, será el segundo de ellos el que se analice como alternativa principal en los vehículos de combustión interna. Esto es debido a que los primeros no han llegado a tener gran peso en el mercado y su avance, a la hora de hablar de impacto ambiental, ha llegado a ser inferior. De este modo, los motores a analizar serán el motor de combustión interna de gasolina, el motor de combustión interna de diésel y el motor BiFuel [17-20].

2.2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS

El objetivo general del presente estudio consiste en medir la magnitud de los impactos medioambientales ocasionados por un vehículo a través de diferentes tecnologías utilizadas para la propulsión de éste, desde una perspectiva de ciclo de vida completo. De la misma forma, durante la elaboración del estudio se han perseguido los siguientes objetivos específicos:

- Definir el sistema objeto de estudio.
- Identificar y cuantificar todas las entradas y salidas de cada sistema.
- Obtener y evaluar los impactos ambientales de cada modelo.
- Comparar e interpretar los resultados ambientales obtenidos.

2.3. UNIDAD FUNCIONAL

La unidad funcional (UF) es la referencia que define específicamente qué es lo que está siendo analizado en el estudio y cuantifica la función desarrollada por el sistema de producto. Todos los datos recogidos en relación a la obtención de materiales, fabricación de los motores o baterías, logística, montaje del vehículo, uso, mantenimiento y fin de vida, han sido referidos a la unidad funcional. De este modo, la unidad funcional para este estudio del ACV se define como 1 km recorrido por un coche.

Esta unidad funcional es común para todas las alternativas que se analizarán en el presente estudio, para facilitar la comparativa. Su vida útil, que va a ser común para todos los casos analizados, va a ser de 155.000 km recorridos por el vehículo.

Así pues, como singularidad de este proyecto se presenta que la unidad funcional va a ser menor que la vida útil del producto, por lo que todos los componentes del vehículo van a tener que ser reducidos a 1 km.

2.4. ALCANCE

Tal como se explica en el apartado anterior, la unidad funcional a la que se refieren los resultados de impacto es 1 km recorrido en coche. Cuando se trata de analizar el impacto ambiental de recorrer una distancia en vehículo, hay que tener en cuenta también el porcentaje de energía que se aprovecha para la conducción. Es decir, hay que cuantificar la eficacia de convertir energía en movimiento del vehículo. Cuanto mayor sea esa relación en el proceso total, menor va a ser el impacto generado por cada uno de los km recorridos.

Esto provoca que al utilizar una perspectiva de ciclo de vida (dependiendo del kilometraje de cada vehículo), los parámetros relacionados directa o indirectamente con el trayecto de un kilómetro en vehículo sean absolutamente críticos para el estudio.

Con idea de obtener la mayor precisión posible, el enfoque perseguido ha consistido en buscar los datos de mayor calidad posible para definir los factores críticos y combinarlos con los inventarios *cradle to grave* de los vehículos convencionales o de combustión disponibles en la base de datos internacional Ecoinvent 3.1.



Figura 10.- Alcance del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) [32].

Por lo tanto, el ACV se ha realizado con el alcance conocido como de la cuna a la tumba. En esta disposición se van a incluir los procesos asociados al producto desde la obtención de las materias primas hasta el fin de vida del producto, como se contempla en la Figura 10.

De esta forma, los valores utilizados para eficiencias y pérdidas energéticas de los diferentes componentes que toman parte del ciclo de vida del vehículo, suponen un importante valor añadido en la precisión de los resultados.

Por otro lado, para realizar el ACV de los vehículos convencionales o vehículos de combustión se van a tener en cuenta diferentes variables entre las que se encuentran las siguientes:

- Tamaño del vehículo.
- Tipo de combustible empleado.
- Motor empleado por el vehículo.

- Emisiones del vehículo asumiendo la variabilidad legislativa entre países.
- País por el que circula el vehículo.
- Trayecto a realizar por el vehículo por ubicación.

Para realizar un ACV manejando un gran número de variables, es necesario por simplicidad llegar a un punto en común con cada uno de los casos susceptibles de estudio. Por ello el enfoque seguido es, partiendo de la unidad funcional de 1 km recorrido por un vehículo en una situación dada, realizar ingeniería inversa teniendo en cuenta todos y cada uno de los componentes de pérdidas de energía de ese sistema concreto y la eficiencia de cada uno de los elementos del vehículo.

2.5. ESPECIFICACIÓN FUNCIONAL

En el presente proyecto se determinan tanto los aspectos como los impactos ambientales de los sistemas asociados a los vehículos convencionales que se vayan a estudiar, permitiendo cuantificar las entradas y salidas. De este modo, se han podido determinar los resultados de las diversas categorías de impactos ambientales necesarias para la compararlos con el resto de los casos.

Asimismo, debe ser capaz de identificar la fase del sistema en la que se origina un mayor impacto medio ambiental, enfocando los procesos que más contribuyen para que la empresa pueda especificar las estrategias de mejora a llevar a cabo sobre los aspectos ambientales de dichos procesos que causan los potenciales impactos.

2.6. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Como previamente ha sido mencionado, el tipo de coche que se va a estudiar va a ser el vehículo convencional. Es importante mencionar, que un automóvil está constituido de una amplia gama de componentes, como se puede observar en la Figura 11. Entre los elementos del coche se pueden destacar la carrocería, el chasis, el motor, el equipamiento interior y las ruedas.



Figura 11.- Despiece de un vehículo convencional.

Dependiendo de cuál sea el vehículo que se esté analizando (según la marca o modelo), cada uno de los componentes puede estar fabricado con diferentes materiales, puede tener una diferente distribución de pesos o incluso, algunos de los elementos que constituyen un coche pueden ser diferentes. Por lo tanto, habrá que hacer un análisis de mercado para poder contemplar las alternativas más representativas entre los componentes.

Al hacer el análisis del mercado de los vehículos convencionales, la primera observación que se puede hacer es que el tamaño y en consecuencia el peso es muy cambiante. Dependiendo del modelo que se escoja, las dimensiones y el peso del coche van a ser diferentes. Por lo tanto, se va a tomar el peso del vehículo como la primera de las variables.

Lo siguiente que se puede percibir está ligado con el combustible y en consecuencia con los motores que utilizan los vehículos. De esta forma, los coches que hay en el mercado utilizan combustibles varios que en su mayoría no son compatibles para el mismo motor. En consecuencia, se van a encontrar dos nuevas variables del sistema: los combustibles alimentados y los motores.

Finalmente, dependiendo del tamaño del vehículo, los combustibles quemados y los motores que estén instalados (junto con el tipo de conducción que se realice) se van a difundir distintos niveles de emisiones que van a estar reguladas por las normas Euro (normativas europeas sobre emisiones de los vehículos) y que dependiendo en que año se haya fabricado el coche van a ser más o menos restrictivas. Por esta razón, se van a encontrar dos variables nuevas para el sistema: la norma Euro y el tipo de conducción.

2.6.1. Variables del sistema

A la hora de analizar las diferentes variables del sistema, que han sido enumeradas en el apartado anterior, van a encontrarse las siguientes:

- El tamaño o peso del vehículo.
- El motor de combustión interna.
- El combustible.
- La normativa europea de emisiones que se aplique.
- El recorrido que se realice.

A estas variables, hay que añadirle la que Iberdrola impone: el país en el que se va a conducir el vehículo, ya que a la compañía le interesa hacer el estudio en los países donde tiene importancia como empresa suministradora o generadora.

Debido a que existen un elevado número de variables que van a tener que ser definidas, las decisiones que se tomen sobre dichas variables van a tener una gran repercusión (dependiendo para cada caso) en el impacto ambiental que tendrá recorrer un kilómetro en coche a lo largo de su ciclo de vida completo. De este modo, uno de los objetivos del estudio es conocer el impacto de cada variable que acabará contemplando la totalidad de casos a analizar.

2.6.1.1. Motores y combustibles

Cada modelo de vehículo consta de un motor que se encargará principalmente de su propulsión. De este modo, se puede destacar que se van a analizar dos tipos de motores para el vehículo convencional o de combustión.

El motor de combustión interna es aquél que obtiene energía mecánica de la energía química del combustible, que explota en la cámara de combustión. Se le denomina de combustión interna por el hecho de que la combustión se produce en el interior del motor propiamente dicho, hecho que no ocurre en todos los motores. Se pueden diferenciar entre motores de dos tiempos y cuatro tiempos según su modo de funcionamiento, pero los más comunes para los vehículos son los segundos.

Como anteriormente se ha mencionado, los motores de combustión interna van a ser utilizados para todos los casos de vehículo analizados: el vehículo convencional o de combustión (sean de diésel o gasolina) y los BiFuel o de motor de combustión flexible. Es de obligatoria mención, que los vehículos con motor BiFuel aun teniendo el mismo motor que los de cuatro tiempos de gasolina necesitan dos diferentes combustibles que estarán alojados en dos diferentes depósitos. Por ello, entre los combustibles más utilizados en los vehículos con motor BiFuel están la gasolina y el GLP con lo que serán los analizados.

Por otro lado, se debe mencionar también, que en el ámbito de los combustibles de dicho tipo de motor se ha ido evolucionando para conseguir un fuel más limpio para el medioambiente (biodiésel, bioetanol, etc.) y así poder reducir impacto en su utilización. Aun teniendo en cuenta estos combustibles con menor impacto, en el mercado siguen sin tener un gran peso. Es por ello que los combustibles a analizar serán los tres siguientes:

- **Gasolina:** es una mezcla de hidrocarburos obtenida desde el petróleo por destilación fraccionada. Tiene un poder energético de 33,114 MJ/L quemado. Este combustible va a ser utilizado como alternativa en todos los casos de motor de combustión interna por su importancia en el mercado.
- **Diésel:** es un hidrocarburo líquido compuesto principalmente de parafinas que se obtiene a partir del refinado del petróleo. Tiene un poder energético de 35,798 MJ/L quemado, lo que resulta ser un valor mayor que el de la gasolina. Este tipo de combustible va a ser utilizado únicamente para los vehículos de combustión, ya que en este caso sí tienen una cifra representativa del mercado actual.
- **Gas Licuado del Petróleo (GLP):** es una mezcla de propano y butano comprimido hasta el punto en el que se vuelve líquido. Sirve como combustible para los vehículos y tiene un precio menor al de la gasolina y el diésel. Tiene un poder energético de 27,821 MJ/L quemado, un valor menor que el de la gasolina y diésel, pero que es compensado con el bajo precio del combustible [21].

2.6.1.2. Emisiones de los vehículos

Desde que en 1988 la Unión Europea aplicara la primera normativa referente a los límites máximos de contaminantes que son expulsados por el tubo de escape de un vehículo (Euro 0), la norma ha evolucionado año tras año, aplicando mayores restricciones en lo que a la contaminación de un vehículo se refiere. Principalmente tienen como objetivo disminuir las emisiones de CO₂ emitidas al quemar carburante y así reducir el efecto de este contaminante sobre el calentamiento global.

Las emisiones varían dependiendo del vehículo que se conduzca y del tipo de motor y carburante que utilice. Estas normas Euro, han ido renovándose hasta que en 2015 se empezara a aplicar la norma Euro 6, como se observa en la Figura 12. Debido a que en la base de datos que se va a utilizar no existe un indicador sobre la norma Euro 6 y que se busca reducir al máximo las emisiones de los vehículos a analizar, se va a aplicar para todos los países la última normativa aplicable en este ámbito (norma Euro 5) [22-23].

Emissions of NO_x from diesel cars have fallen by 84% since the millennium



Figura 12.- Reducción de emisiones de NO_x de 2001 a 2015.

2.6.1.3. Recorridos y trayectos del vehículo

A la hora de analizar la conducción de un vehículo, hay que tener en cuenta que el modo de conducción y el consumo varían en función del recorrido debido al abundante tráfico o a las limitaciones de velocidad. Es por ello que la persona encargada de conducir realizará una conducción diferente en cada escenario. De este modo se van a diferenciar los casos de estudio en tres distancias y dos recorridos diferentes que serán combinados con coherencia.

Por ello, se va a distinguir entre conducir en ciudad y carretera o autopista (ya que ambos tienen un modo de conducción similar) y se van a hacer recorridos de 30 km, 100 km y 500 km.

Al analizar la combinación entre recorridos y trayectos se van a analizar los tres siguientes casos de estudio en lo que a la conducción se refiere: 30 km en ciudad, 100 km en carretera/autopista y 500 km en carretera/autopista.

2.6.1.4. Tamaño del vehículo

Debido a la amplitud del mercado de los vehículos y la variedad de modelos que se encuentran hoy en día, se pueden encontrar coches de todos los tamaños, formas y colores. Tomando como base que, entre las variables supuestas de vehículo, la más importante es su peso total, se va a diferenciar entre tres categorías de tamaño a analizar y con ello se le asignará un peso diferente a cada una. De este modo los tamaños de vehículo a analizar van a ser los siguientes: pequeño, mediano y grande. A estos, como ya se ha dicho, se les asignará un peso de 1.200 kg, 1.600 kg y 2.000 kg respectivamente.

2.6.1.5. Países

En el presente proyecto, se van a analizar los diferentes casos de estudio en unas localizaciones geográficas concretas. Dichas localizaciones han sido proporcionadas por el solicitante del estudio del presente proyecto, Iberdrola, al ser los principales países donde distribuye energía eléctrica a lo largo del mundo. Estos países son España, Reino Unido, México, Estados Unidos y Brasil.

En los cinco países mencionados, que se muestran en la Figura 13, se va a realizar un estudio geográfico teniendo en cuenta los mixes eléctricos de cada país [24-28] y los combustibles utilizados en cada uno de ellos. Esto ayudará a hacer un estudio más amplio y más realista al hacer una observación amplia a nivel mundial.



Figura 13.- Países en los que Iberdrola es operador o generador principal [33].

2.6.1.6. Autonomías de los vehículos

Se le denomina autonomía al tiempo o distancia en uso que puede realizar una tecnología sin necesidad de que sea repostado o recargado en su defecto. Por lo tanto, en el caso de los vehículos convencionales será la distancia que puede recorrer con un depósito lleno sin necesidad de repostar.

Por un lado, el vehículo convencional no tendrá limitación alguna para poder recorrer el máximo de distancia propuesto como caso de estudio (500 km) en ninguno de los dos tipos de motor que se van a tener en cuenta ni para los diferentes tipos de combustible. Esto se debe a que un depósito medio (dependiendo del tipo de conducción) rondará como poco los 700 km de autonomía para el motor de un único fuel. Para el caso del motor BiFuel, la autonomía será superior debido a que al depósito de gasolina (que no varía de tamaño) se le va a añadir un depósito para el GLP que rondará la autonomía de 500 km. De este modo en total llegaría a los 1.200 km aproximadamente.

2.6.1.7. Mantenimiento

Con el paso del tiempo, todos los tipos de vehículos van a experimentar diferentes necesidades de mantenimiento referidas a la etapa de uso. Estas necesidades se van a ver reflejadas en diferentes componentes del vehículo como los neumáticos, limpia parabrisas, frenos de disco o las baterías. En cada uno de los casos el procedimiento a realizar será diferente y estas distinciones son las que van a ser analizadas en el presente apartado.

Para comenzar, para un mantenimiento adecuado de un vehículo, tanto estético como para su correcto uso, es necesario una limpieza exterior e interior, revisar los niveles de aceite lubricante, líquido refrigerante, agua del limpiaparabrisas, líquido de los frenos o el líquido de dirección, etc. Estos serán hechos periódicamente para garantizar un funcionamiento adecuado del coche y una apariencia correcta. Aun así, estos mantenimientos van a ser despreciables para este estudio, ya que las cantidades a sustituir son mínimas comparando con el caso de estudio total. Esto se debe a la unidad funcional que se va a analizar en el estudio.

Principalmente, las variables de mantenimiento que van a ser analizadas en el presente estudio van a ser las baterías y los neumáticos de los vehículos, en los que dependiendo del tipo de vehículo que se analice se tendrá en cuenta una vida útil o periodo de recambio diferente. El número de veces que se sustituya un componente del vehículo será dependiente de la vida útil del vehículo y de la del mismo componente, que va a ser analizada más tarde.

2.6.2. Singularidades del sistema

Como en todo caso en el que se analiza una tecnología con diferentes variables, durante la consecución de ellas se encontrarán diferentes singularidades, restricciones o incompatibilidades. Estas pueden surgir debido a las legislaciones vigentes en ciertas localizaciones o por restricciones del sistema debido a que no es utilizada una de las variables en dicho lugar. En el presente proyecto se van a encontrar varias singularidades dependiendo del sector geográfico en el que se esté analizando.

Por un lado, hay que mencionar que la norma Euro que restringe las emisiones de los vehículos es potenciada por la Unión Europea. Es decir, los tres países americanos que se van a analizar tienen sus propias normas de restricciones de emisiones que para el presente caso van a ser equivalentes a la norma Euro 5 de emisiones.

Por otro lado, siguiendo con las normas restrictivas de emisiones de los vehículos, se puede observar que la norma de emisiones en vigor en México no está en consonancia con la del resto de países analizados. Por ello, se puede concluir que buscando una semejanza con las normas estatales, en México se va a aplicar la norma Euro 4.

En otro sentido, con el motor BiFuel va a aparecer la singularidad debida a su uso en modo eco, que será la que se analice para dicho motor. Como ya es sabido, los combustibles a utilizar van a ser el GLP y la gasolina (pero no a la vez) y el que más va a interesar por sus menores emisiones va a ser el GLP. El mayor inconveniente asociado a este fuel será que el sistema precisa de cierta temperatura (40 °C) para poder quemarlo. Esta temperatura podrá ser alcanzada de diferentes modos, pero la más eficiente será mediante el funcionamiento del coche con gasolina hasta alcanzarla. Dependiendo del trayecto que haga dicho vehículo el tiempo en el que se alcance la temperatura será diferente, siendo diferente el modo de conducción en cada caso y con ello las revoluciones a las que trabaje el motor. De este modo, para el recorrido en ciudad se estima que tardará 15 km en obtener la temperatura y en carretera/autopista, en cambio, 5 km.

Finalmente, a la hora de hablar de los combustibles en Brasil, se encuentra una incompatibilidad con el sistema. Es uno de los países más restrictivos en cuanto a la contaminación producida por los vehículos se refiere. Por ello, en 1976 se prohibió el uso de la gasolina pura como combustible y se empezaron a utilizar mezclas de gasolina con etanol. Hay que mencionar también, que en ese mismo año el uso del diésel puro fue prohibido también debido a la misma razón y se comenzó a utilizar el gasoil B10. Este tipo de diésel es la nueva generación del gasóleo bonificado, con una reducción del contenido en azufre a 10 ppm (10 mg/kg) y adecuado a los nuevos motores. Aun así, debido a la complejidad para simular el gasoil B10, en vez de este combustible se va a utilizar también el diésel puro para el presente estudio.

El hecho de que la gasolina no se utilice en Brasil va a provocar que el número de casos de estudio para este país se reduzca significativamente. Es decir, en el apartado de los vehículos convencionales sólo van a poder ser alimentados de diésel, debido a que en los coches BiFuel uno de los dos combustibles con los que se alimenta el motor es la gasolina y está prohibida.

2.6.3. Casos a analizar en el proyecto

Cada una de las variables mencionadas en los apartados previos va a tener diferentes alternativas, como se puede observar en la Figura 14. De este modo, multiplicando las diferentes alternativas y respetando las singularidades del sistema, se va a poder cuantificar el número de casos que se van a analizar en el estudio.

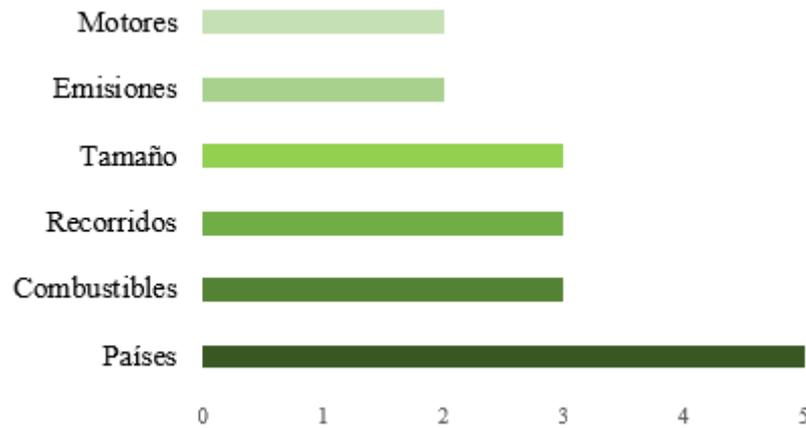


Figura 14.- Número de alternativas por variable considerada para el ACV.

Por lo tanto, el número de vehículos convencionales o de combustión que se van a considerar para el estudio va a ser de 117, haciendo un Análisis de Ciclo de Vida de cada caso.

2.6.4. Pérdidas de la energía

En el proceso de propulsión de un vehículo, las pérdidas pueden llegar a ser un factor determinante y a tener presente en todo momento para poder evaluar el rendimiento de dichos automóviles. A priori, resulta fácil pensar que toda la energía que tiene como entrada el sistema para su utilización en el ciclo de vida del coche es utilizada en su totalidad, pero en ningún caso ocurre esto ya que en diferentes puntos del sistema se producen anomalías o pérdidas de eficacia.

De este modo, la cantidad de energía aprovechable que entra al sistema para cada caso y la cantidad utilizada o explotada serán diferentes, siendo la primera mayor debido a las pérdidas que se producirán durante todo el ciclo de vida. Estas pérdidas serán debidas a las tecnologías utilizadas para conseguir que el vehículo pueda traccionar.

Para completar el estudio y conseguir el modelo más adecuado posible, se va a analizar un sistema sin pérdidas y otro paralelo cuantificando las pérdidas que tiene cada sistema en porcentaje y en GWh debido a las tecnologías del sistema. Esta disminución de la energía entregada al sistema puede ser explicada mediante una serie de pérdidas energéticas, cuyas principales fuentes se presentan y describen a continuación. Los valores específicos que se han considerado para cada concepto de pérdidas en el estudio, serán analizados a continuación.

2.6.4.1. Pérdidas por transformación del nivel de tensión

Primariamente, el uso de la electricidad se puede tener en cuenta en diferentes apartados del ciclo de vida de un vehículo. Es decir, para vehículos de combustión podría ser analizado en diferentes etapas, como podrían ser la fabricación o el mantenimiento. Aun así, sólo van a

tenerse en cuenta los consumos eléctricos significativos por lo que será analizado en una única etapa: la fabricación.

Debido a que se genera electricidad en un nivel de tensión distinto al que se va a consumir en la etapa de fabricación, ya que se consume en media tensión, se necesitará transformarla, etapa en la cual se producirán pérdidas en el sistema.

Para analizar las pérdidas en un transformador, es muy conveniente analizar el circuito magnético y el eléctrico por separado, puesto que cada uno de ellos presenta pérdidas por circunstancias totalmente diferentes.

Las pérdidas producidas en el circuito magnético del transformador se deben a:

- Flujos dispersos.
- Ciclo de histéresis.
- Corrientes parásitas.
- Pérdidas en el cobre del bobinado.

Mientras que las pérdidas producidas en el circuito eléctrico del transformador vienen dadas por:

- La carga.
- El bobinado.
- La conductividad del material.

2.6.4.2. Pérdidas por transporte de la energía eléctrica

Las pérdidas por transporte de energía eléctrica son aquellas que se producen a la hora de llevar la electricidad entre las subestaciones generadoras y las partes contratantes de energía. Se transporta en alta tensión, debido a que las pérdidas de Joule son menores, y mediante torres de transporte con cables de acero, cobre o aluminio.

2.6.4.3. Pérdidas por eficiencia del motor

Cada tipo de motor, tanto por su modo de funcionamiento como por su combustible (en caso de tenerlo), tiene una eficiencia diferente a la hora de conseguir la energía mecánica que hará que se mueva el vehículo. En este estudio se barajan dos tipos de motor: el motor de combustión interna y el motor de combustión interna BiFuel o de combustible flexible. Con el fin de obtener su rendimiento, ambos serán comparados, teniendo en cuenta que pueden ser alimentados con tres tipos de combustible: diésel, gasolina o GLP.

Para ambos motores analizados, es necesario que ocurra una combustión del fuel alimentado y es aquí donde se cuantifican las pérdidas más significativas del propulsor. Es decir, al quemar el carburante provoca una gran explosión y una gran cantidad de calor. La primera es utilizada para el movimiento del vehículo y la segunda es liberada, proviniendo de esta la pérdida de eficiencia de este tipo de motor.

De este modo, se puede concluir que los motores de combustión tienen un rendimiento muy limitado debido a la liberación de calor mencionada siendo el de diésel algo superior al de gasolina y GLP. Para el primero se obtendrá un 40% de rendimiento, para el segundo un 25% y algo menor para el tercero. Esto se debe a que los motores que funcionan con gas experimentan unas pérdidas entre el 5-10% mayores que los motores que trabajan con fuel.

2.6.4.4. Pérdidas por temperatura

En el caso presente, las pérdidas por temperatura vendrán representadas por el intervalo de temperatura en el que el vehículo trabaje correctamente, ya que fuera de este puede presentar problemas. Por ello, es importante mantener el automóvil en el rango de temperaturas correcto mediante refrigerantes, para enfriar el sistema, o con un precalentamiento del sistema.

La temperatura afectará a los vehículos que sean alimentados con GLP debido a que va a precisar una cierta temperatura para el funcionamiento adecuado del sistema. No sólo es la temperatura del sistema la que afecte al correcto funcionamiento del motor, sino que la temperatura del entorno también incide en el correcto funcionamiento con este combustible. Es decir, costará más llegar a los 40 °C que aseguran el correcto funcionamiento si en el entorno la temperatura ambiente es menor. Esto significa que habrá que recorrer una mayor distancia alimentándose de gasolina y conllevará mayores consumos de gasolina y en consecuencia mayores emisiones.

2.6.5. Hipótesis y estimaciones

A lo largo de este estudio, ha sido necesario plantear ciertas hipótesis y estimaciones que permitan definir correctamente el modelo de ACV. A continuación, se describen las principales estimaciones que se han asumido al realizar este proyecto.

2.6.5.1. Vida útil de los subsistemas

La metodología de ACV busca identificar cuáles son los principales aspectos ambientales de un sistema analizado, teniendo en cuenta un enfoque desde la cuna a la tumba. Para ello, es importante estimar la vida útil de cada uno de los subsistemas considerados en el análisis, de tal forma que se tengan en cuenta las reinversiones necesarias que será necesario acometer a lo largo de la vida útil del sistema completo.

Dentro del producto a analizar se van a estudiar tres subsistemas que van a delimitar la vida útil del sistema completo que se muestran en la Tabla 5: el motor de combustión, las baterías del vehículo y los neumáticos.

Tabla 5.- Vida útil de los subsistemas.

Elemento	Vida útil estimada (km)	Fuente consultada
Vehículo convencional	155.000	
Motor de combustión	155.000	<i>Transport services, Ecoinvent (2007) [29]</i>
Neumáticos	45.000	
Baterías	100.000	

Como se puede observar, para la vida útil completa del vehículo se van a estimar un motor de combustión, cuatro juegos de neumáticos (tres recambios) y dos baterías (una de recambio). Hay que mencionar, que la vida útil de un repuesto de neumáticos y baterías no va a ser consumida. Esto es debido a que el último juego de neumáticos aún conservará 30.000 km de vida útil y el repuesto de baterías 45.000 km.

2.6.5.2. Pérdidas del sistema

La Tabla 6, recoge los valores de pérdidas estimados para cada uno de los casos considerados en este estudio comparativo. Mediante estos se van a poder cuantificar las pérdidas energéticas del sistema.

Tabla 6.- Pérdidas energéticas del sistema.

Pérdidas	Porcentaje de pérdidas
Motor de combustión	60 - 75 %
Motor BiFuel (utilizando GLP)	65 – 80 %
Transformación AT	Depende del mix de cada país (máximo 10 % en BT).
Transformación MT	
Transformación BT	
Transporte de electricidad	10 %
Temperatura menor que rango de funcionamiento correcto	Trae problemas de funcionamiento.

2.6.5.3. Fin de vida de los vehículos

A pesar de que a día de hoy existen en funcionamiento iniciativas de recogida y reciclaje de vehículos, para el presente estudio no se dispuso de datos concretos sobre qué porcentaje de vehículos del mercado acabará al final de su vida útil en una iniciativa de este tipo.

Los indicadores de la base de datos Ecoinvent utilizados para simular los vehículos, tienen carácter *cradle to grave*, incluyendo ya un escenario por defecto para la gestión de fin de vida de los mismos. Se considera para la gestión de fin de vida, que la totalidad de vidrio, metales, níquel, manganeso, cobalto y aluminio serán recuperados y reciclados. Además, se asume que otros materiales, como por ejemplo el resto de plásticos, acabarán en un escenario de incineración de residuos.

2.6.5.4. Distribución de pesos de los vehículos

En el momento de dividir el peso total de los vehículos en el programa SimaPro, se tendrá en cuenta el tipo de vehículo que se esté estudiando y el tamaño de éste. Es decir, la distribución de los pesos va a ser distinta para cada caso. Para todos ellos van a ser considerados dos conjuntos, los denominados como *internal combustion engine* y *glider*.

El primero de los dos mostrará el peso del motor de combustión interna. Este indicador no va a variar para coches alimentados por gasolina, diésel y GLP y gasolina. Es decir, aunque el motor sea distinto, en el software informático utilizado para realizar el ACV, se utilizará el mismo indicador para todos los casos. El segundo conjunto muestra el peso de diferentes piezas o componentes del vehículo convencional. Entre ellas se pueden destacar: el chasis, la batería, el radiador, los frenos, el sistema silenciador, el depósito del combustible, los neumáticos, etc. De este modo, se van a distribuyen los pesos del modo que se ve en la Tabla 7.

Tabla 7.- Distribución de pesos de los vehículos del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

Tipo de vehículo	Peso total	Internal Combustion Engine (ICE)	Glider
Vehículo de gasolina	1.200 kg	312,156 kg	887,844 kg
	1.600 kg	416,207 kg	1.183,793 kg
	2.000 kg	520,259 kg	1.479,741 kg
Vehículo de diésel	1.200 kg	366,210 kg	833,790 kg
	1.600 kg	488,280 kg	1.111,720 kg
	2.000 kg	610,350 kg	1.389,650 kg
Vehículo BiFuel	1.200 kg	312,156 kg	887,844 kg
	1.600 kg	416,207 kg	1.183,793 kg
	2.000 kg	520,259 kg	1.479,741 kg

2.6.5.5. Consumos de combustible de cada tipo de vehículo

Cada tipo de vehículo convencional que se analiza en el presente estudio, es alimentado de diferentes combustibles. Dependiendo del trayecto y recorrido en los que se conduzcan los vehículos y su peso, habrá diferentes consumos que están medidos por litros de combustible consumidos por cada 100 km recorridos (L/100 km) como se puede ver en la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10 [30].

Tabla 8.- Consumos de combustible del vehículo de gasolina.

	Peso vehículo	Distancia	Gasolina (L /100 km)
Vehículo de gasolina	1.200 kg	30 km – ciudad	7,4
		100 km - carretera/autopista	5,8
		500 km - carretera/autopista	4,9
	1.600 kg	30 km - ciudad	8,3
		100 km - carretera/autopista	6,7
		500 km - carretera/autopista	5,8
	2.000 kg	30 km - ciudad	13,7
		100 km - carretera/autopista	10,0
		500 km - carretera/autopista	7,9

Tabla 9.- Consumos de combustible del vehículo de diésel.

	Peso vehículo	Distancia	Diésel (L /100 km)
Vehículo de diésel	1.200 kg	30 km - ciudad	5,7
		100 km - carretera/autopista	5,1
		500 km - carretera/autopista	4,7
	1.600 kg	30 km - ciudad	8,0
		100 km - carretera/autopista	6,0
		500 km - carretera/autopista	4,8
	2.000 kg	30 km - ciudad	9,5
		100 km - carretera/autopista	7,3
		500 km - carretera/autopista	6,0

Tabla 10.- Consumos de combustible del vehículo BiFuel o de combustible flexible.

