



Trabajo Fin de Grado

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación
para transporte ligero en la isla de Tenerife

Titulación: Grado de Ingeniería Mecánica

Autor: Javier García Fajardo

Tutor: Oscar García Afonso

San Cristóbal de La Laguna, marzo de 2022

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Trabajo Fin de Grado

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación para transporte ligero en la isla de Tenerife

Índice General

Titulación: Grado de Ingeniería Mecánica

Autor: Javier García Fajardo

Tutor: Óscar García Afonso

San Cristóbal de La Laguna, marzo de 2022

Índice General.

Índice Figuras.	5
Índice tablas.	7
Nomenclaturas	8
1 Introducción	12
1.1 Resumen	12
1.2 Abstract.....	12
1.3 Antecedentes.....	13
1.4 Objetivo	14
2 Marco teórico	15
2.1 Objetivo de Reducción de GEI en Europa.....	15
2.1.1 Objetivo 2030.....	15
2.2 Objetivo de Reducción de GEI en España.....	16
2.2.1 Protocolo de Kioto (2008-2012)	16
2.2.2 Paquete Europeo de Energía y cambio climático (2013-2020)	16
2.2.3 Objetivo 2030.....	17
2.2.4 Situación actual en España.....	17
2.3 Situación actual en Canarias	19
2.4 Situación actual en Tenerife	21
2.5 Ciclos de homologación	23
2.5.1 Ciclo WLTP	23
2.6 Métodos de estudio de las emisiones asociadas a un vehículo	24
2.6.1 Pozo a Rueda.....	24
2.6.2 Bomba a Rueda.....	25
2.6.3 Well to Wheels.....	25
2.6.4 Análisis del ciclo de vida	25
2.7 Tipos de sistemas propulsivos	27
2.7.1 Vehículos convencionales.....	27
2.7.2 Vehículos GNC.....	28
2.7.3 Vehículos híbridos	28
2.7.3.1 Vehículo microhíbrido	29
2.7.3.2 Vehículo Full Hybrid o híbrido eléctrico	29
2.7.3.3 Vehículo Híbrido Enchufable.....	30
2.7.3.4 Vehículo eléctrico de rango extendido.....	30

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

2.7.4	Vehículos Eléctricos	30
2.7.4.1	Vehículo eléctrico de baterías	30
2.7.4.2	Vehículo eléctrico con celda de combustible	31
3	Metodología	32
3.1	Base de datos para el análisis del ciclo de vida	32
3.1.1	Consideraciones generales para los vehículos sometidos a estudio.....	34
3.1.2	Consideraciones específicas para los vehículos sometidos a este estudio	35
3.2	Mix eléctrico en la isla de Tenerife	35
3.3	Vehículos sujetos a estudio.....	40
3.3.1	Vehículo compacto	40
3.3.2	Vehículo SUV	40
4	Presentación y análisis de resultados	42
4.1	Metodología desarrollada para el análisis	42
4.2	Estudio de las emisiones de vehículos compactos en la isla de Tenerife	44
4.2.1	Impacto medioambiental de vehículos compactos en la isla de Tenerife	50
4.3	Estudio de las emisiones asociadas de SUVs en la isla de Tenerife.....	53
4.3.1	Impacto medioambiental de vehículos SUV en la isla de Tenerife	57
4.4	Escenario 2030 PNIEC para vehículos compactos en la isla de Tenerife	58
4.4.1	Impacto medioambiental de vehículos compactos en 2030 en la isla de Tenerife	60
4.5	Escenario 2030 PNIEC para vehículos SUV en la isla de Tenerife	62
4.5.1	Impacto medioambiental de vehículos SUV en 2030 en la isla de Tenerife	63
5	Conclusión	65
6	Bibliografía	67
ÁNEXO I	71

Índice Figuras.

Figura 1.1. Gráfica total de emisiones de CO ₂ en España.	14
Figura 2.1. Representación del Mix Energético en España.	18
Figura 2.2. Representación del parque de vehículos en Canarias.	19
Figura 2.3. Evolución del parque de vehículos por tipo de combustible.....	19
Figura 2.4. Porcentaje de participación de las distintas fuentes y tecnologías en la cobertura de la demanda eléctrica en Canarias en el año 2019.	20
Figura 2.5. Porcentajes de participación de las distintas fuentes y tecnologías en la cobertura de la demanda eléctrica en Canarias.	21
Figura 2.6. Representación del parque de vehículos en Tenerife.	22
Figura 2.7. Representación del Parque de vehículos por tipo de combustible por isla. .	22
Figura 2.8. Perfil de velocidades en un ciclo WLTP.	24
Figura 2.9. Gráfico representativo WTW, WTP y PTW.	25
Figura 2.10. Representación Análisis del ciclo de Vida.	26
Figura 2.11. Elementos de un motor GLP.	28
Figura 2.12. Diferentes arquitecturas eléctricas para vehículos en comparación con una arquitectura convencional.	29
Figura 2.13. Diagrama de bloques para diversas electrificaciones de vehículos.	30
Figura 2.14. Diagrama vehículo de pila de combustible.	31
Figura 3.1. Pathway asociado a la gasolina E10.....	34
Figura 3.2. Pathway derivados del petróleo para mix eléctrico tinerfeño 2019.	38
Figura 3.3. Representación Mix Eléctrico Tenerife 2019.	38
Figura 3.4. Representación Mix Eléctrico Tenerife 2030.	39
Figura 4.1 Distribución de las emisiones de un vehículo de gasolina en la isla de Tenerife.....	43
Figura 4.2. Distribución de las emisiones asociadas a los vehículos compactos en la isla de Tenerife.	45
Figura 4.3. Emisiones totales de CO ₂ asociadas a los vehículos compactos en la isla de Tenerife.....	49
Figura 4.4. Huella de carbono asociada a varios vehículos compactos en la isla de Tenerife.....	50
Figura 4.5. Variación del WTP del BEV con la variación del mix eléctrico tinerfeño. .	52

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Figura 4.6. Evolución de la huella de carbono de varios vehículos compactos en la isla de Tenerife.....	53
Figura 4.7. Distribución de las emisiones asociadas a los vehículos SUV en la isla de Tenerife.....	54
Figura 4.8. Emisiones totales asociadas a los vehículos SUV en la isla de Tenerife.	56
Figura 4.9. Huella de carbono asociada a varios SUVs en la isla de Tenerife.	57
Figura 4.10 Distribución de las emisiones asociadas a los vehículos compactos en la isla de Tenerife.....	59
Figura 4.11. Emisiones totales asociadas a los vehículos compactos en 2030 en la isla de Tenerife.....	60
Figura 4.12. Huella de carbono asociada a varios vehículos compactos en el año 2030 en la isla de Tenerife.	61
Figura 4.13. Distribución de las emisiones asociadas a los vehículos SUV en la isla de Tenerife.....	62
Figura 4.14. Emisiones totales asociadas a los SUV en 2030 en la isla de Tenerife.....	63
Figura 4.15. Huella de carbono asociada a varios vehículos compactos en el año 2030 en la isla de Tenerife.	64

Índice tablas.

Tabla 3.1. Participación de las distintas fuentes y tecnologías en términos de energía bruta.	37
Tabla 3.2. Datos principales de vehículos compactos.	41
Tabla 3.3. Datos principales de SUV.	41
Tabla 4.1. Resultados asociados al análisis del ciclo de vida de un vehículo convencional de gasolina en Tenerife.	42
Tabla 4.2. Comparativa resultados de vehículos compactos.	48
Tabla 4.3. Resultados asociados a los vehículos compactos en la isla de Tenerife.	71
Tabla 4.4. Contribución en % de cada una de las fases al LCA.	71
Tabla 4.5. Resultados asociados a los SUV en la isla de Tenerife.	72
Tabla 4.6. Contribución en % de cada una de las fases al LCA.	72
Tabla 4.7. Resultados asociados a los vehículos enchufables en la actualidad y en el año 2030.	72
Tabla 4.8. Resultados asociados a los SUV enchufables en la actualidad y en el año 2030.	72
Tabla 4.9. Resultados asociados a la huella de carbono de vehículos compactos.	73
Tabla 4.10. Resultados asociados a la huella de carbono de SUVs.	73

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Nomenclaturas

BEV. Battery Electric Vehicle.

EREV. Extended Range Electric Vehicle.

FCEV. Full Cell Electric Vehicle.

GEI. Gases de efecto invernadero.

GLP. Gas licuado del petróleo.

GNC. Gas natural comprimido.

GREET. Greenhouse gases, Regulated Emissions and Energy use in Technologies Model.

HEV. Hybrid Electric Vehicle.

ISTAC. Instituto Canario de Estadística.

LCA. Life Cycle Analysis.

MCIA. Motor de combustión interna alternativo.

MHEV. Mild Hybrid Electric Vehicle.

MOVELE. Movilidad Eléctrica.

NEDC. New European Driving Cycle.

ONU. Organización de las Naciones Unidas.

PHEV. Plug-in Hybrid Electric.

PTW. Pump to Wheels.

PNIEC. Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.

SUV. Sport Utility Vehicle.

UE. Unión Europea.

WLTP. Worldwide Harmonized Light Transport Vehicles Test Procedure.

WTP. Well to Pump.

WTT. Well to Tank.

WTW. Well to Wheels.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Trabajo Fin de Grado

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación para transporte ligero en la isla de Tenerife

Memoria

Titulación: Grado de Ingeniería Mecánica

Autor: Javier García Fajardo

Tutor: Óscar García Afonso

San Cristóbal de La Laguna, marzo de 2022

Índice

1	Introducción	12
1.1	Resumen	12
1.2	Abstract.....	12
1.3	Antecedentes.....	13
1.4	Objetivo	14
2	Marco teórico	15
2.1	Objetivo de Reducción de GEI en Europa.....	15
2.1.1	Objetivo 2030.....	15
2.2	Objetivo de Reducción de GEI en España.....	16
2.2.1	Protocolo de Kioto (2008-2012)	16
2.2.2	Paquete Europeo de Energía y cambio climático (2013-2020)	16
2.2.3	Objetivo 2030.....	17
2.2.4	Situación actual en España.....	17
2.3	Situación actual en Canarias	19
2.4	Situación actual en Tenerife	21
2.5	Ciclos de homologación	23
2.5.1	Ciclo WLTP	23
2.6	Métodos de estudio de las emisiones asociadas a un vehículo	24
2.6.1	Pozo a Rueda.....	24
2.6.2	Bomba a Rueda	25
2.6.3	Well to Wheels.....	25
2.6.4	Análisis del ciclo de vida	25
2.7	Tipos de sistemas propulsivos	27
2.7.1	Vehículos convencionales.....	27
2.7.2	Vehículos GNC.....	28
2.7.3	Vehículos híbridos	28
2.7.3.1	Vehículo microhíbrido	29
2.7.3.2	Vehículo Full Hybrid o híbrido eléctrico	29
2.7.3.3	Vehículo Híbrido Enchufable.....	30
2.7.3.4	Vehículo eléctrico de rango extendido.....	30
2.7.4	Vehículos Eléctricos	30
2.7.4.1	Vehículo eléctrico de baterías	30
2.7.4.2	Vehículo eléctrico con celda de combustible.....	31

3	Metodología	32
3.1	Base de datos para el análisis del ciclo de vida	32
3.1.1	Consideraciones generales para los vehículos sometidos a estudio.....	34
3.1.2	Consideraciones específicas para los vehículos sometidos a este estudio	35
3.2	Mix eléctrico en la isla de Tenerife	35
3.3	Vehículos sujetos a estudio.....	40
3.3.1	Vehículo compacto	40
3.3.2	Vehículo SUV	40
4	Presentación y análisis de resultados	42
4.1	Metodología desarrollada para el análisis	42
4.2	Estudio de las emisiones de vehículos compactos en la isla de Tenerife	44
4.2.1	Impacto medioambiental de vehículos compactos en la isla de Tenerife	50
4.3	Estudio de las emisiones asociadas de SUVs en la isla de Tenerife.....	53
4.3.1	Impacto medioambiental de vehículos SUV en la isla de Tenerife	57
4.4	Escenario 2030 PNIEC para vehículos compactos en la isla de Tenerife	58
4.4.1	Impacto medioambiental de vehículos compactos en 2030 en la isla de Tenerife	60
4.5	Escenario 2030 PNIEC para vehículos SUV en la isla de Tenerife	62
4.5.1	Impacto medioambiental de vehículos SUV en 2030 en la isla de Tenerife	63
5	Conclusión	65
6	Bibliografía	67

1 Introducción

1.1 Resumen

El siguiente Trabajo de Fin de Grado presenta un estudio de las emisiones de dióxido de carbono, asociadas a la vida útil de diversas arquitecturas de sistemas propulsivos, aplicados al transporte ligero de pasajeros en la isla de Tenerife. Los vehículos se someten al análisis del ciclo de vida, estudio que analiza las emisiones de CO₂ asociadas a las diferentes fases que componen el período de utilidad de cada vehículo. De esta manera, se consigue realizar una comparación en mayor profundidad y detalle de las emisiones que producen los mismos, y a qué factores se deben.

Para el análisis del ciclo de vida se ha utilizado la herramienta GREET. Por medio de la misma, ha sido posible la concepción y configuración de los vehículos que se han sometido a este estudio. A su vez, ha permitido la confección y simulación de dos escenarios de mix eléctrico: actual y uno hipotético para 2030. De esta manera puede evaluarse la evolución de ciertas tecnologías en el parque automovilístico tinerfeño, en el caso de cumplirse los objetivos impuestos por la Comisión Europea y que España propone en el PNIEC.

1.2 Abstract

This Final Degree Project shows us a study of the CO₂ emissions associated with the useful life of various light transport models on the island of Tenerife. Through the life cycle analysis, a comparison has been made of the CO₂ emissions of these vehicles in their different phases throughout their useful life. In this way, a more detailed comparison is made and shows us more details about the emissions produced by these vehicles and the technologies that they use.

For the life cycle analysis, GREET is the tool that have been used and it has made possible to design and configure any of these vehicles that have been subjected to study. Also, with GREET has allowed the design and simulation the current one scenario on these days and next decade. So, we can see the improvement of certain technologies in the Tenerife's car fleet.

1.3 Antecedentes

La ONU ha realizado un informe en el que se presenta como en el año 2050 (1) la situación del cambio climático habrá llegado a un punto de no retorno. La cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero continúa en ascenso, y se alcanzará un incremento de 3°C respecto a las temperaturas actuales. Esto provocará la desaparición de los casquetes polares, el ascenso del nivel del mar, la aparición de numerosas catástrofes medioambientales...

En la última década, se ha podido observar como la publicidad de los vehículos eléctricos ha ido cobrando mayor importancia por parte del sector automovilístico, a través de anuncios, dando más visibilidad a su flota de vehículos con la introducción de transportes híbridos o puramente eléctricos. Por otro lado, desde los estamentos públicos se ha diseñado un plan de ayudas económicas para los consumidores de este tipo de vehículos y, también para aquellos que integren soluciones basadas en las energías renovables, como pueden ser las placas fotovoltaicas, en sus hogares.

Las medidas que comienzan a tomarse por parte de los estamentos públicos y la popularidad creciente de las energías renovables, vienen dadas por el momento que atravesamos, donde las emisiones de gases de efecto invernadero cada vez son más preocupantes, acelerando el cambio climático y el calentamiento global.

Las emisiones de CO₂ en España en el año 2020 alcanzaron un total de 271,5 (2) millones de toneladas, según informa la página del gobierno. Esto supone un descenso de las emisiones respecto al año anterior, y es la primera vez desde 1990, (primer año en el que comienza el inventariado) que las emisiones descienden respecto a dicho año. Aunque los datos asociados al 2020 pueden no ser del todo veraces, debido a la pandemia sufrida, del total de emisiones, el CO₂ supone un 77,6 % (3) de la mencionada cantidad.

De acuerdo a la distribución de esas emisiones por sectores, se obtiene que el sector más contaminante en España es el sector del transporte, el cual da lugar al 27,7% (4) de las emisiones asociadas al CO₂. Por otro lado, la electricidad generada en 2020 redujo sus emisiones en un 3,6% (5), y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas experimentaron un descenso del 34,9% (6). Esto se debe al incremento de la generación a través de energías renovables, que obtuvo un aumento del 12,9% (7) respecto a 2019.

A continuación, en la figura 1.1 se muestra la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero de la última década, corroborando los datos presentados anteriormente respecto a la reducción de los GEI del último año en España.

Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero de España entre 2008 y 2020

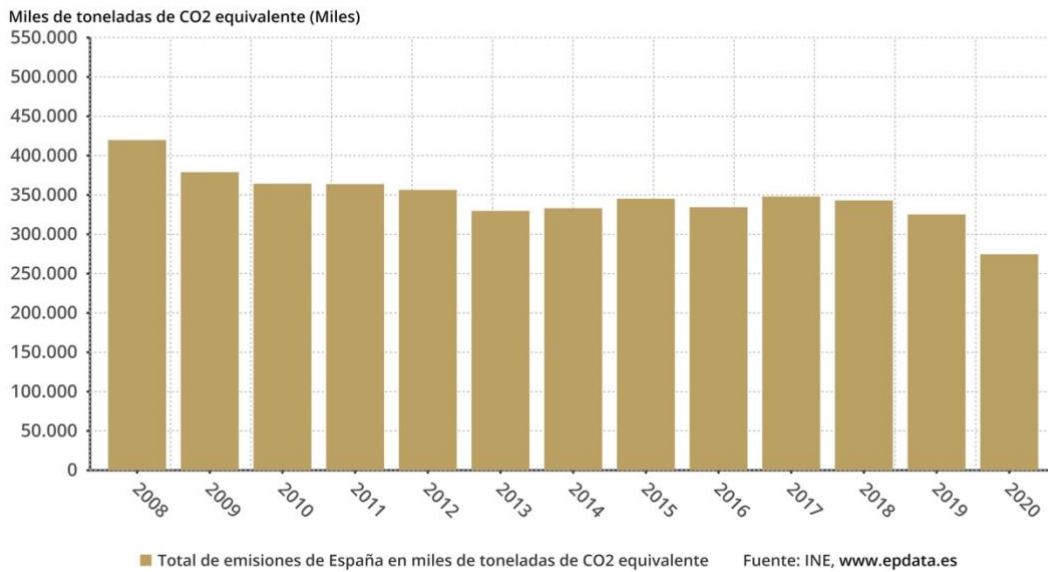


Figura 1.1. Gráfica total de emisiones de CO₂ en España.
Fuente: INE.

En la figura 1.1 se muestra como la tendencia desde el año 2017 de las emisiones de GEI por parte de España sufre un evidente descenso. Como se ha mencionado anteriormente, el transporte es uno de los elementos más contribuyentes a las emisiones, por lo que la Unión Europea ha limitado las emisiones de los vehículos a 95gCO₂/km (8). Actualmente, países como Estados Unidos tienen unas emisiones de 125 gCO₂/km, mientras que en China son de 117 gCO₂/km, valores muy lejos de los exigidos por la Unión Europea.

1.4 Objetivo

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es el estudio de las emisiones de CO₂ que conllevan distintos sistemas propulsivos destinados al transporte ligero, teniendo en cuenta cada una de las fases que componen su vida. Esto comprenden desde la manufactura hasta el reciclado del mismo. Se pretende llevar a cabo un análisis comparativo de todos ellos, en la isla de Tenerife, con la finalidad de obtener una cifra real del impacto, y, por tanto, identificar el más eficiente en términos de reducción de emisiones de CO₂.

2 Marco teórico

2.1 Objetivo de Reducción de GEI en Europa

La Unión Europea busca convertirse en pionera en la lucha contra las emisiones de GEI por parte del continente, para ello ha llevado a cabo uno de los pactos más importantes en la historia y que recibe el nombre de Green New Deal. Dicho pacto promete ser una transformación total tanto económica como socialmente.

El Green New Deal tiene como objetivo que en el año 2050 Europa tenga una neutralidad climática. La neutralidad climática, consiste en conseguir que las emisiones de dióxido de carbono sean iguales o inferiores a cero, equilibrando la cantidad de gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera con la misma cantidad de la que se retira por otras vías, lo que deja un balance de cero. Una vía para el equilibrio de las emisiones de CO₂ sería no emitir más de la cantidad que los bosques pueden absorber, entendiendo así a los bosques como un sumidero de carbono y generando así ese balance.

Un sumidero de carbono es cualquier elemento capaz de absorber más carbono que el que emite. Los principales sumideros de carbono naturales son los bosques y océanos, que eliminan entre 9 y 11 gigatoneladas de CO₂ al año (9). Aunque parezca una cantidad elevada, en 2019 la cantidad global de emisiones de CO₂ fue de 38 gigatoneladas (10). Para alcanzar dicho objetivo, la UE ha marcado siete elementos estratégicos:

- Eficiencia energética.
- Despliegue de renovables.
- Movilidad limpia.
- Industria competitiva y economía circular.
- Infraestructura e Interconexiones.
- Bio-economía y sumideros naturales de carbón.
- Abordar las emisiones restantes con la captura y almacenamiento del carbono.

2.1.1 Objetivo 2030

Para que el Green New Deal y Europa logren su objetivo de emisiones cero, primero deben cumplir los objetivos marcados para el año 2030. Los objetivos para la próxima década son sumamente ambiciosos en lo que a la reducción de emisiones de GEI se refiere. En un principio dicha reducción se había marcado en un 40% (11) de las emisiones, pero tras varias reuniones de la Comisión Europea, dicho valor se ha aumentado al 55% (12).

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Esta meta condena a los combustibles fósiles como el petróleo y derivados del carbón y, por ende, a los vehículos que utilicen esas fuentes de energía como combustible. Otra de las medidas en contra de estos vehículos, es la prohibición de nuevas matriculaciones de motores de combustión, a partir de 2035. Incluso, Reino Unido ha tomado la decisión de que a partir de 2030 no matriculará ningún vehículo de combustión interna.

Y es que, el transporte supone un 25% de las emisiones de GEI, de manera que su electrificación junto con un mix eléctrico basado en las energías renovables reduciría de manera significativa las emisiones de dichos gases.

El primer paso para ello ha sido establecer que el consumo de energías renovables alcance un 40% (13) en 2030 frente al 20% (14) que se consume actualmente y donde las energías principales serán la energía eólica y la fotovoltaica.

2.2 Objetivo de Reducción de GEI en España

Los métodos de análisis que se basan en el estudio de las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los vehículos, y que se presentarán más adelante, junto a la motivación de la compra de vehículos eléctricos, se deben a los objetivos marcados por la Comisión Europea de la reducción de los GEI para 2030 y 2050. Para ello, a lo largo de estos años se han ideado varios planes por parte de los estamentos oficiales como han sido:

2.2.1 Protocolo de Kioto (2008-2012)

Para la etapa que comprende entre los años 2008 y 2012, España debía limitar el incremento de las emisiones de GEI de modo que dichas emisiones netas no superasen el 15% (15) de las emisiones del año base situado entre 1990-1995.

2.2.2 Paquete Europeo de Energía y cambio climático (2013-2020)

Este paquete establecía objetivos concretos en materia de energía renovable, eficiencia energética y reducción de las emisiones de GEI. En concreto, éstas últimas debían reducirse un 20% (16) respecto al dato de 1990.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

2.2.3 Objetivo 2030

Los principales objetivos para 2030 marcados por Europa son:

- Se debe reducir hasta un 55% (17) las emisiones de GEI en comparación con 1990.
- Como mínimo un 32% (18) del consumo de energía debe proceder de las energías renovables.
- Debe obtenerse un 32,5% (19) de eficiencia energética.

España, para alcanzar dichos objetivos ha desarrollado un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y según las medidas contempladas, en 2030 se conseguirán los siguientes objetivos.

- Una reducción de los GEI del 23% (20) en comparación con 1990.
- Un 42% (21) de energías renovables sobre el uso final de energía.
- Un 39,5% (22) en la mejora de la eficiencia energética.
- Un 74% (23) de energías renovables en la generación de energía eléctrica.
- Canarias reducirá al menos un 50% la contribución de las centrales de combustibles fósiles en el mix eléctrico.

Si se comparan los resultados solicitados por Europa y las previsiones que tiene España, se puede observar como no va a cumplir, quedándose muy lejos de uno de los objetivos principales como es la reducción de las emisiones de GEI.

Otro de los objetivos que se persiguen es la descarbonización del sector transporte. En 2030, tal y como se establece en el PNIEC, la presencia de renovables se estima que sea del 28% (24) por medio de la electrificación de los vehículos, que unido a un mix eléctrico sustentado en energías renovables, hará que las emisiones de GEI disminuyan de manera significativa.

2.2.4 Situación actual en España

Aunque anteriormente se han explicado las metas que han propuesto los estamentos oficiales para combatir el cambio climático, es una realidad que en el pasado año 2020 España emitió a la atmósfera un total de 271,5 millones de toneladas de CO₂. La situación del vehículo eléctrico no mejora la visión. El parque automovilístico actual de nuestro país, presenta un total de 198.000 (25) vehículos eléctricos, de los cuales 127.687 (26) son eléctricos puros y 70.532 (27) son híbridos enchufables.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Estas cifras representan menos del 4% (28) del objetivo marcado para 2030. Para conseguirlo debería multiplicarse por 25 el número actual de vehículos eléctricos. Actualmente el transporte supone el 25% de las emisiones de GEI en España.

Por ello, y como se nombró anteriormente, el Gobierno ha destinado una parte de los fondos europeos para impulsar al vehículo eléctrico. Dicha inyección económica ha sido de 4.300 (29) millones de euros, la cual está destinada a la creación de empleo, la implantación de más puntos de recarga y, en su momento la creación del plan MOVELE. Dicho plan se basa en la ayuda económica por parte del gobierno, a la hora de comprar un vehículo de estas características.

Otro de los factores a tener en cuenta es el mix eléctrico, que se define como la combinación de las diferentes fuentes de energía que cubren el suministro eléctrico de un país. Las emisiones de CO₂ asociadas al sistema eléctrico en España en 2020 fueron de 36 (30) millones de toneladas, un 27,8% (31) menos que el año anterior. Dicho descenso, como muestra la figura 2.1, se basa en que un 43,6% (32) de la energía se produce a través de energías renovables, estableciendo un récord histórico en el país. En la misma, se muestra la información más importante asociada a la estructura de generación del sistema nacional, donde destaca el incremento en seis puntos, aproximadamente, de la producción sustentada en energías renovables en un horizonte temporal de un año.

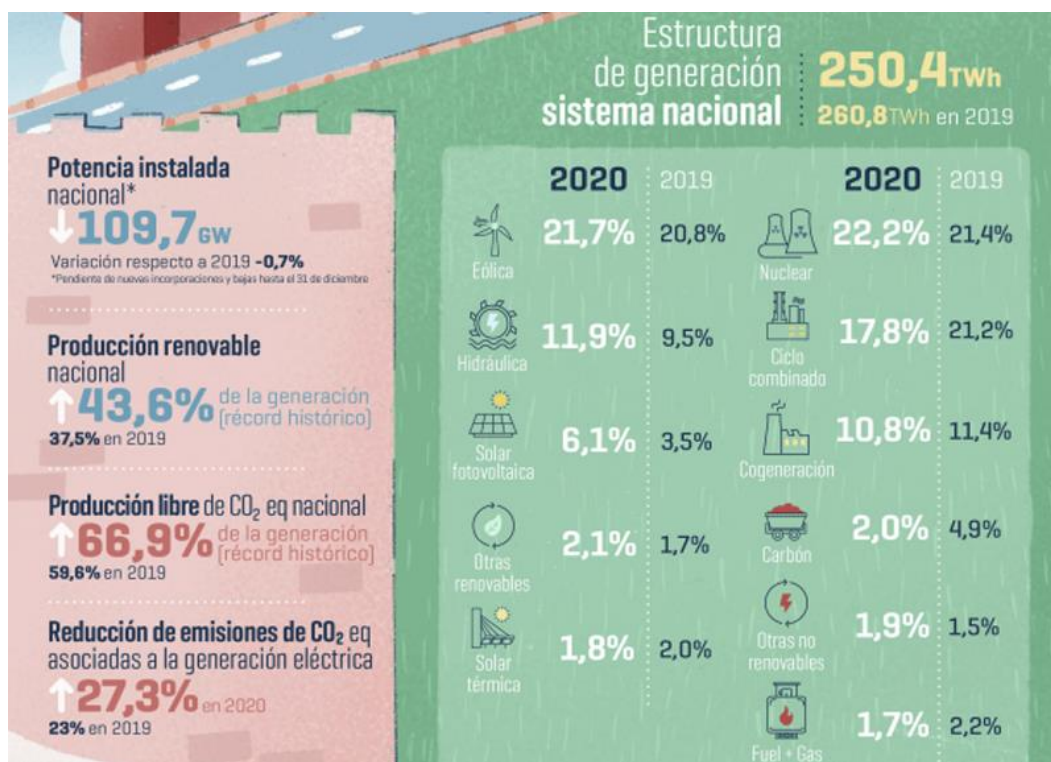


Figura 2.1. Representación del Mix Energético en España.
 Fuente: Red Eléctrica Española.

2.3 Situación actual en Canarias

La situación en Canarias no mejora respecto a la situación nacional en lo que al parque automovilístico se refiere. En nuestras islas, a tenor de lo que refleja la figura 2.3, el 65,86% (33) de los vehículos utilizan la gasolina como combustible mientras que un 33,06% (34) el gasoil. Esto implica que los vehículos eléctricos y de gas licuado del petróleo abarcan solamente el 1,1% (35) del citado parque. A su vez, Canarias ocupa el 5% del parque automovilístico nacional, y tal y como se refleja en las dos figuras siguientes, en la última década se ha incrementado de manera notable, incidiendo negativamente en la problemática medioambiental.

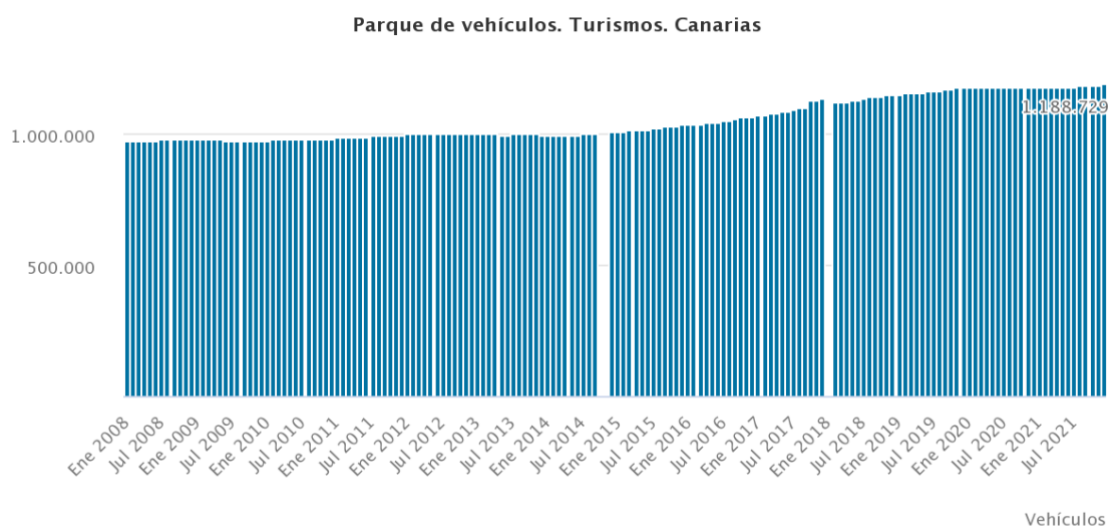


Figura 2.2. Representación del parque de vehículos en Canarias.
Fuente: ISTAC

Evolución del parque de vehículos por tipo de combustible

[Fuente: ISTAC]

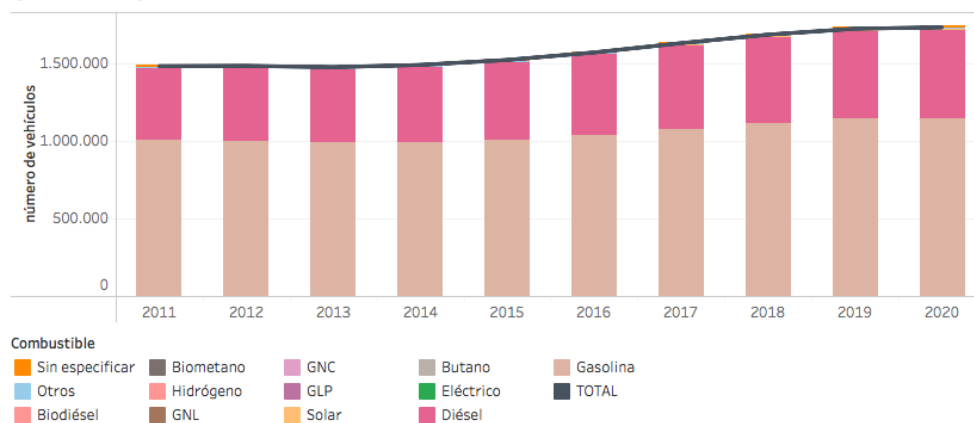


Figura 2.3. Evolución del parque de vehículos por tipo de combustible.
Fuente: ISTAC.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Actualmente en Canarias hay 1.761.585 (36) vehículos. Teniendo en cuenta que la población entre los 19 y los 80 años, representan el total de conductores, la cifra de dicha población es de 1.749.111 (37) habitantes con la viabilidad de conducir, lo que implica que por cada habitante de Canarias situado dentro del rango de edad mencionado, posee un coche.

Los datos asociados a las emisiones de GEI son aún mayores en las islas. Si el Banco Mundial cifra en un 22% (38) las emisiones asociadas al transporte, y anteriormente hemos visto como España se encuentra en el 27%, en el caso del archipiélago, el transporte supone un porcentaje muy superior al anterior, en relación a las emisiones de GEI.

En lo referente al mix eléctrico en Canarias, las energías renovables cubren el 15,9% (39) de la producción eléctrica mientras que la energía térmica supone el 84,14% (40) restante. La mayor parte de la energía producida por las renovables se basa en la eólica que supone un 77,5% (41), y por la fotovoltaica que implica un 18,8% (42). En el siguiente gráfico se puede observar los porcentajes de participación por islas, que componen el archipiélago canario.

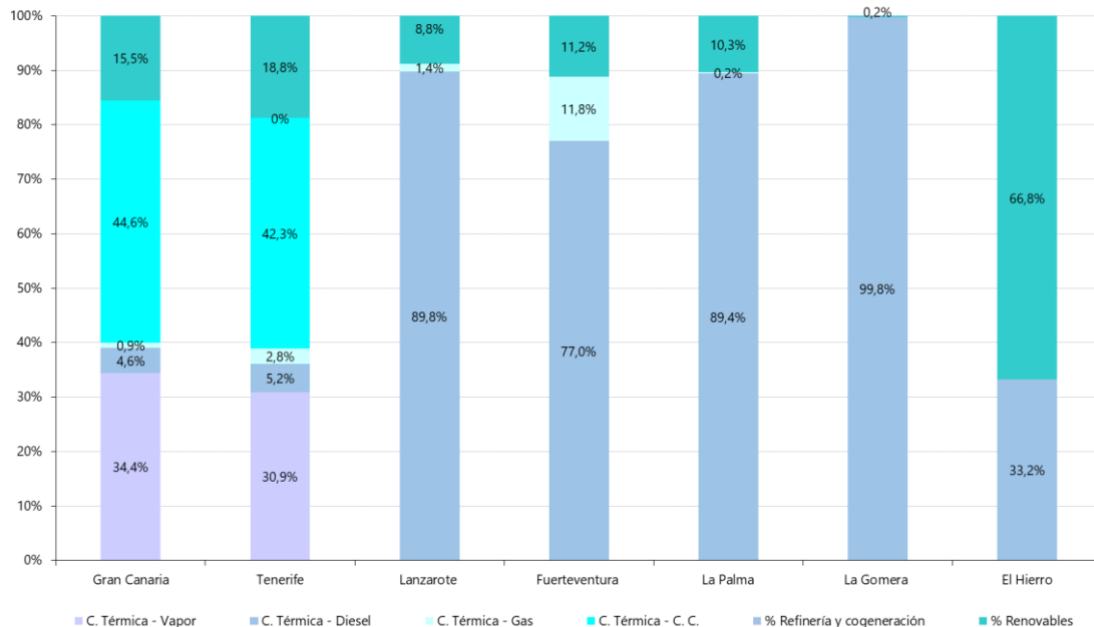


Figura 2.4. Porcentaje de participación de las distintas fuentes y tecnologías en la cobertura de la demanda eléctrica en Canarias en el año 2019.