	Peso vehículo	Distancia	Gasolina (L /100 km)	GLP (L /100 km)
Vehículo BiFuel	1.200 kg	30 km - ciudad	7,1	9,1
		100 km - carretera/autopista	5,6	7,0
		500 km - carretera/autopista	4,7	5,8
	1.600 kg	30 km - ciudad	7,9	10,5
		100 km - carretera/autopista	6,3	8,1
		500 km - carretera/autopista	5,4	6,7
	2.000 kg	30 km - ciudad	8,8	12,2
		100 km - carretera/autopista	6,9	9,2
		500 km - carretera/autopista	5,8	7,4

Por otro lado, en los vehículos con motor BiFuel o de combustible flexible, habrá que tener en cuenta que fuel se va a consumir en ese recorrido. Este tipo de automóvil se alimenta de gasolina y el GLP, y por intereses del consumidor (económicos normalmente) se pretende alimentar con GLP. Debido a las singularidades de este, que precisa que para quemarlo correctamente el sistema de combustión tenga que estar a 40 °C, habrá que tener en cuenta la distancia que se va a recorrer con cada tipo de fuel hasta alcanzar la temperatura óptima.

Hasta el momento en el que se alcance la temperatura adecuada en el sistema, se alimentará el motor con gasolina y el kilometraje que tarda en llegar a la mencionada temperatura será diferente para cada recorrido como se indica en la Tabla 11 [19-20].

Tabla 11.- Distancia alimentada con cada combustible por recorrido en los motores BiFuel.

Recorrido	Gasolina (km)	GLP (km)
30 km - ciudad	15,0	15,0
100 km - carretera/autopista	5,0	95,0
500 km - carretera/autopista	5,0	495,0

2.7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema que se va a analizar, como se ha mencionado durante el presente estudio, es un vehículo convencional con sus diferentes variables de fabricación y uso. A lo largo de su uso, consume combustible y se lleva a cabo un mantenimiento del coche llegando a reponer distintos elementos de este.

En el fin de vida, el producto va a ser desmontado llegando a reciclar algunas de sus piezas y componentes que se puedan reutilizar debido a que su vida útil no haya quedado extinta. Los elementos restantes que no se puedan recuperar van a ser llevados al vertedero.

2.7.1. Etapas del Ciclo de Vida

Para poder completar la elaboración del Análisis de Ciclo de Vida, el sistema o producto se ha separado en las siguientes etapas: material, fabricación, transporte, uso, conservación y fin de vida. Se ha considerado oportuno mencionar también las etapas de materiales y conservación debido a que son etapas que pueden llegar a tener un peso importante durante la vida del producto.



Figura 15.- Etapas del Ciclo de Vida del sistema [34].

De este modo, se han detallado las distintas etapas en las que se dividirá el ACV de los vehículos, que se pueden observar en la Figura 15. En todos los coches la estructura de las fases es similar, cambiado únicamente los valores que se introducen al software, y será la siguiente:

- **Fase de materiales:** en esta fase del ciclo de vida se recopilan los materiales de los que están hechas las piezas o elementos del vehículo. Dependiendo del caso, en los que se haya contado con la información suficiente, se les ha adjuntado el proceso productivo pertinente, mientras que los restantes han sido simulados sólo sus materiales.
- **Fase de fabricación:** se tienen en cuenta los aspectos relacionados con los procesos de producción, consumos y generación de residuos desde que los materiales entran en la planta hasta que el producto acabado se distribuya. También se han tenido en cuenta los transportes de las piezas producidas en diferentes fábricas repartidas por el mundo hasta llegar a la planta de ensamblaje.
- **Fase de transporte:** será el transporte del producto acabado desde la planta de ensamblaje hasta los clientes finales. También tiene en cuenta los aspectos ambientales asociados al embalaje del producto.
- **Fase de uso:** tiene en cuenta el consumo de combustible que tiene el vehículo durante su vida útil (155.000 km) pero reducido a la unidad funcional del proyecto, 1 km recorrido.
- **Fase de conservación:** contiene los aspectos ambientales del mantenimiento y conservación realizados durante la vida útil del ascensor. Se tienen en cuenta las piezas y elementos sustituidos para cada coche.
- **Fase de fin de vida:** esta última fase incluye los procesos de reciclaje para los materiales recuperados del producto, así como la disposición en vertedero de los materiales restantes.

2.7.2. Calidad de los datos

Durante todo el estudio se ha buscado utilizar los datos más veraces posibles, correspondientes a inventarios, transportes y consumos. Para los casos en los que no se haya dispuesto de datos primarios acerca de determinados materiales o procesos, se han realizado estimaciones, cálculos o aproximaciones con datos procedentes de la base de datos de inventarios de ciclo de vida reconocida internacionalmente.

De este modo, se ha utilizado la base de datos de Ecoinvent 3.1 debido a su amplia información, más de 4.000 inventarios de ciclo de vida, y su periodicidad semestral de actualización. Los datos que no se encuentran en dicha base de datos, se han extraído de diversos informes de Análisis de Ciclo de Vida que van a ser mencionados en la bibliografía.

2.7.3. Reglas de asignación

No se ha considerado regla de asignación alguna debido a que, como se muestra en la Figura 16, el proceso de fabricación es unifuncional y sale un único producto por cada entrada de material considerada para el estudio presente. Por lo tanto, toda la carga ambiental corresponde al vehículo que se ha fabricado.

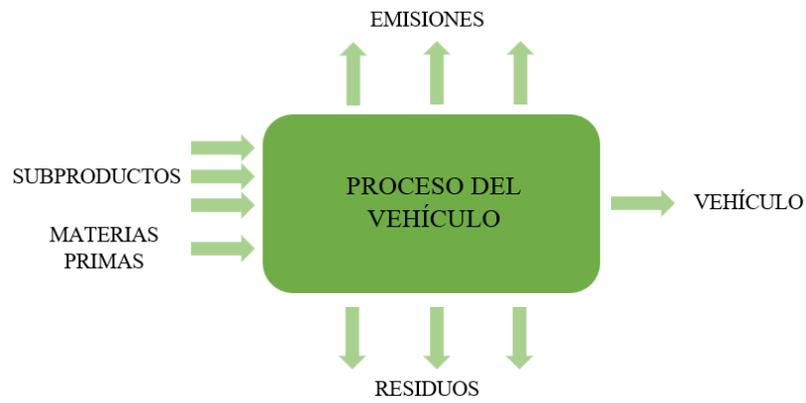


Figura 16.- Proceso unifuncional.

3. DISEÑO DEL PROYECTO

3.1. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

En este apartado van a ser detalladas las diferentes fases que se han seguido para poder realizar el ACV del producto.

3.1.1. Desarrollo del ACV

A continuación, se van a recopilar y describir los datos cualitativos y cuantitativos de los diferentes procesos y etapas que transcurren a lo largo el ciclo de vida de los vehículos analizados en el estudio. Los datos que se van a necesitar, son los que estén de acuerdo con las limitaciones e hipótesis que se han considerado en los apartados previos.

3.1.1.1. Inventario de los componentes

En el presente capítulo se va a obtener la información correspondiente a los flujos materiales que son utilizados para la producción de los vehículos. Los datos recogidos para realizar el estudio han sido obtenidos desde la base de datos Ecoinvent y estimados para realizar el ACV.

Por lo tanto, se va a disponer de un inventario de los componentes que forman los vehículos convencionales alimentados de gasolina, diésel o gasolina y GLP (para los motores de combustible flexible). Se pueden llegar a contabilizar distintas entradas de materiales que forman la producción de un vehículo, pero para simplificar el estudio se van a distribuir en dos subgrupos: el motor de combustión interna (*Internal Combustion Engine - ICE*) y el vehículo sin el sistema propulsor (*glider*).

Como peculiaridad se van a encontrar las dos próximas singularidades. Por un lado, aunque los subgrupos en los que se distribuyen los pesos de los vehículos son iguales para los coches alimentados por los distintos combustibles, la relación de pesos con las que está divididos los subgrupos es distinta. Por otro lado, los vehículos están referenciados a 1 kg, por lo que después para distinguir entre los coches pequeños, medianos y grandes habrá que multiplicar el indicador por la masa correspondiente. Estas distribuciones de pesos de pueden observar en la Figura 17, Figura 18 y Figura 19 y se cuantifican en la Tabla 12 [6].

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos						
Nombre			Cantidad		Ud.	
Passenger car, petrol/natural gas {GLO} production Alloc Rec, U			1			kg
(Insertar línea aquí)						
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados						
Nombre			Cantidad		Ud.	Distribución DS^2 or 2*DS
(Insertar línea aquí)						
Entradas						
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)						
Nombre	Subcompartimento		Cantidad		Ud.	Distribución DS^2 or 2*DS Mín Máx
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)						
Nombre					Cantidad	Ud.
Internal combustion engine, for passenger car {GLO} market for internal combustion engine, passenger car Alloc Rec, U					0,260129659643436	kg
Manual dismantling of used passenger car with internal combustion engine {GLO} market for Alloc Rec, U					1	p
Glider, passenger car {GLO} market for Alloc Rec, U					0,739870340356564	kg

Figura 17.- Distribución de pesos en el vehículo de gasolina.

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos						
Nombre				Cantidad		Ud.
Passenger car, diesel {GLO} production Alloc Rec, U				1		kg
(Insertar línea aquí)						
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados						
Nombre		Cantidad		Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS
(Insertar línea aquí)						
Entradas						
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)						
Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín Máx
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)						
Nombre				Cantidad		Ud.
Manual dismantling of used passenger car with internal combustion engine {GLO} market for Alloc Rec, U				1		p
Glider, passenger car {GLO} market for Alloc Rec, U				0,69482496194825		kg
Internal combustion engine, for passenger car {GLO} market for internal combustion engine, passenger car Alloc Rec, U				0,30517503805175		kg

Figura 18.- Distribución de pesos del vehículo de diésel.

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos						
Nombre				Cantidad		Ud.
Passenger car, BiFuel {GLO} production Alloc Rec, U				1		kg
(Insertar línea aquí)						
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados						
Nombre		Cantidad		Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS
(Insertar línea aquí)						
Entradas						
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)						
Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2*DS	Mín Máx
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)						
Nombre				Cantidad		Ud.
Internal combustion engine, for passenger car {GLO} market for internal combustion engine, passenger car Alloc Rec, U				0,260129659643436		kg
Manual dismantling of used passenger car with internal combustion engine {GLO} market for Alloc Rec, U				1		p
Glider, passenger car {GLO} market for Alloc Rec, U				0,739870340356564		kg

Figura 19.- Distribución de pesos del vehículo BiFuel.

Se puede observar de este modo, que el vehículo convencional alimentado de gasolina y el vehículo BiFuel van a tener la misma relación de pesos entre el motor de combustión interna y el vehículo sin el sistema de propulsión.

Tabla 12.- Relación de pesos de los subgrupos de los vehículos.

Tipo de vehículo	Motor de combustión interna	Glider
Vehículo gasolina	0,26013 kg	0,73987 kg
Vehículo diésel	0,305175 kg	0,694825 kg
Vehículo BiFuel	0,26013 kg	0,73987 kg

A su vez, se van a comparar las diferencias de pesos que hay en cada subconjunto entre los tres tipos de vehículo para cada uno de los tamaños de coche tenidos en cuenta, como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13.- Distribución de pesos en los vehículos del estudio.

	Peso vehículo	Motor de combustión interna	Glider
Vehículo gasolina	1.200 kg	312,156 kg	887,844 kg
	1.600 kg	416,208 kg	1.183,792 kg
	2.000 kg	520,26 kg	1.479,74 kg
Vehículo diésel	1.200 kg	366,21 kg	833,79 kg
	1.600 kg	488,28 kg	1.111,72 kg
	2.000 kg	610,35 kg	1.389,65 kg
Vehículo BiFuel	1.200 kg	312,156 kg	887,844 kg
	1.600 kg	416,208 kg	1.183,792 kg
	2.000 kg	520,26 kg	1.479,74 kg

Como se puede observar, el peso total de los vehículos va a ser constante, pero los pesos de los subconjuntos van a ser variables. Para poder ver la diferencia de pesos correctamente se va a mostrar la Figura 20, en la que se van a comparar los pesos de los componentes agrupando los vehículos con un peso igual.

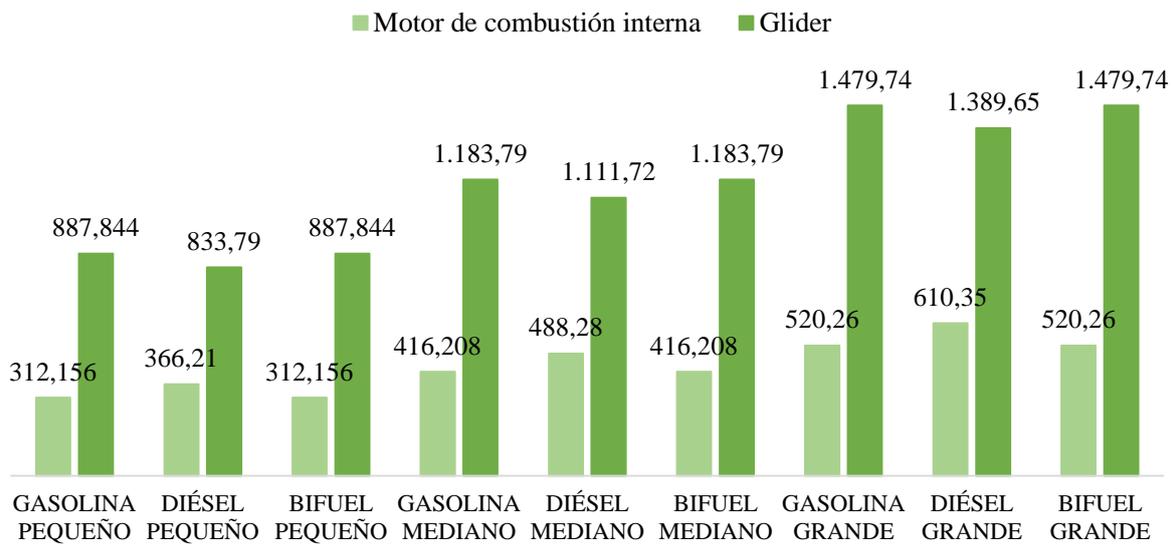


Figura 20.- Comparación de la distribución de los pesos por peso y tipo.

3.1.1.2. Inventario de entradas y salidas de la planta

En la fase en la que se fabrica el vehículo habrá ciertas entradas y salidas que se considerarán para cuantificar el impacto ambiental debido a la magnitud de los mismos. La estimación de dichos aspectos ambientales asociados a la parte de la producción viene dada por la base de datos Ecoinvent.

Como ya ha sido mencionado en el apartado anterior, la fabricación de los distintos vehículos va a estar referenciado a 1 kg en la fase de fabricación, por lo que habrá tres inventarios de entradas y salidas para los vehículos en este estudio. Estos inventarios, van a ser mostrados en la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16 [6].

Tabla 14.- Entradas y salidas del sistema para fabricar el vehículo convencional de gasolina.

PASSENGER CAR, PETROL – PRODUCTION (1 kg)	
<i>Entradas</i>	
Motor de combustión interna	0,26012966 kg
Vehículo sin sistema propulsor	0,73987034 kg
Desmantelamiento del vehículo con motor	1 unidad
<i>Residuos a tratar</i>	
Aceite mineral	0,002527 kg
Caucho	0,03767 kg
Vidrio	0,02668 kg

Tabla 15.- Entradas y salidas del sistema para fabricar el vehículo convencional de diésel.

PASSENGER CAR, DIÉSEL – PRODUCTION (1 kg)	
<i>Entradas</i>	
Motor de combustión interna	0,30517504 kg
Vehículo sin sistema propulsor	0,69482496 kg
Desmantelamiento del vehículo con motor	1 unidad
<i>Residuos a tratar</i>	
Aceite mineral	0,002527 kg
Caucho	0,03767 kg
Vidrio	0,02668 kg

Tabla 16.- Entradas y salidas del sistema para fabricar el vehículo convencional BiFuel.

PASSENGER CAR, BIFUEL – PRODUCTION (1 kg)	
<i>Entradas</i>	
Motor de combustión interna	0,26012966 kg
Vehículo sin sistema propulsor	0,73987034 kg
Desmantelamiento del vehículo con motor	1 unidad
<i>Residuos a tratar</i>	
Aceite mineral	0,002527 kg
Caucho	0,03767 kg
Vidrio	0,02668 kg

Después, habrá que inventariar las entradas y salidas que hay para fabricar el motor de combustión interna y el vehículo sin sistema propulsor. Esto se realizará con los mismos criterios que con los vehículos. Por lo tanto, como se observa en la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y la Tabla 20, se van a medir los *input* y *output*. Hay que mencionar, que dichos subgrupos también van a estar referenciados a 1 kg en la fase de producción, tal y como estaban los vehículos.

Por otro lado, para poder introducir las entradas y salidas de la fabricación del vehículo al software informático de ACV, habrá que buscar los aspectos equivalentes que haya en la base de datos de Ecoinvent 3.1.

Tabla 17.- Entradas del sistema para fabricar el motor de combustión interna.

INTERNAL COMBUSTION ENGINE, PASSENGER CAR – PRODUCTION (1 kg)	
<i>Entradas materiales</i>	
Etilenglicol	2,545E-02 kg
Polietileno granulado de alta densidad	5,600E-02 kg
Platino	5,818E-06 kg
Moldeo por inyección	4,800E-02 kg
Caucho sintético	1,091E-02 kg
Chatarra de aluminio	-1,237E-01 kg
Acero reforzado	1,527E-01 kg
Acero de baja aleación laminado en caliente	3,934E-01 kg
Ácido sulfúrico	3,636E-03 kg
Cobre	7,273E-03 kg
Fábrica de vehículos de carretera	2,758E-10 ud.
Sulfuro de polifenileno	1,000E-01 kg
Cobre trefilado	7,273E-03 kg
Paladio	1,091E-06 kg
Plomo	4,727E-02 kg
Chatarra de hierro	-7,869E-02 kg
Aceite lubricante	2,182E-02 kg
Agua potable	3,052E+00 kg
<i>Entradas de calor o electricidad</i>	
Electricidad, media tensión	2,028E+00 kWh
Calor, para distritos o industrial	2,164E+00 MJ

Tabla 18.- Salidas del sistema para fabricar el motor de combustión interna.

INTERNAL COMBUSTION ENGINE, PASSENGER CAR – PRODUCTION (1 kg)	
<i>Emisiones al aire</i>	
Agua	4,577E-04 m ³
NMVOC	4,549E-03 kg
<i>Emisiones al agua</i>	
Carbono orgánico disuelto (DOC)	6,774E-05 kg
Demanda biológica de oxígeno (BOD ₅)	2,464E-05 kg
Agua	2,594E-03 m ³
Fosfato	9,477E-07 kg
Demanda química de oxígeno (COD)	1,829E-04 kg
Carbono orgánico total (TOC)	6,774E-05 kg
<i>Tratamiento de residuos</i>	
Motor de combustión interna utilizado	1,000E+00 kg
Residuos de plástico	1,418E-02 kg

Tabla 19.- Entradas del sistema para fabricar el vehículo sin el sistema propulsor.

GLIDER, PASSENGER CAR – PRODUCTION (1 kg)	
<i>Entradas materiales</i>	
Acrilonitrilo-butadieno-estireno	5,586E-03 kg
Laminado de acero	6,887E-01 kg
Fibra viscosa	2,201E-02 kg
Acero de baja aleación laminado en caliente	1,636E-01 kg
Magnesio	8,509E-04 kg
Resina epoxi, líquida	1,467E-02 kg
Acero cromado laminado en caliente	2,583E-02 kg
Diodo de baja emisión	1,334E-04 kg
Aluminio laminado	5,418E-03 kg
Poliuretano, espuma flexible	3,495E-02 kg
Polvo de recubrimiento	1,467E-02 kg
Tablero de circuito impreso	2,535E-03 kg
Zinc	1,702E-03 kg
Acero reforzado	8,058E-01 kg
Aleación forjada de aluminio	1,355E-03 kg
Vidrio plano templado	4,002E-02 kg
Aleación de fundición de aluminio	4,768E-03 kg
Plomo	2,978E-03 kg
Cobre	8,467E-03 kg
Caucho sintético	5,650E-02 kg
Tereftalato de polietileno granulado	1,862E-03 kg
Polipropileno granulado	6,331E-02 kg
Fábrica de vehículos para carretera	2,747E-10 ud.
Plástico reforzado con fibra de vidrio	5,332E-04 kg
Chatarra de aluminio	-1,100E-03 kg
Polietileno granulado de baja densidad	1,862E-03 kg
Aceite lubricante	3,790E-03 kg
Cobre trefilado	4,212E-03 kg
Chatarra de hierro	-3,060E-01 kg
Nylon 6	3,724E-03 kg
Vidrio plano sin recubrimiento	4,002E-02 kg
Polivinilcloruro de suspensión polimerizada	1,241E-02 kg
Agua potable	3,039E+00 kg
<i>Entradas de calor o electricidad</i>	
Electricidad, media tensión	2,020E+00 kWh
Calor, para distritos o industrial	2,154E+00 MJ

Tabla 20.- Salidas del sistema para fabricar el vehículo sin el sistema propulsor.

GLIDER, PASSENGER CAR – PRODUCTION (1 kg)	
<i>Emisiones al aire</i>	
Agua	4,559E-04 m ³
NMVOC	4,531E-03 kg
<i>Emisiones al agua</i>	
Agua	2,583E-03 m ³
Carbono orgánico disuelto (DOC)	6,748E-05 kg
Carbono orgánico total (TOC)	6,748E-05 kg
Demanda química de oxígeno (COD)	1,822E-04 kg
Fosfato	9,439E-07 kg
Demanda biológica de oxígeno (BOD ₅)	2,454E-05 kg
<i>Tratamientos de residuo</i>	
Vehículo utilizado sin sistema propulsor	1,000E+00 kg
Residuos de plástico	5,200E-03 kg

3.1.1.3. Distribución al cliente final

Las fases finales previas al uso son el embalaje del producto y la distribución al usuario. En este caso, no se va a considerar esta fase debido a que los vehículos que se han analizado en este estudio tienen como unidad funcional 1 km recorrido por un vehículo. De este modo, se puede decir que dentro del ciclo de vida de los casos analizados los impactos de esta fase serán despreciables. Esto es debido a que la vida útil del vehículo es de 155.000 km y el estudio analiza el impacto ambiental de un único kilómetro.

3.1.1.4. Información de la fase de uso

En la fase de uso se van a recoger todas las entradas que aseguren el funcionamiento del vehículo, en el que el coche va a completar la unidad funcional del estudio, 1 km recorrido. De este modo, en la Figura 21 se va a mostrar como ejemplo la fase de uso de un vehículo convencional alimentado de gasolina de tamaño pequeño.

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos							
Nombre				Cantidad	Ud.		
_IBE_Transport, passenger car, small size, petrol, EURO 5 {RoW} transport, passenger car, small size, petrol, EURO 5 Alloc Rec, U				1	km		
(Insertar línea aquí)							
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados							
Nombre	Cantidad	Ud.		Distribución	DS [^] 2 or 2*DSI		
(Insertar línea aquí)							
Entradas							
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)							
Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS [^] 2 or 2*DSMín Máx		
(Insertar línea aquí)							
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)							
Nombre				Cantidad	Ud.		
Passenger car maintenance {RoW} maintenance, passenger car Alloc Rec, U				6,45161290322581E-6	p		
Road {GLO} market for Alloc Rec, U				0,0006965964	my		
_IBE_Petrol burned, passenger car, small size, EURO 5 {RoW} transport, passenger car, small size, petrol, EURO 5 Alloc Rec, U				0,0503467936	kg		
Passenger car, petrol/natural gas {GLO} market for Alloc Rec, U				0,008	kg		
(Insertar línea aquí)							

Figura 21.- Fase de uso del vehículo pequeño de gasolina.

Por lo tanto, se van a contemplar todas las entradas y salidas al sistema, pero referidas a 1 km. Es decir, si está supuesto una unidad de mantenimiento para los 155.000 km de vida útil del vehículo, habrá que reducirlo a 1 km siendo dato del indicador que se introduzca en el programa de 6,451E-06 unidades de mantenimiento. Del mismo modo, si el peso de ese mismo vehículo es de 1.200 kg, el dato a introducir en SimaPro será de 0,008 kg. Estos criterios de cálculo están expuestos en la Tabla 21 [6].

Tabla 21.- Indicador del vehículo convencional pequeño alimentado por gasolina.

TRANSPORT, PASSENGER CAR, SMALL SIZE, PETROL, EURO 5 (1 km)			
Entrada	Valor real	Vida útil	Valor a SimaPro
Mantenimiento	1 unidad	155.000 km	6,451E-06 ud
Carretera	-	-	0,00069 ma
Gasolina quemada	-	-	0,050346 kg
Coche	1.200 kg	155.000 km	0,008 kg

Por otro lado, las cantidades de combustible deberán de ser introducidas en kg. Debido a que los consumos de combustible de los diferentes tipos de vehículo habitualmente están determinados en cantidad de litros consumidos cada cien kilómetros (que también habrá que reducirlos a 1 km recorrido) hay que conocer las densidades de la gasolina, diésel y GLP. Estas densidades están plasmadas en la Tabla 22 para su conversión unitaria [21].

Tabla 22.- Densidades de los combustibles.

Combustible	Gasolina	Diésel	GLP/LPG
Densidad (kg/m³)	680,00	832,00	560,00

Por lo tanto, para cuantificar las entradas de combustible en kg para las distintas fases de uso, se van a utilizar las densidades de la tabla anterior y los consumos estimados en el apartado “2.6.5.5. *Consumos de combustible de cada tipo de vehículo*”.

Como característica, se va a mencionar que el consumo de los motores no va a variar entre los distintos países en los que se vaya a analizar el vehículo, pero sí entre los distintos tamaños de automóvil y distintos combustibles que se les alimente.

3.1.1.5. Información sobre la fase de mantenimiento

En la fase referida al mantenimiento del vehículo, se van a tener en cuenta los recambios de componentes, materiales o limpiezas que se tienen en cuenta durante la vida útil completa de los vehículos, es decir, para 155.000 km. Después, al introducir el indicador referido al mantenimiento en la fase de uso sí se reducirá a la unidad funcional que se está teniendo en cuenta durante el proyecto.

Los recambios que se van a considerar para cualquier tipo de vehículo analizado en este estudio van a ser los neumáticos, la batería y los distintos componentes que aseguren el correcto funcionamiento del coche. Por otro lado, también se van a cuantificar los residuos producidos durante la conducción de los 155.000 km y están mencionados en el apartado de “salidas conocidas a la tecnosfera”. La organización de entradas y salidas de este indicador se muestra en la Figura 22 [6].

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos						
Nombre					Cantidad	Ud.
Passenger car maintenance {RoW} maintenance, passenger car Alloc Rec, U					1	p
(Insertar línea aquí)						
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados						
Nombre					Cantidad	Ud.
(Insertar línea aquí)						
Entradas						
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)						
Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DSMín	
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)						
Nombre					Cantidad	Ud.
Polyethylene, high density, granulate {GLO} market for Alloc Rec, U					5	kg
Lubricating oil {GLO} market for Alloc Rec, U					32,4	kg
Scrap lead acid battery {GLO} scrap lead acid battery, Recycled Content cut-off Alloc Rec, U					-26,4	kg
Ethylene, average {GLO} market for Alloc Rec, U					38	kg
Copper {GLO} market for Alloc Rec, U					0,3	kg
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for Alloc Rec, U					11	kg
Sulfuric acid {GLO} market for Alloc Rec, U					1,4	kg
Ethylene glycol {GLO} market for Alloc Rec, U					2	kg
Lead {GLO} market for Alloc Rec, U					25	kg
Synthetic rubber {GLO} market for Alloc Rec, U					116	kg
Polypropylene, granulate {GLO} market for Alloc Rec, U					6	kg
Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {GLO} market for Alloc Rec, U					5	kg
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (electricidad/calor)						
Nombre					Cantidad	Ud.
Electricity, low voltage {RoW} market for Alloc Rec, U					583,00	kWh
(Insertar línea aquí)						
Salidas conocidas a la tecnósfera. Residuos y emisiones para tratamiento						
Nombre					Cantidad	Ud.
Waste polyethylene {GLO} market for Alloc Rec, U					40	kg
Scrap copper {GLO} market for Alloc Rec, U					0,3	kg
Used tyre {GLO} market for Alloc Rec, U					127	kg
Waste polyethylene/polypropylene product {GLO} market for Alloc Rec, U					16	kg
Waste mineral oil {GLO} market for Alloc Rec, U					32,4	kg
(Insertar línea aquí)						

Figura 22.- Entradas y salidas del mantenimiento de un vehículo.

3.1.1.6. Escenario de fin de vida

La fase final de los vehículos es la del fin de vida. En esta, se va a estimar que parte de los elementos que forman un coche convencional van a ser recuperados y así poder darles un tratamiento adecuado de fin de vida.

Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos y co-productos						
Nombre					Cantidad	Ud.
Manual dismantling of used passenger car with internal combustion engine {GLO} processing Alloc Rec, U					1	p
(Insertar línea aquí)						
Salidas conocidas a la tecnósfera. Productos evitados						
Nombre					Cantidad	Ud.
(Insertar línea aquí)						
Entradas						
Entradas conocidas desde la naturaleza (recursos)						
Nombre	Subcompartimento	Cantidad	Ud.	Distribución	DS^2 or 2^DSMín	
(Insertar línea aquí)						
Entradas conocidas desde la tecnósfera (materiales/combustibles)						
Nombre					Cantidad	Ud.
Manual treatment facility, waste electric and electronic equipment {GLO} market for Alloc Rec, U					1,6E-8	p
(Insertar línea aquí)						

Figura 23.- Desmantelamiento de vehículo convencional.

Si se tiene en cuenta el tratamiento que se le da al vehículo en el programa informático SimaPro, que toma como fundamento la base de datos Ecoinvent 3.1, la parte que se va a tratar será la de los componentes eléctrico electrónicos, como se muestra en la Figura 23.

Este desmantelamiento va a estar referido a 1 kg de vehículo fabricado, como se puede observar en la Figura 17, Figura 18 y Figura 19 previamente expuestas.

3.1.2. Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida

En esta tercera fase se traspa el inventario de entradas y salidas a los indicadores potenciales de impactos ambientales. La metodología de evaluación de impacto ambiental utilizada en el presente análisis es la metodología ReCiPe, basada en las normas UNE-EN ISO 14040:2006 y UNE-EN ISO 14044:2006.

Los resultados de los impactos de los ACV realizados se dan en función de las dos sub-metodologías que se han explicado anteriormente MidPoint y EndPoint. Para cada una de ellas se van a definir las categorías de impacto en las que se dan los resultados:

- MidPoint

- Cambio Climático (climate change).
- Destrucción de la capa de ozono (ozone depletion).
- Toxicidad humana (human toxicity).
- Formación fotoquímica de ozono (photochemical oxidant formation).
- Formación de partículas (particulate matter formation).
- Radiación ionizante (ionising radiation).
- Acidificación al suelo (terrestrial acidification).
- Eutrofización agua dulce (freshwater eutrophication).
- Eutrofización marina (marine eutrophication).
- Ecotoxicidad al suelo (terrestrial ecotoxicity).
- Ecotoxicidad agua dulce (freshwater ecotoxicity).
- Ecotoxicidad marina (marine ecotoxicity).
- Ocupación suelo rural (Agricultural land occupation).
- Ocupación suelo urbano (urban land occupation).
- Transformación suelo natural (natural land transformation).
- Uso de agua (water depletion).
- Uso de recursos naturales (metal depletion).
- Uso de combustibles fósiles (fossil depletion).

- EndPoint

Es la agrupación de los impactos ambientales en las cuatro categorías de daño expuestas a continuación, que serán reducidas a un sistema de puntuación única que las cuantificará como una sola categoría de daño.

- Salud humana (human health).
- Ecosistemas (ecosystems).
- Recursos (resources).
- Puntuación única (single score).

A continuación, se definen todas las categorías nombradas anteriormente, especificando la unidad en la que se miden.

- **Cambio climático (climate change):**

El potencial de calentamiento global es la capacidad de un gas de efecto invernadero de influir en el forzamiento radiactivo, expresado en términos de una sustancia de referencia y de un horizonte temporal. Está relacionado con la capacidad de influir en los cambios de la temperatura media mundial en la interfaz superficie-aire y en parámetros climáticos y sus efectos.

Unidad: kilogramo equivalente de CO₂.

- **Destrucción de la capa de ozono (ozone depletion):**

Es la categoría de impacto que corresponde a la degradación del ozono estratosférico debida a las emisiones de sustancias que agotan la capa de ozono como, por ejemplo, los gases de vida larga que contienen cloro y bromo.