Fuente: Anuario Energético de Canarias.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

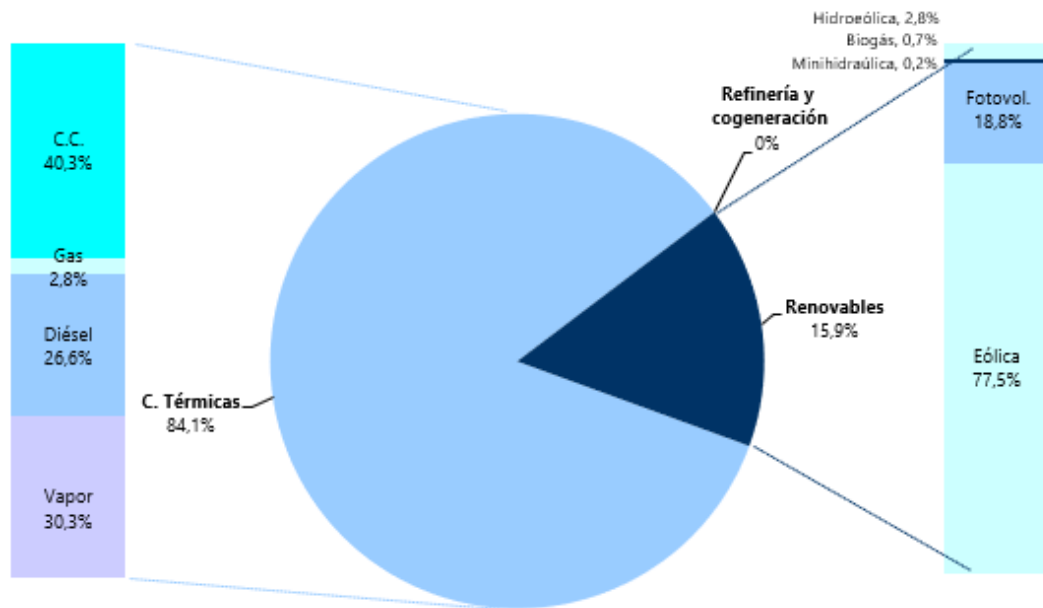


Figura 2.5. Porcentajes de participación de las distintas fuentes y tecnologías en la cobertura de la demanda eléctrica en Canarias. Fuente: Anuario Energético de Tenerife.

2.4 Situación actual en Tenerife

En referencia a la isla objeto de estudio de este trabajo, la situación es un claro reflejo de la del archipiélago en su conjunto. Actualmente el parque automovilístico de Tenerife presenta 797.290 (43) vehículos; según datos recogidos por el ISTAC la población entre los 18 y los 65 años es de 653.886 personas. Por tanto, el resultado obtenido es que cada habitante entre ese rango de edad tiene como mínimo un vehículo, o cada dos personas en la isla tinerfeña poseen dos vehículos. Si se realiza una comparación con otras ciudades españolas, como por ejemplo Sevilla, se constata que hay matriculados 1.286.787 vehículos, siendo la población de 1,95 millones de habitantes, más del triple.

Recientemente, se han publicado artículos en la prensa en la que se incide en la problemática del extenso parque móvil que posee la isla tinerfeña y que no hace más que evidenciar la cuestionable situación. Las figuras siguientes denotan esta situación ya que puede observarse como en aproximadamente cinco años el número de turismo se ha incrementado considerablemente siendo los impulsados por gasolina y diésel los mayoritarios una vez más.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

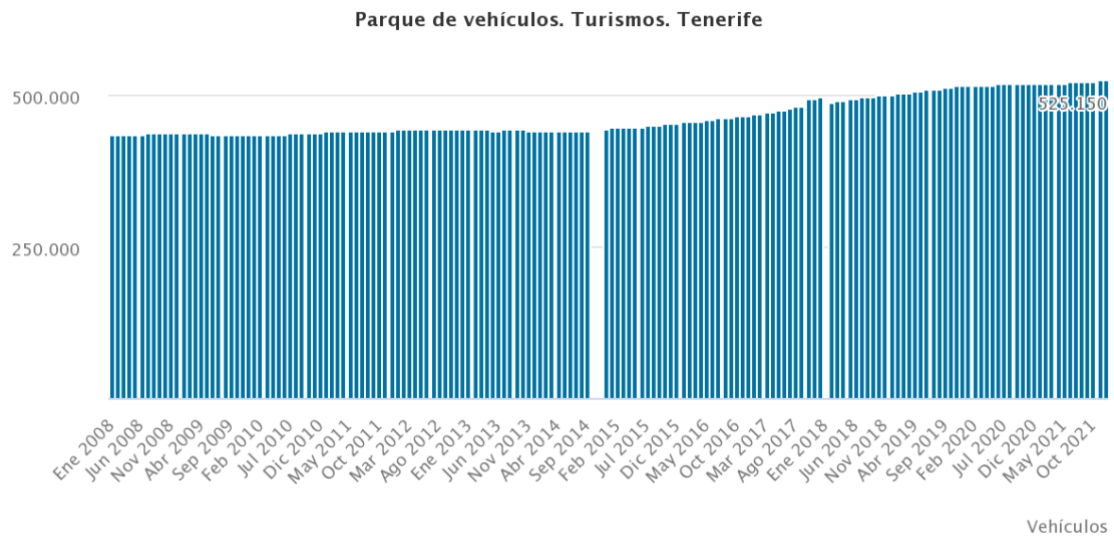


Figura 2.6. Representación del parque de vehículos en Tenerife.
Fuente: ISTAC

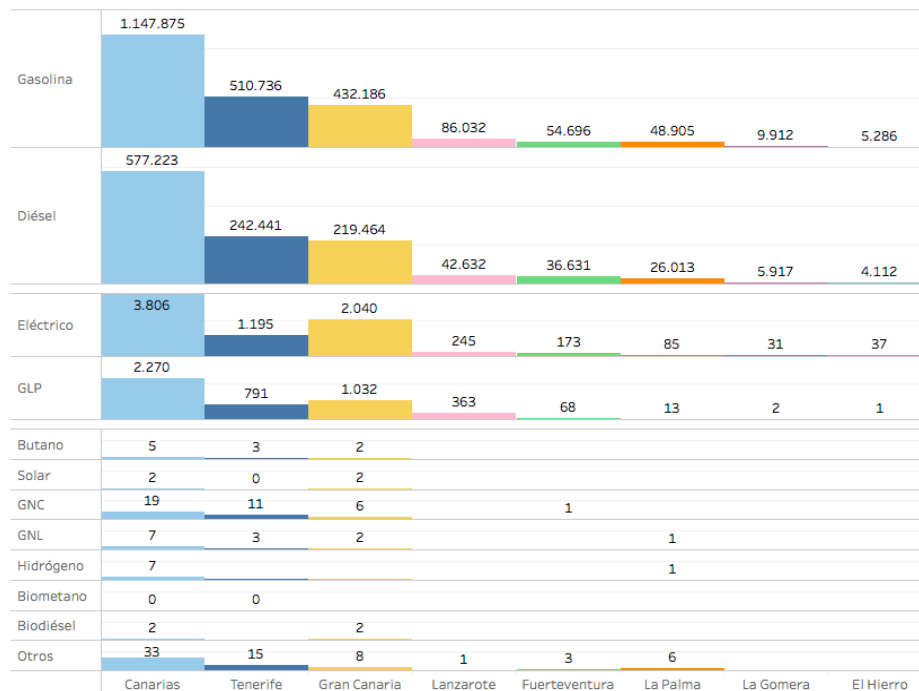


Figura 2.7. Representación del Parque de vehículos por tipo de combustible por isla.
Fuente: ISTAC.

En cuanto al mix eléctrico tinerfeño, como se puede apreciar en la figura 2.5, el 18,8% del mismo se produce a través de las energías renovables mientras que el 81,2%, a través del petróleo. De ahí que las emisiones de GEI asociadas a la fabricación de la electricidad también sean altas y acarreen efectos negativos en los vehículos eléctricos en la isla, como podrá apreciarse más adelante.

2.5 Ciclos de homologación

Los ciclos de homologación son la herramienta utilizada por parte de estamentos oficiales para el estudio del consumo y emisiones de los vehículos. Actualmente en Europa se utiliza el ciclo WLTP. Estos ciclos son utilizados por las empresas para certificar la cuantía de las emisiones de CO₂ de sus vehículos y poder observar la reducción de las mismas, puesto que, en Europa, se ha impuesto un máximo de 95 gramos de CO₂/km por vehículo, y la excedencia de dicha marca conllevará sanciones económicas para los fabricantes, las cuáles serán de 95 (44) euros por gramo excedido.

2.5.1 Ciclo WLTP

El ciclo WLTP es un protocolo internacional y actualmente es el ciclo de homologación vigente en Europa. Se aplicó en el año 2017 sustituyendo al ciclo NEDC. El WLTP se utiliza para homologar los consumos y las emisiones de los vehículos a motor en su fase de operación, adaptándose así a las medidas europeas propuestas para 2030.

La creación del ciclo WLTP por parte de la Comisión Europea persigue cuatro objetivos, que son:

- Rendimiento: obtener unos ciclos de conducción más realistas, para cuantificar de manera más precisa el consumo de los vehículos.
- Procedimiento: una configuración y análisis de vehículos más estricta.
- Completo: se tiene en cuenta todo el equipamiento del coche y sus extras.
- Precisión: a través de mediciones de temperatura más representativas.

Para estos objetivos, el ciclo incluye ciertos aspectos que no tenían en cuenta sus predecesores como son:

- Duración del análisis: el ciclo WLTP eleva la duración del análisis a los 30 minutos, aumentando también la distancia recorrida por el vehículo a 23 kilómetros.
- Rango de velocidades: para el ciclo WLTP se aumentan los valores de las velocidades medias y de la velocidad máxima del vehículo.
- Peso: un mayor número de kilogramos implica una mayor energía para moverlos y, por tanto, un mayor consumo de combustible y consiguientemente, un mayor número de emisiones.

El ciclo se basa en cuatro fases de conducción que reproducen la conducción real del vehículo, y que son: baja velocidad (régimen urbano), media velocidad (régimen

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

interurbano), alta velocidad y muy alta velocidad. A continuación, se presenta una gráfica extraída de un ciclo WLTP en la que pueden observarse dichas fases.

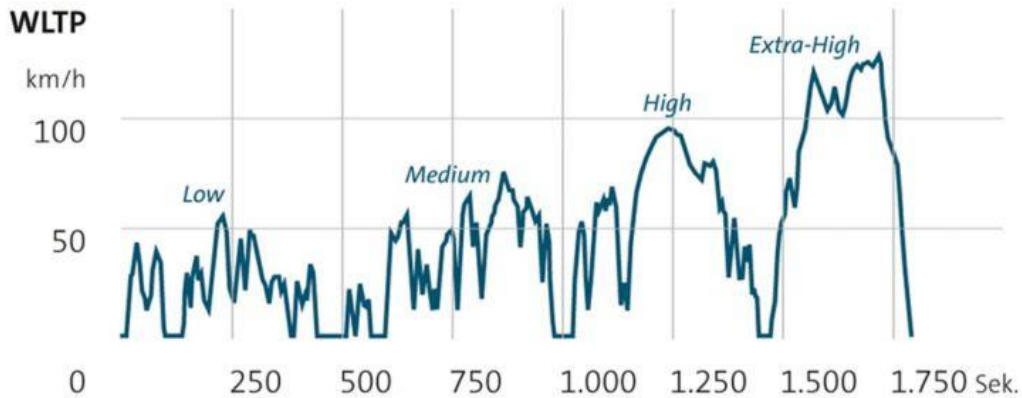


Figura 2.8. Perfil de velocidades en un ciclo WLTP.
Fuente: Volkswagen Canarias.

2.6 Métodos de estudio de las emisiones asociadas a un vehículo

Existen diferentes análisis para el estudio de las emisiones de CO₂ asociadas a los transportes. Algunos, enfocan su estudio en la fuente de energía y su proceso hasta alcanzar el punto de suministro de combustible al vehículo, en tanto que otros se centran en la fase de operación o de uso del vehículo, puesto que es el momento de mayores emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, existen análisis más completos que los mencionados anteriormente que suman ambos tipos de estudios o que profundizan más en otros aspectos, dando así resultados más veraces y objetivos, y todos ellos serán explicados a continuación.

2.6.1 Pozo a Rueda

El término Pozo a Rueda, en adelante Well to Pump, hace referencia a la cadena de energía de un vehículo. Dicha cadena se extiende desde el momento en el que se extrae la energía, hasta en el que la misma se absorbe por parte del vehículo, ya sea, en un punto de carga o una bomba de combustible. Por tanto, WTP describe las emisiones asociadas al suministro de combustible, desde la producción de la fuente de energía (gasolina, diésel, electricidad o gas natural) hasta el suministro de ese combustible.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

2.6.2 Bomba a Rueda

El término Bomba a Rueda (Pump to Wheels) hace referencia a la cadena que se extiende desde el punto de suministro de combustible hasta la descarga del mismo, que se produce en el movimiento del vehículo. Por lo tanto, describirá las emisiones que se producen en la fase de operación del mismo. Actualmente, este es el método de estudio utilizado para la homologación de las emisiones de CO₂ de los vehículos. Bajo esta definición, los vehículos BEV y los FCEV tienen unas emisiones nulas.

2.6.3 Well to Wheels

El término Well to Wheels, es un análisis que evalúa la eficiencia general y el cumplimiento de las normativas establecidas para la tecnología de conversión de energía. El análisis abarca desde la fuente original de energía hasta su uso final. En la figura 2.9 se muestran las diferentes etapas que conforman el Well to Wheels, y a su vez, presenta la diferenciación entre los términos reflejados anteriormente de manera gráfica.

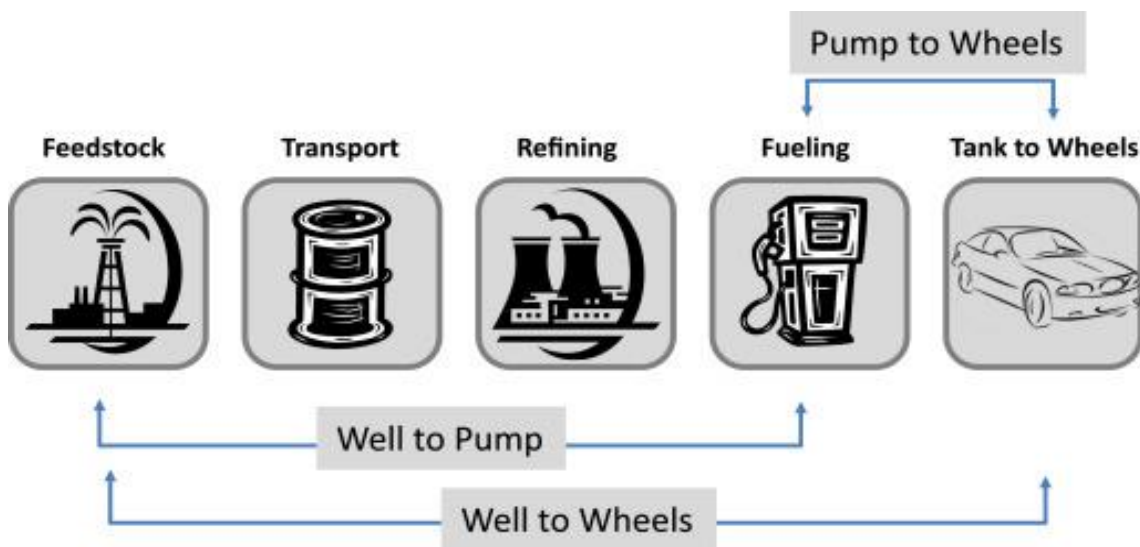


Figura 2.9. Gráfico representativo WTW, WTP y PTW.
Fuente: Chargedevs.com

2.6.4 Análisis del ciclo de vida

La problemática de la contaminación producida por los vehículos no sólo tiene lugar en las fases presentadas en el WTW. Aparte de éstas, se pueden contabilizar las emisiones que se producen en la fabricación del vehículo o en el reciclaje del mismo. Para evaluar y comparar los impactos ambientales potenciales en todas estas etapas se puede emplear la metodología Análisis de Ciclo de Vida (LCA). A partir de este momento, se usará el acrónimo anglosajón LCA para hacer referencia al análisis del ciclo de vida.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Por tanto, un LCA nos muestra el impacto medioambiental de un producto en las siguientes fases:

- Manufactura del vehículo.
- Fuente de energía y transporte de la misma (WTP).
- Operación del vehículo. Comprende la etapa de movimiento.
- Reciclaje de los componentes que conforman el mismo.

Esto ayuda a comparar de una manera más profunda las emisiones asociadas a los diferentes tipos de transportes y tomar así las decisiones más correctas desde el punto de vista medioambiental. Este análisis permite ofrecer para el diseño de vehículos un alto potencial de mejora, en lo que a aspectos medioambientales se refiere, ya que se puede obtener cuál es la fase con mayores emisiones o qué emisiones se tienen en alguna etapa en concreto. En la figura 2.10 se presenta la concepción de un análisis del ciclo de vida completo, donde también se diferencian las fases mencionadas en apartados anteriores.

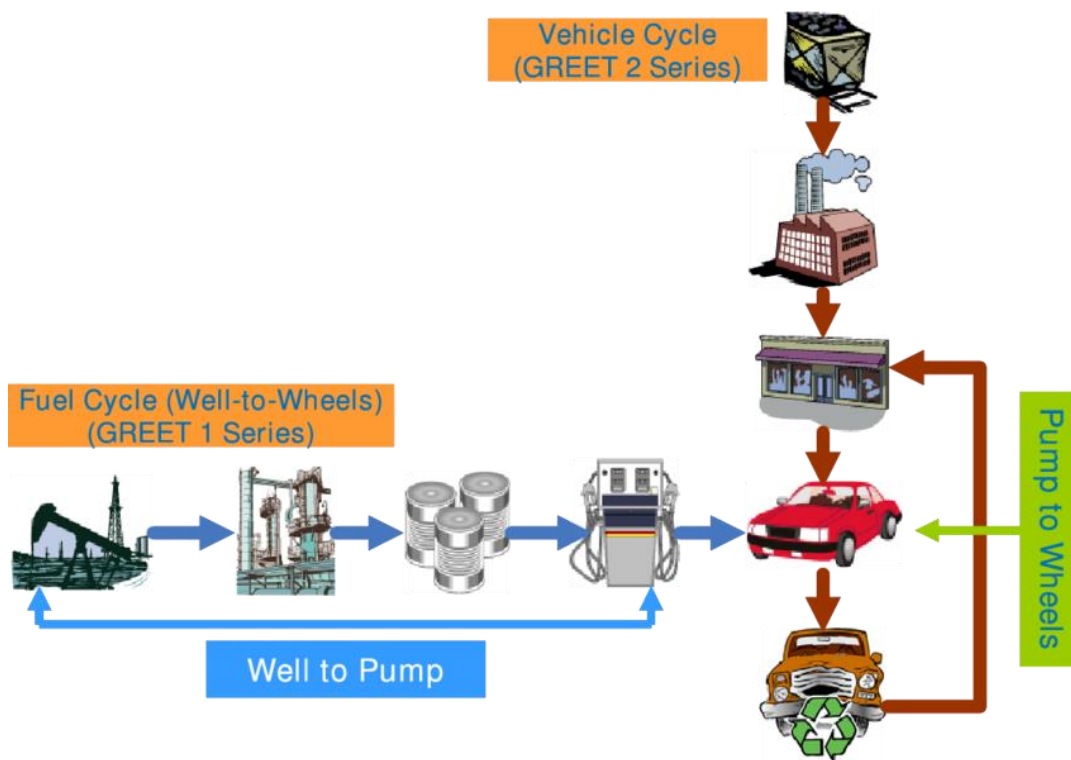


Figura 2.10. Representación Análisis del ciclo de Vida.
Fuente: GREET.

2.7 Tipos de sistemas propulsivos

Actualmente podemos encontrar una alta diversidad de modelos de transportes en la flota automovilística, según la tecnología utilizada en su motor. Se diferencian los MCIAs con diferentes tipos de combustible, y también, vehículos con una tecnología más avanzada como los motores híbridos, los motores totalmente eléctricos y los motores de pila de combustible.

Este trabajo se centra en el estudio de vehículos con motorizaciones MCIAs (gasolina, gasoil, GNC y GLP), en los híbridos no enchufables, en los híbridos enchufables, en los vehículos eléctricos y en varias versiones SUV, de las arquitecturas presentadas anteriormente. A continuación, se explican con más profundidad los diferentes tipos de motorización.

2.7.1 Vehículos convencionales

Estos transportes tienen como fuente de propulsión un MCIAs, obtienen la energía mecánica directamente de la energía química del combustible que arde dentro de la cámara de combustión. Existen numerosas variaciones, pero la más utilizada es el motor de explosión de ciclo Otto, que es el motor tradicional de gasolina y el motor de diésel.

Las principales ventajas de este tipo de vehículos, es que debido a sus décadas de comercialización tienen una gran red de suministro de combustible, una gran autonomía y un precio más económico de venta al público. Por otro lado, sus grandes inconvenientes son las emisiones de GEI que producen, tanto de CO₂ como de NO_x, como de partículas PM_{2,5} y PM₁₀ y su dependencia del petróleo.

Debido a estas razones tan negativas para el medioambiente, la mayoría de países ha puesto fecha para la finalización de matriculación de este tipo de vehículos y posteriormente, para su descatalogación.

Dentro de este apartado se incluyen los vehículos GLP. Son aquellos cuya motorización es la de ECO-G, puesto que funcionan con gasolina y GLP. El GLP es la abreviación de gas licuado del petróleo. Es un combustible que se fabrica con butano y propano: procede un 30% del proceso del refinado de petróleo y un 70% de los yacimientos de gas natural o petrolíferos. Disponen de dos depósitos de combustible separados (GLP y gasolina) pudiendo circular indistintamente con los dos.

Como ventajas respecto al de gasolina, los vehículos que utilizan GLP disminuyen las emisiones NO_x alrededor de un 68% y respecto al CO₂ emite un 15% menos.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.



Figura 2.11. Elementos de un motor GLP.

Fuente. Dacia.es

2.7.2 Vehículos GNC

Los transportes que incorporan como combustible GNC son denominados como vehículos bifuel, puesto que cuentan con un único motor de combustión interna, capacitado para usar como combustible tanto gas natural comprimido, normalmente metano, como gasolina. Este tipo de vehículos no son híbridos, puesto que no tienen dos motores que utilicen fuentes de energía distintas.

La principal ventaja reside en la reducción de emisión de GEI frente a otros vehículos que utilicen gasolina, diésel o GLP. Respecto a un vehículo de diésel, el vehículo de GNC emitirá un 10% menos de CO₂

2.7.3 Vehículos híbridos

Los vehículos híbridos, son aquellos que combinan un motor eléctrico con un motor de combustión. Según el tipo de hibridación de la que disponga el vehículo, tendrá un mayor o menor nivel de electrificación, y, por ende, una mayor o menor reducción de las emisiones de CO₂.

La principal ventaja que ofrece la hibridación es la potencial reducción de las emisiones que produce el vehículo en su fase de operación. La implementación de un motor eléctrico en la fase de movimiento del vehículo, (según el tipo de hibridación de mayor o menor potencia), provoca un descenso de la operación del motor de combustión interna y por consiguiente un menor consumo de combustible. Por otro lado, este tipo de tecnología también tiene sus desventajas, como son la mayor complejidad y mayores emisiones contaminantes que produce la extracción del litio para sus baterías y su fase de fabricación. A continuación, se muestra una descripción de los distintos niveles de electrificación.

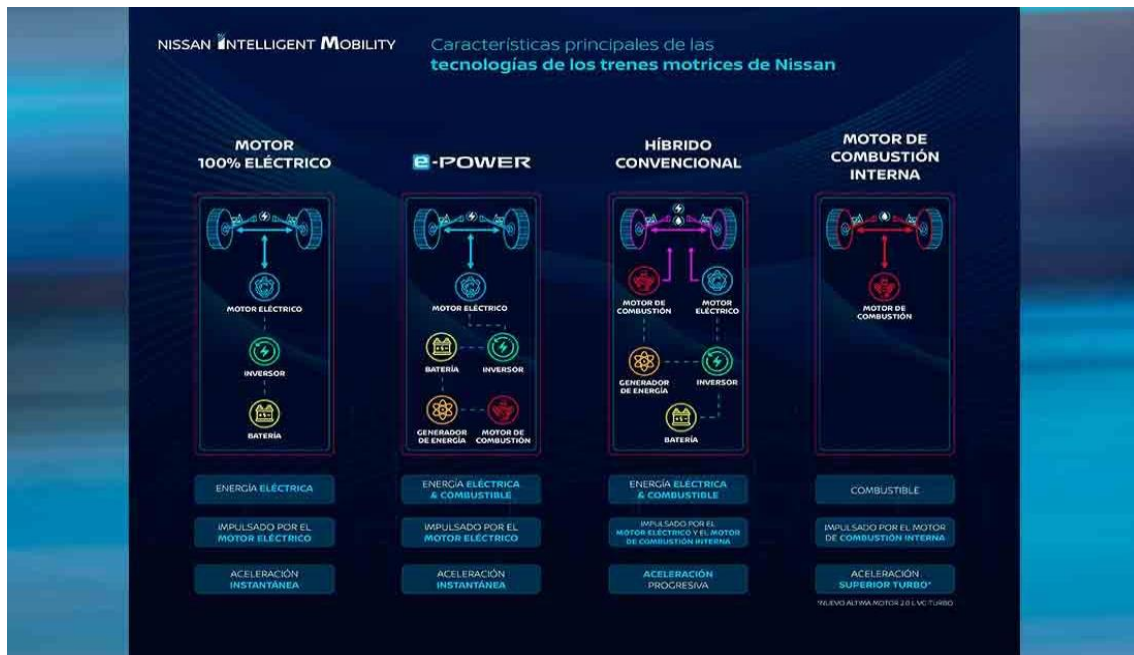


Figura 2.12. Diferentes arquitecturas eléctricas para vehículos en comparación con una arquitectura convencional.

Fuente: Nissan.

2.7.3.1 Vehículo microhíbrido

Este tipo de hibridación también recibe el nombre de híbridos suaves o microhíbridos. Esta arquitectura dispone de un MCIA junto con una batería de 12 Voltios que permite accionar el sistema Start-Stop, el cual permite parar el motor cuando el vehículo no se encuentra circulando y volver a accionarlo cuando se desee volver a emprender la marcha. Este tipo de tecnología es barata de implementar, pero apenas supone un ahorro de las emisiones o del consumo de combustible por parte del vehículo.

2.7.3.2 Vehículo Full Hybrid o híbrido eléctrico

Este tipo de motorizaciones funciona principalmente con el motor de combustión interna, donde el motor eléctrico asiste en puntos de operación de baja eficiencia del motor. El motor eléctrico y las baterías que componen esta arquitectura son de pequeño tamaño, y por ello, el modo puramente eléctrico es muy limitado o inexistente. La carga de la batería se produce a través del sistema de frenada regenerativa. Gracias a este protagonismo del motor eléctrico, las emisiones de CO₂ se reducen considerablemente.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

2.7.3.3 Vehículo Híbrido Enchufable

En este tipo de arquitecturas el motor principal sigue siendo el motor térmico, pero el motor eléctrico comienza a tener mayor participación e importancia. La mayor implicación del motor eléctrico se debe a que las baterías que utilizan estos vehículos son de mayor capacidad que las de los HEV, provocando que dicho motor sea más potente, y permitiendo la posibilidad de rodar con él únicamente. La autonomía eléctrica de estos vehículos está en torno a los 60 kilómetros, lo que provoca una reducción considerable de la implicación del motor de combustión en la fase de operación, y, por ende, una reducción de las emisiones de CO₂ en dicha fase.

2.7.3.4 Vehículo eléctrico de rango extendido

Este tipo de vehículos está compuesto por uno o varios motores eléctricos y un motor de combustión interna, que en ningún momento impulsa el vehículo, sino que, la función que desempeña es cargar la batería cuando ésta se acaba. Esta arquitectura es minoritaria y se ideó para mejorar la autonomía de las baterías eléctricas disponibles.

2.7.4 Vehículos Eléctricos

2.7.4.1 Vehículo eléctrico de baterías

Los vehículos de baterías eléctricas son aquellos que se impulsan únicamente a través de un motor eléctrico compuesto por baterías, y que, por lo tanto, en la fase de operación sus emisiones son nulas. Las baterías se recargan al igual que en la mayoría de vehículos híbridos a través del frenado, pero una vez se agotan, el vehículo debe conectarse a una fuente de energía externa. Sus grandes inconvenientes son el gran coste que suponen y la escasez de puntos de recarga para los mismos.

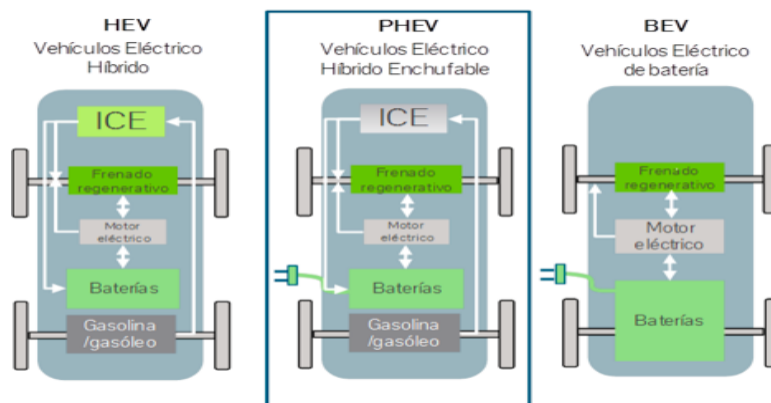


Figura 2.13. Diagrama de bloques para diversas electrificaciones de vehículos.

Fuente: Enapeme.es

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

2.7.4.2 Vehículo eléctrico con celda de combustible

Esta arquitectura está basada en la utilización del hidrógeno como elemento principal para generar la corriente eléctrica necesaria y alimentar al motor. Utilizan un sistema de propulsión en el cual la energía almacenada en forma de hidrógeno, se convierte en electricidad a través de una reacción entre el hidrógeno y el oxígeno en la celda de combustible. Dicho vehículo es capaz de abastecerse en 5 minutos y posee una autonomía alrededor de los 482 km. Aún así, esta tecnología se encuentra en una etapa temprana de implementación. En la figura 2.13, se presenta un diagrama de este tipo de vehículos, con los elementos principales que conforman la mencionada arquitectura.

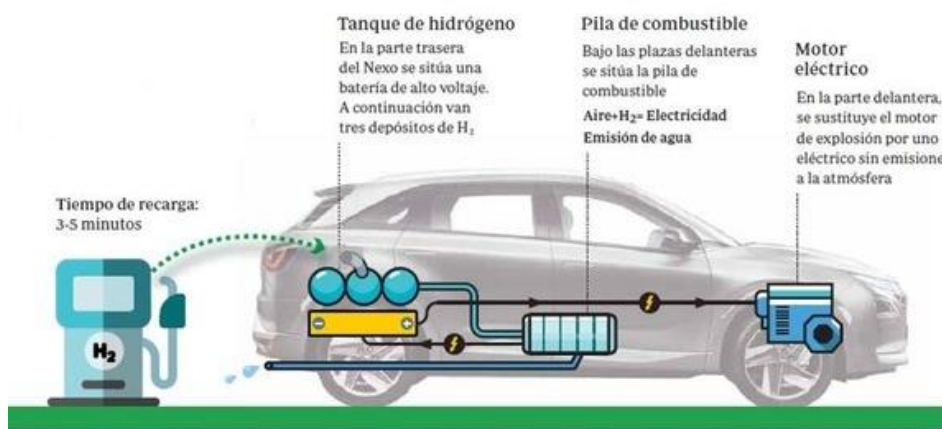


Figura 2.14. Diagrama vehículo de pila de combustible.

Fuente: ABC.

3 Metodología

Para la realización de este Trabajo de Fin de Grado se han estudiado numerosas tipologías de motorización en la isla de Tenerife, a través del Análisis del Ciclo de Vida. El primer paso que se ha realizado ha sido seleccionar diversas arquitecturas de motor, las cuales se presentan en el apartado 3.3. Una vez seleccionadas, se hace uso de las bases de datos oficiales del vehículo, todos los valores necesarios, como puede ser el consumo de combustible, las emisiones de CO₂ que produce en su movimiento o el peso del vehículo.

3.1 Base de datos para el análisis del ciclo de vida

Para realizar el análisis del ciclo de vida se ha empleado un software libre, denominado GREET. El modelo GREET es una herramienta analítica que simula el uso de la energía y las emisiones de salida para varias combinaciones de vehículos y tipos de combustible. Esta patrocinado por el U.S Department of Energy's (DOE) Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Recibe su nombre tras el acrónimo de Greenhouse gases, Regulated Emissions, and Energy use in Technologies Model. El software permite realizar un análisis exhaustivo del consumo de energía, las emisiones de GEI en varias etapas del vehículo, generando así, con todos los resultados obtenidos, un LCA.

Para comenzar el estudio del Análisis del ciclo de vida, GREET estudia el WTP de numerosas fuentes de energía a través de un pathway. Este se define como el recorrido que hace la fuente de energía desde su extracción hasta su llegada al surtidor o punto de recarga y, para ello el programa divide dicho pathway en varias etapas:

- Recursos: reciben el nombre de recursos las entradas y salidas de los procesos.
- Tecnologías: una tecnología se utiliza para modelar las emisiones, resultado de un proceso de combustión o una reacción química. Cada tecnología esta relacionada por el combustible que la define y las emisiones que acarrea. Las emisiones que se estudian a través de este software son VOC, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, SO_x, CH₄, CO₂, y NO_x.
- Procesos: un proceso es el componente principal del modelo y se dividen en dos tipos:
 - Proceso estacionario: que está definido por una entrada-salida y hay cuatro componentes a lo largo del proceso que definen cómo la energía y las emisiones se asocian con un proceso: entrada, salida, coproducto y emisiones adicionales. Por ejemplo, en el pathway asociado a 'Conventional Crude', todos los recursos están destinados a la extracción del petróleo.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

- Proceso de transporte: que está compuesto por una serie de etapas que definen el recorrido de la fuente de energía hasta su llegada al surtidor o punto de recarga. Para ello se selecciona el medio de transporte y se especifica la distancia que recorrerá. Entre los diferentes elementos que tenemos para definir el recorrido se puede encontrar: barcos, camiones, tuberías...

Para conocer las emisiones asociadas a las fuentes de energía para una etapa, el modelo las computa en unidades de masa por unidades de producción de combustible, en dicha etapa. Las emisiones de una etapa incluyen las emisiones asociadas a la combustión del proceso, la fuga y, evaporación de combustible. Las emisiones asociadas a combustión de combustible se obtienen a través de la siguiente expresión:

$$Emisiones_x = \sum_j \sum_k EF_{x,y,z} \cdot FC_{y,z}$$

Donde:

$Emisiones_x$: emisiones del contaminante x en la producción de combustible.

$\sum_k EF_{x,y,z}$ = Factor de emisión del contaminante x del proceso del combustible y con tecnología de combustión z.

$FC_{y,z}$ = Consumo de combustible del proceso y con tecnología de combustión z.

Como se ha mencionado anteriormente, este estudio se centra únicamente en las emisiones de CO₂, por tanto, se procede a explicar cómo GREET obtiene las emisiones de dicho GEI asociada a los WTP de las fuentes de energía. Para ello, el programa aplica un balance de carbono en el que supone que el carbono contenido en el combustible, menos el carbono contenido en las emisiones de combustión de compuestos, como los VOCs, CO y CH₄, se convierte en CO₂.

De acuerdo al pathway utilizado para el combustible fósil, se ha utilizado un pathway verificado y, aplicado por otros estudios. Por la similitud con el transcurso que debe realizar el combustible en su trayecto desde el momento de su extracción, hasta la llegada a su destino, se ha seleccionado el pathway asociado a los Estados Unidos. Esto se debe a que el combustible viene desde un país extranjero y realiza un recorrido similar al que realiza el crudo que llega a Canarias. Se muestra un ejemplo de pathway en la figura 3.1, correspondiente a la gasolina E10.