Unidad: kilogramos equivalentes de CFC-11 (triclorofluorometano).

- **Toxicidad humana (human toxicity):**

Se refiere a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a la absorción de sustancias tóxicas mediante la inhalación de aire, la ingesta de alimentos o agua, o la penetración a través de la piel, en la medida en la que estén relacionados con el cáncer.

Unidad: kilogramos equivalentes de 1,4-DB (diclorobenceno).

- **Formación de ozono troposférico (photochemical oxidant formation):**

Hace referencia a la formación de ozono a nivel del suelo, debida a la oxidación fotoquímica de compuestos orgánicos volátiles (COV) y de CO en presencia de óxidos de nitrógeno (NO_x) y luz solar. Son nocivas para la vegetación, las vías respiratorias y los materiales artificiales.

Unidad: kilogramos de NMVOC (compuestos orgánicos volátiles no metánicos).

- **Formación de partículas (particulate matter formation):**

Corresponde a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a las emisiones de partículas y sus precursores (NO_x, SO_x, NH₃). Son pequeñas partículas con menos de 10 micrones de diámetro.

Unidad: kilogramos equivalentes PM₁₀.

- **Radiación ionizante (ionising radiation):**

Se refiere a los efectos nocivos sobre la salud humana debidos a descargas radiactivas.

Unidad: kBq U235 equivalente (uranio-235).

- **Acidificación del suelo (terrestrial acidification):**

Hace referencia a los efectos debidos a la presencia de sustancias acidificantes en la superficie terrestre. Las emisiones de NO_x, NH₃ y SO_x dan lugar a la liberación de iones de hidrógeno (H⁺) cuando los gases se mineralizan. Los protones contribuyen a la acidificación del suelo.

Unidad: kg SO₂ equivalente.

- **Eutrofización del agua dulce (freshwater eutrophication):**

Los nutrientes procedentes de vertidos de agua dulce aceleran el crecimiento de las algas y demás vegetaciones en el agua. La degradación de la materia orgánica consume el oxígeno, lo que provoca una deficiencia de esta sustancia y, en algunos casos, la muerte de los peces. La eutrofización traduce la cantidad de sustancias emitidas a una medida común expresada como el oxígeno necesario para la degradación de la biomasa muerta.

Unidad: kg P equivalente (fósforo).

- **Eutrofización marina (marine eutrophication):**

Los nutrientes procedentes de vertidos de agua marina aceleran el crecimiento de las algas y demás vegetación en el agua. La degradación de la materia orgánica consume el oxígeno, lo que provoca una deficiencia de esta sustancia y, en algunos casos, la muerte de los peces. La eutrofización traduce la cantidad de sustancias emitidas a una medida común expresada como el oxígeno necesario para la degradación de la biomasa muerta.

Unidad: kg N equivalente (nitrógeno).

- **Ecotoxicidad del suelo (terrestrial ecotoxicity):**

Hace referencia a los impactos tóxicos que afectan a la superficie terrestre, que son nocivos para distintas especies y que cambian la estructura y función del ecosistema. Es el resultado de una serie de diferentes mecanismos toxicológicos provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema.

Unidad: kg 1,4-DB equivalente (diclorobenceno).

- **Ecotoxicidad del agua dulce (freshwater ecotoxicity):**

Se refiere a los impactos tóxicos que afectan al agua dulce, que son nocivos para distintas especies y que cambian la estructura y función del ecosistema. Es el resultado de una serie de diferentes mecanismos toxicológicos provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema.

Unidad: kg 1,4-DB equivalente (diclorobenceno).

- **Ecotoxicidad marina (marine ecotoxicity):**

Hace referencia a los impactos tóxicos que afectan a las aguas marinas, que son nocivos para distintas especies y que cambian la estructura y función del ecosistema. Es el resultado de una serie de diferentes mecanismos toxicológicos provocados por la liberación de sustancias con un efecto directo sobre la salud del ecosistema.

Unidad: kg 1,4-DB equivalente (diclorobenceno).

- **Ocupación de suelo rural (agricultural land occupation):**

Se refiere al uso (ocupación) de una superficie de suelo rural por actividades tales como la agricultura. La ocupación de la tierra considera los efectos del uso de la tierra, la extensión de la superficie implicada y la duración de su ocupación.

Unidad: m²a (metros cuadrados por tiempo medido en años).

- **Ocupación de suelo urbano (urban land occupation):**

Hace referencia al uso (ocupación) de una superficie de suelo urbano por actividades tales como las carreteras, viviendas, etc. La ocupación de la tierra considera los efectos del uso de la tierra, la extensión de la superficie implicada y la duración de su ocupación.

Unidad: m²a (metros cuadrados por tiempo medido en años).

- **Transformación de suelo natural (natural land transformation):**

Se refiere a la conversión (transformación) de una superficie de suelo natural por actividades tales como la agricultura, carreteras, viviendas, minería, etc. La transformación de la tierra considera los efectos del uso de la tierra y la extensión de la superficie implicada.

Unidad: m² (metros cuadrados).

- **Uso de agua (water depletion):**

Categoría de impacto ambiental que se refiere al uso de agua. El agua es un recurso escaso en el planeta y cada vez más apreciado. La sensibilización hacia el agotamiento del recurso agua, ha llevado al desarrollo del concepto Huella Hídrica.

Unidad: m³ (metros cúbicos).

- **Uso de recursos naturales (metal depletion):**

Categoría de impacto ambiental que se refiere al uso de recursos naturales, sean renovables o no renovables, bióticos o abióticos. Hace referencia al consumo de materiales extraídos de la naturaleza (medido en peso).

Unidad: kg Fe equivalente (hierro).

- **Uso de combustibles fósiles (fossil depletion):**

Categoría de impacto ambiental que se refiere al uso de recursos naturales, sean renovables o no renovables, bióticos o abióticos. Hace referencia a la Energía consumida en la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado.

Unidad: kg oil equivalente.

- **Salud humana (human health):**

Categoría de daño referente a la salud humana, que hace alusión a los años perdidos debido a la mala salud, discapacidad o muerte prematura.

Unidad: DALY (Disability-Adjusted Life Year).

- **Ecosistemas (ecosystems):**

Categoría de daño referente los ecosistemas. Mide el índice de extinción de las especies que son conocidas, por año.

*Unidad: species*yr (species*year).*

- **Recursos (resources):**

Categoría de daño referente a la disponibilidad de recursos. Se basa en el incremento marginal de los costes de extracción de una cantidad de mineral, asumiendo que tras haber extraído los “mejores” recursos, la extracción de recursos se encarecerá.

Unidad: \$ (dólares).

- **Puntuación única (milipuntos):**

Puntuación que hace referencia a la globalidad de todo el impacto asociado a unos aspectos ambientales. Obtenida a través del cálculo en diferentes pasos, normalizando y ponderando diferentes categorías de impacto ambiental para llegar a un único número final.

Unidad: mPt (milipuntos).

3.1.3. Interpretación de los resultados

En los próximos puntos se van a mostrar los resultados del Análisis de Ciclo de Vida de los 117 casos de vehículo propuestos al comienzo del estudio, utilizando el alcance de la cuna a la tumba.

Para obtener los mencionados resultados, se ha buscado comparar los distintos coches del análisis con las metodologías ReCiPe MidPoint y EndPoint, como se puede observar en la Figura 24 y Figura 25. De la primera de las metodologías, se ha escogido la categoría de cambio climático para medir los kilogramos de CO₂ equivalente que se emiten a la hora recorrer la distancia deseada, referida a la unidad funcional. De la segunda metodología, se van a cuantificar la cantidad de milipuntos, previamente ponderados desde los diferentes aspectos ambientales, referidos a la conducción del vehículo en cada caso.

Nombre

Comentario

Función de cálculo

Red

Arbol

Analizar

Comparar

Método

ReCiPe Endpoint (H) V1.12 / World ReCiPe H/A

Producto	Cantidad	Ud.	Proyecto
_IBE_Transport, passenger car, large size, petrol, EURO 5 (RoW) transport, passenger car, large size, petrol, EURO 5 Alloc Rec, U	1	km	Ecoinvent 3 - allocation, recycled content - unit

Interruptores

Excluir procesos de infraestructura

Excluir emisiones a largo plazo

Figura 24.- Metodología ReCiPe EndPoint.

Nombre

Comentario

Función de cálculo

Red

Arbol

Analizar

Comparar

Método

ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / World Recipe H

Producto	Cantidad	Ud.	Proyecto
_IBE_Transport, passenger car, large size, petrol, EURO 5 (RoW) transport, passenger car, large size, petrol, EURO 5 Alloc Rec, U	1	km	Ecoinvent 3 - allocation, recycled content - unit

Interruptores

Excluir procesos de infraestructura

Excluir emisiones a largo plazo

Figura 25.- Metodología ReCiPe MidPoint.

A la hora de realizar la comparación correctamente y con sentido, habrá que tener en cuenta diferentes criterios de comparación, ya que hay distintas variables que van a hacer posible obtener los datos de dos distintos modos.

Por un lado, no se van a comparar en ningún momento los vehículos que tengan distinto tamaño y peso. Es decir, se van a comparar los coches por medido de tres grupos: los de tamaño pequeño, mediano y grande. Esta distinción va a ser realizada de este modo ya que las entradas de materiales y energía, la cantidad de combustible alimentada para su funcionamiento, etc. van a variar debido a su peso, y por tanto los impactos ambientales también.

Por otro lado, para esta equiparación, no va a interesar tampoco comparar los vehículos que hagan distintos recorridos. Es decir, no será necesario comparar los impactos realizados por un vehículo pequeño que recorre 30 km en ciudad con uno que recorra 500 km en carretera o autopista. Esto es debido a que, en este caso, aunque ambos precisen los mismos procesos de fabricación, no van a tener los mismos consumos.

Finalmente, la comparación de los casos se va a centrar en las dos variables restantes: el combustible utilizado para alimentar el motor y el país en el que se va a realizar el recorrido previamente fijado. Por lo tanto, se van a hacer dos comparaciones que tienen en cuenta las dos anteriores variantes. Por una parte, se van a agrupar los casos por el combustible que utiliza el motor y se va a calcular en que países se encuentran los casos más favorables y desfavorables en lo que a la perspectiva ambiental se refiere. Por la otra, se va a realizar lo contrario. Es decir, se van a agrupar los casos por países en los que se haga el recorrido y se van a comparar los distintos combustibles que se utilicen en cada uno de los estados, consiguiendo deducir cuales son los casos más favorables y desfavorables.

Tras esta primera comparativa, en la que se van a conseguir los mejores y peores casos para el medioambiente, se va a analizar cada uno de estos casos para extraer de qué fase del ciclo de vida provienen los impactos más representativos de los vehículos.

Para ello, en este análisis se tienen en cuenta los siguientes puntos dentro del ciclo de vida total de los distintos vehículos analizados:

- Extracción de materiales de la naturaleza.
- Procesos productivos para las piezas de las que se disponía de esta información.
- Uso de recursos y generación de residuos en la fase de fabricación.
- El consumo de combustible en la fase de uso.
- Las piezas y materiales repuestos para el mantenimiento.
- La gestión de los residuos.

Además, en el análisis el impacto va a ser descompuesto en cinco etapas:

- Impacto de la fase de uso de materiales
- Impacto de la fase de fabricación.
- Impacto de la fase de uso.
- Impacto de la fase de mantenimiento.
- Impacto de la fase de fin de vida.

3.1.3.1. Análisis de la cuna a la tumba de los vehículos clasificados por combustibles

Como se ha mencionado previamente, en esta primera comparación de casos se van a clasificar por el combustible que se le esté alimentando al motor siendo independientes el tamaño del vehículo y el recorrido que haga. Se van a analizar con las metodologías MidPoint y EndPoint, midiendo los impactos ambientales en kg de CO₂ equivalente y milipuntos respectivamente.

Por lo tanto, se van a realizar tres divisiones teniendo en cuenta el combustible del vehículo (gasolina, diésel o BiFuel) y dos métodos comparativos para cada caso (MidPoint y EndPoint).

En las próximas figuras relacionadas a los resultados de las metodologías MidPoint y EndPoint, cada color relativo a las columnas de las gráficas va a estar referido a los países en los que se conduzca distribuidas por los recorridos que haga el vehículo.

- **Vehículos con motor de gasolina**

Entre los vehículos alimentados por gasolina se va a encontrar una primera restricción que hará disminuir el número de casos a analizar, como bien se ha comentado en las singularidades del producto. Esta va a ser que en Brasil no está permitido utilizar este tipo de combustible, por lo que este habrá menos coches a comparar.

De este modo, se van a comparar, agrupando los casos por tamaño de vehículo, los vehículos alimentados por gasolina para los países restantes. Como se puede observar en la Figura 26, Figura 27 y Figura 28, en los valores referidos a los kilogramos de CO₂ equivalente y a los milipuntos son difícilmente apreciables para los diferentes casos analizados. Se podrá hacer el estudio mejor observando a la Tabla 23 en la que se muestran los valores de cada caso.

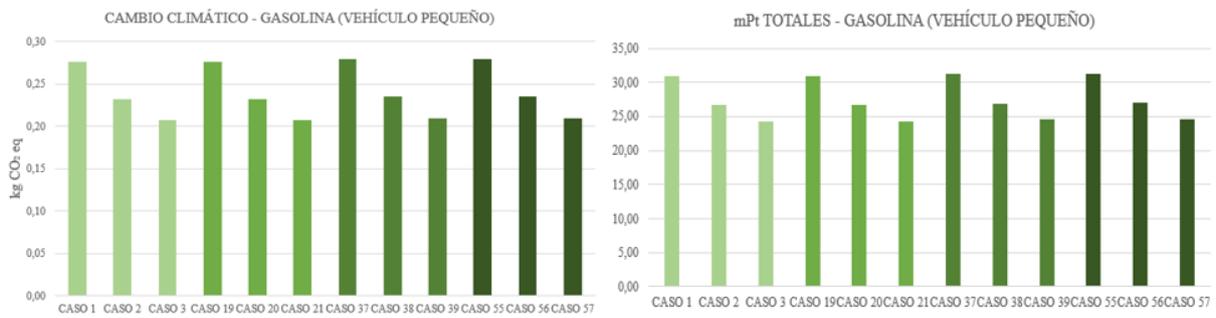


Figura 26.- Comparativa MidPoint y EndPoint de los vehículos pequeños de gasolina.

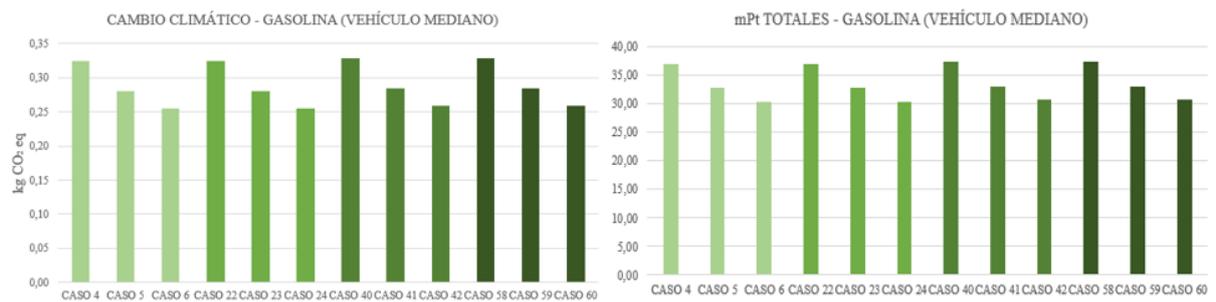


Figura 27.- Comparativa MidPoint y Endpoint para los vehículos medianos de gasolina.

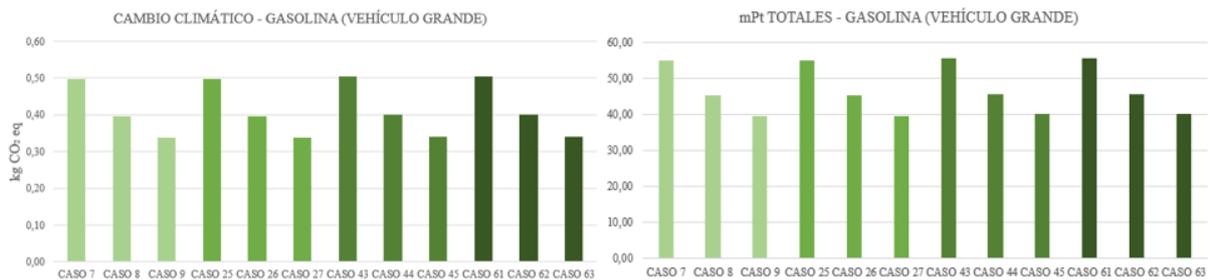


Figura 28.- Comparativa MidPoint y EndPoint para los vehículos grandes de gasolina.

En la tabla mencionada, se observa que las variaciones de impactos ambientales de un mismo tipo de coche en distintos países van a ser mínimas. Es decir, para España y Reino Unido los impactos son idénticos debido al tipo de indicador utilizado y los datos considerados. En cambio, para Estados Unidos serán algo mayores por ser más impactantes los métodos de producción del fuel. Finalmente, para México se van a sacar los peores impactos ambientales debido a que la legislación utilizada para las emisiones de los vehículos en la fase de uso en ese país está obsoleta comparándola con la de los restantes (Euro 4 en México frente a Euro 5 de los demás países) y por ello las restricciones serán menores.

Al ampliarlo al recorrido total estimado de cada combustible, como se muestra en las dos últimas columnas de la tabla previa, se observa mejor la diferencia que tiene conducir un vehículo de iguales características y mismo combustible en los diferentes países. Por lo tanto, se refuerzan las estimaciones hechas a la hora de ver las figuras.

Tabla 23.- Resultados MidPoint y EndPoint para los vehículos de gasolina.

Casos	Recorrido	Distancia analizada: 1 km		Distancia analizada: km totales	
		MidPoint (kg CO ₂ eq)	EndPoint (mPt)	MidPoint (kg CO ₂ eq)	EndPoint (mPt)
<i>Vehículos pequeños</i>					
1	30 km	3,763E-01	3,089E+01	8,289E+00	9,266E+02
19	30 km	3,763E-01	3,089E+01	8,289E+00	9,266E+02
37	30 km	2,795E-01	3,122E+01	8,384E+00	9,367E+02
55	30 km	2,795E-01	3,124E+01	8,385E+00	9,371E+02
2	100 km	2,319E-01	2,665E+01	2,319E+01	2,665E+03
20	100 km	2,319E-01	2,665E+01	2,319E+01	2,665E+03
38	100 km	2,346E-01	2,694E+01	2,346E+01	2,694E+03
56	100 km	2,346E-01	2,695E+01	2,346E+01	2,695E+03
3	500 km	2,069E-01	2,427E+01	1,035E+02	1,214E+04
21	500 km	2,069E-01	2,427E+01	1,035E+02	1,214E+04
39	500 km	2,094E-01	2,454E+01	1,047E+02	1,227E+04
57	500 km	2,094E-01	2,455E+01	1,047E+02	1,227E+04
<i>Vehículos medianos</i>					
4	30 km	3,247E-01	3,698E+01	9,740E+00	1,109E+03
22	30 km	3,247E-01	3,698E+01	9,740E+00	1,109E+03
40	30 km	3,285E-01	3,738E+01	9,854E+00	1,122E+03
58	30 km	3,285E-01	3,740E+01	9,855E+00	1,122E+03
5	100 km	2,803E-01	3,275E+01	2,803E+01	3,275E+03
23	100 km	2,803E-01	3,275E+01	2,803E+01	3,275E+03
41	100 km	2,836E-01	3,311E+01	2,836E+01	3,311E+03
59	100 km	2,836E-01	3,312E+01	2,836E+01	3,312E+03
6	500 km	2,533E-01	3,037E+01	1,276E+02	1,519E+04
24	500 km	2,533E-01	3,037E+01	1,276E+02	1,519E+04
42	500 km	2,584E-01	3,070E+01	1,292E+02	1,535E+04
60	500 km	2,584E-01	3,071E+01	1,292E+02	1,536E+04
<i>Vehículos grandes</i>					
7	30 km	4,979E-01	5,497E+01	1,494E+01	1,649E+03
25	30 km	4,979E-01	5,497E+01	1,494E+01	1,649E+03
43	30 km	5,036E-01	5,557E+01	1,511E+01	1,667E+03
61	30 km	5,036E-01	5,559E+01	1,511E+01	1,668E+03
8	100 km	3,952E-01	4,519E+01	3,952E+01	4,519E+03
26	100 km	3,952E-01	4,519E+01	3,952E+01	4,519E+03
44	100 km	3,999E-01	4,568E+01	3,999E+01	4,568E+03
62	100 km	3,999E-01	4,570E+01	3,999E+01	4,570E+03
9	500 km	3,369E-01	3,089E+01	1,685E+02	1,982E+04
27	500 km	3,369E-01	3,089E+01	1,685E+02	1,982E+04
45	500 km	3,410E-01	4,007E+01	1,705E+02	2,004E+04
63	500 km	3,410E-01	4,008E+01	1,705E+02	2,004E+04

- Vehículos con motor de diésel

Para el caso de los vehículos con motor alimentado por diésel, no hay restricciones legislativas para poder utilizar el combustible en alguno de los países mencionados en los que se ha realizado el estudio.

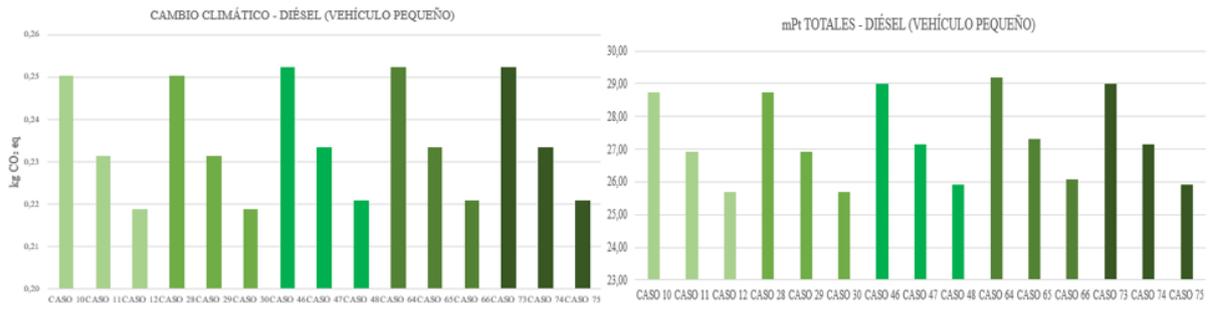


Figura 29.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños de diésel.

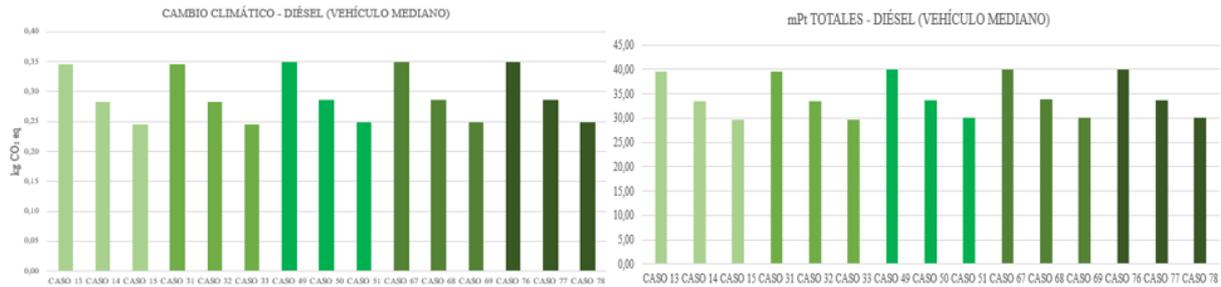


Figura 30.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos de diésel.

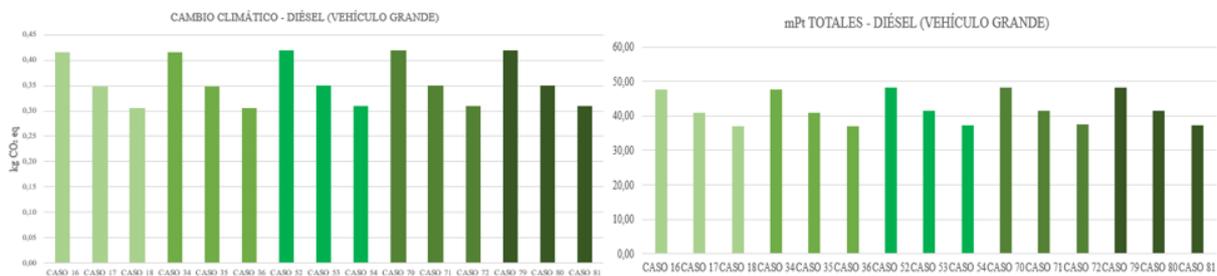


Figura 31.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes de diésel.

De este modo, a la hora de comparar los casos a analizar con los criterios de agrupación previamente expuestos, los resultados obtenidos mediante la metodología MidPoint siguen siendo difícilmente diferenciables a simple vista como se observa en la Figura 29, Figura 30 y Figura 31. Por otro lado, los resultados obtenidos desde la metodología EndPoint son más gráficos. Es decir, muestran la misma tendencia que se ha contemplado para los vehículos alimentados de gasolina.

Para poder ver los resultados con mayor claridad, en la Tabla 24 se van a observar los resultados de ambas metodologías relativos a los trayectos contemplados de dos maneras: reducidos a 1 km recorrido (unidad funcional) y teniendo en cuenta todo el recorrido.

Analizando con minuciosidad la comparativa entre los casos agrupados, se va a finalizar con la misma conclusión que con el combustible previo. Es decir, tanto en España como en Reino Unido se van a tener los mismos impactos ambientales. Por otro lado, Estados Unidos y Brasil, ambos con legislación de emisiones de los automóviles Euro 5, habrá impactos iguales, aunque algo superiores que para los países europeos. Finalmente, en México, debido a que la restricción de emisiones es menor, será donde los impactos de los vehículos alimentados por diésel sean mayores.

Tabla 24.- Resultados MidPoint y EndPoint para los vehículos de diésel.

Casos	Recorrido	Distancia analizada: 1 km		Distancia analizada: km totales	
		MidPoint (kg CO ₂ eq)	EndPoint (mPt)	MidPoint (kg CO ₂ eq)	EndPoint (mPt)
<i>Vehículos pequeños</i>					
10	30 km	2,503E-01	2,874E+01	7,508E+00	8,622E+02
28	30 km	2,503E-01	2,874E+01	7,508E+00	8,622E+02
46	30 km	2,525E-01	2,900E+01	7,574E+00	8,700E+02
64	30 km	2,525E-01	2,919E+01	7,574E+00	8,758E+02
73	30 km	2,525E-01	2,900E+01	7,574E+00	8,700E+02
11	100 km	2,314E-01	2,691E+01	2,314E+01	2,619E+03
29	100 km	2,314E-01	2,691E+01	2,314E+01	2,619E+03
47	100 km	2,335E-01	2,715E+01	2,335E+01	2,715E+03
65	100 km	2,335E-01	2,732E+01	2,335E+01	2,732E+03
74	100 km	2,335E-01	2,715E+01	2,335E+01	2,715E+03
12	500 km	2,188E-01	2,568E+01	1,094E+02	1,284E+04
30	500 km	2,188E-01	2,568E+01	1,094E+02	1,284E+04
48	500 km	2,209E-01	2,592E+01	1,104E+02	1,296E+04
66	500 km	2,209E-01	2,608E+01	1,104E+02	1,304E+04
75	500 km	2,209E-01	2,592E+01	1,104E+02	1,296E+04
<i>Vehículos medianos</i>					
13	30 km	3,460E-01	3,954E+01	1,038E+01	1,186E+03
31	30 km	3,460E-01	3,954E+01	1,038E+01	1,186E+03
49	30 km	3,490E-01	3,988E+01	1,047E+01	1,196E+03
67	30 km	3,490E-01	4,002E+01	1,047E+01	1,201E+03
76	30 km	3,490E-01	3,988E+01	1,047E+01	1,196E+03
14	100 km	2,832E-01	3,342E+01	2,832E+01	3,342E+03
32	100 km	2,832E-01	3,342E+01	2,832E+01	3,342E+03
50	100 km	2,858E-01	3,371E+01	2,858E+01	3,371E+03
68	100 km	2,858E-01	3,381E+01	2,858E+01	3,381E+01
77	100 km	2,858E-01	3,371E+01	2,858E+01	3,371E+03
15	500 km	2,454E-01	2,974E+01	1,227E+02	1,487E+04
33	500 km	2,454E-01	2,974E+01	1,227E+02	1,487E+04
51	500 km	2,479E-01	3,000E+01	1,239E+02	1,500E+04
69	500 km	2,479E-01	3,009E+01	1,239E+02	1,505E+04
78	500 km	2,479E-01	3,000E+01	1,239E+02	1,500E+04
<i>Vehículos grandes</i>					
16	30 km	4,166E-01	4,774E+01	1,250E+01	1,432E+03
34	30 km	4,166E-01	4,774E+01	1,250E+01	1,432E+03
52	30 km	4,203E-01	4,816E+01	1,261E+01	1,445E+03
70	30 km	4,203E-01	4,837E+01	1,261E+01	1,451E+03
79	30 km	4,203E-01	4,816E+01	1,261E+01	1,445E+03
17	100 km	4,166E-01	4,103E+01	3,475E+01	4,103E+03
35	100 km	4,166E-01	4,103E+01	3,475E+01	4,103E+03
53	100 km	3,507E-01	4,140E+01	3,507E+01	4,140E+03
71	100 km	3,507E-01	4,156E+01	3,507E+01	4,156E+03
80	100 km	3,507E-01	4,140E+01	3,507E+01	4,140E+03
18	500 km	3,066E-01	3,707E+01	1,533E+02	1,853E+04
36	500 km	3,066E-01	3,707E+01	1,533E+02	1,853E+04
54	500 km	3,096E-01	3,741E+01	1,548E+02	1,870E+04
72	500 km	3,096E-01	3,753E+01	1,548E+02	1,877E+04
81	500 km	3,096E-01	3,741E+01	1,548E+02	1,870E+04

- **Vehículos con motor BiFuel**

En el caso de los vehículos con motor BiFuel o motor de combustible flexible, siendo la gasolina uno de los dos carburantes que se le va a alimentar al coche, se va a encontrar la misma restricción legislativa que con los casos de los vehículos que funcionan a gasolina. Es decir, en Brasil no se va a disponer de este tipo de casos para realizar la comparativa ya que es un carburante prohibido.

Para este caso, se van a seguir repitiendo las mismas tendencias que en los vehículos alimentados por gasolina y diésel. Las comparaciones entre los casos, desde el punto de vista gráfico, van a ser mínimas para ambas metodologías como se muestra en la Figura 32, Figura 33 y Figura 34. Por lo tanto, habrá que mirar los datos en la Tabla 25, en la que los resultados se van a mostrar con perspectiva del recorrido total y de este mismo recorrido, pero reducido a 1 km.

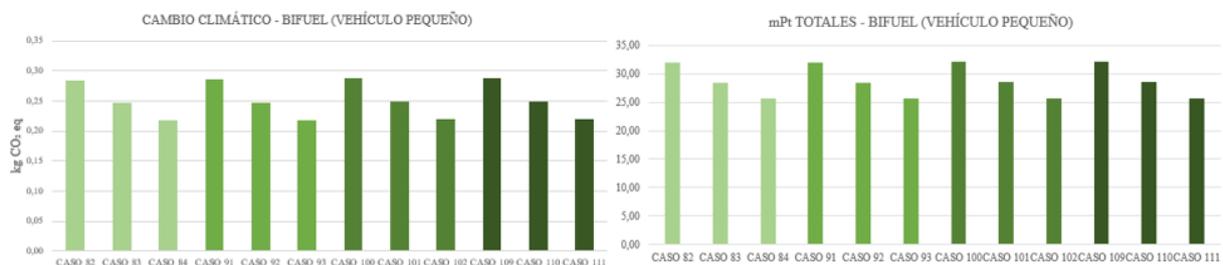


Figura 32.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños BiFuel.