Cabe mencionar que para más exactitud y concreción aún en los resultados, se debería haber realizado un pathway asociado a dichos combustibles en su periplo hasta Tenerife.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Sin embargo, disponer de toda esa información resulta una tarea compleja, ya que requiere de la participación de todos los agentes implicados.

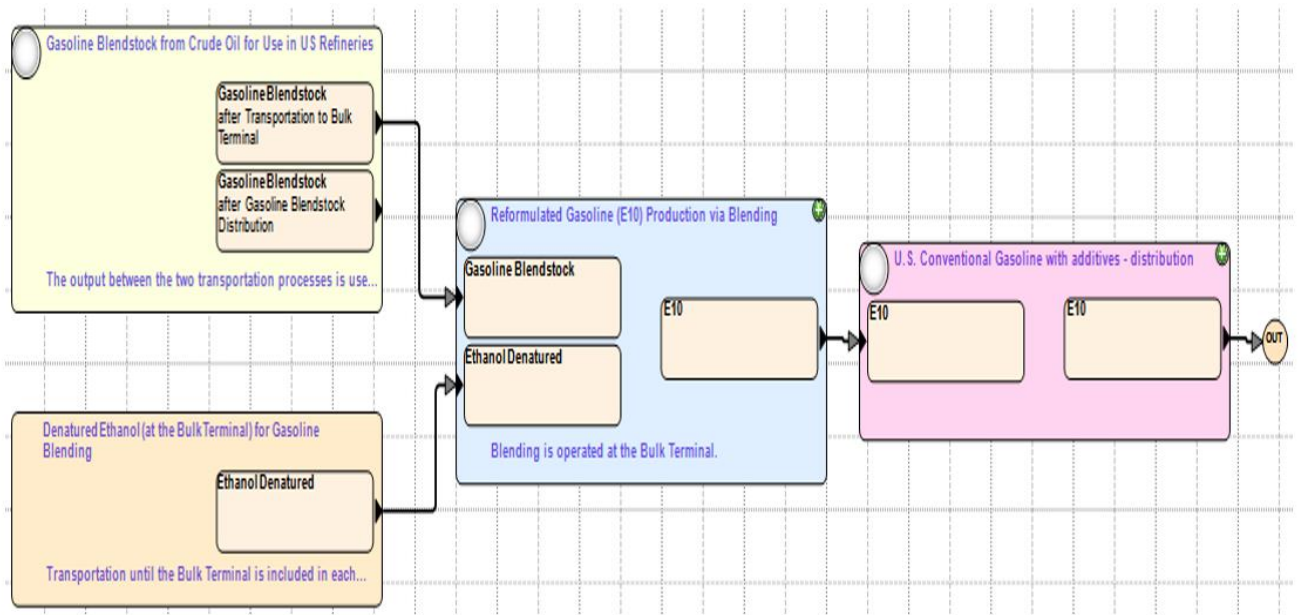


Figura 3.1. Pathway asociado a la gasolina E10.
Fuente: GREET.

3.1.1 Consideraciones generales para los vehículos sometidos a estudio

Para la realización de este estudio, se han debido de tener en cuenta una serie de consideraciones generales para la conformación de los modelos de vehículos y el análisis de los mismos. Estas especificaciones hacen referencia tanto al kilometraje que realizará el vehículo, a la fabricación del mismo, como al número de pasajeros. Es por ello, que a continuación, se desarrollan dichas especificaciones:

- Todos los vehículos que se presentan en este estudio realizan el mismo número de kilómetros a lo largo de su vida útil. Este valor se situará en 150.000 kilómetros, representativo de la vida útil de un vehículo.
- Todos los vehículos tienen el mismo número de pasajeros a la hora de someterlos a este análisis, el cual será un único pasajero.
- Se ha especificado que los vehículos desarrollarán un 40% de la conducción que hagan en un entorno urbano, es decir, circulando por ciudad. Dicho porcentaje se aplica para conocer qué fracción de las emisiones se produce en áreas urbanas.
- Para la manufactura de los vehículos se han tenido en cuenta los siguientes componentes: cuerpo del vehículo, el motor del vehículo, el chasis, la transmisión, los neumáticos y la batería del vehículo.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

- Se especifica el consumo de combustible que tiene el vehículo, reflejado en la ficha técnica del mismo.
- Se especifica las emisiones de CO₂ en gramos por kilómetro que tiene el vehículo en su fase de operación, si las tuviera.

3.1.2 Consideraciones específicas para los vehículos sometidos a este estudio

Ciertos vehículos analizados en este estudio, debido a la complejidad de su arquitectura, no solo recogen las consideraciones generales, sino que también, tienen unas consideraciones específicas. Es el caso de los vehículos PHEV y los vehículos BEV. Para ambas tecnologías se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se debe especificar la autonomía del vehículo, es decir, la cantidad de kilómetros que permite el motor eléctrico y la batería al transporte puramente eléctrico. En el caso del vehículo PHEV, su capacidad de batería se ha establecido en 13 kWh lo que le proporciona una autonomía alrededor de los 60 kilómetros, valor representativo de las tecnologías actuales como se recoge en la comparación realizada por el medio de comunicación *Km77* (45). En el caso del vehículo BEV, su batería será de 45 kWh y otorga una autonomía superior a los 300 kilómetros.
- Respecto al vehículo PHEV se debe especificar tanto la aportación del motor eléctrico como la del motor de combustión, en la fase de operación. En este caso, se ha establecido que el vehículo realizará entre el 60% - 70% de sus trayectos en modo eléctrico. Aunque estos valores, dependerán en gran medida de los patrones de conducción y recarga del conductor, se considera que este rango es representativo, tras varias consultas a conductores que poseen vehículos de esta índole.
- A la hora de la manufactura de este tipo de vehículos se han de tener en cuenta tres elementos que no se analizan en el resto de vehículos: el control eléctrico, el generador, y las baterías eléctricas que conforman el motor eléctrico.

3.2 Mix eléctrico en la isla de Tenerife

Se define el mix eléctrico como la combinación de fuentes primarias para la producción de electricidad en una zona geográfica. El mix eléctrico de la zona geográfica en la que se realiza el estudio influirá en las emisiones de los vehículos que cargan sus baterías a través de una fuente de energía externa. Por ello, y para una mayor precisión a la hora de realizar el análisis, se ha desarrollado un submodelo del mix eléctrico tinerfeño desde el software GREET haciendo uso de los datos presentes en el Anuario Energético (46).

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

El parque de generación de la isla de Tenerife se fundamenta en una estructura tecnológica de productos derivados del petróleo, donde se pueden encontrar, motores diésel y turbinas de gas, junto con unidades de ciclo combinado y unidades de turbina de vapor. Adicionalmente, el parque de generación también tiene una participación de energías renovables, en las que destacan la energía eólica y la fotovoltaica.

En la elaboración de este mix se han tenido en cuenta los datos contenidos en las tablas 3.1. Del análisis de estos datos se extrae el aporte de cada una de las tecnologías a la producción de electricidad, que junto con el rendimiento al que operan confeccionan el peso de los productos derivados del petróleo, en el mix eléctrico tinerfeño. Así, en el caso de los motores diésel el rendimiento que recoge el Anuario Energético es de un 45%, el de las turbinas de vapor un 34%, de las de gas un 26% y del ciclo combinado un 44%.

De igual forma, se recogen las fuentes renovables que se utilizan en la actualidad para la producción de electricidad. En este caso se seleccionan las principales fuentes de energía, que contribuyen a dicha producción, como son la eólica y fotovoltaica, y se realiza el cálculo con la aportación de las mismas al mix eléctrico.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Fuentes energía primaria	Gran Canaria	Tenerife	Lanzarote	Fuerteventura	La Palma	La Gomera	El Hierro	Canarias
PROD. DERIV. PETRÓLEO								
Centrales térmicas	3.028.054	3.014.854	826.454	636.732	251.935	76.696	20.738	7.855.463
Turbina Vapor	1.233.316	1.146.979	-	-	-	-	-	2.380.295
Motor Diésel	165.552	192.784	813.663	552.146	251.332	76.696	20.738	2.072.912
Turbina Gas	31.758	105.645	12.791	84.585	603.178	-	-	235.383
C. Combinado	1.597.427	1.569.446	-	-	-	-	-	3.166.873
Refinería								
Turbina Vapor	-	-	-	-	-	-	-	-
Cogeneración								
Turbina Vapor	-	-	-	-	-	-	-	-
Motor Diésel	-	-	-	-	-	-	-	-
Turbina Gas	-	-	-	-	-	-	-	-
Total deriv. petróleo	3.028.054	3.014.854	826.454	636.732	251.935	76.696	20.738	7.855.463
% Prod. deriv. petróleo (sobre el total de prod. deriv. petróleo)								
Turbina Vapor	40,7%	38,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	30,3%
Motor Diésel	5,5%	6,4%	98,5%	86,7%	99,8%	100,0%	100,0%	26,4%
Turbina Gas	1,0%	3,5%	1,5%	13,3%	0,2%	0,0%	0,0%	3,0%
C. Combinado	52,8%	52,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	40,3%
FUENTES RENOVABLES								
Eólica ⁽¹⁾	498.435	495.251	67.686	63.470	22.804	138.402	0	1.147.785
Fotovoltaica ⁽²⁾	55.445	189.143	10.343	16.638	6.276	16.028	48.384	277.910
Minihidráulica	0	3.524	0	0	0	0	0	3.524
Hidroeléctrica	0	0	0	0	0	0	41.644	41.644
Biogás (vertedero)	0	8.179	1594.106	0	0	0	0	9.773
Total renovables	553.880	696.096	79.623	80.108	29.081	154	41.692	1.480.635
% Fuentes renovables (sobre el total de renovables)								
Eólica ⁽¹⁾	90,0%	71,1%	85,0%	79,2%	78,4%	89,6%	0,0%	77,5%
Fotovoltaica ⁽²⁾	10,0%	27,2%	13,0%	20,8%	21,6%	10,4%	0,1%	18,8%
Minihidráulica	0,0%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
Hidroeléctrica	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	99,9%	2,8%
Biogás (vertedero)	0,0%	1,2%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%
TOTAL	3.581.934	3.710.951	906.078	716.839	281.016	76.850	62.430	9.336.098
Distribución porcentual Total (%)								
% Térmicas	84,5%	81,2%	91,2%	88,8%	89,7%	99,8%	33,2%	84,14%
% Refinería y cog.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% Renovables	15,5%	18,8%	8,8%	11,2%	10,3%	0,2%	66,8%	15,9%

Tabla 3.1. Participación de las distintas fuentes y tecnologías en términos de energía bruta.

Fuente: Anuario Energético de Canarias.

En la figura siguiente se presenta el pathway asociado a los productos derivados del petróleo que componen parte del mix eléctrico tinerfeño. En la misma se muestran los porcentajes pertenecientes a la contribución de las diferentes tecnologías para la producción de electricidad por parte de: los motores diésel, la turbina de vapor, el ciclo combinado y la turbina de gas, los cuales, son similares a los recogidos en la tabla anterior.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

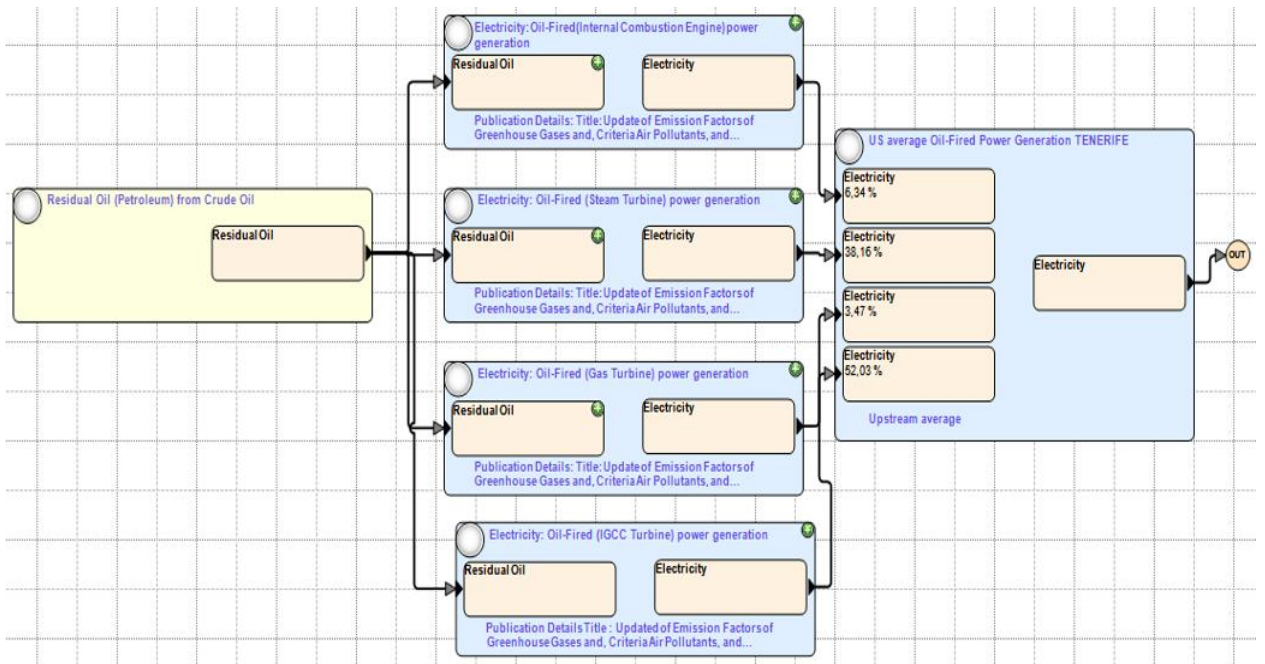


Figura 3.2. Pathway derivados del petróleo para mix eléctrico tinerfeño 2019.

Fuente: Propia.

Los valores reflejados en la figura 3.2 sirven de base para la distribución del mix eléctrico en GREET, que junto con la participación de las renovables generan la figura 3.3. En ella se puede comprobar que la mayoría de la producción eléctrica de Tenerife viene dada por productos derivados del petróleo, concretamente un 82%; mientras que el 18% restante se produce a través de energías renovables, siendo la más relevante la energía eólica.

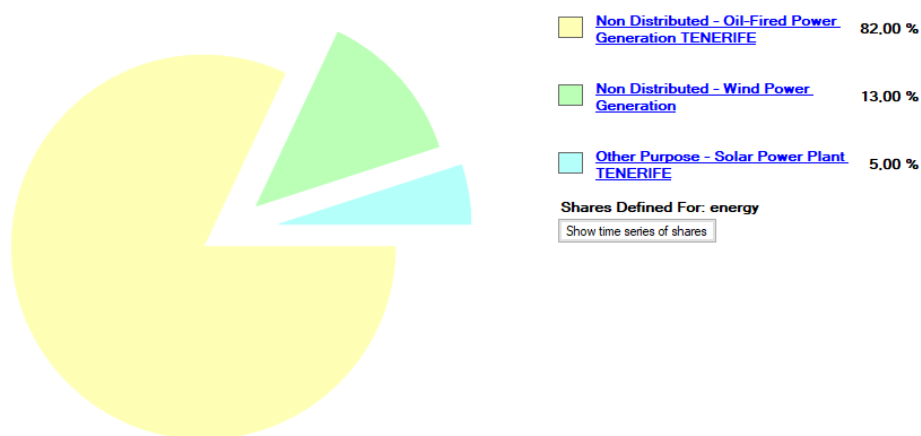


Figura 3.3. Representación Mix Eléctrico Tenerife 2019.

Fuente: Propia.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Una vez desarrollado el mix eléctrico de Tenerife para el año objeto de estudio, se realizó un nuevo mix eléctrico, pero esta vez para el año 2030, siguiendo las previsiones de inclusión de energías renovables realizadas por las instituciones públicas, y que se han detallado previamente en el apartado 2.4.3 (PNIEC). Aunque el objetivo es alcanzar que un 50% de la producción eléctrica tiene que tener su origen en las energías renovables, a la hora de confeccionar dicho mix en el programa se ha ascendido a un 60% debido al impulso que han adquirido las energías renovables en los últimos años, en nuestro archipiélago.

Por tanto, se obtiene un supuesto mix eléctrico para 2030, al que se denominará como escenario PNIEC, puesto que esta simulación se basa en el logro de los objetivos de este plan. Por ello, se puede observar como las energías renovables abarcarán más de la mitad de la producción eléctrica, lo que se traduce en una producción más limpia y que beneficiará a los vehículos eléctricos en su camino hacia la reducción de las emisiones de GEI.

El resultado de establecer la hipótesis de cumplir el objetivo mencionado anteriormente se detalla en la figura 3.4. En la misma, se observa un cambio en la tendencia del peso de las energías renovables en la producción eléctrica, respecto a la figura 3.3. En este caso, la energía eólica y la fotovoltaica compondrían el 60% del mix eléctrico tinerfeño, mientras el 40% restante lo integran los productos derivados del petróleo.

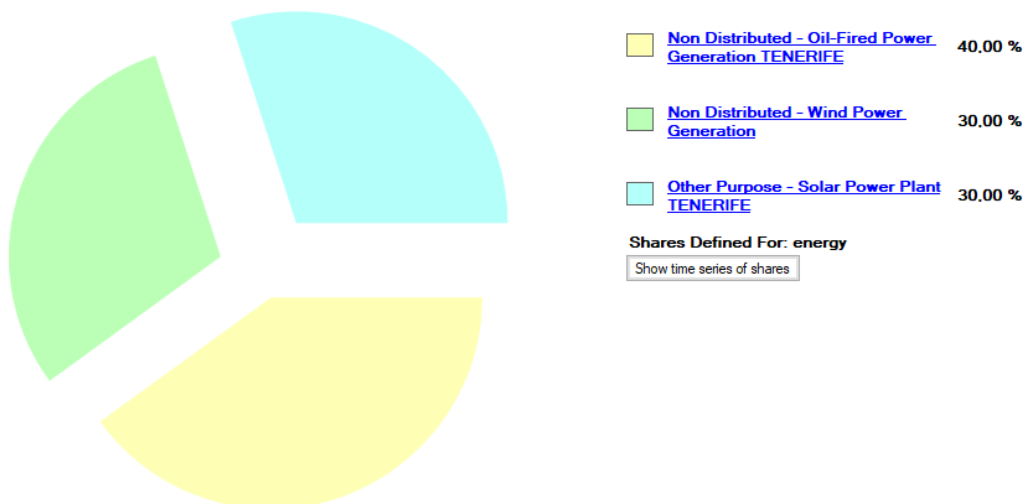


Figura 3.4. Representación Mix Eléctrico Tenerife 2030.