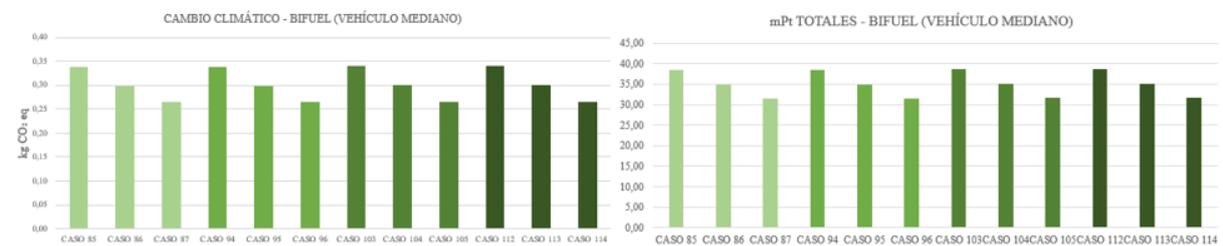


Figura 33.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos BiFuel.

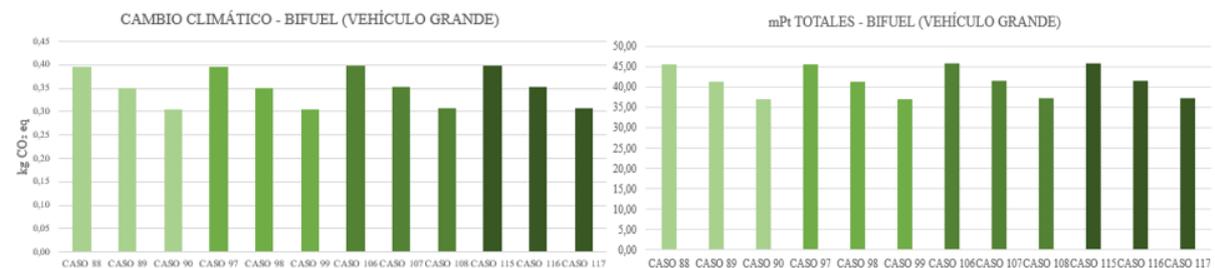


Figura 34.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes BiFuel.

Al analizar los resultados, se contempla que, como ya ha ocurrido en los casos de los vehículos de gasolina y diésel, en los países europeos estudiados se realizan menos impactos durante el ciclo de vida del vehículo. Después, en Estados Unidos los impactos ambientales serán algo mayores, y finalmente, en México debido a las normas de límites de emisiones de los vehículos (Euro 4 en este país), se van a obtener los mayores impactos.

Tabla 25.- Resultados MidPoint y EndPoint para vehículos BiFuel.

Casos	Recorrido	Distancia analizada: 1 km		Distancia analizada: km totales	
		MidPoint (kg CO ₂ eq)	EndPoint (mPt)	MidPoint (kg CO ₂ eq)	EndPoint (mPt)
<i>Vehículos pequeños</i>					
82	30 km	2,851E-01	3,192E+01	8,554E+00	9,575E+02
91	30 km	2,851E-01	3,192E+01	8,554E+00	9,575E+02
100	30 km	2,873E-01	3,124E+01	8,618E+00	9,642E+02
109	30 km	2,873E-01	3,215E+01	8,618E+00	9,644E+02
83	100 km	2,478E-01	2,844E+01	2,478E+01	2,844E+03
92	100 km	2,478E-01	2,844E+01	2,478E+01	2,844E+03
101	100 km	2,490E-01	2,857E+01	2,490E+01	2,857E+03
110	100 km	2,490E-01	2,857E+01	2,490E+01	2,857E+01
84	500 km	2,182E-01	2,559E+01	1,091E+02	1,279E+04
93	500 km	2,182E-01	2,559E+01	1,091E+02	1,279E+04
102	500 km	2,194E-01	2,571E+01	1,097E+02	1,285E+04
111	500 km	2,194E-01	2,571E+01	1,097E+02	1,285E+04
<i>Vehículos medianos</i>					
85	30 km	3,374E-01	3,842E+01	1,012E+01	1,153E+03
94	30 km	3,374E-01	3,842E+01	1,012E+01	1,153E+03
103	30 km	3,400E-01	3,869E+01	1,020E+01	1,161E+03
112	30 km	3,400E-01	3,870E+01	1,020E+01	1,161E+01
86	100 km	2,987E-01	3,483E+01	2,987E+01	3,483E+03
95	100 km	2,987E-01	3,483E+01	2,987E+01	3,483E+03
104	100 km	3,003E-01	3,500E+01	3,003E+01	3,500E+03
113	100 km	3,003E-01	3,500E+01	3,003E+01	3,500E+03
87	500 km	2,644E-01	3,152E+01	1,322E+02	1,576E+04
96	500 km	2,644E-01	3,152E+01	1,322E+02	1,576E+04
105	500 km	2,660E-01	3,169E+01	1,330E+02	1,584E+04
114	500 km	2,660E-01	3,169E+01	1,330E+02	1,584E+04
<i>Vehículos grandes</i>					
88	30 km	3,949E-01	4,452E+01	1,185E+01	1,363E+03
97	30 km	3,949E-01	4,452E+01	1,185E+01	1,363E+03
106	30 km	3,980E-01	4,575E+01	1,194E+01	1,373E+03
115	30 km	3,980E-01	4,576E+01	1,194E+01	1,373E+03
89	100 km	3,495E-01	4,121E+01	3,495E+01	4,121E+03
98	100 km	3,495E-01	4,121E+01	3,495E+01	4,121E+03
107	100 km	3,515E-01	4,142E+01	3,515E+01	4,142E+03
116	100 km	3,515E-01	4,142E+01	3,515E+01	4,142E+03
90	500 km	3,056E-01	3,696E+01	1,528E+02	1,848E+04
99	500 km	3,056E-01	3,696E+01	1,528E+02	1,848E+04
108	500 km	3,075E-01	3,717E+01	1,537E+02	1,858E+04
117	500 km	3,075E-01	3,717E+01	1,537E+02	1,858E+04

3.1.3.1.1. Conclusiones

Para hacer una comparación general entre los distintos vehículos, siendo clasificados por el carburante que quema el coche en el proceso, la única variable a analizar va a ser el país en el que se realice el ciclo de vida del coche.

Para todos los vehículos analizados, se han observado ciertas semejanzas entre los diferentes casos. Por un lado, debido a que los indicadores que se han creado en SimaPro referidos al ciclo

de vida del vehículo en España y Reino Unido son similares, las emisiones que se generen en ambos casos serán iguales. Por otro lado, en Estados Unidos y Brasil, para el caso del diésel, ocurrirá lo mismo que para los dos países europeos y por ello sus emisiones serán iguales.

Dicho esto, debido a que en los casos de España y Reino Unido las fabricaciones y usos son más limpias que para las restantes, van a ser los casos más favorables desde el punto de vista medioambiental para cualquiera de los escenarios. Entre los tres países restantes, la fase de fabricación del vehículo y la producción del carburante va a ser igual. Pero debido a la normativa de emisiones de vehículos mexicana, que está regulada por una norma equivalente a la Euro 4, las emisiones van a ser mayores que para las restantes. Esto va a ser así ya que, al ser una norma más antigua, las restricciones de emisiones de los vehículos son menores.

Por ello, los países menos desfavorables al medioambiente son España y Reino Unido, seguidos de Estados Unidos y Brasil, con México a la cola.

3.1.3.2. Análisis de la cuna a la tumba de los vehículos clasificados por países

Del mismo modo que se hacía con los vehículos al estar clasificados por combustibles, a la hora de clasificarlos por países en los que se haga el estudio de ciclo de vida del coche, van a seguir siendo independientes el tamaño del vehículo y el recorrido que haga. Por lo tanto, se van a analizar mediante las metodologías MidPoint y EndPoint realizando cinco divisiones teniendo en cuenta el país (España, Reino Unido, Estados Unidos, Brasil y México).

También se van a mostrar las próximas figuras relacionadas con las metodologías de análisis utilizadas, empleando tres escalas de colores para las columnas de las gráficas, siendo cada uno de los colores para cada método de alimentación al motor.

- **Vehículos en España**

Como previamente ha sido mencionado, se van a estudiar los tres métodos de alimentación de combustible al motor para cada país. Para el caso de España, como se puede contemplar en la Figura 35, Figura 36 y Figura 37, las diferencias entre los casos con distintos carburantes son más significativas que para los estudios del apartado anterior.

En los vehículos pequeños, para los tres distintos recorridos se puede contemplar que fácilmente que son los coches alimentados de gasolina los que menos impactos ambientales generan en su ciclo de vida. En el otro extremo se encuentra el diésel, que va a ser el que mayores impactos ambientales emita.

Para los vehículos medianos, se puede observar que la mejor alternativa es la del diésel. Esto se debe a que sus impactos son inferiores a los producidos en los coches de gasolina y motor BiFuel.

Finalmente, en los vehículos grandes será el vehículo con motor de combustible flexible el que esté a la cabeza en lo que a generar menos impactos ambientales durante su ciclo de vida se refiere. Esto ocurre para los tres recorridos también, siendo los coches alimentados por gasolina los casos más desfavorables.

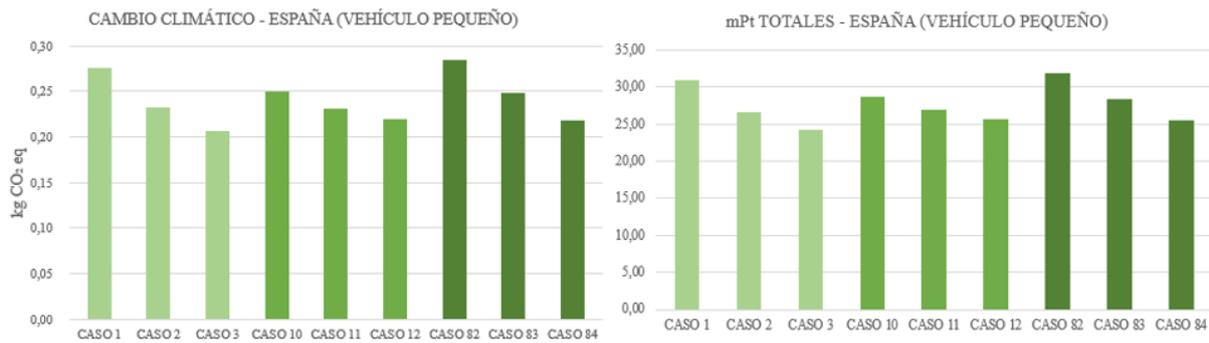


Figura 35.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños de España.

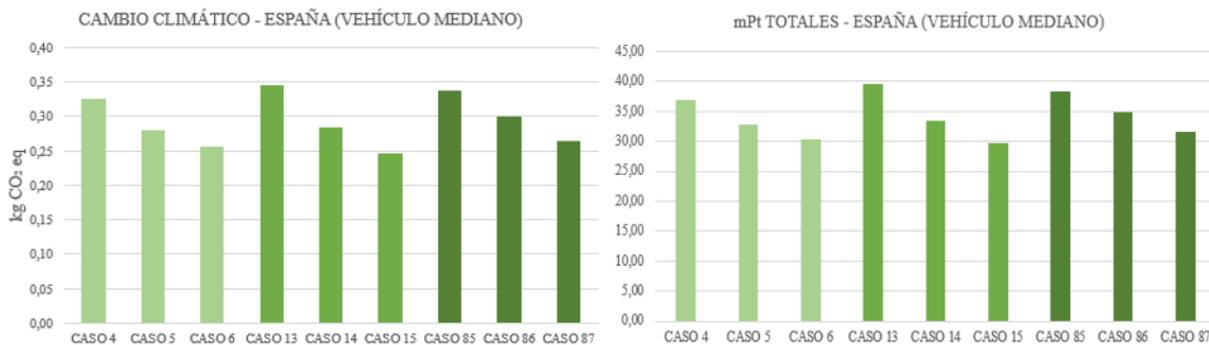


Figura 36.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos en España.

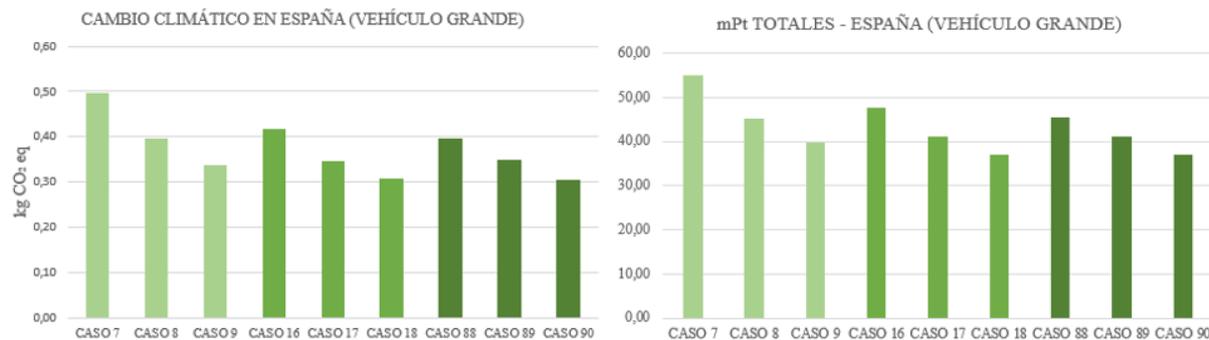


Figura 37.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes en España.

- Vehículos en Reino Unido

En el caso de Reino Unido, se va a hacer un estudio similar al realizado en España. Es decir, se van a analizar los casos respectivos al país clasificados por el combustible que alimenta el motor. Esto se va a mostrar en la Figura 38, Figura 39 y Figura 40.

Al analizar los datos recogidos desde cada una de las metodologías, se puede considerar que estos van a ser idénticos a los obtenidos en España. Esto va a ser así debido al modo en el que se ha generado el indicador en el software informático. Es decir, por la similitud que tienen los indicadores creados para España y para Reino Unido.

Por lo tanto, para los vehículos pequeños el mejor carburante será la gasolina, para los medianos el diésel y para los grandes la mezcla entre gasolina y el gas licuado de petróleo o GLP.

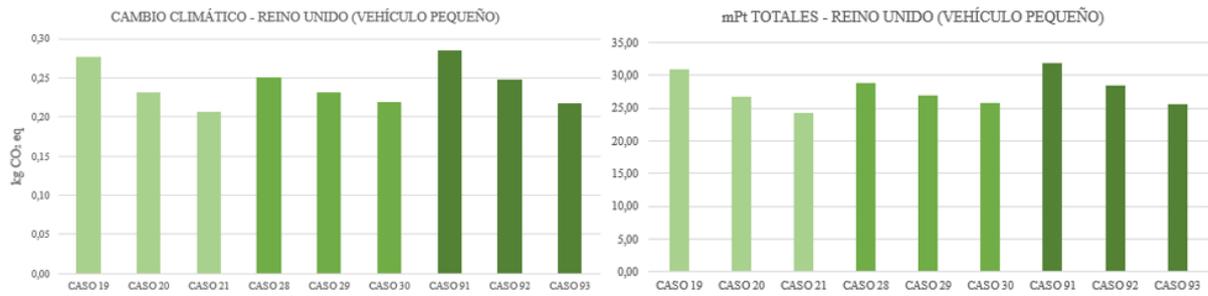


Figura 38.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños en Reino Unido.

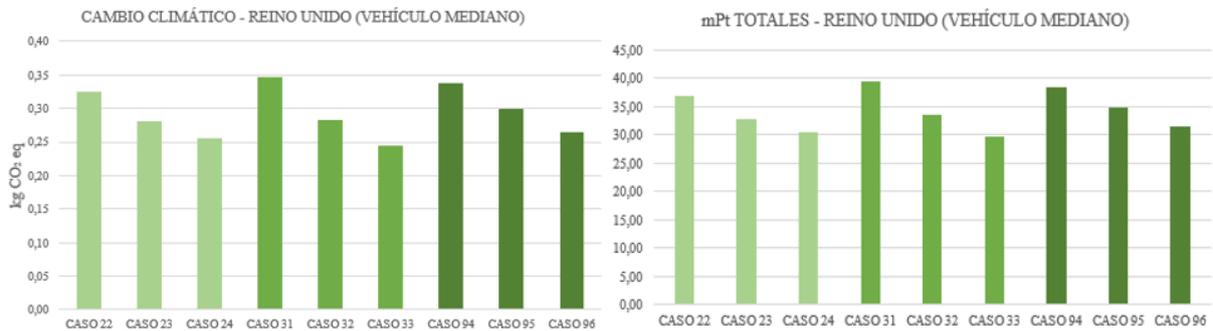


Figura 39.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos en Reino Unido.

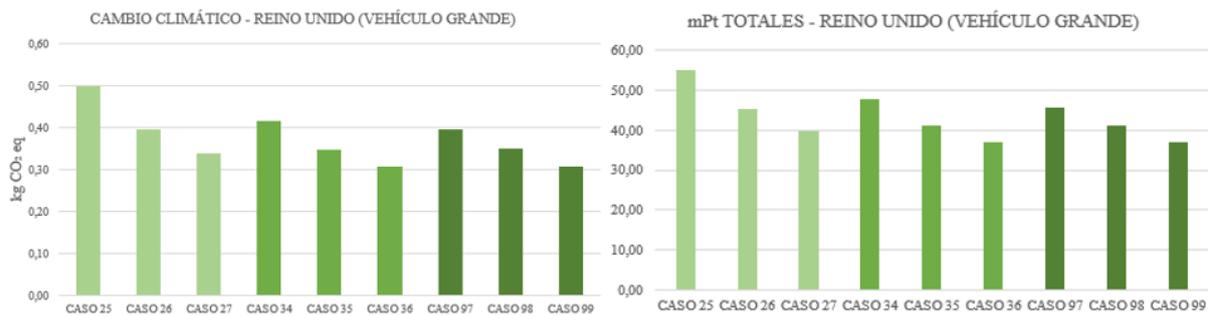


Figura 40.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes en Reino Unido.

- **Vehículos en Estados Unidos**

En el caso de los vehículos que completan su ciclo de vida en Estados Unidos, se van a estudiar todos los tipos de combustible que se han contemplado para realizar la comparativa ambiental que se busca en este informe.

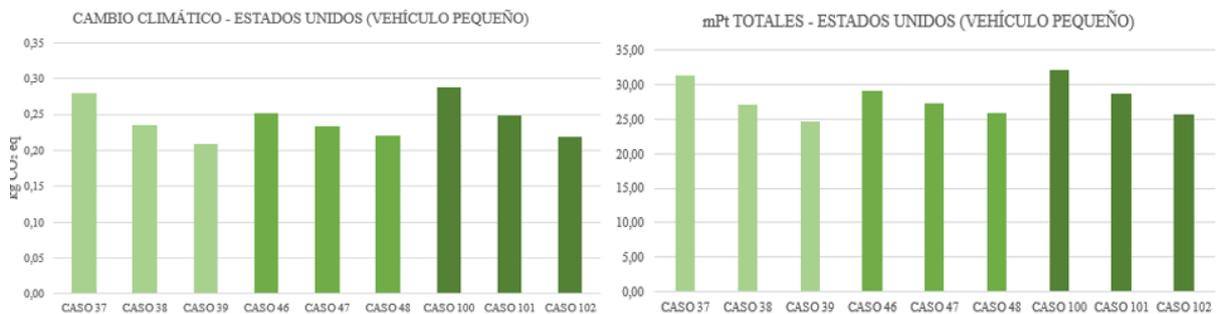


Figura 41.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños en Estados Unidos.

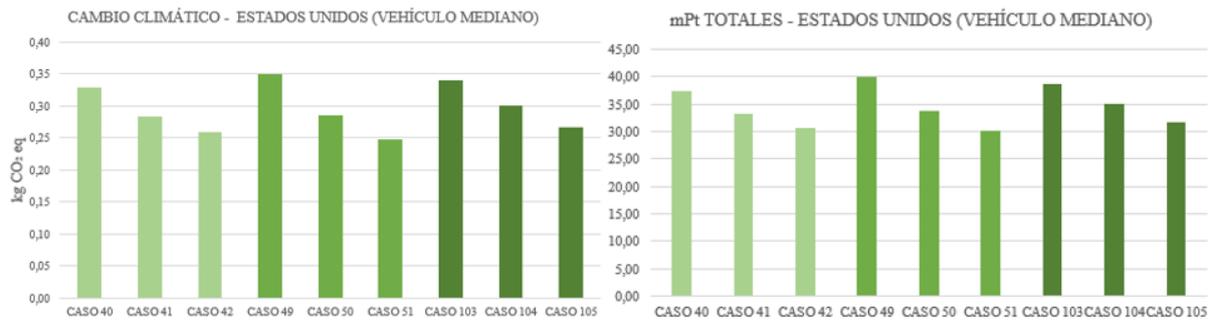


Figura 42.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos en Estados Unidos.

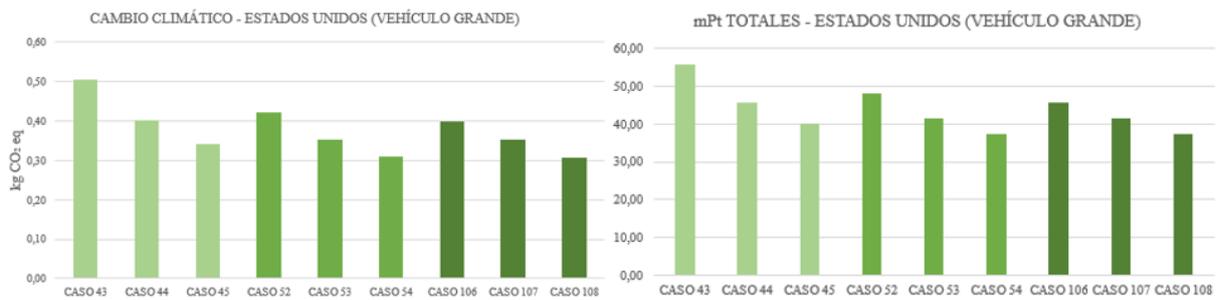


Figura 43.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes en Estados Unidos.

Como se puede observar en la Figura 41, Figura 42 y Figura 43, va a continuar con la misma tendencia que se ha visto en España y en Reino Unido. En el vehículo pequeño el mejor carburante será la gasolina, en el mediano el diésel y en el grande la mezcla entre gasolina y GLP. Aun así, hay que mencionar que en Estados Unidos los impactos van a ser mayores que en los anteriores países.

- Vehículos en México

A la hora de analizar los casos referidos a México, como en casos anteriores, se van a tener en cuenta tres métodos de alimentación de combustible: gasolina, diésel y una mezcla entre gasolina y GLP. Para que la comparación sea representativa, se va a mostrar en la Figura 44, Figura 45 y Figura 46 la comparativa de los casos relacionados con México.

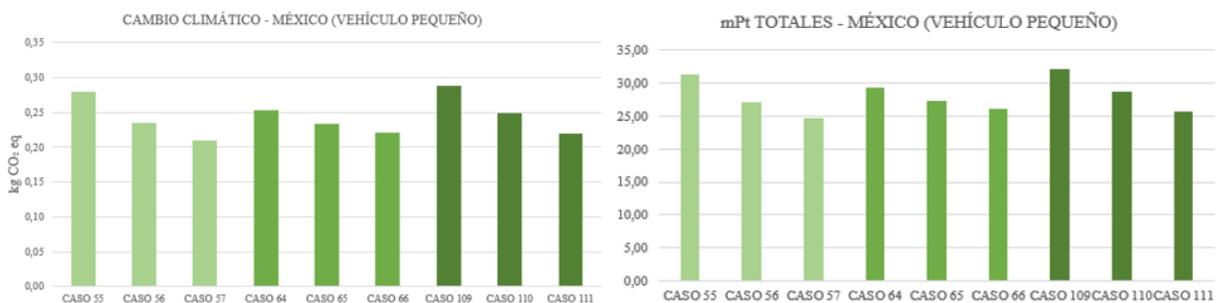


Figura 44.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos pequeños en México.

Los resultados obtenidos, mantienen la tendencia que se ha podido observar en los casos previos. Una tendencia que, desde el punto de vista ambiental, muestra como para los vehículos pequeños el mejor es el combustible de gasolina, para los medianos el mejor es el diésel y para los grandes la mezcla de gasolina y GLP.

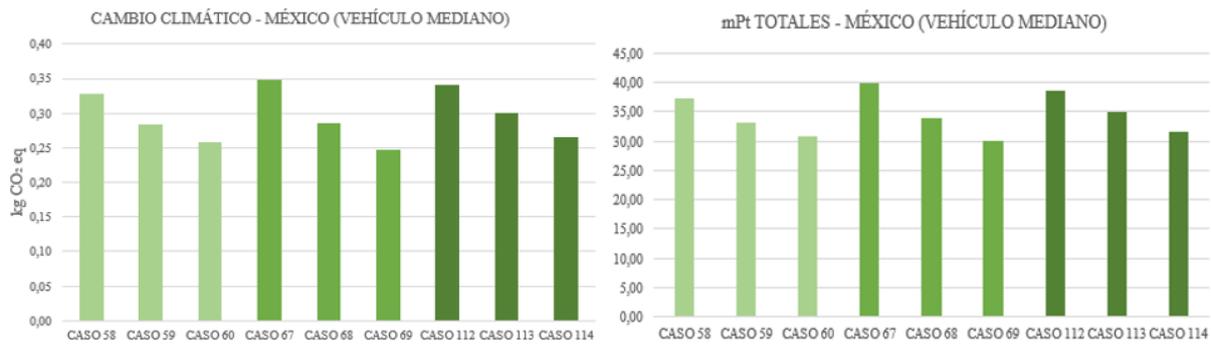


Figura 45.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos medianos en México.

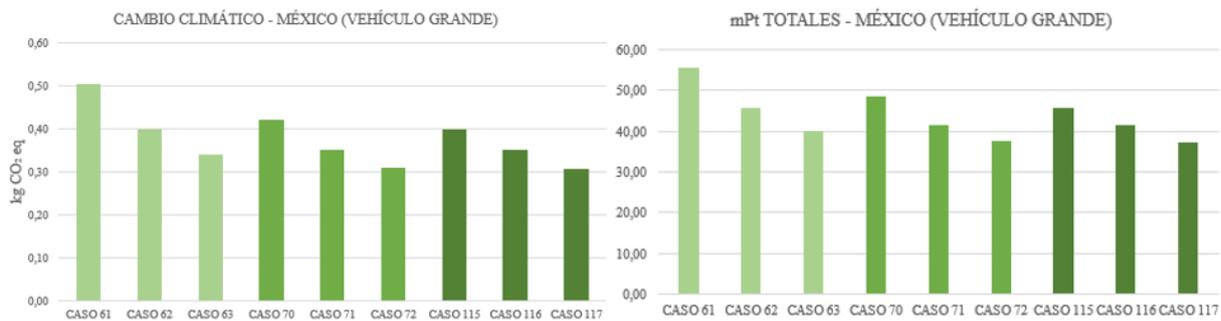


Figura 46.- Comparativa MidPoint y EndPoint para vehículos grandes en México.

- Vehículos en Brasil

Para el caso de los vehículos que realizan todo su ciclo de vida en Brasil, se va a encontrar la restricción legislativa referida a la gasolina. Dicha restricción prohíbe el uso de la gasolina para los vehículos de motor de combustión interna. Por esta razón, tanto los vehículos con motor de gasolina como los vehículos con motor de combustible flexible no se van a poder utilizar para este caso, ya que los motores BiFuel son alimentados de gasolina y GLP.

Por lo tanto, únicamente va a poder utilizarse como carburante el diésel, por lo que no va a poder hacerse una comparación entre combustibles distintos. Debido a esto no va a ser necesaria la comparación de carburantes para este país.

3.1.3.2.1. Conclusiones

A la hora de hacer una comparación general entre los distintos vehículos, siendo clasificados por el país en el que se realice el ciclo de vida del coche, la única variable a analizar va a ser el carburante que se le alimente al motor.

Como restricción principal, se ha observado que en Brasil no ha sido posible la comparación entre distintos carburantes debido a que solo se puede utilizar el diésel entre los combustibles propuestos para alimentar el motor.

Para los restantes, como ya pasara en la comparativa anterior, se va a encontrar la semejanza de que se repiten cuáles son las mejores y peores alternativas para alimentar el motor de un vehículo. Es decir, para el coche pequeño el mejor combustible es la gasolina, para el mediano el diésel y para el grande la mezcla de gasolina y GLP.

Hay que mencionar, que es muy peculiar que las mejores y peores alternativas para cada caso sean distintas. Es decir, debido a que hay unos consumos de carburante que han sido tomados como hipótesis del estudio, la cantidad que ha sido supuesta para cada uno de los casos puede ser tomada como defecto de cálculo del estudio.

Por ello, es recomendable realizar un estudio de las emisiones referidas a 1 kg quemado de cada tipo de combustible empleado en el estudio.

3.1.3.3. Análisis comparativo de la cuna a la tumba

Como en la conclusión del apartado previo ha sido mencionado, debido a que las comparaciones del ciclo de vida por países no han sido esclarecedoras para obtener un caso más beneficioso para el medioambiente, se va a hacer un último análisis para obtener cual es el mejor combustible.

Para ello, teniendo en cuenta las estadísticas ofrecidas por el Parque de vehículos de España en 2016, el tamaño de vehículo más común a nivel estatal es el mediano. Es decir, la mayoría de los coches oscilan en un peso cercano a los 1.600 kg. Este dato se va a tomar como base de estudio de interés, para introducir restricciones al estudio relacionadas al tamaño.

A la hora de observar el recorrido que se hace con el vehículo, se va a buscar disminuir el número de variables relacionadas con ello. Por ello, teniendo en cuenta el trayecto medio realizado por los conductores, se contemplar que la distancia más común conducida oscila los 100 km. Debido a esto, esta va a ser la segunda base de estudio de interés que se tome para el análisis.

Finalmente, haciendo caso a los resultados previamente obtenidos, se van a agrupar los países en los que se analicen los casos en tres sub-grupos. El primero de ellos será el formado por España y Reino Unido, el segundo el formado por Estados Unidos y Brasil, y el último el formado por México. Esta decisión ha sido tomada con intención de simplificar el número de casos a analizar, teniendo en cuenta que para los casos en los que todos los combustibles están disponibles, ya que en Brasil la gasolina está prohibida, hay similitudes dentro de los casos de los sub-grupos y distinciones con el resto de ellos.

Para el primero de los sub-grupos, que está formado por España y Reino Unido, el caso más favorable para los vehículos medianos en el recorrido de 100 km en carretera o autopista será aquel en el que se utilice la gasolina como combustible. Para hacer un mejor análisis del caso, se va a buscar conseguir de qué fase del caso vienen dados los impactos ambientales. Esto se va a poder ver en la Figura 47.

En la ilustración mencionada, se contempla mediante un árbol del ciclo de vida del caso a estudiar cuál de las fases del producto tiene más peso en los impactos ambientales. En este diagrama no se van a mostrar todos los procesos que aportan a las emisiones ya que el árbol sería infinito. Por lo tanto, se van a mostrar sólo los que mayor importancia tengan mediante un criterio de corte del 9,25% y van a estar mostrados con una línea más gruesa. De este modo, se puede deducir que la fase de quema del combustible será la que más importancia tenga en el ciclo de vida del vehículo diésel seguido por la producción de este.

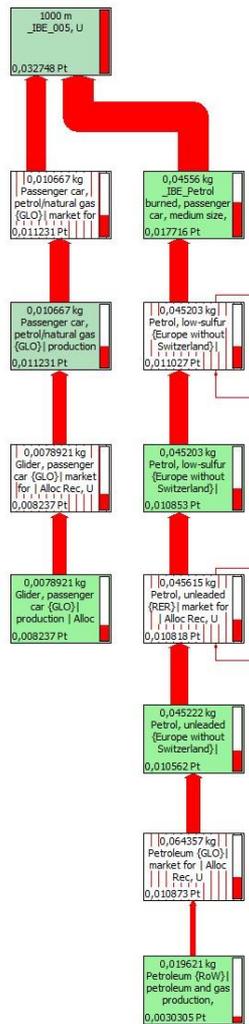


Figura 47.- Árbol del ciclo de vida del vehículo mediano de gasolina en España.

Para poder compararlo con el comportamiento de los demás casos de vehículo en España, se va a equiparar con los impactos de los coches restantes durante las fases del ciclo de vida más importantes. Esto se va a mostrar en la Tabla 26.