Fuente: Propia.

3.3 Vehículos sujetos a estudio

El análisis de los vehículos realizado en este TFG, se estructura en dos grupos principales: los vehículos compactos y los SUVs. Dentro de los mismos, se estudiarán diversas tecnologías de sistemas propulsivos.

3.3.1 Vehículo compacto

Se define como vehículo compacto, a aquellos turismos de tamaño medio con una carrocería dividida en dos volúmenes: por un lado, el motor y por otro el habitáculo y el maletero. Es el segmento de vehículos más vendido en España, ocupando más del 20% de las ventas, y esto se debe a la gran polivalencia que tienen ya que cumplen las funciones de un vehículo utilitario, familiar y deportivo. Dentro de este sector de vehículos se han estudiado los siguientes:

- Vehículo compacto con motorización convencional: combustible gasolina.
- Vehículo compacto con motorización convencional: combustible diésel.
- Vehículo compacto con motorización convencional: combustible GLP.
- Vehículo compacto con motorización convencional: combustible GNC.
- Vehículo compacto híbrido (HEV).
- Vehículo compacto plug-in hybrid (PHEV).
- Vehículo compacto de baterías eléctricas. (BEV).

3.3.2 Vehículo SUV

Los SUV, según el término anglosajón Sport Utility Vehicle, son vehículos que poseen un aspecto de todoterreno, pero están diseñados para la conducción por ciudad. Por la inexistencia de una traducción a nuestro idioma, a partir de este momento se utilizará el acrónimo SUV, para hacer referencia a estos vehículos. Dentro de este sector de vehículos se han estudiado los siguientes:

- SUV con motorización convencional: combustible gasolina.
- SUV con motorización convencional: combustible diésel.
- SUV con motorización híbrido (HEV).
- SUV con motorización híbrida: plug-in hybrid (PHEV).
- SUV de baterías eléctricas (BEV).

A modo de resumen, en las Tablas 3.2 y 3.3 se muestran los principales parámetros de los vehículos usados en este trabajo como son: el peso del vehículo, las longitudes del mismo

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

y el consumo de combustible/electricidad. Para evitar comercialismos, no se hace referencia a la marca del turismo utilizada.

	Modelo	Peso(kg)	Consumo	Longitud(mm)	Ancho(mm)
Vehículos compactos.	Gasolina	1318	6l/100km	4368	1800
	Diesel	1356	5,5l/100km	4368	1800
	GNC	1382	4l/100km	4368	1800
	GLP	1138	4l/100km	4069	1733
	HEV	1360	3,5l/100km	4370	1790
	PHEV	1614	2,1l/100km 12,7kWh/100km	4368	1800
	BEV	1794	15,5kWh/100km	4261	1809

Tabla 3.2. Datos principales de vehículos compactos.

Fuente: Propia.

	Modelo	Peso(kg)	Consumo	Longitud(mm)	Ancho(mm)
SUV	Gasolina	1599	6,5l/100km	4575	1839
	Diesel	1687	6l/100km	4735	1839
	HEV	1709	5l/100km	4614	1883
	PHEV	1689	1,2l/100km 12,7kWh/100km	4450	1839
	BEV	2124	18kWh/100km	4584	1852

Tabla 3.3. Datos principales de SUV.

Fuente: Propia.

4 Presentación y análisis de resultados

La primera aproximación a la presentación de los resultados se va a iniciar con el vehículo compacto de gasolina, ya que supone la arquitectura más demandada en el mercado automovilístico, y que servirá de ejemplificación de los cálculos realizados para cada uno de los vehículos presentados en el apartado 3.3. Los resultados se analizarán según el grupo de vehículos, comparando todas las motorizaciones de manera simultánea a través de tablas y gráficas.

4.1 Metodología desarrollada para el análisis

En la tabla 4.1 se presentan los resultados del análisis del ciclo de vida para el vehículo compacto con motorización convencional que utiliza como combustible, gasolina. Como se menciona a lo largo del trabajo, el LCA computa las emisiones relacionadas con la manufactura del vehículo, la fase de WTP, la fase de operación del vehículo (PTW o TTW) y el reciclaje del mismo como se aprecia en la citada tabla.

Vehículo compacto de gasolina.		CO ₂ g/km	Contribución LCA
	Manufactura	35	15%
	WTP	37,5	16%
	Operación	144	61%
	Reciclaje	20	8%
	LCA	236,5	

Tabla 4.1. Resultados asociados al análisis del ciclo de vida de un vehículo convencional de gasolina en Tenerife.

Fuente: Propia.

En dicha tabla se recogen los valores para cada una de esas fases en gramos por kilómetro recorrido por el vehículo obtenidos con GREET, así como el peso de cada fase al cómputo global. Asimismo, la figura 4.1 muestra de forma más gráfica los resultados obtenidos.

La fase inicial del vehículo es la manufactura del mismo, en la cual se aprecia como la cantidad de emisiones por kilómetro es de 35 gramos. La siguiente fase corresponde al WTP, donde se observa como el valor que emite es de 37,5 gramos por kilómetro recorrido. Ambas fases computan en la emisión total, más de cinco toneladas de CO₂ cada una.

La tercera fase que integra la vida útil del vehículo es la de operación. Dicha etapa es la que implica un mayor número de emisiones porque son las generadas del proceso de combustión, alcanzando un valor de 144 gramos de dióxido de carbono por kilómetro

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

recorrido. Si se tiene en cuenta, que el límite impuesto para la fase de operación por parte de la UE es de 95 gramos, dicho vehículo analizado lo supera en 1,5 veces. Por último, encontramos la fase del reciclado del transporte, como se aprecia en la figura 4.1, es la que menos emisiones proporciona.

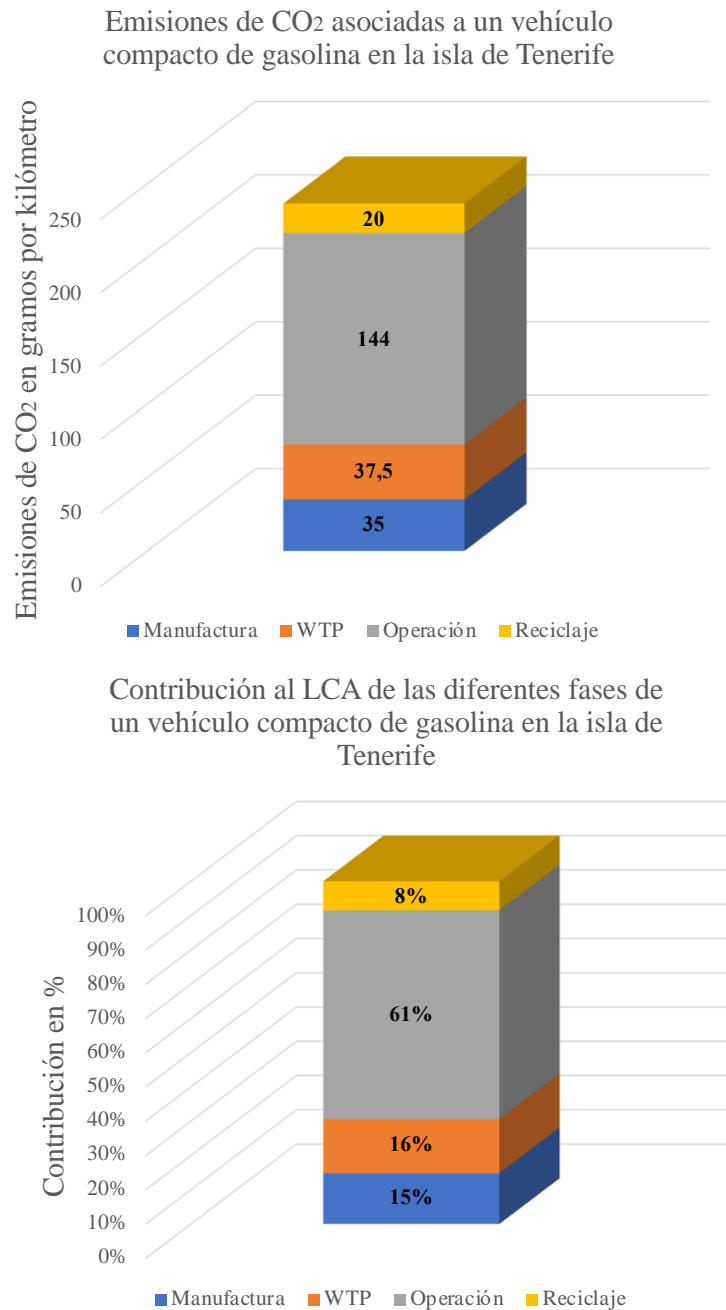


Figura 4.1 Distribución de las emisiones de un vehículo de gasolina en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

En la Figura 4.1 se presentan el peso de las emisiones que poseen las diferentes etapas que hemos considerado de un vehículo de gasolina. Analizando la figura se puede observar como la manufactura del vehículo únicamente supone el 15% de las emisiones asociadas al vehículo, valor no excesivamente alto, y lo mismo puede decirse del WTP. En el otro extremo de la balanza se encuentran las emisiones asociadas a la fase de operación del vehículo, las cuales suponen un 61% de las emisiones de CO₂ totales del mismo. Los resultados arrojan valores altos en lo que al grado de emisión se refiere, si lo comparamos con los demás parámetros. Por último, la fase del reciclado del vehículo supone un 8% de las emisiones totales que tendrá el vehículo.

Estos valores son los que hacen insostenible la distribución o el uso de los vehículos de gasolina dentro de unos años, debido a que las emisiones que desarrollan estos transportes en su fase de uso, son extremadamente altas.

4.2 Estudio de las emisiones de vehículos compactos en la isla de Tenerife

El primer sector del mercado automovilístico que se ha estudiado es el de los vehículos compactos, dada su relevancia en el número de ventas. En la isla de Tenerife casi el 70% (47) del parque automovilístico está compuesto por este tipo de vehículos.

En la figura 4.2, se encuentran recogidos todos los vehículos estudiados asociados a la definición de vehículos compactos. Las emisiones de los mismos se encuentran agrupadas por vehículos y divididas por fases. En el anexo I se encuentra la información tabulada para cualquier consulta que se desee hacer.

Se comienza el análisis con la comparación de las emisiones asociadas a la manufactura de los vehículos. Puede observarse como entre los vehículos de gasolina, GNC o GLP las diferencias son despreciables. Sin embargo, el vehículo de diésel aumenta las emisiones respecto a los otros vehículos que utilizan combustibles fósiles. Esto se debe a la mayor complejidad del motor diésel, que dispone de un mayor número de componentes entre los que se encuentra el sistema post-tratamiento de gases de escape.

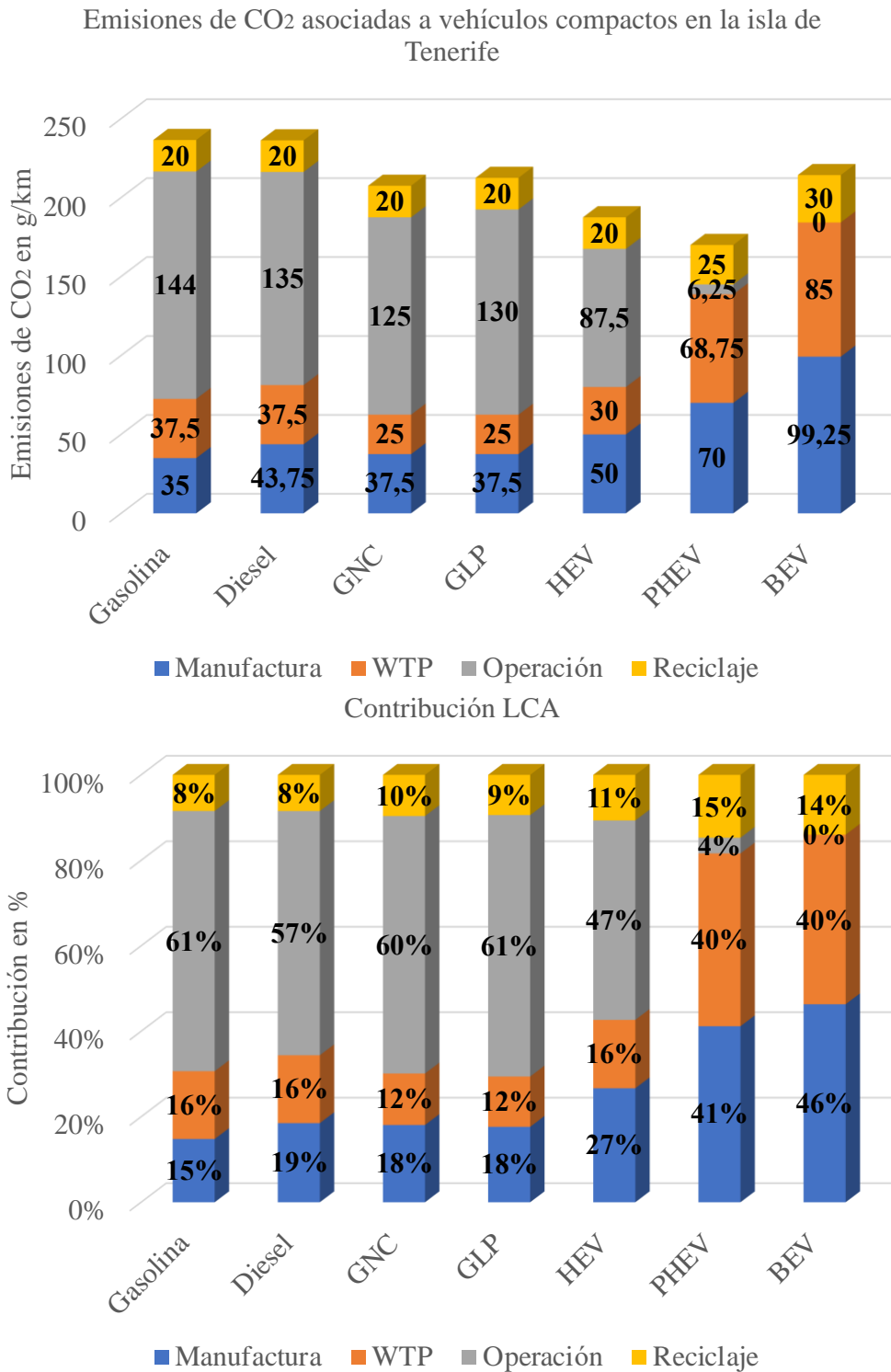


Figura 4.2. Distribución de las emisiones asociadas a los vehículos compactos en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

Como se comprueba con la tendencia de la figura 4.2, las emisiones asociadas a la manufactura ascienden a medida que se incrementa el nivel de electrificación de los

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

vehículos. La razón radica en el mayor número de componentes eléctricos (motor, controlador, baterías) que integran estos vehículos, lo que se traduce en un aumento de la huella de carbono al inicio de la vida útil en comparación con otros vehículos.

En el caso del vehículo híbrido, el ascenso de las emisiones de CO₂ en la fase de fabricación, respecto al vehículo compacto de gasolina, es del 30%. Para incidir más en el impacto de la batería en la fabricación de este tipo de vehículos, debemos tener en cuenta que, en los vehículos híbridos es de baja capacidad (1,5 kWh en el caso estudiado). Sin embargo, supone un 13% de las emisiones asociadas a la fabricación del vehículo.

Dicho valor se hace más notorio para el vehículo PHEV. Estos transportes poseen una batería de mayor capacidad que el HEV. Dicho aumento de la batería hace que, en el momento de fabricación, un vehículo PHEV emita un 50% más de CO₂ que un vehículo convencional y casi un 30% más que un HEV. A su vez, la fabricación de la batería supone un 43% de las emisiones asociadas a la manufactura del vehículo, y supondrá la emisión de cuatro toneladas y media de CO₂ desde su fabricación hasta que el vehículo se disponga al reciclaje.

Al igual que ocurre con los vehículos híbridos, se observa un incremento de las emisiones en la manufactura del vehículo BEV y se debe a la implementación de una mayor capacidad en las baterías, siendo más del triple de la utilizada en el vehículo PHEV. En el caso del vehículo BEV, la batería supone, aproximadamente, el 60% de las emisiones asociadas a la manufactura del vehículo, lo que equivale a la emisión de casi ocho toneladas y media de dióxido de carbono. Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de evaluar las tecnologías a través de ciclos de vida, para disponer de más elementos de juicio e información a la hora de comparar soluciones.

La fase WTP describe las emisiones relacionadas con la generación de la energía que usará el vehículo. En el caso del vehículo HEV, como puede apreciarse en la figura 4.2, supone un 16% de las emisiones totales. Se observan unas menores emisiones de los combustibles gaseosos, como el GNC y el GLP, debido a la ausencia de refino a la hora de su extracción. En este estudio la reducción de esta fase respecto a los vehículos de gasolina, también se debe a que los vehículos que utilizan GNC y GLP tienen un menor consumo de combustible como se presenta en la tabla 3.2. En el vehículo de GLP se aprecia una disminución del tamaño respecto al resto de modelos lo que influye en la minoración de las emisiones en esta fase.

Por el contrario, las arquitecturas más electrificadas como el vehículo PHEV y BEV poseen una fase WTP con emisiones elevadas, alcanzando un valor del 40% para ambos vehículos. El ascenso se debe al mix eléctrico de la zona geográfica, en este caso de la

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

isla de Tenerife. La intensidad de CO₂ de la red es de 620 gCO₂/kWh (48), este valor es significativamente superior al caso de la península, que es de 250 gCO₂/kWh (49).

De esta manera, los resultados asociados a la fase de WTP de los vehículos que poseen una hibridación elevada remarcan la importancia y la necesidad de reducir de forma notable la contribución de los combustibles fósiles al mix eléctrico. Se demuestra que, en la isla de Tenerife, el fuel tiene una participación extremadamente elevada en la producción de electricidad, lo que se traduce en el aumento de emisiones de CO₂ para los vehículos PHEV y BEV. Este hecho repercute negativamente en la potencial reducción de emisiones que estos vehículos deberían ofrecer.

Continuando con la tendencia de la gráfica, se aprecia un evidente descenso de las emisiones asociadas a la fase de operación, a medida que los vehículos no utilizan combustibles fósiles y dan el paso a la electrificación. El uso de motores eléctricos que asisten al MCIA en puntos de baja carga y por lo tanto de bajo rendimiento, o que lo sustituyan en un porcentaje importante provocan un menor consumo, y, por ende, menos emisiones de CO₂.