Tabla 26.- Comparativa EndPoint de los procesos más importantes del ciclo de vida de los vehículos medianos en España para 100 km de recorrido.

Proceso	Gasolina (mPt)	Diésel (mPt)	BiFuel (mPt)
Fabricación del vehículo	11,232	11,236	11,232
Fabricación de la carretera	2,098	2,098	2,098
Mantenimiento del vehículo	1,338	1,338	1,338
Combustible	17,717	18,378	19,796
Desgaste de la carretera	0,063	0,063	0,063
Desgaste del freno	0,238	0,238	0,238
Desgaste de las ruedas	0,064	0,064	0,064
Total	32,751	33,416	34,830

De la tabla se puede contemplar como los impactos ambientales de los diferentes vehículos son similares o iguales para muchos de los procesos. Es decir, la fabricación del coche, de la carretera, el mantenimiento del vehículo, etc. son casi iguales o idénticos. El apartado que hace destacar a unos sobre los otros es el de consumo del combustible y en este apartado se puede ver como la gasolina es la más limpia y la peor la alternativa del motor de combustible flexible. Esto puede tener origen en los consumos hipotéticos que se han impuesto durante el estudio y más adelante va a analizarse cuál es el mejor de los carburantes.

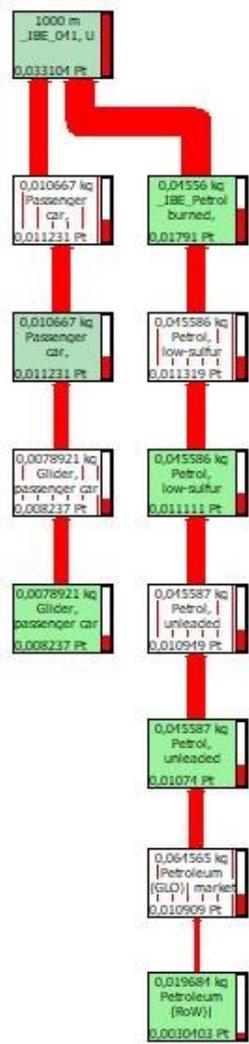


Figura 48.- Árbol del ciclo de vida del vehículo mediano de gasolina en Estados Unidos.

Para el segundo de los sub-grupos, formado por Estados Unidos y Brasil, el mejor caso desde el punto de vida ambiental vuelve a ser el de la gasolina en los vehículos medianos en el recorrido de 100 km. Con el mismo objetivo de hacer el análisis interpretable, se van a analizar los impactos ambientales relativos a los procesos que constituyen el ciclo de vida mediante el árbol de impactos que se muestra en la Figura 48.

Hay que mencionar, que el mejor de los casos no va a poder ser estudiado en uno de los países del sub-grupo ya que en Brasil está prohibida la gasolina. Al analizar el caso para Estados Unidos, el criterio de corte utilizado será de 9,18% y por lo tanto sólo se van a mostrar los más importantes. De este modo, se observa que la quema de gasolina es la que mayor aportación hace a los impactos del vehículo.

Con objetivo de comparar el impacto de los procesos del ciclo de vida del vehículo mediano en el presente sub-grupo, se va a comparar la importancia de cada una de las fases para los distintos combustibles utilizados. Esto se va a poder observar en la Tabla 27.

Tabla 27.- Comparativa EndPoint de los procesos más importantes del ciclo de vida de los vehículos medianos en Estados Unidos para 100 km de recorrido.

Proceso	Gasolina (mPt)	Diésel (mPt)	BiFuel (mPt)
Fabricación del vehículo	11,232	11,236	11,232
Fabricación de la carretera	2,098	2,098	2,098
Mantenimiento del vehículo	1,499	1,499	1,499
Combustible	17,911	18,507	19,805
Desgaste de la carretera	0,063	0,063	0,063
Desgaste del freno	0,238	0,238	0,238
Desgaste de las ruedas	0,065	0,065	0,065
Total	33,107	33,706	35,001

Para este caso, se vuelve a observar que los impactos son similares en todos los casos excepto para el caso del carburante consumido que es el que va a hacer que un caso destaque sobre el otro. De este modo, la quema de la cantidad de gasolina utilizada por el coche será la que menos impacto tenga de los carburantes utilizados. A la gasolina le sigue le diésel y después la mezcla de gasolina y GLP. Es importante mencionar, que las emisiones aumentan ligeramente al cambiar de sub-grupo para los casos del mantenimiento del vehículo y el combustible.

En el último de los subgrupos, formado por México únicamente, se va a observar también que, para los vehículos medianos y recorridos de 100 km en carretera o autopista, la mejor alternativa será el alimentar gasolina al motor. En la Figura 49, se va a mostrar cómo están distinguidas los impactos ambientales por su relevancia.

En este caso, se va a aplicar un criterio de corte del 9,18% para tener en cuenta los procesos que más impacto tengan. De este modo, se puede deducir que la fase de quema del combustible será la que más importancia tenga en el ciclo de vida del vehículo diésel seguido por la producción de este.

Con objetivo de comparar el impacto de los procesos del ciclo de vida del vehículo mediano en el presente sub-grupo, se va a comparar la importancia de cada una de las fases para los distintos combustibles utilizados. Esto se va a poder observar en la Tabla 28.

Para este último caso, se contempla que los impactos son similares en todos los casos excepto para el caso del carburante consumido que es el que va a hacer que un caso destaque sobre el otro. De este modo, la quema de la cantidad de gasolina utilizada por el coche será la que menos impacto tenga de los carburantes utilizados. A la gasolina le sigue le diésel y después la mezcla de gasolina y GLP. Es importante mencionar, que las emisiones aumentan ligeramente al cambiar de sub-grupo para los casos del mantenimiento del vehículo y el combustible.

Para este último caso, se contempla que los impactos son similares en todos los casos excepto para el caso del carburante consumido que es el que va a hacer que un caso destaque sobre el otro. De este modo, la quema de la cantidad de gasolina utilizada por el coche será la que menos impacto tenga de los carburantes utilizados. A la gasolina le sigue le diésel y después la mezcla

de gasolina y GLP. Es importante mencionar, que las emisiones aumentan ligeramente al cambiar de sub-grupo para los casos del mantenimiento del vehículo y el combustible.

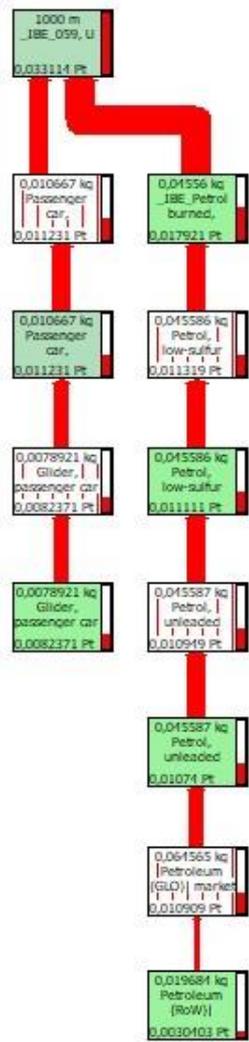


Figura 49.- Árbol del ciclo de vida del vehículo mediano de gasolina en México.

Tabla 28.- Comparativa EndPoint de los procesos más importantes del ciclo de vida de los vehículos medianos en México para 100 km de recorrido.

Proceso	Gasolina (mPt)	Diésel (mPt)	BiFuel (mPt)
Fabricación del vehículo	11,232	11,236	11,232
Fabricación de la carretera	2,098	2,098	2,098
Mantenimiento del vehículo	1,499	1,499	1,499
Combustible	17,922	18,614	19,806
Desgaste de la carretera	0,063	0,063	0,063
Desgaste del freno	0,238	0,238	0,238
Desgaste de las ruedas	0,065	0,065	0,065
Total	33,118	33,814	35,002

Por otro lado, se puede destacar que los impactos ambientales relativos al carburante consumido van a ser mayores que para el anterior sub-grupo. Este incremento se debe a que la anterior agrupación consta de una normativa de emisiones de los vehículos superior a la de México. Es decir, en México la normativa que se aplica es equivalente a Euro 4 y en las restantes Euro 5. Esto implica que las restricciones de emisiones van a ser inferiores para el presente caso.

Como se ha observado, en cada una de las comparativas realizadas en los distintos grupos de países, el proceso con mayor relevancia en el ciclo de vida de cada caso es el referido a la quema de los combustibles alimentados al motor. En cada uno de los casos observados representa más del 50% de las emisiones totales del vehículo. Por ello, y debido a que los consumos de cada motor son estimados, se van a estudiar los impactos ambientales del quemar un kilogramo de combustible.

De esta forma, en la Figura 50, Figura 51 y Figura 52 se muestran los árboles del ciclo de vida de la gasolina, diésel y mezcla entre gasolina y GLP, para posteriormente en la Tabla 29 comparar los impactos ambientales de cada una de sus procesos de su ciclo de vida.

Para los árboles del ciclo de vida de los carburantes, se va a utilizar un criterio de corte para que se visualicen únicamente los procesos más importantes de la quema. Por lo tanto, para la gasolina, diésel y GLP se va a aplicar un criterio de corte del 3,55%, 2,57% y 2,99 % respectivamente. Una vez aplicados los criterios de corte, los procesos principales del sistema van a ser la producción del combustible y su quema, siendo la primera la que mayor impacto ambiental tenga. Comparando entre los distintos combustibles, a nivel general el combustible más impactante será la gasolina y la que menos el GLP.

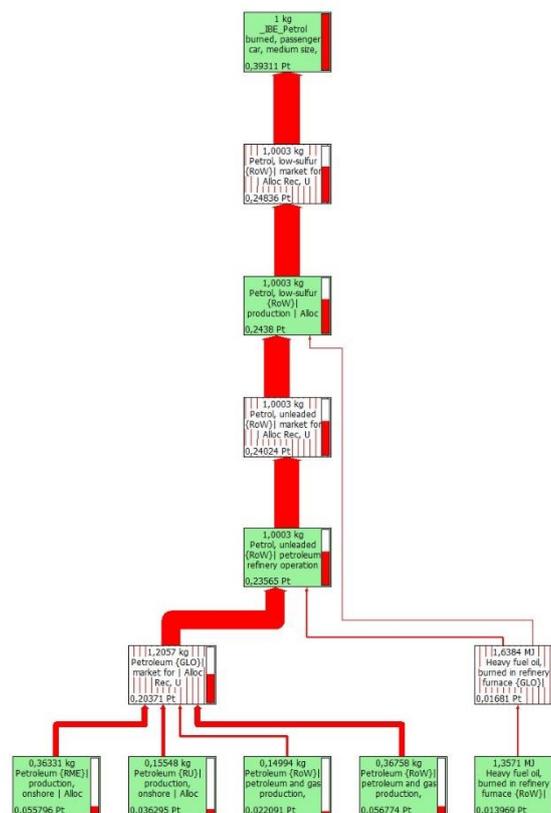


Figura 50.- Árbol del ciclo de vida de 1 kg de gasolina quemada.

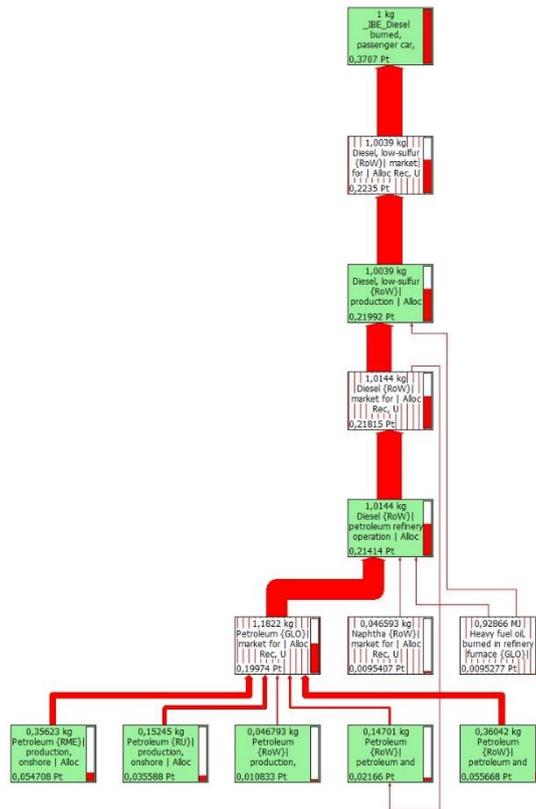


Figura 51.- Árbol del ciclo de vida de 1 kg de diésel quemado.

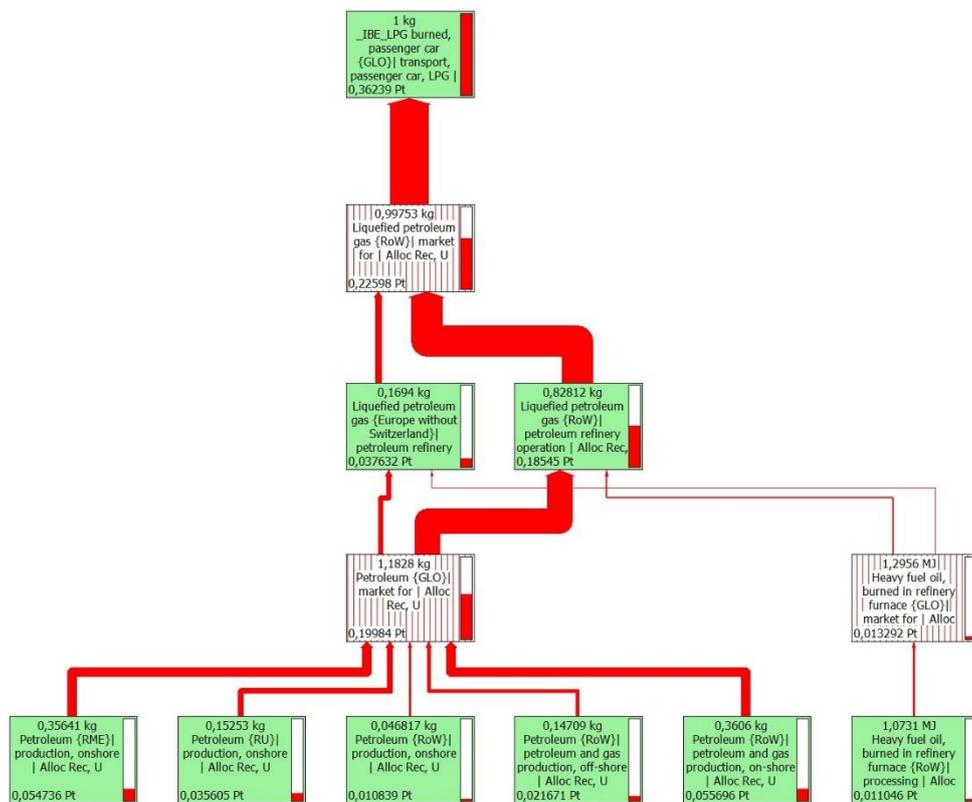


Figura 52.- Árbol del ciclo de vida de 1 kg de GLP quemado.

Tabla 29.- Comparativa EndPoint de los procesos más importantes del ciclo de vida de 1 kg de combustible quemado.

Proceso	Gasolina (mPt)	Diésel (mPt)	GLP/LPG (mPt)
Producción del combustible	248,375	223,530	226,464
Quema del combustible	144,754	147,196	135,941
Total	393,129	370,726	362,405

Al analizar cada uno de los procesos, en la fase de la combustión el GLP va a seguir siendo el más favorable, pero en cambio, el diésel es el más desfavorable. Para la fase de la producción del carburante, el diésel será el más favorable y la gasolina la más desfavorable.

3.1.3.3.1. Conclusiones

Al realizar esta última comparativa, se va a encontrar que los casos de los vehículos estudiados durante todo el estudio tienen una gran dependencia respecto del carburante que se esté utilizando y de la cantidad que se le esté alimentando. Por lo tanto, ya que las cantidades alimentadas son estimadas, se va a optar por realizar el Análisis de Ciclo de Vida de cada uno de los combustibles.

Para estos estudios de ACV realizados, la unidad funcional supuesta va a ser de 1 kg de combustible quemado. Por lo tanto, los resultados obtenidos no dependerán de los consumos de carburante.

De este estudio, se ha concluido que, en el proceso de la producción del combustible, el mejor de los tres analizados será el diésel. En cambio, para la fase de combustión el mejor será el GLP. Finalmente, al analizarlo para el ciclo de vida completo se va a mantener esta última conclusión, por lo que será el GLP el más favorable.

Hay que mencionar que, al analizar las emisiones de la quema del GLP, no se van a estar teniendo en cuenta las proporciones de mezcla de combustibles que se van a utilizar, por lo que no se ha analizado la entrada de combustible del vehículo BiFuel.

Finalmente, se puede concluir, que sin tener en cuenta los consumos de carburante el mejor desde el punto de vista ambiental va a ser el GLP seguido del diésel y con la gasolina como peor. Esto será favorable al vehículo con motor de combustibles flexible, pero en caso de que los consumos sean elevados no se puede asegurar que sea así.

4. PLANIFICACIÓN

Debido a que el presente estudio realizado para Iberdrola ha sido utilizado como Trabajo de Fin de Grado (TFG), hay que tener en cuenta que tanto las fases y etapas como el cronograma habrá que diferenciarlos en dos. Es decir, habrá que hacer una planificación para el TFG y otra para el ACV.

4.1. PLANIFICACIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO (TFG)

4.1.1. Fases y etapas del TFG

En este apartado se van a describir brevemente las fases y etapas que se han ido cumpliendo para realizar el TFG, que han ido realizándose paralelamente a la realización del ACV, ya que en algunas de sus etapas coinciden y han tenido utilidad para ambos.

Tabla 30.- Duración de las fases y etapas del Trabajo de Fin de Grado (TFG).

Fases	Etapas	Sub-etapas	Duración
INICIO: 1 de FEBRERO de 2018			
Admisión de tutorización	-	-	1 día
Definición del proyecto	-	-	10 días
Realización del proyecto	Fase de análisis	Contextualización	6 días
		Análisis de los vehículos	8 días
		Estudio de casos a analizar	8 días
		Obtención de datos	25 días
		Calidad datos	10 días
	Fase de cálculo	Organización y resumen de datos	8 días
		Introducción de datos en SimaPro	15 días
		Cálculo de emisiones	15 días
	Análisis de los casos	Interpretación de resultados	4 días
		Determinación de conclusiones	4 días
	Conclusiones	Comparativa entre casos	8 días
		Interpretación de comparativas	10 días
		Estrategias de mejora ambiental	3 días
Reuniones con la tutora	Dudas sobre la memoria	-	3 días
	Correcciones de la memoria	-	1 día
Presentación del TFG	-	Realizar el Power Point	5 días
		Ensayar la presentación	5 días
		Realizar la presentación	1 día
FIN: 16 de JULIO de 2018			

De este modo, como se puede observar en la Tabla 30, se van a tener en cuenta todas las reuniones con la tutora del TFG (Margarita Eugenia Herranz Soler), horas de búsqueda de información dedicadas al proyecto, tiempos de obtención y cálculo de datos y el análisis de soluciones.

4.1.2. Cronograma del TFG

Las fases y etapas del TFG van a ser representadas de forma gráfica mediante el diagrama de Gantt, que ha sido elaborado con el programa Microsoft Project. En la Figura 53, se va a poder apreciar el tiempo utilizado para cada actividad del proyecto en modo de cronograma.

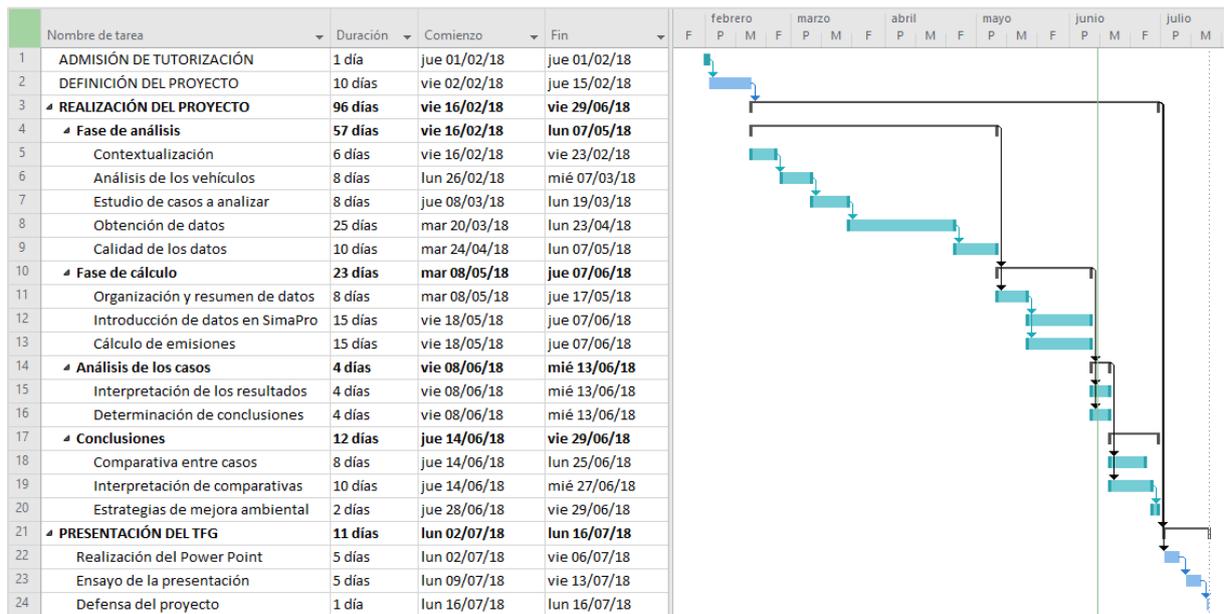


Figura 53.- Cronograma del Trabajo de Fin de Grado (TFG).

4.2. PLANIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

4.2.1. Fases y etapas del ACV

A la hora de realizar el presente proyecto, se van a tener en cuenta diversas fases, etapas y sub-etapas a la hora de desarrollarlo. Se van a diferenciar dos fases de estudio: la realización del ACV y la comparativa ambiental de vehículos. Esto es debido a que el ACV no contempla dentro de sí mismo las comparativas entre dos modelos diferentes de producto. De este modo la fase del ACV ha sido realizada con anterioridad a la de comparativa ambiental.

Dentro de cada una de las fases se van a encontrar etapas con sus respectivas sub-etapas, que van a estar clasificadas así por la relevancia que tiene en el proyecto. Las etapas del Análisis de Ciclo de Vida, como bien se ha explicado en el apartado “1.3.1.5. Normalización del ACV según la familia de normas ISO 14040”, van a ser las cuatro impuestas por la mencionada norma: definición de objetivos y alcance, análisis del Inventario de Ciclo de Vida (ICV), Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV) y la interpretación de los resultados. En cambio, la fase de comparación dispondrá de tres fases: realización de comparativas, interpretación de las mismas y las estrategias de mejoras ambientales. Todas ellas están expuestas en la Tabla 31.

Tabla 31.- Duraciones de fases, etapas y sub-etapas del estudio.

Fases	Etapas	Sub-etapas	Duración
INICIO: 5 de FEBRERO de 2018			
Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	Definición de objetivos y alcance	Razones del estudio	4 días
		Unidad Funcional	2 días
		Alcance del estudio	4 días
		Limitaciones	6 días
		Calidad datos	2 días
	Análisis de Inventario de Ciclo de Vida (ICV)	Identificación entradas y salidas	7 días
		Cuantificación entradas y salidas	17 días
		Análisis colección de datos	10 días
	Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida (EICV)	Vuelco del inventario	25 días
		Generación resultados finales	6 días
	Interpretación	Interpretación resultados	7 días
		Determinación conclusiones	5 días
Comparativa de ACV	-	Realización de las comparativas	9 días
		Interpretación de las comparativas	9 días
		Estrategias de mejora ambiental	4 días
FINAL: 31 de JULIO de 2018			

Debido a que las etapas ya los objetivos de las diferentes etapas ya han sido desarrolladas en los previos apartados, en el siguiente apartado se va a definir la finalidad de cada sub-etapa.

4.2.1.1. Sub-etapas del estudio

- **Razones del estudio:** en esta sub-etapa se define por qué razones se ha buscado hacer el estudio, que aplicación se le prevé, etc.
- **Unidad Funcional (UF):** se describe la unidad a la que irán referidas todos los datos del sistema, para este proyecto de 1 km recorrido, por ejemplo.
- **Alcance del estudio:** se considerarán todos los elementos recogidos en la norma ISO 14040. Aun así, el alcance puede sufrir variaciones a lo largo del estudio por razones diversas.
- **Limitaciones:** entre otros, se describirán los límites de proceso (reglas de corte), límites temporales y límites geográficos estimados para el estudio.
- **Calidad de datos:** se determinará el mínimo de calidad de los datos requerido para el proyecto.
- **Identificación de las entradas y salidas:** se pretenderá conocer las entradas (materiales, energía, etc.) y las salidas (residuos, emisiones, etc.) del sistema.
- **Cuantificación de las entradas y salidas:** se van a cuantificar las entradas y salidas determinantes del sistema identificados en la sub-etapa anterior.
- **Análisis de la colección de datos:** se van a describir todos los datos obtenidos definiendo los parámetros como la procedencia de estos, el método de obtención, la precisión de los mismos, etc.

- **Vuelco del inventario:** con los datos obtenidos en el ICV, se realizará la evaluación del impacto ambiental del sistema analizado. Dada la cantidad y relativa complejidad de los cálculos necesarios, esta evaluación se hace mediante un software de ACV, en el que se volcará el inventario.
- **Generación de los resultados finales:** se hará uso de la metodología ReCiPe, transformando la lista del ICV en un número limitado de indicadores que expresen rigor dado mediante la puntuación única. También se mostrarán los resultados ambientales separados por cada una de las fases del ciclo de vida haciendo hincapié en el potencial de cambio climático.
- **Interpretación de los resultados:** se interpretarán los resultados del ICV y EICV de acuerdo al objetivo y alcance marcados inicialmente.
- **Determinación de las conclusiones:** se van a analizar los resultados y marcar las principales cargas ambientales de cada modelo por separado.
- **Realización de las comparativas:** se realizarán comparativas de los impactos ambientales entre los estudios. Incluye la extracción y adecuación de los datos obtenidos en los estudios de ACV para poder realizar las comparativas.
- **Interpretación de las comparativas:** se van a analizar los resultados y después marcar las conclusiones.
- **Estrategias de mejora ambiental:** tras interpretar los resultados de las comparativas, se va a buscar definir las estrategias de mejora ambiental, dando respuesta a los requerimientos de la empresa.

4.2.2. Cronograma del ACV

Las fases y etapas mencionadas en el apartado anterior van a ser representadas para este caso también mediante el diagrama de Gantt. Este diagrama ha sido elaborado con el programa Microsoft Project. En la Figura 54, se va a poder apreciar el tiempo utilizado para cada actividad del proyecto en modo de cronograma.

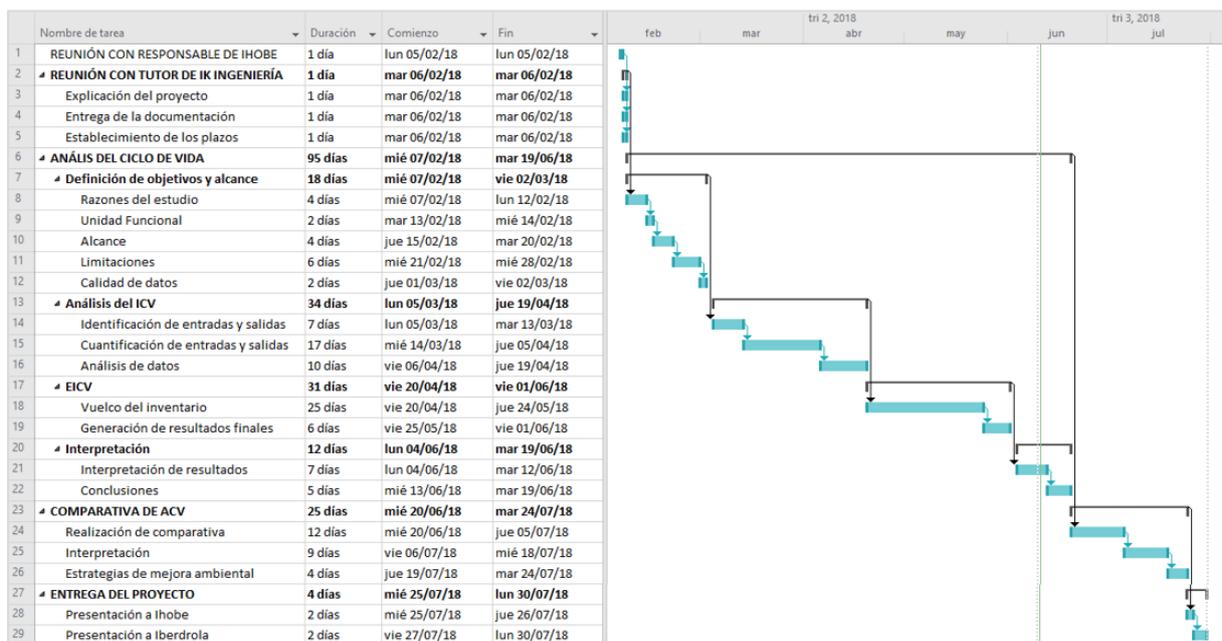


Figura 54.- Cronograma del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

El proyecto se ha llevado a cabo en las instalaciones de Ihobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco) bajo la dirección, coordinación y supervisión de José María Fernández Alcalá, Ingeniero Industrial que es el responsable de proyectos de Ihobe. A su vez, se ha contado con la ayuda puntual de un soporte técnico ofrecido por la consultora IK Ingeniería (Ingurumenaren Kideak Ingeniería S. L.).

De este modo, en la Tabla 32, se va a realizar un recuento de horas trabajadas por cada operario que tome parte en el proyecto. Estos operarios serán los ingenieros senior (José María Fernández Alcalá), junior (tutor de IK Ingeniería) y el becario en labores de Ingeniero Técnico (Gorka Barbarias García) y el número de que dediquen se va a mostrar en el mismo orden.

Tabla 32.- Presupuesto de recursos humanos.

Recurso	Horas dedicadas
REUNIÓN EN IHOBE	3 h/0 h/3 h
REUNIÓN IK INGENIERÍA	
- Explicación proyecto	1 h/5 h/5 h
- Entrega de documentos	0 h/3 h/3 h
- Establecer plazos	0 h/3 h/3 h
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA	
<i>Definir objetivos y alcance</i>	
- Razones del estudio	0 h/4 h/24 h
- Unidad Funcional	0 h/2 h/12 h
- Alcance	0 h/5 h/20 h
- Limitaciones	0 h/3 h/36 h
- Calidad de datos	0 h/0 h/12 h
<i>Análisis del ICV</i>	
- Identificar entradas y salidas	0 h/0 h/40 h
- Cuantificar entradas y salidas	0 h/0 h/79 h
- Análisis de datos	0 h/12 h/50 h
<i>EICV</i>	
- Vuelco de inventario	0 h/20 h/120 h
- Generar resultados	0 h/0 h/36 h
<i>Interpretación</i>	
- Interpretación de resultados	0 h/6 h/42 h
- Conclusiones	1 h/3 h/20 h
COMPARATIVA DE ACV	
- Comparar	0 h/6 h/45 h
- Interpretar	0 h/8 h/41 h
- Estrategias	2 h/6 h/19 h
Total de horas	7 h/86 h/610 h

Asimismo, atendiendo al número de horas empleadas por cada ingeniero en las diferentes etapas del proyecto se desglosa el presupuesto del mismo teniendo en cuenta el coste de la mano de obra por cada hora trabajada. Esto se va a mostrar en la Tabla 33.

Tabla 33.- Costes de los recursos humanos del proyecto.

Categoría recurso	Coste	Horas dedicadas	Coste total
Ingeniero Senior	42,00 €/h	7 h	294 €
Ingeniero Junior	17,00 €/h	86 h	1.462 €
Becario en labores de Ingeniero Técnico	4,00 €/h	610 h	2.440 €
Total	-	703 h	4.196 €

Por lo tanto, para poder realizar el presente proyecto, se han destinado un conjunto de 703 horas, que en función del operario que la haya realizado la tarea acarreará un coste distinto. De tal manera, se va a contabilizar que el coste total adjunto a los recursos humanos utilizados para realizar el proyecto es de 4.196 €.

Por otro lado, para realizar el proyecto han sido necesarios un equipo informático, una licencia de software del programa SimaPro y una licencia de la base de datos Ecoinvent. Para el equipo informático se va a estimar una vida útil de cinco años ya que es necesario que sea actual y tiene que ser renovado. Para el software y la base de datos, en cambio, se irá renovando la licencia anualmente. Por ello, y teniendo en cuenta que el proyecto ha sido de seis meses, se van a estimar los recursos informáticos que aparecen en la Tabla 34.

Tabla 34.- Costes de los recursos informáticos del proyecto.

Recurso	Coste	Vida útil	Costes adjuntos al proyecto
Soporte informático	950 €	5 años	95 €
Licencia software SimaPro	4.850 €	1 año	2.425 €
Licencia base de datos Ecoinvent	3.800 €	1 año	1.900 €
Total			4.420 €

Finalmente, se va a obtener mediante la suma de los dos presupuestos previamente mencionados el coste total del proyecto, que se muestra en la Tabla 35. Este total va a ser la suma de los costes de los recursos humanos y recursos informáticos, que han sido mencionados previamente, y asciende a un total de 8.616 €.

Tabla 35.- Presupuesto total del proyecto.

Recurso	Coste	Presupuesto total
Recursos humanos	4.196 €	8.616 €
Recursos informáticos	4.420 €	

6. CONCLUSIONES

Un estudio de Análisis de Ciclo de Vida ha de ser realizado de un modo ordenado y con datos que puedan llegar a ser justificables para que el informe posea valor, de fiabilidad al cliente o se pueda utilizar en un futuro para diferentes intereses.

Por ello, el origen de los datos tiene que ser conocido durante todo el estudio, para que no haya dudas referidas a la procedencia de estos y por si en caso de que se vaya a modificar alguno de los indicadores creados para modificarlos porque hay datos más fiables o porque se vayan a reutilizar para estudios futuros.

A la hora de realizar el estudio, el objetivo principal de este ha sido buscar, mediante el Análisis de Ciclo de Vida, cuál de las alternativas de carburante ofrecidas es la más favorable desde el punto de vista medioambiental comparando los distintos casos que han sido propuestos. El informe permite proveer al consumidor cuál de las alternativas es mejor dependiendo del tamaño del vehículo, el recorrido que se realice y el país en el que se ejecute el recorrido.

En la comparativa realizada entre los diferentes casos de vehículo convencional analizados, se realizan distintas observaciones relacionadas con los impactos ambientales del ciclo de vida del producto y se van a destacar las siguientes:

- Cuando se comparen los vehículos de un mismo tamaño que hayan sido alimentados por un mismo carburante, observando los impactos ambientales en los cinco países que se vaya a analizar, los datos obtenidos revelan distintas similitudes entre los casos.
 - En España y Reino Unido, por el tipo de indicador creado para los vehículos, las emisiones durante su ciclo de vida serán iguales. Hay que mencionar, que para Estados Unidos y Brasil también son iguales por la misma razón.
 - En los países europeos, debido a que los impactos ambientales referidos a la quema del combustible y a la producción de los coches son menores, las emisiones son menores que para los países americanos.
 - Entre los países americanos, en Estados Unidos y Brasil los impactos referidos a la fase de uso son más favorables desde el punto de vista ambiental que para México. Esto tiene origen en que las normativas de emisiones de los vehículos en Estados Unidos y Brasil (Euro 5) son más restrictivas que en México (Euro 4).
- Al equiparar los vehículos de un mismo tamaño cuyo recorrido haya sido realizado en un mismo país, contemplando los tres distintos métodos de alimentar un motor de combustión interna, se pueden obtener distintas conclusiones.
 - En los vehículos de un mismo tamaño y país, hay idénticas emisiones referidas a la producción del vehículo, su mantenimiento y desgastes de su ciclo de vida. El único proceso que es variable es el que alude a la fase de quema del combustible alimentado al motor.
 - El mejor caso para vehículos pequeños, medianos y grandes va a ser distinto. La causa de esta conclusión proviene de los consumos de carburante estimados para los distintos vehículos, ya que la quema de este es el único aspecto cambiante.

Tras comparar todos los casos del estudio, para los casos en los que el vehículo tenga el mismo tamaño se va a observar que el único proceso cambiante y que a su vez más influye en los impactos ambientales es el referido a los combustibles. Es decir, la suma de los impactos del

proceso de producción del carburante y del proceso de combustión, corresponderá a más de la mitad de los impactos totales de cada caso.

Con estos resultados, en los que las emisiones pertenecen en su mayoría a los carburantes, se decide analizar el ciclo de vida de la quema de un kilogramo de combustible para categorizar cual es el mejor de todos. De esta comparativa, los resultados obtenidos serán distribuidos en tres: el proceso de producción del combustible, el proceso de quema del mismo y la suma de ambos.

Por un lado, al analizar la producción del carburante utilizado en el caso, los resultados obtenidos mostrarán que el diésel es el más favorable con el medioambiente. En el extremo opuesto se encuentra la gasolina. Por el otro, en la fase de combustión, el mejor caso desde el punto de vista medioambiental será el GLP ya que crea un menor impacto ambiental que los restantes. Para este caso, en el extremo contrario estará el diésel. Finalmente, teniendo en cuenta ambos procesos, se observa que será el GLP el mejor combustible a utilizar teniendo en cuenta el ciclo de vida completo de este. En cambio, es la gasolina la más desfavorable.

Es indispensable mencionar que, aunque el GLP sea el carburante más favorable con el medioambiente, hay que tener en cuenta que en los vehículos BiFuel hay un trayecto que se realiza con gasolina y que no se ha tenido en cuenta en esta comparación. Aun así, los distintos resultados obtenidos, con una diferencia de 30,724 milipuntos entre el mejor y el peor caso de carburante, los impactos van a estar relacionados a los consumos de combustible del vehículo.

Por esta razón, los impactos totales de los vehículos van a estar unidos a los consumos de carburante que se realicen para cada recorrido y tamaño de vehículo. De este modo, analizando los consumos estimados para el presente proyecto, habrá que tener en cuenta que el consumo de los coches que son alimentados de GLP es muy superior al del resto de combustibles. Por ello, los beneficios respecto de 1 kg quemado pueden ser encubiertos por el incremento de consumo respecto a los casos restantes.

Por lo tanto, debido a que no ha sido encontrado un carburante notablemente mejor que el resto, es interesante dejar una puerta abierta hacia la búsqueda de tecnologías de propulsión alternativas a las estudiadas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ihobe, “Ecodesign made in Euskadi. 15 años de innovación ambiental de producto”, 2014.
- [2] Iberdrola, “Iberdrola obtiene el primer certificado AENOR de Huella Ambiental Coporativa”, <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/iberdrola-obtiene-el-primer-certificado-aenor-de-huella-ambiental-corporativa-2554744320170313> (acceso en junio de 2018).
- [3] CHACÓN VARGAS, J. R., “Historia ampliada y comentada del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)”, Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería, N° 72, pag. 37-70, 2008.
- [4] Ihobe, “Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto”, 2009.
- [5] Ihobe, “Guía para el desarrollo de la norma de ecodiseño UNE 15031:2003 (base de ISO 14006). Evaluación de aspectos ambientales de producto”, 2010.
- [6] Ecoinvent Centre, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, www.ecoinvent.org (acceso en junio de 2018).
- [7] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport, <http://www.rivm.nl/en> (acceso en junio de 2018).
- [8] Universiteit Leiden, Faculty of Science. Institute of Environmental Sciences (CML), www.universiteitleiden.nl/en/science/environmental-sciences (acceso en junio de 2018).
- [9] PRé Consultants BV, www.pre-sustainability.com (acceso en junio de 2018).
- [10] Radboud University, Faculty of Science. Environmental Science, <http://www.ru.nl/environmentalscience/> (acceso en junio de 2018).
- [11] Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport. Life Cycle Assesment (LCA), ReCiPe, <http://www.lcia-recipe.net/> (acceso en junio de 2018).
- [12] Ruimte en Milieu. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, “ReCiPe 2008 v1.08”, 2013.
- [13] Diario Oficial de la Unión Europea. “Recomendaciones sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida”, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013H0179&from=ES> (acceso en junio de 2018).
- [14] JRC Technical Reports. Normalisation method and data for Environmental Footprints, http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/JRC_Normalisation_method_and_data_EF_web.pdf (acceso en junio de 2018).
- [15] GEORGANO, G. N., “Cars: early and vintage 1886-1930”, 1985. Grange-Universal, Londres.

- [16] BUCHANAN, C. D., “Mixed Blessing: the motor in Britain”, 1958. Leonard Hill, Londres.
- [17] CUMMINS, C. L., “Diesel’s engine: from conception to 1918”, 1993. Carnot Pr, Estados Unidos.
- [18] GIACOSA, D., “Motores endotérmicos”, 1988. Editorial Omega.
- [19] Asociación Europea del GLP (AEGLP), “El autogas en Europa. La alternativa sostenible. Hoja de ruta de la industria del GLP”, 2009.
- [20] Volvo Car Group, “Volvo’s Bi-Fuel technology celebrates its 10th anniversary”, <https://www.media.volvocars.com/global/en-gb/media/pressreleases/5031> (acceso en junio de 2018).
- [21] Ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente. Gobierno de España, “Factores de emisión. Registro de Huella de Carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono”, http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-446710.pdf (acceso en junio de 2018).
- [22] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Ministerio para la Transición Ecológica. Gobierno de España, “Actividades emisoras del transporte ligero”, http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/act-emis/transporte_ligeros.aspx (acceso en junio de 2018).
- [23] European Automobile Manufacturers Association (ACEA), “Euro Standards”, <http://www.acea.be/industry-topics/tag/category/euro-standards> (acceso en junio de 2018).
- [24] Red Eléctrica Española, www.ree.es (acceso en junio de 2018).
- [25] Energy trends: electricity. United Kingdom National Statistics, <https://www.gov.uk/government/statistics/electricity-section-5-energy-trends> (acceso en junio de 2018).
- [26] Secretaría de Energía (SENER). Estados Unidos Mexicanos, <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IIIA1C05> (acceso en junio de 2018).
- [27] Ministério de Minas e Energia. Governo Federal do Brasil, <http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico/boletins-2017> (acceso en junio de 2018).
- [28] U. S. Energy Information Administration - EIA, <https://www.eia.gov/electricity/monthly> (acceso en junio de 2018).
- [29] Ecoinvent centre, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, “Transport Services. Data v2.0”, 2007.

- [30] Vehicle Certification Agency. United Kingdom Government, <http://carfueldata.direct.gov.uk/search-new-or-used-cars.aspx> (acceso en junio de 2018).
- [31] Commodity trade mantra, “What America does not understand about Russia and oil”, <http://www.commoditytrademantra.com/crude-oil-trading/america-understand-russia-oil/> (acceso en junio de 2018).
- [32] Ecointeligencia, “El Análisis de Ciclo de Vida y su marco normativo”, <https://www.ecointeligencia.com/2016/05/acv-marco-normativo/> (acceso en junio de 2018).
- [33] Iberdrola, “Informe de resultados de Huella Ambiental Corporativa / 2016”, 2017.
- [34] Bi Quantum, “Análisis de Ciclo de Vida y certificaciones ambientales del edificio”, <http://www.biquantum.es/acv.php> (acceso en junio de 2018).

ANEXO I: NORMATIVA APLICABLE

El presente estudio se basa en las normas de carácter internacional:

- “UNE-EN ISO 14040:2006. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and framework”.
- “UNE-EN ISO 14044:2006. Environmental Management. Life Cycle Assessment. Requirements and guidelines”.

ANEXO II: CASOS A ANALIZAR EN EL PROYECTO

TIPO	MOTOR	UBICACIÓN	COMBUSTIBLE	EMISIÓN	TAMAÑO	RECORRIDO
CASO 1						30 km
CASO 2					PEQUEÑO	100 km
CASO 3						500 km
CASO 4						30 km
CASO 5			GASOLINA		MEDIANO	100 km
CASO 6						500 km
CASO 7						30 km
CASO 8					GRANDE	100 km
CASO 9						500 km
CASO 10		ESPAÑA				30 km
CASO 11					PEQUEÑO	100 km
CASO 12	CONVENCIONAL	COMBUSTIÓN				500 km
CASO 13				EURO 5		30 km
CASO 14			DIÉSEL		MEDIANO	100 km
CASO 15						500 km
CASO 16						30 km
CASO 17					GRANDE	100 km
CASO 18						500 km
CASO 19						30 km
CASO 20					PEQUEÑO	100 km
CASO 21						500 km
CASO 22		GRAN BRETAÑA	GASOLINA			30 km
CASO 23					MEDIANO	100 km
CASO 24						500 km

CASO 25							30 km		
CASO 26						GASOLINA	GRANDE	100 km	
CASO 27								500 km	
CASO 28								30 km	
CASO 29							PEQUEÑO	100 km	
CASO 30								500 km	
CASO 31				GRAN BRETAÑA				30 km	
CASO 32						DIÉSEL	MEDIANO	100 km	
CASO 33								500 km	
CASO 34								30 km	
CASO 35							GRANDE	100 km	
CASO 36								500 km	
CASO 37								30 km	
CASO 38	CONVENCIONAL	COMBUSTIÓN					EURO 5	PEQUEÑO	100 km
CASO 39								500 km	
CASO 40								30 km	
CASO 41						GASOLINA	MEDIANO	100 km	
CASO 42								500 km	
CASO 43								30 km	
CASO 44				ESTADOS UNIDOS				GRANDE	100 km
CASO 45								500 km	
CASO 46								30 km	
CASO 47								PEQUEÑO	100 km
CASO 48								500 km	
CASO 49						DIÉSEL		30 km	
CASO 50							MEDIANO	100 km	
CASO 51								500 km	

CASO 52							30 km
CASO 53			ESTADOS UNIDOS	DIÉSEL	EURO 5	GRANDE	100 km
CASO 54							500 km
CASO 55							30 km
CASO 56						PEQUEÑO	100 km
CASO 57							500 km
CASO 58							30 km
CASO 59				GASOLINA		MEDIANO	100 km
CASO 60							500 km
CASO 61							30 km
CASO 62						GRANDE	100 km
CASO 63			MÉXICO		EURO 4		500 km
CASO 64							30 km
CASO 65	CONVENCIONAL	COMBUSTIÓN				PEQUEÑO	100 km
CASO 66							500 km
CASO 67							30 km
CASO 68						MEDIANO	100 km
CASO 69							500 km
CASO 70							30 km
CASO 71				DIÉSEL		GRANDE	100 km
CASO 72							500 km
CASO 73							30 km
CASO 74						PEQUEÑO	100 km
CASO 75							500 km
CASO 76			BRASIL		EURO 5		30 km
CASO 77						MEDIANO	100 km
CASO 78							500 km

CASO 79						30 km
CASO 80		COMBUSTIÓN	BRASIL	DIÉSEL	GRANDE	100 km
CASO 81						500 km
CASO 82						30 km
CASO 83					PEQUEÑO	100 km
CASO 84						500 km
CASO 85						30 km
CASO 86			ESPAÑA		MEDIANO	100 km
CASO 87						500 km
CASO 88						30 km
CASO 89					GRANDE	100 km
CASO 90						500 km
CASO 91						30 km
CASO 92	CONVENCIONAL				EURO 5	PEQUEÑO
CASO 93		BIFUEL		GLP / GASOLINA		100 km
CASO 94						500 km
CASO 95			GRAN BRETAÑA		MEDIANO	30 km
CASO 96						100 km
CASO 97						500 km
CASO 98					GRANDE	30 km
CASO 99						100 km
CASO 100						500 km
CASO 101					PEQUEÑO	30 km
CASO 102						100 km
CASO 103			ESTADOS UNIDOS			500 km
CASO 104					MEDIANO	30 km
CASO 105						100 km
						500 km

CASO 106						30 km	
CASO 107			ESTADOS UNIDOS		EURO 5	GRANDE	100 km
CASO 108							500 km
CASO 109							30 km
CASO 110						PEQUEÑO	100 km
CASO 111	CONVENCIONAL	BIFUEL		GLP / GASOLINA			500 km
CASO 112							30 km
CASO 113			MÉXICO		EURO 4	MEDIANO	100 km
CASO 114							500 km
CASO 115							30 km
CASO 116						GRANDE	100 km
CASO 117							500 km

ANEXO III: EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV) - MIDPOINT

	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9	CASO 10	CASO 11
GWP (kg CO₂ eq)	2,763E-01	2,319E-01	2,069E-01	3,247E-01	2,803E-01	2,553E-01	4,979E-01	3,952E-01	3,369E-01	2,503E-01	2,314E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	4,320E-08	3,544E-08	3,108E-08	4,994E-08	4,218E-08	3,782E-08	7,851E-08	6,057E-08	5,038E-08	4,041E-08	3,694E-08
AP (kg SO₂ eq)	7,760E-04	6,989E-04	6,555E-04	9,550E-04	8,784E-04	8,353E-04	1,349E-03	1,173E-03	1,072E-03	7,372E-04	7,048E-04
FEP (kg P eq)	4,767E-05	4,663E-05	4,604E-05	6,249E-05	6,144E-05	6,086E-05	8,025E-05	7,783E-05	7,646E-05	4,589E-05	4,553E-05
MEP (kg N eq)	3,425E-05	3,237E-05	3,131E-05	4,357E-05	4,173E-05	4,069E-05	5,805E-05	5,383E-05	5,144E-05	3,538E-05	3,435E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	8,440E-02	8,286E-02	8,200E-02	1,108E-01	1,092E-01	1,084E-01	1,415E-01	1,379E-01	1,359E-01	8,592E-02	8,495E-02
POFP (kg NMVOC)	7,412E-04	6,604E-04	6,149E-04	8,814E-04	8,054E-04	7,627E-04	1,230E-03	1,062E-03	9,664E-04	6,645E-04	6,333E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	3,278E-04	3,049E-04	2,920E-04	4,119E-04	3,893E-04	3,765E-04	5,596E-04	5,075E-04	4,779E-04	3,236E-04	3,130E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	3,493E-05	3,338E-05	3,251E-05	4,460E-05	4,305E-05	4,218E-05	5,861E-05	5,504E-05	5,301E-05	3,465E-05	3,393E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,135E-02	1,129E-02	1,126E-02	1,506E-02	1,501E-02	1,497E-02	1,894E-02	1,881E-02	1,873E-02	1,180E-02	1,177E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	9,892E-03	9,837E-03	9,806E-03	1,312E-02	1,307E-02	1,304E-02	1,651E-02	1,638E-02	1,631E-02	1,027E-02	1,024E-02
IRP (kBq U235 eq)	2,372E-02	2,055E-02	1,876E-02	2,848E-02	2,531E-02	2,352E-02	4,216E-02	3,483E-02	3,066E-02	2,203E-02	2,066E-02
ALOP (m²a)	3,997E-03	3,821E-03	3,722E-03	5,141E-03	4,965E-03	4,866E-03	6,779E-03	6,373E-03	6,142E-03	3,722E-03	3,663E-03
ULOP (m²a)	6,871E-03	6,769E-03	6,712E-03	8,921E-03	8,819E-03	8,762E-03	1,126E-02	1,102E-02	1,089E-02	6,807E-03	6,764E-03
LTP (m²)	8,528E-05	6,996E-05	6,134E-05	9,857E-05	8,324E-05	7,462E-05	1,550E-04	1,195E-04	9,940E-05	7,960E-05	7,274E-05
WDP (m³)	1,144E-03	1,069E-03	1,027E-03	1,449E-03	1,375E-03	1,332E-03	1,966E-03	1,792E-03	1,694E-03	1,102E-03	1,070E-03
MDP (kg Fe eq)	3,170E-02	3,140E-02	3,122E-02	4,195E-02	4,164E-02	4,147E-02	5,305E-02	5,235E-02	5,195E-02	3,110E-02	3,099E-02
FDP (kg oil eq)	9,143E-02	7,649E-02	6,809E-02	1,072E-01	9,222E-02	8,381E-02	1,649E-01	1,303E-01	1,107E-01	8,443E-02	7,790E-02

	CASO 12	CASO 13	CASO 14	CASO 15	CASO 16	CASO 17	CASO 18	CASO 19	CASO 20	CASO 21	CASO 22
GWP (kg CO₂ eq)	2,188E-01	3,460E-01	2,832E-01	2,454E-01	4,166E-01	3,475E-01	3,066E-01	2,763E-01	2,319E-01	2,069E-01	3,247E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	3,462E-08	5,614E-08	4,456E-08	3,762E-08	6,723E-08	5,450E-08	4,698E-08	4,320E-08	3,544E-08	3,108E-08	4,994E-08
AP (kg SO₂ eq)	6,831E-04	1,015E-03	9,036E-04	8,369E-04	1,199E-03	1,086E-03	1,020E-03	7,760E-04	6,989E-04	6,555E-04	9,550E-04
FEP (kg P eq)	4,528E-05	6,139E-05	6,017E-05	5,943E-05	7,639E-05	7,505E-05	7,426E-05	4,767E-05	4,663E-05	4,604E-05	6,249E-05
MEP (kg N eq)	3,365E-05	4,861E-05	4,495E-05	4,275E-05	5,701E-05	5,362E-05	5,162E-05	3,425E-05	3,237E-05	3,131E-05	4,357E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	8,430E-02	1,160E-01	1,125E-01	1,104E-01	1,444E-01	1,405E-01	1,381E-01	8,440E-02	8,286E-02	8,200E-02	1,108E-01
POFP (kg NMVOC)	6,126E-04	9,275E-04	8,179E-04	7,521E-04	1,060E-03	9,554E-04	8,938E-04	7,412E-04	6,604E-04	6,149E-04	8,814E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	3,060E-04	4,403E-04	4,043E-04	3,827E-04	5,235E-04	4,877E-04	4,666E-04	3,278E-04	3,049E-04	2,920E-04	4,119E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	3,344E-05	4,642E-05	4,395E-05	4,247E-05	5,716E-05	5,442E-05	5,280E-05	3,493E-05	3,338E-05	3,251E-05	4,460E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,176E-02	1,573E-02	1,566E-02	1,561E-02	1,963E-02	1,955E-02	1,951E-02	1,135E-02	1,129E-02	1,126E-02	1,506E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	1,023E-02	1,369E-02	1,362E-02	1,358E-02	1,708E-02	1,700E-02	1,696E-02	9,892E-03	9,837E-03	9,806E-03	1,312E-02
IRP (kBq U235 eq)	1,975E-02	3,024E-02	2,569E-02	2,296E-02	3,663E-02	3,163E-02	2,867E-02	2,372E-02	2,055E-02	1,876E-02	2,848E-02
ALOP (m²a)	3,623E-03	4,986E-03	4,789E-03	4,670E-03	6,171E-03	5,954E-03	5,826E-03	3,997E-03	3,821E-03	3,722E-03	5,141E-03
ULOP (m²a)	6,735E-03	8,963E-03	8,821E-03	8,735E-03	1,106E-02	1,091E-02	1,081E-02	6,871E-03	6,769E-03	6,712E-03	8,921E-03
LTP (m²)	6,816E-05	1,106E-04	8,770E-05	7,398E-05	1,324E-04	1,072E-04	9,237E-05	8,528E-05	6,996E-05	6,134E-05	9,857E-05
WDP (m³)	1,049E-03	1,489E-03	1,382E-03	1,318E-03	1,832E-03	1,715E-03	1,646E-03	1,144E-03	1,069E-03	1,027E-03	1,449E-03
MDP (kg Fe eq)	3,092E-02	4,151E-02	4,116E-02	4,095E-02	5,179E-02	5,140E-02	5,117E-02	3,170E-02	3,140E-02	3,122E-02	4,195E-02
FDP (kg oil eq)	7,354E-02	1,168E-01	9,503E-02	8,196E-02	1,405E-01	1,165E-01	1,024E-01	9,143E-02	7,649E-02	6,809E-02	1,072E-01

	CASO 23	CASO 24	CASO 25	CASO 26	CASO 27	CASO 28	CASO 29	CASO 30	CASO 31	CASO 32	CASO 33
GWP (kg CO₂ eq)	2,803E-01	2,553E-01	4,979E-01	3,952E-01	3,369E-01	2,503E-01	2,314E-01	2,188E-01	3,460E-01	2,832E-01	2,454E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	4,218E-08	3,782E-08	7,851E-08	6,057E-08	5,038E-08	4,041E-08	3,694E-08	3,462E-08	5,614E-08	4,456E-08	3,762E-08
AP (kg SO₂ eq)	8,784E-04	8,353E-04	1,349E-03	1,173E-03	1,072E-03	7,372E-04	7,048E-04	6,831E-04	1,015E-03	9,036E-04	8,369E-04
FEP (kg P eq)	6,144E-05	6,086E-05	8,025E-05	7,783E-05	7,646E-05	4,589E-05	4,553E-05	4,528E-05	6,139E-05	6,017E-05	5,943E-05
MEP (kg N eq)	4,173E-05	4,069E-05	5,805E-05	5,383E-05	5,144E-05	3,538E-05	3,435E-05	3,365E-05	4,861E-05	4,495E-05	4,275E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	1,092E-01	1,084E-01	1,415E-01	1,379E-01	1,359E-01	8,592E-02	8,495E-02	8,430E-02	1,160E-01	1,125E-01	1,104E-01
POFP (kg NMVOC)	8,054E-04	7,627E-04	1,230E-03	1,062E-03	9,664E-04	6,645E-04	6,333E-04	6,126E-04	9,275E-04	8,179E-04	7,521E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	3,893E-04	3,765E-04	5,596E-04	5,075E-04	4,779E-04	3,236E-04	3,130E-04	3,060E-04	4,403E-04	4,043E-04	3,827E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	4,305E-05	4,218E-05	5,861E-05	5,504E-05	5,301E-05	3,465E-05	3,393E-05	3,344E-05	4,642E-05	4,395E-05	4,247E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,501E-02	1,497E-02	1,894E-02	1,881E-02	1,873E-02	1,180E-02	1,177E-02	1,176E-02	1,573E-02	1,566E-02	1,561E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	1,307E-02	1,304E-02	1,651E-02	1,638E-02	1,631E-02	1,027E-02	1,024E-02	1,023E-02	1,369E-02	1,362E-02	1,358E-02
IRP (kBq U235 eq)	2,531E-02	2,352E-02	4,216E-02	3,483E-02	3,066E-02	2,203E-02	2,066E-02	1,975E-02	3,024E-02	2,569E-02	2,296E-02
ALOP (m²a)	4,965E-03	4,866E-03	6,779E-03	6,373E-03	6,142E-03	3,722E-03	3,663E-03	3,623E-03	4,986E-03	4,789E-03	4,670E-03
ULOP (m²a)	8,819E-03	8,762E-03	1,126E-02	1,102E-02	1,089E-02	6,807E-03	6,764E-03	6,735E-03	8,963E-03	8,821E-03	8,735E-03
LTP (m²)	8,324E-05	7,462E-05	1,550E-04	1,195E-04	9,940E-05	7,960E-05	7,274E-05	6,816E-05	1,106E-04	8,770E-05	7,398E-05
WDP (m³)	1,375E-03	1,332E-03	1,966E-03	1,792E-03	1,694E-03	1,102E-03	1,070E-03	1,049E-03	1,489E-03	1,382E-03	1,318E-03
MDP (kg Fe eq)	4,164E-02	4,147E-02	5,305E-02	5,235E-02	5,195E-02	3,110E-02	3,099E-02	3,092E-02	4,151E-02	4,116E-02	4,095E-02
FDP (kg oil eq)	9,222E-02	8,381E-02	1,649E-01	1,303E-01	1,107E-01	8,443E-02	7,790E-02	7,354E-02	1,168E-01	9,503E-02	8,196E-02

	CASO 34	CASO 35	CASO 36	CASO 37	CASO 38	CASO 39	CASO 40	CASO 41	CASO 42	CASO 43	CASO 44
GWP (kg CO₂ eq)	4,166E-01	3,475E-01	3,066E-01	2,795E-01	2,346E-01	2,094E-01	3,285E-01	2,836E-01	2,584E-01	5,036E-01	3,999E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	6,723E-08	5,450E-08	4,698E-08	4,317E-08	3,541E-08	3,104E-08	4,990E-08	4,214E-08	3,777E-08	7,847E-08	6,052E-08
AP (kg SO₂ eq)	1,199E-03	1,086E-03	1,020E-03	8,129E-04	7,304E-04	6,840E-04	9,989E-04	9,170E-04	8,708E-04	1,415E-03	1,226E-03
FEP (kg P eq)	7,639E-05	7,505E-05	7,426E-05	4,706E-05	4,606E-05	4,550E-05	6,172E-05	6,072E-05	6,016E-05	7,918E-05	7,688E-05
MEP (kg N eq)	5,701E-05	5,362E-05	5,162E-05	3,472E-05	3,276E-05	3,166E-05	4,413E-05	4,220E-05	4,112E-05	5,890E-05	5,451E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	1,444E-01	1,405E-01	1,381E-01	8,413E-02	8,261E-02	8,176E-02	1,104E-01	1,089E-01	1,081E-01	1,410E-01	1,375E-01
POFP (kg NMVOC)	1,060E-03	9,554E-04	8,938E-04	7,578E-04	6,746E-04	6,279E-04	9,013E-04	8,229E-04	7,789E-04	1,260E-03	1,086E-03
PMFP (kg PM₁₀ eq)	5,235E-04	4,877E-04	4,666E-04	3,418E-04	3,169E-04	3,029E-04	4,286E-04	4,040E-04	3,902E-04	5,845E-04	5,279E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	5,716E-05	5,442E-05	5,280E-05	3,514E-05	3,357E-05	3,268E-05	4,485E-05	4,328E-05	4,240E-05	5,898E-05	5,535E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,963E-02	1,955E-02	1,951E-02	1,134E-02	1,128E-02	1,125E-02	1,505E-02	1,499E-02	1,496E-02	1,892E-02	1,879E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	1,708E-02	1,700E-02	1,696E-02	9,883E-03	9,829E-03	9,798E-03	1,311E-02	1,306E-02	1,302E-02	1,649E-02	1,636E-02
IRP (kBq U235 eq)	3,663E-02	3,163E-02	2,867E-02	2,239E-02	1,937E-02	1,766E-02	2,685E-02	2,383E-02	2,213E-02	3,982E-02	3,283E-02
ALOP (m²a)	6,171E-03	5,954E-03	5,826E-03	3,906E-03	3,749E-03	3,660E-03	5,038E-03	4,881E-03	4,792E-03	6,612E-03	6,249E-03
ULOP (m²a)	1,106E-02	1,091E-02	1,081E-02	6,898E-03	6,792E-03	6,733E-03	8,953E-03	8,848E-03	8,788E-03	1,130E-02	1,106E-02
LTP (m²)	1,324E-04	1,072E-04	9,237E-05	8,572E-05	7,033E-05	6,167E-05	9,908E-05	8,369E-05	7,504E-05	1,557E-04	1,201E-04
WDP (m³)	1,832E-03	1,715E-03	1,646E-03	1,155E-03	1,078E-03	1,035E-03	1,462E-03	1,386E-03	1,343E-03	1,985E-03	1,808E-03
MDP (kg Fe eq)	5,179E-02	5,140E-02	5,117E-02	3,172E-02	3,141E-02	3,124E-02	4,197E-02	4,166E-02	4,149E-02	5,308E-02	5,237E-02
FDP (kg oil eq)	1,405E-01	1,165E-01	1,024E-01	9,213E-02	7,709E-02	6,864E-02	1,080E-01	9,296E-02	8,450E-02	1,661E-01	1,314E-01