En la figura 4.2, se observa como el vehículo compacto de gasolina es el sistema propulsivo que presenta mayor emisión de CO₂ en su vida útil. Al igual que el vehículo compacto de diésel que, aunque presenta un descenso de las mismas, sigue manteniendo un valor elevado de emisiones.

El descenso se hace notable en los vehículos que consumen GNC y GLP. Dicha reducción viene dada por el menor factor de emisión de gas natural, 0,240 tCO₂/MWh (50), frente al factor de emisión de gasolina, 0,314 tCO₂/MWh (51). La disminución de la emisión de CO₂ por parte del vehículo de GNC se sitúa en un 13% respecto al vehículo de gasolina. Dicho valor se encuentra dentro del umbral que han recogido otros análisis, como es el realizado por la revista *Xataka* (52); en tanto que, la reducción de las emisiones de CO₂ por parte del GLP es del 10%, respecto al modelo de gasolina. Se observa que simplemente con un cambio de combustible, sin modificación de la tecnología actual, se es capaz de reducir de forma notable las emisiones asociadas a la fase de operación.

El vehículo HEV supone un descenso de las emisiones del 40%, siendo el primer vehículo presentado que desciende del límite de las emisiones impuestas por la UE, en la fase de operación.

En el caso del vehículo PHEV, el descenso de las emisiones en la fase de operación respecto al vehículo convencional de gasolina es del 96% y respecto a su homólogo híbrido, es del 93%. Cabe mencionar que este vehículo se beneficia de la conducción en

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

la isla de Tenerife, la cual no suele acarrear grandes distancias, lo que provoca que el vehículo pueda realizar muchos de sus trayectos en su modo puramente eléctrico.

Respecto a la fase de reciclaje, tiene un mayor peso en los vehículos electrificados tal y como se aprecia en la figura 4.2. El ascenso de las emisiones de CO₂ en esta fase se debe a la inclusión en estos vehículos de elementos que los otros modelos no poseen, siendo las baterías el componente más significativo.

Para dar más robustez a los resultados obtenidos para este estudio se han comparado con diversos trabajos y estudios que realizan el mismo análisis, pero en diferentes zonas geográficas. En este caso, se muestra a continuación la comparativa entre los resultados obtenidos en este trabajo para el vehículo de gasolina y el BEV con los resultados obtenidos por el estudio *A Global Comparison of the Lyfe-Cycle Greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger cars* realizado por Georg Bieker (53) para los mismos vehículos en Europa. Para la realización de dicho análisis utilizaron el mix energético europeo donde la intensidad de CO₂ a la red oscila entre 164-199 gCO₂/kWh (54).

		Manufactura	WTP	Operación	LCA(g/km)
Vehículo asociado al trabajo LCA	Gasolina	15%	16%	61%	236,5
	BEV	46%	40%	0%	214,25
Vehículo asociado a otro estudio	Gasolina	17%	21%	62%	230
	BEV	55%	45%	0%	80

Tabla 4.2. Comparativa resultados de vehículos compactos.

Fuente: Propia.

Se aprecia en la tabla 4.2 como los resultados asociados a la emisión de CO₂ del vehículo compacto de gasolina, son similares tanto en la isla de Tenerife como en Europa, lo que demuestra que los vehículos convencionales emiten la misma cantidad de dióxido de carbono independientemente de donde se realice el estudio y permite constatar la representatividad de los resultados obtenidos.

La situación del vehículo BEV permite un análisis más profundo, ya que puede apreciarse como los valores asociados al peso de las fases que componen el LCA, son ligeramente mayores para el realizado en Europa, que para el de la isla de Tenerife. Pero la importancia de la comparativa de ambos vehículos viene en la cuarta columna de la tabla 4.2, donde se observa que el vehículo en Europa emite 80 gramos por kilómetro recorrido, mientras que, en Tenerife, ese valor asciende a los 230 gramos.

Esto se explica a partir del mix eléctrico. En Europa la intensidad de CO₂ en la red es considerablemente menor a la que tenemos en la isla de Tenerife. En el caso del

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

continente, la aportación esta más equilibrada entre otras fuentes de energía como puede la energía nuclear o una mayor relevancia de las renovables, a través de la hidroeléctrica o la eólica. Este hecho resalta, aún más, la importancia de tener un mix eléctrico basado en energías que no emitan alta cantidad de CO₂, para no lastrar la potencial reducción que pueden realizar los BEV, como ocurre en la isla de Tenerife.

Se muestra a continuación la figura 4.3 en la que se recoge la cuantía total de las emisiones de dióxido de carbono que producen los vehículos en la isla de Tenerife.

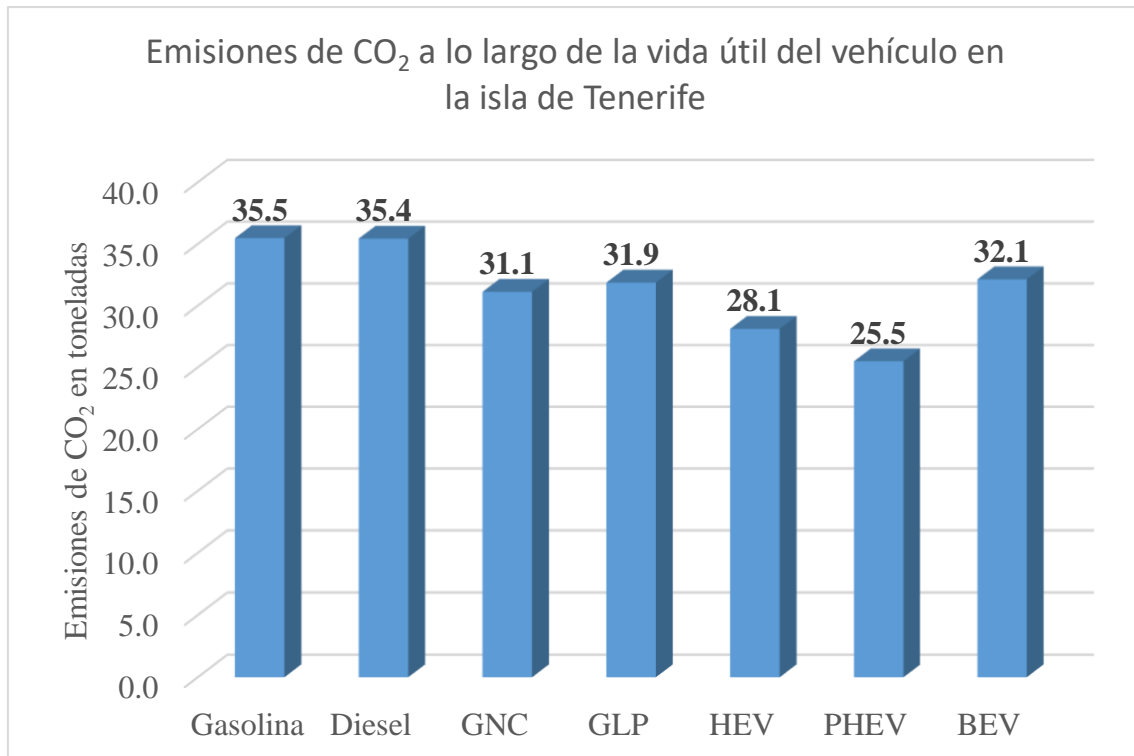


Figura 4.3. Emisiones totales de CO₂ asociadas a los vehículos compactos en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

La tendencia de la gráfica presentada anteriormente muestra el descenso de las emisiones con la menor utilización de combustibles fósiles por parte de los vehículos, ya sea con la inclusión de combustibles como el gas natural comprimido o el gas licuado del petróleo, o con la electrificación del transporte.

Los vehículos con mayores emisiones de CO₂ en la isla de Tenerife son los vehículos que utilizan combustibles fósiles, como la gasolina y el diésel. Ambos tienen una cuantía de emisiones totales similares. También se puede observar como el vehículo eléctrico posee una tendencia al alza en las emisiones de CO₂, situándose como el tercer vehículo con las emisiones más altas. Como se ha explicado anteriormente, la manufactura del vehículo

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

junto a un mix eléctrico donde el petróleo presenta una gran importancia, lastran el potencial de reducción de emisiones de CO₂ de este vehículo.

Finalmente, la figura 4.3 muestra como la tecnología menos nociva, desde el punto de vista de LCA, para los transportes en la isla de Tenerife es la hibridación. Ambos vehículos poseen los valores más bajos tal y como se muestra en la citada figura, siendo el vehículo PHEV el que presenta menor tasa de emisión de CO₂ a lo largo de su vida útil, lo que evidencia la importancia de la electrificación de los vehículos como un paso hacía la reducción de emisiones.

4.2.1 Impacto medioambiental de vehículos compactos en la isla de Tenerife

Se define a la huella de carbono como un indicador ambiental que refleja la totalidad del impacto de los GEI emitidos, tanto por efecto directo como indirecto. Con este estudio, lo que se pretende demostrar es cuantos años pasan desde la fabricación del vehículo, hasta que tanto el HEV como el BEV producen menos emisiones que el vehículo de gasolina y, por tanto, son una alternativa más viable respecto al medioambiente.

Para este análisis se ha tenido en cuenta que la conducción anual de los tres vehículos será de 15.000 kilómetros, alcanzando los 150.000 kilómetros que realizarán en toda su vida útil, en diez años. Entre el año 10 y el año 11 de vida del vehículo se produce el reciclado del mismo, mientras que, en el año 0 se parten de las emisiones que se producen en la manufactura de los automóviles.

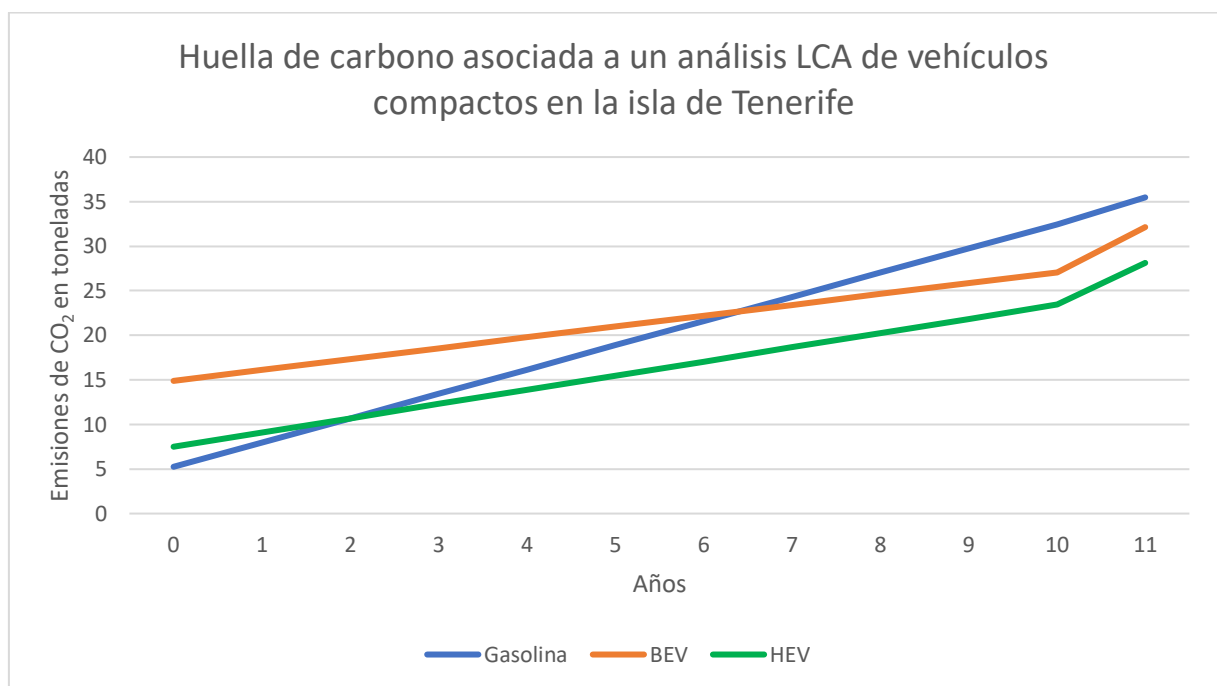


Figura 4.4. Huella de carbono asociada a varios vehículos compactos en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Una vez presentadas las características en las que se ha desarrollado el análisis, se analiza la figura 4.4. Se observa como la manufactura del vehículo BEV supone que antes de comenzar su fase de operación, ya ha emitido 15 toneladas de CO₂ a la atmósfera, mientras que el vehículo HEV 7 toneladas y media y, algo más de 5 toneladas el modelo de gasolina. Un vehículo BEV comienza su vida útil con el triple de emisiones que un vehículo de gasolina, principalmente por lo nocivo que es la extracción y fabricación de sus baterías de litio.

Con el paso de los años se observa como la nociva fase de operación del vehículo de gasolina lo hace escalar de manera significativa, al igual que ocurre, aunque en menor medida con el vehículo HEV. El aumento de las emisiones a lo largo de los años para el vehículo BEV, viene dada por las emisiones asociadas a la generación de electricidad para la carga de baterías, puesto que, este vehículo tiene emisiones nulas en la fase de operación.

Observando la figura 4.4 se aprecia como deben pasar 2 años desde la compra de un vehículo de gasolina y un vehículo HEV para que este último, iguale las emisiones del primero. Por el contrario, es necesario alcanzar 7 años, o aproximadamente 100.000 kilómetros, para que un vehículo de gasolina alcance las emisiones de un vehículo BEV. Y en ningún caso ocurrirá que el vehículo BEV tenga una menor huella de carbono que el vehículo HEV, por lo menos en la actualidad y en la isla de Tenerife.

Se debe recordar que para este análisis se ha estimado que el kilometraje anual que realiza cada uno de los vehículos es de 15.000 kilómetros. Sin embargo, existen conductores que desarrollan sus trayectos únicamente en la zona urbana y la distancia que recorren de manera anual puede ser de 5.000 kilómetros. En estos casos, para que el vehículo de gasolina supere las emisiones producidas por un BEV deberán pasar más de 20 años.

La variación del mix eléctrico no se producirá de manera inmediata, sino que será paulatinamente. Por ello, se muestra a continuación una simulación de la posible reducción de las emisiones asociadas a dicho mix, y como afectarían al vehículo BEV.

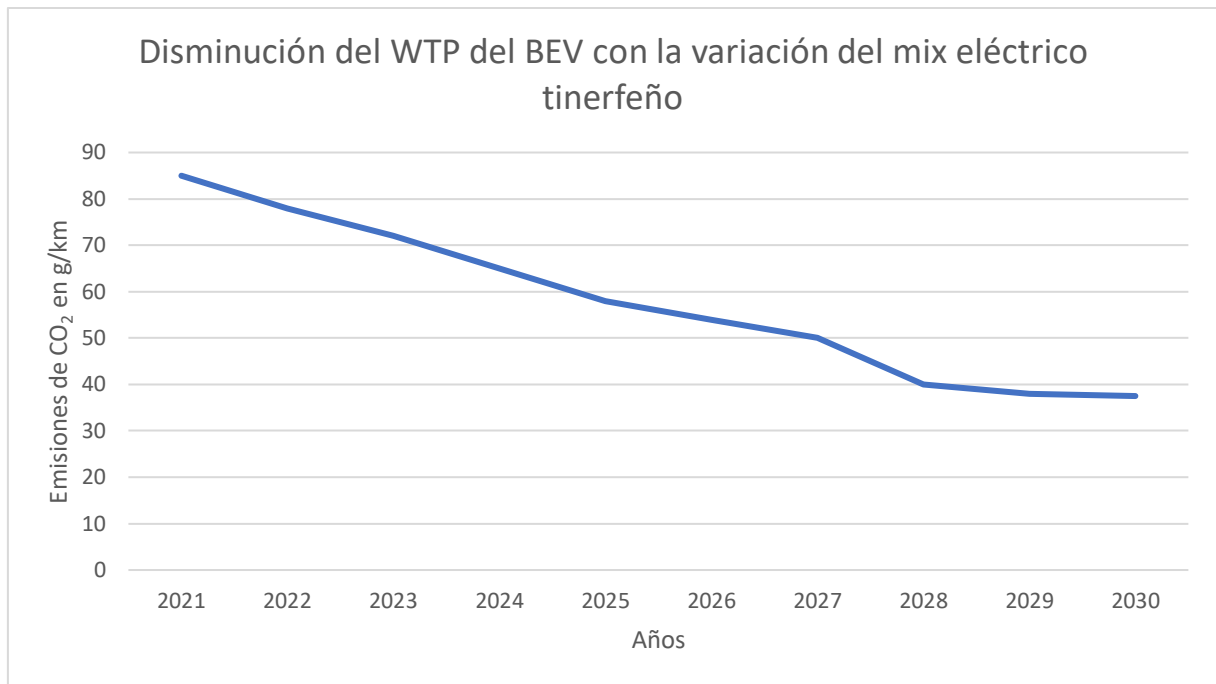


Figura 4.5. Variación del WTP del BEV con la variación del mix eléctrico tinerfeño.
Fuente: Propia.

La tendencia de la gráfica muestra un descenso de las emisiones en la fase de WTP del vehículo BEV, hasta alcanzar el valor que tendrían en el año 2030 de cumplirse los objetivos establecidos. Se observa, como en los primeros años el descenso es más acusado debido al efecto positivo de la mayor inclusión de las energías renovables en el mix eléctrico, mientras que, en los últimos dicho descenso será menor, puesto que se está cada vez más cerca del objetivo, y el margen de mejora es menor.

Para realizar una evolución en un horizonte temporal próximo, se ha confeccionado la figura 4.6. En ella se incluye el análisis en la figura 4.4 y además se ha incluido un BEV en el año 2024. De esta manera, puede apreciarse como la adición paulatina de un porcentaje superior de energías renovables al mix eléctrico tinerfeño, afectará a la reducción de las emisiones de CO₂ del mencionado vehículo.