	CASO 45	CASO 46	CASO 47	CASO 48	CASO 49	CASO 50	CASO 51	CASO 52	CASO 53	CASO 54	CASO 55
GWP (kg CO₂ eq)	3,410E-01	2,525E-01	2,335E-01	2,209E-01	3,490E-01	2,858E-01	2,479E-01	4,203E-01	3,507E-01	3,096E-01	2,795E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	5,033E-08	4,042E-08	3,694E-08	3,463E-08	5,615E-08	4,456E-08	3,761E-08	6,725E-08	5,450E-08	4,696E-08	4,317E-08
AP (kg SO₂ eq)	1,119E-03	7,678E-04	7,334E-04	7,105E-04	1,053E-03	9,362E-04	8,662E-04	1,246E-03	1,127E-03	1,056E-03	8,170E-04
FEP (kg P eq)	7,557E-05	4,530E-05	4,495E-05	4,472E-05	6,057E-05	5,943E-05	5,874E-05	7,539E-05	7,414E-05	7,339E-05	4,706E-05
MEP (kg N eq)	5,201E-05	3,589E-05	3,481E-05	3,409E-05	4,904E-05	4,530E-05	4,306E-05	5,752E-05	5,406E-05	5,201E-05	3,501E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	1,355E-01	8,586E-02	8,488E-02	8,422E-02	1,156E-01	1,121E-01	1,100E-01	1,439E-01	1,400E-01	1,377E-01	8,412E-02
POFP (kg NMVOC)	9,876E-04	6,827E-04	6,503E-04	6,286E-04	9,444E-04	8,324E-04	7,653E-04	1,080E-03	9,733E-04	9,102E-04	7,589E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	4,958E-04	3,352E-04	3,239E-04	3,164E-04	4,544E-04	4,165E-04	3,938E-04	5,421E-04	5,043E-04	4,820E-04	3,433E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	5,329E-05	3,485E-05	3,411E-05	3,362E-05	4,662E-05	4,413E-05	4,264E-05	5,753E-05	5,477E-05	5,314E-05	3,514E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,872E-02	1,179E-02	1,176E-02	1,175E-02	1,572E-02	1,564E-02	1,560E-02	1,962E-02	1,954E-02	1,949E-02	1,134E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	1,629E-02	1,026E-02	1,024E-02	1,022E-02	1,367E-02	1,361E-02	1,356E-02	1,707E-02	1,699E-02	1,695E-02	9,883E-03
IRP (kBq U235 eq)	2,886E-02	2,099E-02	1,966E-02	1,878E-02	2,882E-02	2,441E-02	2,176E-02	3,490E-02	3,004E-02	2,718E-02	2,239E-02
ALOP (m²a)	6,042E-03	3,667E-03	3,613E-03	3,577E-03	4,909E-03	4,730E-03	4,622E-03	6,080E-03	5,882E-03	5,765E-03	3,906E-03
ULOP (m²a)	1,092E-02	6,826E-03	6,783E-03	6,753E-03	8,990E-03	8,844E-03	8,757E-03	1,110E-02	1,094E-02	1,084E-02	6,898E-03
LTP (m²)	9,995E-05	7,976E-05	7,290E-05	6,832E-05	1,108E-04	8,791E-05	7,419E-05	1,327E-04	1,075E-04	9,263E-05	8,572E-05
WDP (m³)	1,708E-03	1,109E-03	1,077E-03	1,055E-03	1,497E-03	1,390E-03	1,326E-03	1,843E-03	1,725E-03	1,655E-03	1,155E-03
MDP (kg Fe eq)	5,197E-02	3,108E-02	3,098E-02	3,091E-02	4,149E-02	4,114E-02	4,093E-02	5,176E-02	5,138E-02	5,115E-02	3,172E-02
FDP (kg oil eq)	1,116E-01	8,499E-02	7,842E-02	7,405E-02	1,176E-01	9,569E-02	8,256E-02	1,414E-01	1,173E-01	1,031E-01	9,213E-02

	CASO 56	CASO 57	CASO 58	CASO 59	CASO 60	CASO 61	CASO 62	CASO 63	CASO 64	CASO 65	CASO 66
GWP (kg CO₂ eq)	2,346E-01	2,094E-01	3,285E-01	2,836E-01	2,584E-01	5,036E-01	3,999E-01	3,410E-01	2,525E-01	2,335E-01	2,209E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	3,541E-08	3,104E-08	4,990E-08	4,214E-08	3,777E-08	7,847E-08	6,052E-08	5,033E-08	4,042E-08	3,694E-08	3,463E-08
AP (kg SO₂ eq)	7,336E-04	6,867E-04	1,003E-03	9,203E-04	8,737E-04	1,421E-03	1,231E-03	1,123E-03	7,864E-04	7,501E-04	7,258E-04
FEP (kg P eq)	4,606E-05	4,550E-05	6,172E-05	6,072E-05	6,016E-05	7,918E-05	7,688E-05	7,557E-05	4,530E-05	4,495E-05	4,472E-05
MEP (kg N eq)	3,299E-05	3,185E-05	4,442E-05	4,244E-05	4,133E-05	5,933E-05	5,482E-05	5,227E-05	3,719E-05	3,597E-05	3,516E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	8,260E-02	8,175E-02	1,105E-01	1,089E-01	1,081E-01	1,411E-01	1,375E-01	1,355E-01	8,624E-02	8,522E-02	8,454E-02
POFP (kg NMVOC)	6,755E-04	6,285E-04	9,044E-04	8,255E-04	7,811E-04	1,267E-03	1,091E-03	9,916E-04	7,170E-04	6,810E-04	6,569E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	3,182E-04	3,040E-04	4,302E-04	4,053E-04	3,913E-04	5,869E-04	5,297E-04	4,972E-04	3,596E-04	3,458E-04	3,365E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	3,357E-05	3,268E-05	4,485E-05	4,328E-05	4,240E-05	5,899E-05	5,535E-05	5,329E-05	3,492E-05	3,418E-05	3,368E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,128E-02	1,125E-02	1,505E-02	1,499E-02	1,496E-02	1,892E-02	1,879E-02	1,872E-02	1,179E-02	1,176E-02	1,175E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	9,829E-03	9,798E-03	1,311E-02	1,306E-02	1,302E-02	1,649E-02	1,636E-02	1,629E-02	1,026E-02	1,024E-02	1,022E-02
IRP (kBq U235 eq)	1,937E-02	1,766E-02	2,685E-02	2,383E-02	2,213E-02	3,982E-02	3,283E-02	2,886E-02	2,099E-02	1,966E-02	1,878E-02
ALOP (m²a)	3,749E-03	3,660E-03	5,038E-03	4,881E-03	4,792E-03	6,612E-03	6,249E-03	6,042E-03	3,667E-03	3,613E-03	3,577E-03
ULOP (m²a)	6,792E-03	6,733E-03	8,953E-03	8,848E-03	8,788E-03	1,130E-02	1,106E-02	1,092E-02	6,826E-03	6,783E-03	6,753E-03
LTP (m²)	7,033E-05	6,167E-05	9,908E-05	8,369E-05	7,504E-05	1,557E-04	1,201E-04	9,995E-05	7,976E-05	7,290E-05	6,832E-05
WDP (m³)	1,078E-03	1,035E-03	1,462E-03	1,386E-03	1,343E-03	1,985E-03	1,808E-03	1,708E-03	1,109E-03	1,077E-03	1,055E-03
MDP (kg Fe eq)	3,141E-02	3,124E-02	4,197E-02	4,166E-02	4,149E-02	5,308E-02	5,237E-02	5,197E-02	3,108E-02	3,098E-02	3,091E-02
FDP (kg oil eq)	7,709E-02	6,864E-02	1,080E-01	9,296E-02	8,450E-02	1,661E-01	1,314E-01	1,116E-01	8,499E-02	7,842E-02	7,405E-02

	CASO 67	CASO 68	CASO 69	CASO 70	CASO 71	CASO 72	CASO 73	CASO 74	CASO 75	CASO 76	CASO 77
GWP (kg CO₂ eq)	3,490E-01	2,858E-01	2,479E-01	4,203E-01	3,507E-01	3,096E-01	2,525E-01	2,335E-01	2,209E-01	3,490E-01	2,858E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	5,615E-08	4,456E-08	3,761E-08	6,725E-08	5,450E-08	4,696E-08	4,042E-08	3,694E-08	3,463E-08	5,615E-08	4,456E-08
AP (kg SO₂ eq)	1,050E-03	9,341E-04	8,645E-04	1,268E-03	1,144E-03	1,071E-03	7,678E-04	7,334E-04	7,105E-04	1,053E-03	9,362E-04
FEP (kg P eq)	6,057E-05	5,943E-05	5,874E-05	7,539E-05	7,414E-05	7,339E-05	4,530E-05	4,495E-05	4,472E-05	6,057E-05	5,943E-05
MEP (kg N eq)	4,885E-05	4,516E-05	4,295E-05	5,910E-05	5,527E-05	5,301E-05	3,589E-05	3,481E-05	3,409E-05	4,904E-05	4,530E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	1,161E-01	1,125E-01	1,104E-01	1,445E-01	1,404E-01	1,381E-01	8,586E-02	8,488E-02	8,422E-02	1,156E-01	1,121E-01
POFP (kg NMVOC)	9,410E-04	8,300E-04	7,633E-04	1,122E-03	1,006E-03	9,369E-04	6,827E-04	6,503E-04	6,286E-04	9,444E-04	8,324E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	4,718E-04	4,295E-04	4,042E-04	5,675E-04	5,234E-04	4,974E-04	3,352E-04	3,239E-04	3,164E-04	4,544E-04	4,165E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	4,672E-05	4,421E-05	4,270E-05	5,752E-05	5,473E-05	5,309E-05	3,485E-05	3,411E-05	3,362E-05	4,662E-05	4,413E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,572E-02	1,564E-02	1,560E-02	1,962E-02	1,954E-02	1,949E-02	1,179E-02	1,176E-02	1,175E-02	1,572E-02	1,564E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	1,367E-02	1,361E-02	1,356E-02	1,707E-02	1,699E-02	1,694E-02	1,026E-02	1,024E-02	1,022E-02	1,367E-02	1,361E-02
IRP (kBq U235 eq)	2,882E-02	2,441E-02	2,176E-02	3,490E-02	3,004E-02	2,718E-02	2,099E-02	1,966E-02	1,878E-02	2,882E-02	2,441E-02
ALOP (m²a)	4,909E-03	4,730E-03	4,622E-03	6,080E-03	5,882E-03	5,765E-03	3,667E-03	3,613E-03	3,577E-03	4,909E-03	4,730E-03
ULOP (m²a)	8,990E-03	8,844E-03	8,757E-03	1,110E-02	1,094E-02	1,084E-02	6,826E-03	6,783E-03	6,753E-03	8,990E-03	8,844E-03
LTP (m²)	1,108E-04	8,791E-05	7,419E-05	1,327E-04	1,075E-04	9,263E-05	7,976E-05	7,290E-05	6,832E-05	1,108E-04	8,791E-05
WDP (m³)	1,497E-03	1,390E-03	1,326E-03	1,843E-03	1,725E-03	1,655E-03	1,109E-03	1,077E-03	1,055E-03	1,497E-03	1,390E-03
MDP (kg Fe eq)	4,149E-02	4,114E-02	4,093E-02	5,176E-02	5,138E-02	5,115E-02	3,108E-02	3,098E-02	3,091E-02	4,149E-02	4,114E-02
FDP (kg oil eq)	1,176E-01	9,569E-02	8,256E-02	1,414E-01	1,173E-01	1,031E-01	8,499E-02	7,842E-02	7,405E-02	1,176E-01	9,569E-02

	CASO 78	CASO 79	CASO 80	CASO 81	CASO 82	CASO 83	CASO 84	CASO 85	CASO 86	CASO 87	CASO 88
GWP (kg CO₂ eq)	2,479E-01	4,203E-01	3,507E-01	3,096E-01	2,851E-01	2,478E-01	2,182E-01	3,374E-01	2,987E-01	2,644E-01	3,949E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	3,761E-08	6,725E-08	5,450E-08	4,696E-08	4,627E-08	4,045E-08	3,498E-08	5,394E-08	4,799E-08	4,165E-08	6,256E-08
AP (kg SO₂ eq)	8,662E-04	1,246E-03	1,127E-03	1,056E-03	7,852E-04	7,175E-04	6,674E-04	9,715E-04	9,021E-04	8,441E-04	1,167E-03
FEP (kg P eq)	5,874E-05	7,539E-05	7,414E-05	7,339E-05	4,721E-05	4,601E-05	4,545E-05	6,201E-05	6,074E-05	6,009E-05	7,692E-05
MEP (kg N eq)	4,306E-05	5,752E-05	5,406E-05	5,201E-05	3,447E-05	3,282E-05	3,160E-05	4,404E-05	4,239E-05	4,099E-05	5,382E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	1,100E-01	1,439E-01	1,400E-01	1,377E-01	8,402E-02	8,241E-02	8,152E-02	1,104E-01	1,087E-01	1,077E-01	1,370E-01
POFP (kg NMVOC)	7,653E-04	1,080E-03	9,733E-04	9,102E-04	7,594E-04	6,924E-04	6,382E-04	9,203E-04	8,620E-04	8,000E-04	1,092E-03
PMFP (kg PM₁₀ eq)	3,938E-04	5,421E-04	5,043E-04	4,820E-04	3,302E-04	3,099E-04	2,951E-04	4,166E-04	3,960E-04	3,789E-04	5,058E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	4,264E-05	5,753E-05	5,477E-05	5,314E-05	3,534E-05	3,409E-05	3,304E-05	4,516E-05	4,386E-05	4,265E-05	5,516E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,560E-02	1,962E-02	1,954E-02	1,949E-02	1,133E-02	1,127E-02	1,124E-02	1,505E-02	1,498E-02	1,495E-02	1,877E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	1,356E-02	1,707E-02	1,699E-02	1,695E-02	9,880E-03	9,823E-03	9,791E-03	1,311E-02	1,305E-02	1,301E-02	1,635E-02
IRP (kBq U235 eq)	2,176E-02	3,490E-02	3,004E-02	2,718E-02	2,436E-02	2,169E-02	1,958E-02	2,940E-02	2,664E-02	2,419E-02	3,481E-02
ALOP (m²a)	4,622E-03	6,080E-03	5,882E-03	5,765E-03	3,819E-03	3,574E-03	3,499E-03	4,946E-03	4,679E-03	4,593E-03	6,087E-03
ULOP (m²a)	8,757E-03	1,110E-02	1,094E-02	1,084E-02	6,836E-03	6,725E-03	6,669E-03	8,887E-03	8,768E-03	8,703E-03	1,095E-02
LTP (m²)	7,419E-05	1,327E-04	1,075E-04	9,263E-05	9,025E-05	7,824E-05	6,766E-05	1,052E-04	9,285E-05	8,059E-05	1,220E-04
WDP (m³)	1,326E-03	1,843E-03	1,725E-03	1,655E-03	1,171E-03	1,114E-03	1,062E-03	1,485E-03	1,427E-03	1,366E-03	1,809E-03
MDP (kg Fe eq)	4,093E-02	5,176E-02	5,138E-02	5,115E-02	3,153E-02	3,117E-02	3,101E-02	4,177E-02	4,138E-02	4,120E-02	5,204E-02
FDP (kg oil eq)	8,256E-02	1,414E-01	1,173E-01	1,031E-01	9,611E-02	8,433E-02	7,405E-02	1,134E-01	1,013E-01	8,939E-02	1,325E-01

	CASO 89	CASO 90	CASO 91	CASO 92	CASO 93	CASO 94	CASO 95	CASO 96	CASO 97	CASO 98	CASO 99
GWP (kg CO₂ eq)	3,495E-01	3,056E-01	2,851E-01	2,478E-01	2,182E-01	3,374E-01	2,987E-01	2,644E-01	3,949E-01	3,495E-01	3,056E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	5,551E-08	4,736E-08	4,627E-08	4,045E-08	3,498E-08	5,394E-08	4,799E-08	4,165E-08	6,256E-08	5,551E-08	4,736E-08
AP (kg SO₂ eq)	1,086E-03	1,012E-03	7,852E-04	7,175E-04	6,674E-04	9,715E-04	9,021E-04	8,441E-04	1,167E-03	1,086E-03	1,012E-03
FEP (kg P eq)	7,546E-05	7,463E-05	4,721E-05	4,601E-05	4,545E-05	6,201E-05	6,074E-05	6,009E-05	7,692E-05	7,546E-05	7,463E-05
MEP (kg N eq)	5,196E-05	5,016E-05	3,447E-05	3,282E-05	3,160E-05	4,404E-05	4,239E-05	4,099E-05	5,382E-05	5,196E-05	5,016E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	1,350E-01	1,337E-01	8,402E-02	8,241E-02	8,152E-02	1,104E-01	1,087E-01	1,077E-01	1,370E-01	1,350E-01	1,337E-01
POFP (kg NMVOC)	1,032E-03	9,525E-04	7,594E-04	6,924E-04	6,382E-04	9,203E-04	8,620E-04	8,000E-04	1,092E-03	1,032E-03	9,525E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	4,820E-04	4,601E-04	3,302E-04	3,099E-04	2,951E-04	4,166E-04	3,960E-04	3,789E-04	5,058E-04	4,820E-04	4,601E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	5,364E-05	5,208E-05	3,534E-05	3,409E-05	3,304E-05	4,516E-05	4,386E-05	4,265E-05	5,516E-05	5,364E-05	5,208E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,870E-02	1,865E-02	1,133E-02	1,127E-02	1,124E-02	1,505E-02	1,498E-02	1,495E-02	1,877E-02	1,870E-02	1,865E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	1,628E-02	1,623E-02	9,880E-03	9,823E-03	9,791E-03	1,311E-02	1,305E-02	1,301E-02	1,635E-02	1,628E-02	1,623E-02
IRP (kBq U235 eq)	3,158E-02	2,844E-02	2,436E-02	2,169E-02	1,958E-02	2,940E-02	2,664E-02	2,419E-02	3,481E-02	3,158E-02	2,844E-02
ALOP (m²a)	5,784E-03	5,676E-03	3,819E-03	3,574E-03	3,499E-03	4,946E-03	4,679E-03	4,593E-03	6,087E-03	5,784E-03	5,676E-03
ULOP (m²a)	1,081E-02	1,073E-02	6,836E-03	6,725E-03	6,669E-03	8,887E-03	8,768E-03	8,703E-03	1,095E-02	1,081E-02	1,073E-02
LTP (m²)	1,074E-04	9,166E-05	9,025E-05	7,824E-05	6,766E-05	1,052E-04	9,285E-05	8,059E-05	1,220E-04	1,074E-04	9,166E-05
WDP (m³)	1,739E-03	1,661E-03	1,171E-03	1,114E-03	1,062E-03	1,485E-03	1,427E-03	1,366E-03	1,809E-03	1,739E-03	1,661E-03
MDP (kg Fe eq)	5,160E-02	5,137E-02	3,153E-02	3,117E-02	3,101E-02	4,177E-02	4,138E-02	4,120E-02	5,204E-02	5,160E-02	5,137E-02
FDP (kg oil eq)	1,182E-01	1,029E-01	9,611E-02	8,433E-02	7,405E-02	1,134E-01	1,013E-01	8,939E-02	1,325E-01	1,182E-01	1,029E-01

	CASO 100	CASO 101	CASO 102	CASO 103	CASO 104	CASO 105	CASO 106	CASO 107	CASO 108	CASO 109	CASO 110
GWP (kg CO₂ eq)	2,873E-01	2,490E-01	2,194E-01	3,400E-01	3,003E-01	2,660E-01	3,980E-01	3,515E-01	3,075E-01	2,873E-01	2,490E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	4,624E-08	4,041E-08	3,494E-08	5,389E-08	4,794E-08	4,160E-08	6,250E-08	5,544E-08	4,729E-08	4,624E-08	4,041E-08
AP (kg SO₂ eq)	8,092E-04	7,305E-04	6,796E-04	1,001E-03	9,192E-04	8,603E-04	1,202E-03	1,108E-03	1,032E-03	8,111E-04	7,306E-04
FEP (kg P eq)	4,671E-05	4,562E-05	4,507E-05	6,138E-05	6,022E-05	5,958E-05	7,614E-05	7,481E-05	7,399E-05	4,671E-05	4,562E-05
MEP (kg N eq)	3,476E-05	3,295E-05	3,172E-05	4,438E-05	4,256E-05	4,114E-05	5,423E-05	5,217E-05	5,036E-05	3,490E-05	3,296E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	8,379E-02	8,222E-02	8,134E-02	1,101E-01	1,085E-01	1,075E-01	1,367E-01	1,347E-01	1,334E-01	8,379E-02	8,222E-02
POFP (kg NMVOC)	7,703E-04	6,985E-04	6,439E-04	9,337E-04	8,701E-04	8,077E-04	1,108E-03	1,042E-03	9,621E-04	7,708E-04	6,985E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	3,395E-04	3,153E-04	3,002E-04	4,281E-04	4,031E-04	3,856E-04	5,194E-04	4,908E-04	4,685E-04	3,403E-04	3,153E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	3,549E-05	3,418E-05	3,313E-05	4,534E-05	4,399E-05	4,277E-05	5,539E-05	5,380E-05	5,224E-05	3,549E-05	3,418E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,133E-02	1,127E-02	1,123E-02	1,504E-02	1,498E-02	1,494E-02	1,876E-02	1,869E-02	1,864E-02	1,133E-02	1,127E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	9,872E-03	9,816E-03	9,784E-03	1,310E-02	1,304E-02	1,300E-02	1,633E-02	1,627E-02	1,622E-02	9,872E-03	9,816E-03
IRP (kBq U235 eq)	2,338E-02	2,102E-02	1,893E-02	2,817E-02	2,575E-02	2,333E-02	3,333E-02	3,047E-02	2,736E-02	2,338E-02	2,102E-02
ALOP (m²a)	3,773E-03	3,565E-03	3,494E-03	4,894E-03	4,669E-03	4,586E-03	6,028E-03	5,772E-03	5,667E-03	3,773E-03	3,565E-03
ULOP (m²a)	6,855E-03	6,737E-03	6,680E-03	8,910E-03	8,784E-03	8,717E-03	1,097E-02	1,083E-02	1,075E-02	6,855E-03	6,737E-03
LTP (m²)	9,053E-05	7,839E-05	6,780E-05	1,055E-04	9,305E-05	8,077E-05	1,224E-04	1,077E-04	9,189E-05	9,053E-05	7,839E-05
WDP (m³)	1,179E-03	1,119E-03	1,066E-03	1,495E-03	1,433E-03	1,372E-03	1,820E-03	1,747E-03	1,669E-03	1,179E-03	1,119E-03
MDP (kg Fe eq)	3,154E-02	3,117E-02	3,102E-02	4,178E-02	4,139E-02	4,121E-02	5,205E-02	5,160E-02	5,137E-02	3,154E-02	3,117E-02
FDP (kg oil eq)	9,658E-02	8,461E-02	7,431E-02	1,140E-01	1,017E-01	8,974E-02	1,332E-01	1,187E-01	1,034E-01	9,658E-02	8,461E-02

	CASO 111	CASO 112	CASO 113	CASO 114	CASO 115	CASO 116	CASO 117
GWP (kg CO₂ eq)	2,194E-01	3,400E-01	3,003E-01	2,660E-01	3,980E-01	3,515E-01	3,075E-01
ODP (kg CFC-11 eq)	3,494E-08	5,389E-08	4,794E-08	4,160E-08	6,250E-08	5,544E-08	4,729E-08
AP (kg SO₂ eq)	6,796E-04	1,003E-03	9,193E-04	8,604E-04	1,204E-03	1,108E-03	1,032E-03
FEP (kg P eq)	4,507E-05	6,138E-05	6,022E-05	5,958E-05	7,614E-05	7,481E-05	7,399E-05
MEP (kg N eq)	3,172E-05	4,452E-05	4,258E-05	4,114E-05	5,437E-05	5,218E-05	5,036E-05
HTP (kg 1,4-DB eq)	8,134E-02	1,101E-01	1,085E-01	1,075E-01	1,367E-01	1,347E-01	1,334E-01
POFP (kg NMVOC)	6,439E-04	9,352E-04	8,702E-04	8,077E-04	1,111E-03	1,042E-03	9,621E-04
PMFP (kg PM₁₀ eq)	3,002E-04	4,288E-04	4,031E-04	3,856E-04	5,202E-04	4,909E-04	4,686E-04
TETP (kg 1,4-DB eq)	3,313E-05	4,534E-05	4,399E-05	4,277E-05	5,539E-05	5,380E-05	5,224E-05
FETP (kg 1,4-DB eq)	1,123E-02	1,504E-02	1,498E-02	1,494E-02	1,876E-02	1,869E-02	1,864E-02
METP (kg 1,4-DB eq)	9,784E-03	1,310E-02	1,304E-02	1,300E-02	1,633E-02	1,627E-02	1,622E-02
IRP (kBq U235 eq)	1,893E-02	2,817E-02	2,575E-02	2,333E-02	3,333E-02	3,047E-02	2,736E-02
ALOP (m²a)	3,494E-03	4,894E-03	4,669E-03	4,586E-03	6,028E-03	5,772E-03	5,667E-03
ULOP (m²a)	6,680E-03	8,910E-03	8,784E-03	8,717E-03	1,097E-02	1,083E-02	1,075E-02
LTP (m²)	6,780E-05	1,055E-04	9,305E-05	8,077E-05	1,224E-04	1,077E-04	9,189E-05
WDP (m³)	1,066E-03	1,495E-03	1,433E-03	1,372E-03	1,820E-03	1,747E-03	1,669E-03
MDP (kg Fe eq)	3,102E-02	4,178E-02	4,139E-02	4,121E-02	5,205E-02	5,160E-02	5,137E-02
FDP (kg oil eq)	7,431E-02	1,140E-01	1,017E-01	8,974E-02	1,332E-01	1,187E-01	1,034E-01

ANEXO IV: EVALUACIÓN DE IMPACTO DEL CICLO DE VIDA (EICV) - ENDPOINT

Unidad: mPt	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5	CASO 6	CASO 7	CASO 8	CASO 9	CASO 10	CASO 11
TOTAL	3,089E+01	2,665E+01	2,427E+01	3,698E+01	3,275E+01	3,037E+01	5,497E+01	4,519E+01	3,964E+01	2,874E+01	2,691E+01
GWP HH	1,134E+01	9,519E+00	8,493E+00	1,333E+01	1,150E+01	1,048E+01	2,044E+01	1,622E+01	1,383E+01	1,027E+01	9,499E+00
ODP	3,314E-03	2,714E-03	2,376E-03	3,826E-03	3,226E-03	2,889E-03	6,026E-03	4,639E-03	3,852E-03	3,096E-03	2,827E-03
HTP	1,732E+00	1,700E+00	1,682E+00	2,273E+00	2,242E+00	2,224E+00	2,903E+00	2,830E+00	2,789E+00	1,763E+00	1,743E+00
POFP	8,475E-04	7,551E-04	7,031E-04	1,008E-03	9,210E-04	8,721E-04	1,406E-03	1,214E-03	1,105E-03	7,598E-04	7,242E-04
PMFP	2,499E+00	2,324E+00	2,226E+00	3,140E+00	2,967E+00	2,870E+00	4,266E+00	3,869E+00	3,643E+00	2,467E+00	2,386E+00
IRP	1,140E-02	9,880E-03	9,023E-03	1,369E-02	1,217E-02	1,131E-02	2,027E-02	1,675E-02	1,475E-02	1,059E-02	9,936E-03
GWP E	9,553E-01	8,017E-01	7,153E-01	1,122E+00	9,689E-01	8,825E-01	1,721E+00	1,366E+00	1,165E+00	8,653E-01	8,001E-01
AP	1,963E-03	1,768E-03	1,658E-03	2,415E-03	2,222E-03	2,113E-03	3,412E-03	2,966E-03	2,712E-03	1,865E-03	1,783E-03
FEP	9,259E-04	9,056E-04	8,941E-04	1,214E-03	1,193E-03	1,182E-03	1,559E-03	1,512E-03	1,485E-03	8,913E-04	8,842E-04
TETP	2,295E-03	2,193E-03	2,136E-03	2,930E-03	2,828E-03	2,771E-03	3,850E-03	3,616E-03	3,483E-03	2,277E-03	2,229E-03
FETP	4,239E-03	4,218E-03	4,206E-03	5,627E-03	5,605E-03	5,593E-03	7,075E-03	7,025E-03	6,997E-03	4,406E-03	4,398E-03
METP	7,601E-04	7,559E-04	7,535E-04	1,008E-03	1,004E-03	1,002E-03	1,268E-03	1,258E-03	1,253E-03	7,887E-04	7,871E-04
ALOP	2,105E-02	2,013E-02	1,961E-02	2,708E-02	2,616E-02	2,564E-02	3,569E-02	3,357E-02	3,236E-02	1,961E-02	1,930E-02
ULOP	6,201E-02	6,109E-02	6,058E-02	8,051E-02	7,959E-02	7,908E-02	1,016E-01	9,947E-02	9,827E-02	6,143E-02	6,105E-02
LTP	6,391E-02	5,243E-02	4,597E-02	7,387E-02	6,239E-02	5,593E-02	1,161E-01	8,957E-02	7,450E-02	5,968E-02	5,454E-02
MDP	1,850E+00	1,832E+00	1,822E+00	2,448E+00	2,430E+00	2,420E+00	3,096E+00	3,055E+00	3,031E+00	1,815E+00	1,809E+00
FDP	1,234E+01	1,032E+01	9,187E+00	1,446E+01	1,244E+01	1,131E+01	2,225E+01	1,759E+01	1,494E+01	1,139E+01	1,051E+01

Unidad: mPt	CASO 12	CASO 13	CASO 14	CASO 15	CASO 16	CASO 17	CASO 18	CASO 19	CASO 20	CASO 21	CASO 22
TOTAL	2,568E+01	3,954E+01	3,342E+01	2,974E+01	4,774E+01	4,103E+01	3,707E+01	3,089E+01	2,665E+01	2,427E+01	3,698E+01
GWP HH	8,983E+00	1,420E+01	1,162E+01	1,008E+01	1,710E+01	1,426E+01	1,259E+01	1,134E+01	9,519E+00	8,493E+00	1,333E+01
ODP	2,648E-03	4,302E-03	3,407E-03	2,870E-03	5,150E-03	4,166E-03	3,584E-03	3,314E-03	2,714E-03	2,376E-03	3,826E-03
HTP	1,730E+00	2,379E+00	2,308E+00	2,265E+00	2,963E+00	2,882E+00	2,834E+00	1,732E+00	1,700E+00	1,682E+00	2,273E+00
POFP	7,005E-04	1,061E-03	9,352E-04	8,601E-04	1,212E-03	1,092E-03	1,022E-03	8,475E-04	7,551E-04	7,031E-04	1,008E-03
PMFP	2,333E+00	3,357E+00	3,082E+00	2,917E+00	3,990E+00	3,718E+00	3,557E+00	2,499E+00	2,324E+00	2,226E+00	3,140E+00
IRP	9,498E-03	1,454E-02	1,235E-02	1,104E-02	1,762E-02	1,521E-02	1,379E-02	1,140E-02	9,880E-03	9,023E-03	1,369E-02
GWP E	7,566E-01	1,196E+00	9,790E-01	8,486E-01	1,440E+00	1,201E+00	1,060E+00	9,553E-01	8,017E-01	7,153E-01	1,122E+00
AP	1,728E-03	2,567E-03	2,285E-03	2,117E-03	3,034E-03	2,748E-03	2,579E-03	1,963E-03	1,768E-03	1,658E-03	2,415E-03
FEP	8,795E-04	1,192E-03	1,169E-03	1,154E-03	1,484E-03	1,458E-03	1,442E-03	9,259E-04	9,056E-04	8,941E-04	1,214E-03
TETP	2,197E-03	3,050E-03	2,888E-03	2,790E-03	3,756E-03	3,576E-03	3,469E-03	2,295E-03	2,193E-03	2,136E-03	2,930E-03
FETP	4,392E-03	5,875E-03	5,848E-03	5,832E-03	7,334E-03	7,304E-03	7,286E-03	4,239E-03	4,218E-03	4,206E-03	5,627E-03
METP	7,861E-04	1,052E-03	1,046E-03	1,043E-03	1,312E-03	1,307E-03	1,303E-03	7,601E-04	7,559E-04	7,535E-04	1,008E-03
ALOP	1,909E-02	2,627E-02	2,523E-02	2,461E-02	3,251E-02	3,138E-02	3,070E-02	2,105E-02	2,013E-02	1,961E-02	2,708E-02
ULOP	6,079E-02	8,090E-02	7,961E-02	7,883E-02	9,984E-02	9,843E-02	9,759E-02	6,201E-02	6,109E-02	6,058E-02	8,051E-02
LTP	5,111E-02	8,289E-02	6,576E-02	5,547E-02	9,926E-02	8,041E-02	6,927E-02	6,391E-02	5,243E-02	4,597E-02	7,387E-02
MDP	1,804E+00	2,422E+00	2,402E+00	2,390E+00	3,022E+00	2,999E+00	2,986E+00	1,850E+00	1,832E+00	1,822E+00	2,448E+00
FDP	9,923E+00	1,576E+01	1,282E+01	1,106E+01	1,895E+01	1,572E+01	1,381E+01	1,234E+01	1,032E+01	9,187E+00	1,446E+01

Unidad: mPt	CASO 23	CASO 24	CASO 25	CASO 26	CASO 27	CASO 28	CASO 29	CASO 30	CASO 31	CASO 32	CASO 33
TOTAL	3,275E+01	3,037E+01	5,497E+01	4,519E+01	3,964E+01	2,874E+01	2,691E+01	2,568E+01	3,954E+01	3,342E+01	2,974E+01
GWP HH	1,150E+01	1,048E+01	2,044E+01	1,622E+01	1,383E+01	1,027E+01	9,499E+00	8,983E+00	1,420E+01	1,162E+01	1,008E+01
ODP	3,226E-03	2,889E-03	6,026E-03	4,639E-03	3,852E-03	3,096E-03	2,827E-03	2,648E-03	4,302E-03	3,407E-03	2,870E-03
HTP	2,242E+00	2,224E+00	2,903E+00	2,830E+00	2,789E+00	1,763E+00	1,743E+00	1,730E+00	2,379E+00	2,308E+00	2,265E+00
POFP	9,210E-04	8,721E-04	1,406E-03	1,214E-03	1,105E-03	7,598E-04	7,242E-04	7,005E-04	1,061E-03	9,352E-04	8,601E-04
PMFP	2,967E+00	2,870E+00	4,266E+00	3,869E+00	3,643E+00	2,467E+00	2,386E+00	2,333E+00	3,357E+00	3,082E+00	2,917E+00
IRP	1,217E-02	1,131E-02	2,027E-02	1,675E-02	1,475E-02	1,059E-02	9,936E-03	9,498E-03	1,454E-02	1,235E-02	1,104E-02
GWP E	9,689E-01	8,825E-01	1,721E+00	1,366E+00	1,165E+00	8,653E-01	8,001E-01	7,566E-01	1,196E+00	9,790E-01	8,486E-01
AP	2,222E-03	2,113E-03	3,412E-03	2,966E-03	2,712E-03	1,865E-03	1,783E-03	1,728E-03	2,567E-03	2,285E-03	2,117E-03
FEP	1,193E-03	1,182E-03	1,559E-03	1,512E-03	1,485E-03	8,913E-04	8,842E-04	8,795E-04	1,192E-03	1,169E-03	1,154E-03
TETP	2,828E-03	2,771E-03	3,850E-03	3,616E-03	3,483E-03	2,277E-03	2,229E-03	2,197E-03	3,050E-03	2,888E-03	2,790E-03
FETP	5,605E-03	5,593E-03	7,075E-03	7,025E-03	6,997E-03	4,406E-03	4,398E-03	4,392E-03	5,875E-03	5,848E-03	5,832E-03
METP	1,004E-03	1,002E-03	1,268E-03	1,258E-03	1,253E-03	7,887E-04	7,871E-04	7,861E-04	1,052E-03	1,046E-03	1,043E-03
ALOP	2,616E-02	2,564E-02	3,569E-02	3,357E-02	3,236E-02	1,961E-02	1,930E-02	1,909E-02	2,627E-02	2,523E-02	2,461E-02
ULOP	7,959E-02	7,908E-02	1,016E-01	9,947E-02	9,827E-02	6,143E-02	6,105E-02	6,079E-02	8,090E-02	7,961E-02	7,883E-02
LTP	6,239E-02	5,593E-02	1,161E-01	8,957E-02	7,450E-02	5,968E-02	5,454E-02	5,111E-02	8,289E-02	6,576E-02	5,547E-02
MDP	2,430E+00	2,420E+00	3,096E+00	3,055E+00	3,031E+00	1,815E+00	1,809E+00	1,804E+00	2,422E+00	2,402E+00	2,390E+00
FDP	1,244E+01	1,131E+01	2,225E+01	1,759E+01	1,494E+01	1,139E+01	1,051E+01	9,923E+00	1,576E+01	1,282E+01	1,106E+01

Unidad: mPt	CASO 34	CASO 35	CASO 36	CASO 37	CASO 38	CASO 39	CASO 40	CASO 41	CASO 42	CASO 43	CASO 44
TOTAL	4,774E+01	4,103E+01	3,707E+01	3,122E+01	2,694E+01	2,454E+01	3,738E+01	3,311E+01	3,070E+01	5,557E+01	4,568E+01
GWP HH	1,710E+01	1,426E+01	1,259E+01	1,147E+01	9,631E+00	8,595E+00	1,348E+01	1,164E+01	1,061E+01	2,067E+01	1,641E+01
ODP	5,150E-03	4,166E-03	3,584E-03	3,316E-03	2,715E-03	2,377E-03	3,828E-03	3,228E-03	2,890E-03	6,030E-03	4,641E-03
HTP	2,963E+00	2,882E+00	2,834E+00	1,726E+00	1,695E+00	1,677E+00	2,266E+00	2,235E+00	2,217E+00	2,894E+00	2,822E+00
POFP	1,212E-03	1,092E-03	1,022E-03	8,666E-04	7,714E-04	7,179E-04	1,031E-03	9,410E-04	8,906E-04	1,440E-03	1,242E-03
PMFP	3,990E+00	3,718E+00	3,557E+00	2,605E+00	2,416E+00	2,309E+00	3,268E+00	3,080E+00	2,974E+00	4,455E+00	4,024E+00
IRP	1,762E-02	1,521E-02	1,379E-02	1,077E-02	9,312E-03	8,495E-03	1,291E-02	1,146E-02	1,064E-02	1,915E-02	1,579E-02
GWP E	1,440E+00	1,201E+00	1,060E+00	9,662E-01	8,112E-01	7,239E-01	1,136E+00	9,805E-01	8,933E-01	1,741E+00	1,382E+00
AP	3,034E-03	2,748E-03	2,579E-03	2,056E-03	1,847E-03	1,730E-03	2,526E-03	2,319E-03	2,202E-03	3,579E-03	3,101E-03
FEP	1,484E-03	1,458E-03	1,442E-03	9,139E-04	8,946E-04	8,837E-04	1,199E-03	1,179E-03	1,168E-03	1,538E-03	1,493E-03
TETP	3,756E-03	3,576E-03	3,469E-03	2,308E-03	2,205E-03	2,147E-03	2,947E-03	2,843E-03	2,785E-03	3,875E-03	3,636E-03
FETP	7,334E-03	7,304E-03	7,286E-03	4,236E-03	4,215E-03	4,203E-03	5,622E-03	5,601E-03	5,589E-03	7,069E-03	7,020E-03
METP	1,312E-03	1,307E-03	1,303E-03	7,594E-04	7,552E-04	7,529E-04	1,007E-03	1,003E-03	1,001E-03	1,267E-03	1,257E-03
ALOP	3,251E-02	3,138E-02	3,070E-02	2,060E-02	1,977E-02	1,931E-02	2,657E-02	2,574E-02	2,528E-02	3,487E-02	3,295E-02
ULOP	9,984E-02	9,843E-02	9,759E-02	6,225E-02	6,130E-02	6,077E-02	8,080E-02	7,985E-02	7,932E-02	1,020E-01	9,982E-02
LTP	9,926E-02	8,041E-02	6,927E-02	6,436E-02	5,282E-02	4,633E-02	7,441E-02	6,287E-02	5,638E-02	1,169E-01	9,024E-02
MDP	3,022E+00	2,999E+00	2,986E+00	1,851E+00	1,833E+00	1,823E+00	2,449E+00	2,431E+00	2,421E+00	3,097E+00	3,056E+00
FDP	1,895E+01	1,572E+01	1,381E+01	1,243E+01	1,040E+01	9,261E+00	1,457E+01	1,254E+01	1,140E+01	2,242E+01	1,773E+01

Unidad: mPt	CASO 45	CASO 46	CASO 47	CASO 48	CASO 49	CASO 50	CASO 51	CASO 52	CASO 53	CASO 54	CASO 55
TOTAL	4,007E+01	2,900E+01	2,715E+01	2,592E+01	3,988E+01	3,371E+01	3,000E+01	4,816E+01	4,140E+01	3,741E+01	3,124E+01
GWP HH	1,400E+01	1,036E+01	9,585E+00	9,066E+00	1,433E+01	1,173E+01	1,017E+01	1,725E+01	1,440E+01	1,271E+01	1,147E+01
ODP	3,853E-03	3,100E-03	2,831E-03	2,651E-03	4,308E-03	3,411E-03	2,873E-03	5,157E-03	4,171E-03	3,588E-03	3,316E-03
HTP	2,781E+00	1,762E+00	1,742E+00	1,728E+00	2,371E+00	2,300E+00	2,258E+00	2,953E+00	2,873E+00	2,825E+00	1,726E+00
POFP	1,129E-03	7,807E-04	7,436E-04	7,188E-04	1,080E-03	9,519E-04	8,751E-04	1,235E-03	1,113E-03	1,041E-03	8,677E-04
PMFP	3,780E+00	2,555E+00	2,469E+00	2,412E+00	3,464E+00	3,175E+00	3,002E+00	4,133E+00	3,845E+00	3,674E+00	2,617E+00
IRP	1,388E-02	1,009E-02	9,455E-03	9,031E-03	1,386E-02	1,174E-02	1,047E-02	1,678E-02	1,445E-02	1,307E-02	1,077E-02
GWP E	1,179E+00	8,729E-01	8,073E-01	7,636E-01	1,207E+00	9,881E-01	8,569E-01	1,453E+00	1,213E+00	1,071E+00	9,663E-01
AP	2,830E-03	1,942E-03	1,855E-03	1,797E-03	2,663E-03	2,368E-03	2,191E-03	3,151E-03	2,850E-03	2,672E-03	2,066E-03
FEP	1,468E-03	8,797E-04	8,730E-04	8,686E-04	1,176E-03	1,154E-03	1,141E-03	1,464E-03	1,440E-03	1,425E-03	9,139E-04
TETP	3,501E-03	2,290E-03	2,241E-03	2,209E-03	3,063E-03	2,900E-03	2,802E-03	3,780E-03	3,599E-03	3,491E-03	2,308E-03
FETP	6,992E-03	4,402E-03	4,394E-03	4,389E-03	5,870E-03	5,844E-03	5,828E-03	7,327E-03	7,298E-03	7,281E-03	4,236E-03
METP	1,252E-03	7,880E-04	7,865E-04	7,854E-04	1,051E-03	1,045E-03	1,042E-03	1,311E-03	1,306E-03	1,302E-03	7,594E-04
ALOP	3,187E-02	1,934E-02	1,906E-02	1,887E-02	2,589E-02	2,494E-02	2,438E-02	3,206E-02	3,102E-02	3,041E-02	2,060E-02
ULOP	9,858E-02	6,161E-02	6,121E-02	6,095E-02	8,114E-02	7,982E-02	7,903E-02	1,001E-01	9,869E-02	9,784E-02	6,225E-02
LTP	7,509E-02	5,988E-02	5,474E-02	5,131E-02	8,317E-02	6,602E-02	5,573E-02	9,960E-02	8,073E-02	6,958E-02	6,436E-02
MDP	3,032E+00	1,814E+00	1,808E+00	1,804E+00	2,421E+00	2,401E+00	2,389E+00	3,020E+00	2,998E+00	2,985E+00	1,851E+00
FDP	1,506E+01	1,147E+01	1,058E+01	9,991E+00	1,586E+01	1,291E+01	1,114E+01	1,908E+01	1,583E+01	1,391E+01	1,243E+01

Unidad: mPt	CASO 56	CASO 57	CASO 58	CASO 59	CASO 60	CASO 61	CASO 62	CASO 63	CASO 64	CASO 65	CASO 66
TOTAL	2,695E+01	2,455E+01	3,740E+01	3,312E+01	3,071E+01	5,559E+01	4,570E+01	4,008E+01	2,919E+01	2,732E+01	2,608E+01
GWP HH	9,632E+00	8,596E+00	1,348E+01	1,164E+01	1,061E+01	2,067E+01	1,641E+01	1,400E+01	1,036E+01	9,585E+00	9,066E+00
ODP	2,715E-03	2,377E-03	3,828E-03	3,228E-03	2,890E-03	6,030E-03	4,641E-03	3,853E-03	3,100E-03	2,831E-03	2,651E-03
HTP	1,695E+00	1,677E+00	2,266E+00	2,235E+00	2,218E+00	2,894E+00	2,822E+00	2,781E+00	1,770E+00	1,749E+00	1,735E+00
POFP	7,724E-04	7,187E-04	1,034E-03	9,439E-04	8,931E-04	1,448E-03	1,248E-03	1,134E-03	8,199E-04	7,787E-04	7,512E-04
PMFP	2,425E+00	2,317E+00	3,280E+00	3,090E+00	2,983E+00	4,474E+00	4,038E+00	3,790E+00	2,741E+00	2,636E+00	2,566E+00
IRP	9,312E-03	8,495E-03	1,291E-02	1,146E-02	1,064E-02	1,915E-02	1,579E-02	1,388E-02	1,009E-02	9,455E-03	9,031E-03
GWP E	8,112E-01	7,240E-01	1,136E+00	9,806E-01	8,934E-01	1,741E+00	1,383E+00	1,179E+00	8,729E-01	8,073E-01	7,636E-01
AP	1,855E-03	1,737E-03	2,537E-03	2,328E-03	2,210E-03	3,594E-03	3,113E-03	2,839E-03	1,989E-03	1,897E-03	1,836E-03
FEP	8,946E-04	8,837E-04	1,199E-03	1,179E-03	1,168E-03	1,538E-03	1,493E-03	1,468E-03	8,797E-04	8,730E-04	8,686E-04
TETP	2,205E-03	2,147E-03	2,947E-03	2,844E-03	2,786E-03	3,875E-03	3,637E-03	3,501E-03	2,295E-03	2,246E-03	2,213E-03
FETP	4,215E-03	4,203E-03	5,622E-03	5,601E-03	5,589E-03	7,069E-03	7,020E-03	6,992E-03	4,402E-03	4,394E-03	4,389E-03
METP	7,552E-04	7,529E-04	1,007E-03	1,003E-03	1,001E-03	1,267E-03	1,257E-03	1,252E-03	7,881E-04	7,865E-04	7,854E-04
ALOP	1,977E-02	1,931E-02	2,657E-02	2,574E-02	2,528E-02	3,487E-02	3,295E-02	3,187E-02	1,934E-02	1,906E-02	1,887E-02
ULOP	6,130E-02	6,077E-02	8,080E-02	7,985E-02	7,932E-02	1,020E-01	9,982E-02	9,858E-02	6,161E-02	6,121E-02	6,095E-02
LTP	5,282E-02	4,633E-02	7,441E-02	6,287E-02	5,638E-02	1,169E-01	9,024E-02	7,509E-02	5,988E-02	5,474E-02	5,131E-02
MDP	1,833E+00	1,823E+00	2,449E+00	2,431E+00	2,421E+00	3,097E+00	3,056E+00	3,032E+00	1,814E+00	1,808E+00	1,804E+00
FDP	1,040E+01	9,261E+00	1,457E+01	1,254E+01	1,140E+01	2,242E+01	1,773E+01	1,506E+01	1,147E+01	1,058E+01	9,991E+00

Unidad: mPt	CASO 67	CASO 68	CASO 69	CASO 70	CASO 71	CASO 72	CASO 73	CASO 74	CASO 75	CASO 76	CASO 77
TOTAL	4,002E+01	3,381E+01	3,009E+01	4,837E+01	4,156E+01	3,753E+01	2,900E+01	2,715E+01	2,592E+01	3,988E+01	3,371E+01
GWP HH	1,433E+01	1,173E+01	1,017E+01	1,725E+01	1,440E+01	1,271E+01	1,036E+01	9,585E+00	9,066E+00	1,433E+01	1,173E+01
ODP	4,308E-03	3,411E-03	2,873E-03	5,157E-03	4,171E-03	3,588E-03	3,100E-03	2,831E-03	2,651E-03	4,308E-03	3,411E-03
HTP	2,382E+00	2,309E+00	2,264E+00	2,965E+00	2,882E+00	2,833E+00	1,762E+00	1,742E+00	1,728E+00	2,371E+00	2,300E+00
POFP	1,076E-03	9,490E-04	8,728E-04	1,283E-03	1,150E-03	1,071E-03	7,807E-04	7,436E-04	7,188E-04	1,080E-03	9,519E-04
PMFP	3,596E+00	3,274E+00	3,081E+00	4,326E+00	3,990E+00	3,792E+00	2,555E+00	2,469E+00	2,412E+00	3,464E+00	3,175E+00
IRP	1,386E-02	1,174E-02	1,047E-02	1,678E-02	1,445E-02	1,307E-02	1,009E-02	9,455E-03	9,031E-03	1,386E-02	1,174E-02
GWP E	1,207E+00	9,881E-01	8,569E-01	1,453E+00	1,213E+00	1,071E+00	8,729E-01	8,073E-01	7,636E-01	1,207E+00	9,881E-01
AP	2,656E-03	2,363E-03	2,187E-03	3,208E-03	2,893E-03	2,708E-03	1,942E-03	1,855E-03	1,797E-03	2,663E-03	2,368E-03
FEP	1,176E-03	1,154E-03	1,141E-03	1,464E-03	1,440E-03	1,425E-03	8,797E-04	8,730E-04	8,686E-04	1,176E-03	1,154E-03
TETP	3,070E-03	2,905E-03	2,806E-03	3,779E-03	3,596E-03	3,488E-03	2,290E-03	2,241E-03	2,209E-03	3,063E-03	2,900E-03
FETP	5,870E-03	5,844E-03	5,828E-03	7,327E-03	7,298E-03	7,281E-03	4,402E-03	4,394E-03	4,389E-03	5,870E-03	5,844E-03
METP	1,051E-03	1,045E-03	1,042E-03	1,311E-03	1,305E-03	1,302E-03	7,880E-04	7,865E-04	7,854E-04	1,051E-03	1,045E-03
ALOP	2,589E-02	2,494E-02	2,438E-02	3,206E-02	3,102E-02	3,041E-02	1,934E-02	1,906E-02	1,887E-02	2,589E-02	2,494E-02
ULOP	8,114E-02	7,982E-02	7,903E-02	1,001E-01	9,869E-02	9,784E-02	6,161E-02	6,121E-02	6,095E-02	8,114E-02	7,982E-02
LTP	8,317E-02	6,602E-02	5,573E-02	9,960E-02	8,073E-02	6,958E-02	5,988E-02	5,474E-02	5,131E-02	8,317E-02	6,602E-02
MDP	2,421E+00	2,401E+00	2,389E+00	3,020E+00	2,998E+00	2,985E+00	1,814E+00	1,808E+00	1,804E+00	2,421E+00	2,401E+00
FDP	1,586E+01	1,291E+01	1,114E+01	1,908E+01	1,583E+01	1,391E+01	1,147E+01	1,058E+01	9,991E+00	1,586E+01	1,291E+01

Unidad: mPt	CASO 78	CASO 79	CASO 80	CASO 81	CASO 82	CASO 83	CASO 84	CASO 85	CASO 86	CASO 87	CASO 88
TOTAL	3,000E+01	4,816E+01	4,140E+01	3,741E+01	3,192E+01	2,844E+01	2,559E+01	3,842E+01	3,483E+01	3,152E+01	4,542E+01
GWP HH	1,017E+01	1,725E+01	1,440E+01	1,271E+01	1,170E+01	1,017E+01	8,956E+00	1,385E+01	1,226E+01	1,085E+01	1,621E+01
ODP	2,873E-03	5,157E-03	4,171E-03	3,588E-03	3,556E-03	3,108E-03	2,684E-03	4,141E-03	3,684E-03	3,192E-03	4,799E-03
HTP	2,258E+00	2,953E+00	2,873E+00	2,825E+00	1,724E+00	1,691E+00	1,673E+00	2,266E+00	2,231E+00	2,210E+00	2,811E+00
POFP	8,751E-04	1,235E-03	1,113E-03	1,041E-03	8,684E-04	7,917E-04	7,297E-04	1,052E-03	9,857E-04	9,148E-04	1,249E-03
PMFP	3,002E+00	4,133E+00	3,845E+00	3,674E+00	2,517E+00	2,362E+00	2,250E+00	3,176E+00	3,019E+00	2,888E+00	3,855E+00
IRP	1,047E-02	1,678E-02	1,445E-02	1,307E-02	1,171E-02	1,043E-02	9,416E-03	1,414E-02	1,281E-02	1,163E-02	1,674E-02
GWP E	8,569E-01	1,453E+00	1,213E+00	1,071E+00	9,858E-01	8,566E-01	7,544E-01	1,167E+00	1,033E+00	9,142E-01	1,365E+00
AP	2,191E-03	3,151E-03	2,850E-03	2,672E-03	1,986E-03	1,815E-03	1,688E-03	2,457E-03	2,281E-03	2,135E-03	2,951E-03
FEP	1,141E-03	1,464E-03	1,440E-03	1,425E-03	9,168E-04	8,936E-04	8,827E-04	1,204E-03	1,180E-03	1,167E-03	1,494E-03
TETP	2,802E-03	3,780E-03	3,599E-03	3,491E-03	2,322E-03	2,239E-03	2,170E-03	2,967E-03	2,882E-03	2,802E-03	3,624E-03
FETP	5,828E-03	7,327E-03	7,298E-03	7,281E-03	4,234E-03	4,211E-03	4,199E-03	5,622E-03	5,598E-03	5,583E-03	7,011E-03
METP	1,042E-03	1,311E-03	1,306E-03	1,302E-03	7,591E-04	7,547E-04	7,523E-04	1,007E-03	1,003E-03	9,999E-04	1,256E-03
ALOP	2,438E-02	3,206E-02	3,102E-02	3,041E-02	2,013E-02	1,884E-02	1,845E-02	2,607E-02	2,467E-02	2,422E-02	3,208E-02
ULOP	7,903E-02	1,001E-01	9,869E-02	9,784E-02	6,170E-02	6,070E-02	6,018E-02	8,020E-02	7,914E-02	7,854E-02	9,880E-02
LTP	5,573E-02	9,960E-02	8,073E-02	6,958E-02	6,759E-02	5,858E-02	5,066E-02	7,878E-02	6,953E-02	6,035E-02	9,136E-02
MDP	2,389E+00	3,020E+00	2,998E+00	2,985E+00	1,840E+00	1,819E+00	1,810E+00	2,437E+00	2,415E+00	2,404E+00	3,037E+00
FDP	1,114E+01	1,908E+01	1,583E+01	1,391E+01	1,297E+01	1,138E+01	9,991E+00	1,530E+01	1,367E+01	1,206E+01	1,788E+01

Unidad: mPt	CASO 89	CASO 90	CASO 91	CASO 92	CASO 93	CASO 94	CASO 95	CASO 96	CASO 97	CASO 98	CASO 99
TOTAL	4,121E+01	3,696E+01	3,192E+01	2,844E+01	2,559E+01	3,842E+01	3,483E+01	3,152E+01	4,542E+01	4,121E+01	3,696E+01
GWP HH	1,435E+01	1,254E+01	1,170E+01	1,017E+01	8,956E+00	1,385E+01	1,226E+01	1,085E+01	1,621E+01	1,435E+01	1,254E+01
ODP	4,257E-03	3,626E-03	3,556E-03	3,108E-03	2,684E-03	4,141E-03	3,684E-03	3,192E-03	4,799E-03	4,257E-03	3,626E-03
HTP	2,771E+00	2,744E+00	1,724E+00	1,691E+00	1,673E+00	2,266E+00	2,231E+00	2,210E+00	2,811E+00	2,771E+00	2,744E+00
POFP	1,180E-03	1,089E-03	8,684E-04	7,917E-04	7,297E-04	1,052E-03	9,857E-04	9,148E-04	1,249E-03	1,180E-03	1,089E-03
PMFP	3,675E+00	3,508E+00	2,517E+00	2,362E+00	2,250E+00	3,176E+00	3,019E+00	2,888E+00	3,855E+00	3,675E+00	3,508E+00
IRP	1,519E-02	1,368E-02	1,171E-02	1,043E-02	9,416E-03	1,414E-02	1,281E-02	1,163E-02	1,674E-02	1,519E-02	1,368E-02
GWP E	1,208E+00	1,056E+00	9,858E-01	8,566E-01	7,544E-01	1,167E+00	1,033E+00	9,142E-01	1,365E+00	1,208E+00	1,056E+00
AP	2,748E-03	2,560E-03	1,986E-03	1,815E-03	1,688E-03	2,457E-03	2,281E-03	2,135E-03	2,951E-03	2,748E-03	2,560E-03
FEP	1,465E-03	1,449E-03	9,168E-04	8,936E-04	8,827E-04	1,204E-03	1,180E-03	1,167E-03	1,494E-03	1,465E-03	1,449E-03
TETP	3,524E-03	3,422E-03	2,322E-03	2,239E-03	2,170E-03	2,967E-03	2,882E-03	2,802E-03	3,624E-03	3,524E-03	3,422E-03
FETP	6,984E-03	6,966E-03	4,234E-03	4,211E-03	4,199E-03	5,622E-03	5,598E-03	5,583E-03	7,011E-03	6,984E-03	6,966E-03
METP	1,251E-03	1,247E-03	7,591E-04	7,547E-04	7,523E-04	1,007E-03	1,003E-03	9,999E-04	1,256E-03	1,251E-03	1,247E-03
ALOP	3,050E-02	2,993E-02	2,013E-02	1,884E-02	1,845E-02	2,607E-02	2,467E-02	2,422E-02	3,208E-02	3,050E-02	2,993E-02
ULOP	9,757E-02	9,682E-02	6,170E-02	6,070E-02	6,018E-02	8,020E-02	7,914E-02	7,854E-02	9,880E-02	9,757E-02	9,682E-02
LTP	8,044E-02	6,865E-02	6,759E-02	5,858E-02	5,066E-02	7,878E-02	6,953E-02	6,035E-02	9,136E-02	8,044E-02	6,865E-02
MDP	3,011E+00	2,997E+00	1,840E+00	1,819E+00	1,810E+00	2,437E+00	2,415E+00	2,404E+00	3,037E+00	3,011E+00	2,997E+00
FDP	1,595E+01	1,389E+01	1,297E+01	1,138E+01	9,991E+00	1,530E+01	1,367E+01	1,206E+01	1,788E+01	1,595E+01	1,389E+01

Unidad: mPt	CASO 100	CASO 101	CASO 102	CASO 103	CASO 104	CASO 105	CASO 106	CASO 107	CASO 108	CASO 109	CASO 110
TOTAL	3,214E+01	2,857E+01	2,571E+01	3,869E+01	3,500E+01	3,169E+01	4,575E+01	4,142E+01	3,717E+01	3,215E+01	2,857E+01
GWP HH	1,179E+01	1,022E+01	9,004E+00	1,396E+01	1,233E+01	1,092E+01	1,634E+01	1,443E+01	1,262E+01	1,179E+01	1,022E+01
ODP	3,556E-03	3,107E-03	2,683E-03	4,141E-03	3,682E-03	3,191E-03	4,799E-03	4,255E-03	3,624E-03	3,556E-03	3,107E-03
HTP	1,719E+00	1,687E+00	1,669E+00	2,260E+00	2,226E+00	2,205E+00	2,804E+00	2,764E+00	2,738E+00	1,719E+00	1,687E+00
POFP	8,809E-04	7,987E-04	7,363E-04	1,068E-03	9,950E-04	9,236E-04	1,268E-03	1,191E-03	1,100E-03	8,814E-04	7,988E-04
PMFP	2,588E+00	2,403E+00	2,288E+00	3,263E+00	3,073E+00	2,940E+00	3,960E+00	3,741E+00	3,572E+00	2,594E+00	2,404E+00
IRP	1,124E-02	1,011E-02	9,104E-03	1,355E-02	1,238E-02	1,122E-02	1,603E-02	1,465E-02	1,316E-02	1,124E-02	1,011E-02
GWP E	9,931E-01	8,608E-01	7,584E-01	1,176E+00	1,038E+00	9,196E-01	1,376E+00	1,215E+00	1,063E+00	9,932E-01	8,608E-01
AP	2,046E-03	1,847E-03	1,719E-03	2,531E-03	2,325E-03	2,176E-03	3,039E-03	2,801E-03	2,611E-03	2,052E-03	1,848E-03
FEP	9,072E-04	8,860E-04	8,753E-04	1,192E-03	1,169E-03	1,157E-03	1,479E-03	1,453E-03	1,437E-03	9,072E-04	8,860E-04
TETP	2,331E-03	2,246E-03	2,177E-03	2,979E-03	2,890E-03	2,810E-03	3,639E-03	3,535E-03	3,432E-03	2,331E-03	2,246E-03
FETP	4,231E-03	4,209E-03	4,197E-03	5,618E-03	5,594E-03	5,580E-03	7,007E-03	6,980E-03	6,962E-03	4,231E-03	4,209E-03
METP	7,585E-04	7,542E-04	7,518E-04	1,007E-03	1,002E-03	9,992E-04	1,255E-03	1,250E-03	1,246E-03	7,585E-04	7,542E-04
ALOP	1,990E-02	1,881E-02	1,843E-02	2,581E-02	2,463E-02	2,419E-02	3,179E-02	3,045E-02	2,990E-02	1,990E-02	1,881E-02
ULOP	6,187E-02	6,080E-02	6,029E-02	8,041E-02	7,927E-02	7,868E-02	9,905E-02	9,774E-02	9,698E-02	6,187E-02	6,080E-02
LTP	6,790E-02	5,876E-02	5,083E-02	7,916E-02	6,976E-02	6,057E-02	9,181E-02	8,072E-02	6,892E-02	6,790E-02	5,876E-02
MDP	1,841E+00	1,819E+00	1,810E+00	2,438E+00	2,415E+00	2,404E+00	3,037E+00	3,011E+00	2,997E+00	1,841E+00	1,819E+00
FDP	1,303E+01	1,142E+01	1,003E+01	1,538E+01	1,372E+01	1,211E+01	1,798E+01	1,601E+01	1,395E+01	1,303E+01	1,142E+01

Unidad: mPt	CASO 111	CASO 112	CASO 113	CASO 114	CASO 115	CASO 116	CASO 117
TOTAL	2,571E+01	3,870E+01	3,500E+01	3,169E+01	4,576E+01	4,142E+01	3,717E+01
GWP HH	9,004E+00	1,396E+01	1,233E+01	1,092E+01	1,634E+01	1,443E+01	1,262E+01
ODP	2,683E-03	4,141E-03	3,682E-03	3,191E-03	4,799E-03	4,255E-03	3,624E-03
HTP	1,669E+00	2,260E+00	2,226E+00	2,205E+00	2,804E+00	2,764E+00	2,738E+00
POFP	7,363E-04	1,069E-03	9,951E-04	9,236E-04	1,270E-03	1,191E-03	1,100E-03
PMFP	2,288E+00	3,269E+00	3,073E+00	2,940E+00	3,965E+00	3,742E+00	3,572E+00
IRP	9,104E-03	1,355E-02	1,238E-02	1,122E-02	1,603E-02	1,465E-02	1,316E-02
GWP E	7,584E-01	1,176E+00	1,038E+00	9,196E-01	1,376E+00	1,215E+00	1,063E+00
AP	1,719E-03	2,536E-03	2,325E-03	2,176E-03	3,044E-03	2,802E-03	2,611E-03
FEP	8,753E-04	1,192E-03	1,169E-03	1,157E-03	1,479E-03	1,453E-03	1,437E-03
TETP	2,177E-03	2,979E-03	2,890E-03	2,810E-03	3,639E-03	3,535E-03	3,432E-03
FETP	4,197E-03	5,618E-03	5,594E-03	5,580E-03	7,007E-03	6,980E-03	6,962E-03
METP	7,518E-04	1,007E-03	1,002E-03	9,992E-04	1,255E-03	1,250E-03	1,246E-03
ALOP	1,843E-02	2,581E-02	2,463E-02	2,419E-02	3,179E-02	3,045E-02	2,990E-02
ULOP	6,029E-02	8,041E-02	7,927E-02	7,868E-02	9,905E-02	9,774E-02	9,698E-02
LTP	5,083E-02	7,916E-02	6,976E-02	6,057E-02	9,181E-02	8,072E-02	6,892E-02
MDP	1,810E+00	2,438E+00	2,415E+00	2,404E+00	3,037E+00	3,011E+00	2,997E+00
FDP	1,003E+01	1,538E+01	1,372E+01	1,211E+01	1,798E+01	1,601E+01	1,395E+01