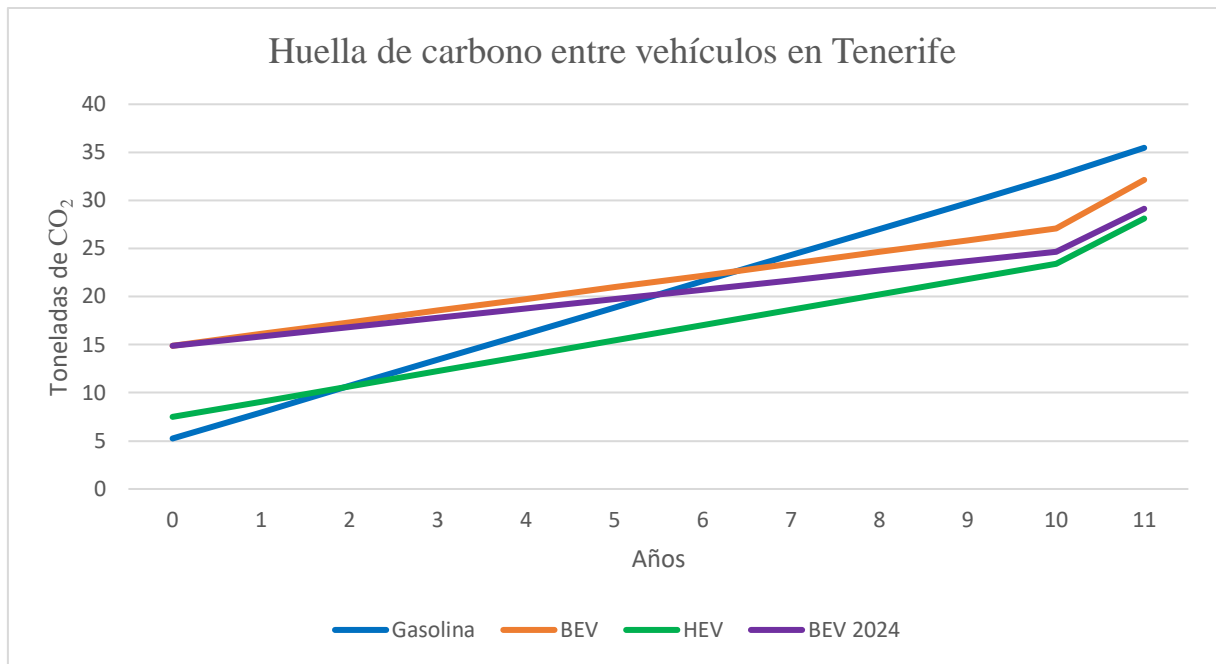


Figura 4.6. Evolución de la huella de carbono de varios vehículos compactos en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

A partir del año 3 se aprecia como el BEV en 2024 tendrá una menor huella de carbono que el mismo vehículo en la actualidad, lo que se traducirá en la reducción de la emisión de más de tres toneladas de CO₂. Si se compara con el vehículo de gasolina, tendrá una menor huella de carbono transcurridos unos seis años, uno menos que en la actualidad. En el caso del HEV no tendrá una mayor huella de carbono que el BEV en 2024, pero la reducción de emisiones de CO₂ por parte de este último le hace aproximarse al primero.

4.3 Estudio de las emisiones asociadas de SUVs en la isla de Tenerife

Los vehículos SUVs son un segmento del mercado, que cada vez tiene más impacto en el parque automovilístico, siendo esta la razón por la que se ha procedido a realizar un LCA también, para los mismos. Se ha seguido el mismo procedimiento que para los vehículos compactos, aplicando el mismo método.

Como se aprecia en la figura 4.6, los valores obtenidos para los SUVs arrojan resultados más elevados que para el sector compacto, ya que el aumento de tamaño de estos vehículos provoca el aumento de las emisiones asociados a los mismos.

Observando la tendencia que muestra la figura 4.6, el valor de las emisiones de CO₂ en la manufactura de los vehículos asciende cuanto más electrificado se encuentran. En este caso, la fabricación del SUV BEV supone un aumento del 52% respecto al SUV de

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

gasolina y si lo comparamos con el SUV PHEV el aumento es del 20%. La figura 4.6 muestra como respecto a las emisiones totales que tienen los vehículos, la fabricación supone más del 40% para ambos.

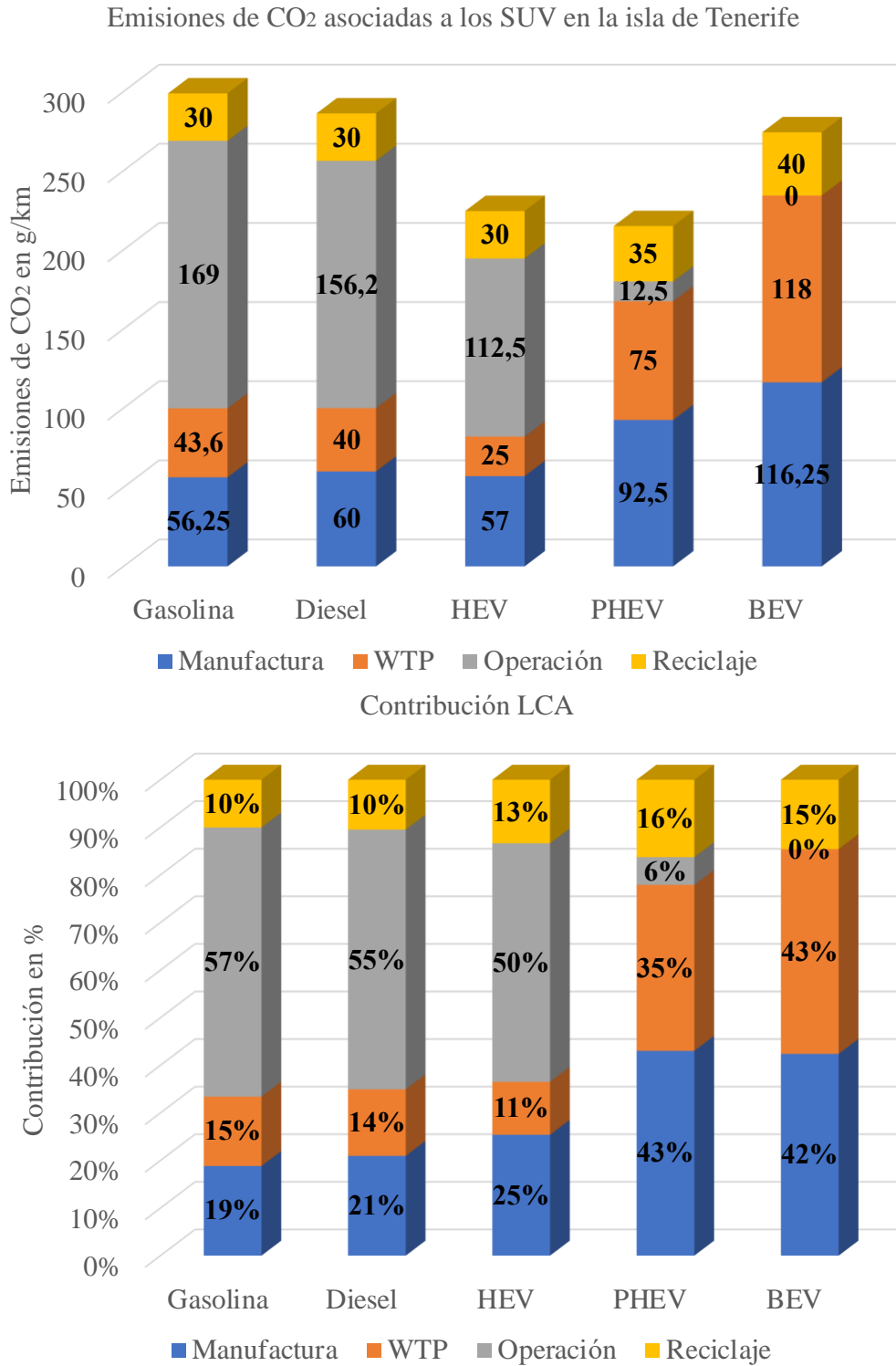


Figura 4.7. Distribución de las emisiones asociadas a los vehículos SUV en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

La fase de WTP es un reflejo, más alarmante si cabe, de la necesidad de un mix eléctrico más renovable en la isla de Tenerife. Dicha fase supone un 43% de las emisiones generadas por el SUV BEV. Si lo comparamos con el vehículo de gasolina emitirá un 63% más de CO₂ en esta fase.

En el caso del vehículo PHEV la recarga del mismo supone un 35% de las emisiones que producirá a lo largo de su vida útil y respecto a su homólogo híbrido supone un aumento de las emisiones de CO₂ en esta fase, de un 66%.

La fase de operación presenta un descenso notable de las emisiones de dióxido de carbono, para los vehículos PHEV y BEV respecto al resto de modelos. En el caso del SUV PHEV produce una minoración de las emisiones en esta fase del 93% respecto al SUV de gasolina, y si lo comparamos con el SUV HEV, el descenso es del 89%.

El SUV HEV continúa con la tendencia de reducir las emisiones respecto a los SUV con tecnología convencional. En este caso, supone un descenso del 33% respecto al SUV de gasolina y de un 28% respecto al de diésel. La diferencia no es tan significativa como en el segmento compacto, debido a que el aumento de peso del SUV provoca un incremento del consumo de combustible por parte del mismo, de ahí también el alto valor que tienen el SUV de gasolina y de diésel en su fase de operación.

La importancia que tiene la fase de operación en los SUV se observa en la figura 4.6, donde se aprecia como la misma supone un 50% o más del LCA para el vehículo de gasolina, diésel e incluso el HEV.

La tendencia en la fase de reciclado de los SUVs es igual a la comentada para los vehículos compactos, con un aumento de esta fase para los vehículos electrificados debido al reciclado de las baterías eléctricas junto con el resto de elementos del vehículo.

Para tener una visión más profunda en las emisiones que producirán este tipo de vehículos en su vida útil se presenta la figura 4.7. En ella, se recogen las emisiones que producirá cada uno de los SUV en su vida útil.

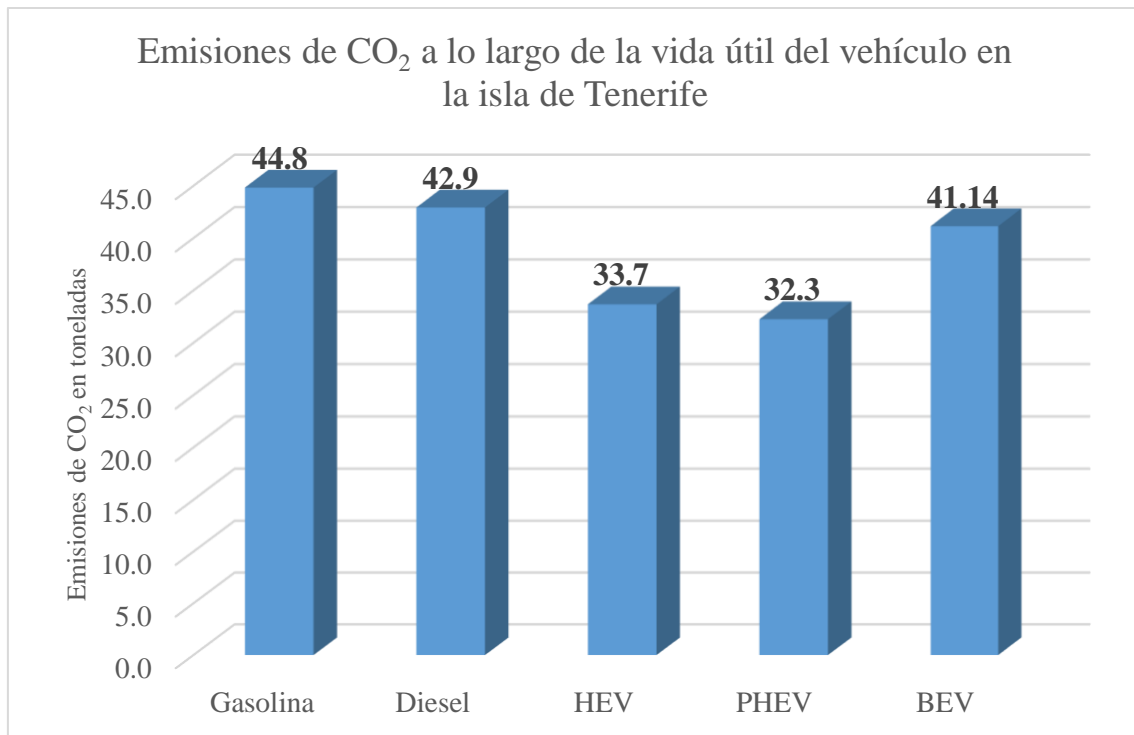


Figura 4.8. Emisiones totales asociadas a los vehículos SUV en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

La tendencia que se presenta en la figura 4.7, es similar a la comentada para los vehículos compactos. Los vehículos que utilizan combustible fósil son el mayor foco de emisión de CO₂ en este segmento, alcanzando el SUV de gasolina la emisión de casi 45 toneladas de CO₂ en el final de su vida útil. La electrificación de los SUV se traduce en un descenso de las emisiones, el SUV BEV las reduce en un 8% respecto al modelo de gasolina. Aunque dicha disminución puede apreciarse como no relevante, supone la reducción de más de tres toneladas y media de dichas emisiones a la atmósfera.

Al igual que ocurría con el segmento de vehículos compactos, la hibridación de los vehículos es actualmente la manera más eficiente para la reducción de las emisiones de CO₂ en el transporte. El SUV HEV reduce las emisiones respecto al modelo de gasolina en un 25% y respecto al modelo BEV, en un 18%. Mientras que el PHEV es el modelo que menos CO₂ emitirá a lo largo de su vida útil, siendo la reducción del 28% respecto al modelo de gasolina y del 22% respecto al BEV.

Si se realiza una comparación entre los vehículos HEV y BEV del segmento de vehículos compactos y los SUVs, se aprecian las siguientes conclusiones. En el primer grupo, se aprecia una variación del 14% en contra del modelo BEV, es decir, dicho vehículo emite un 14% más de CO₂ que el HEV. El mismo razonamiento se aplica para los SUV y en estos, se obtiene que la variación se incrementa en relación a los anteriores, alcanzando un 22%, lo que penaliza aún más a este segmento y en concreto al modelo BEV.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

4.3.1 Impacto medioambiental de vehículos SUV en la isla de Tenerife

Se va a presentar a continuación el análisis de huella de carbono que se ha realizado para esta tipología de automóviles, en la isla de Tenerife. Como ocurrió con los vehículos compactos, se ha seleccionado un SUV de gasolina, un SUV HEV y un BEV. Las condiciones del estudio son las mismas que se utilizaron para el análisis realizado en los vehículos compactos.

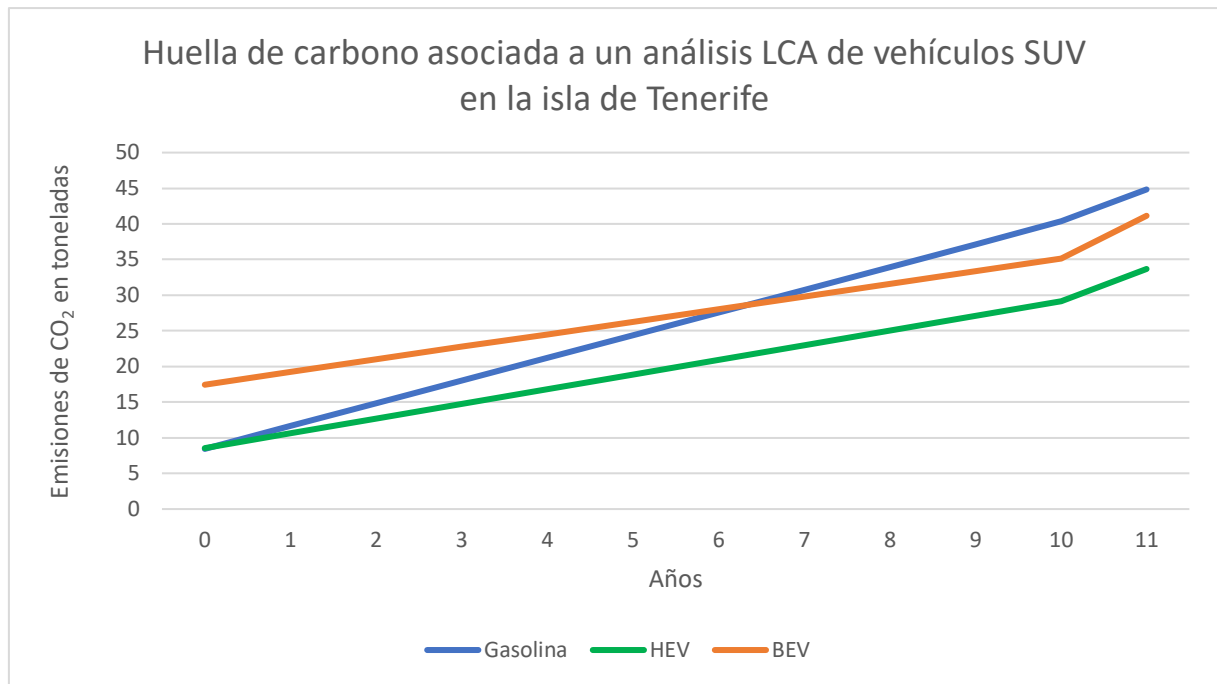


Figura 4.9. Huella de carbono asociada a varios SUVs en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

Como puede apreciarse en la figura 4.8, el vehículo que previo a su movimiento más habrá contaminado, es el SUV BEV, alcanzando casi las 17 toneladas y media de CO₂ emitidas en su fabricación. Respecto a los otros dos modelos, se aprecia como la diferencia entre su fabricación es ínfima, situándose los dos en un valor muy próximo en el año 0.

Una vez comienza la fase de operación de los tres vehículos, se observa como el SUV de gasolina aumenta el valor de sus emisiones de manera apreciable, al igual que ocurre, aunque en menor medida, con el SUV HEV. Se aprecia como antes de que haya transcurrido un año, el SUV HEV tiene una menor huella de carbono que el SUV de gasolina. Sin embargo, para que en el BEV se produzca la misma circunstancia tendrán que pasar 7 años, al igual que ocurría con los vehículos compactos.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

En ningún caso, como se muestra en la figura 4.8, el SUV BEV tendrá una huella de carbono menor que la del HEV. Lo que remarca la problemática de los vehículos totalmente eléctricos, en regiones donde la producción de electricidad se basa fundamentalmente en el petróleo, como ocurre en la actualidad en la isla de Tenerife.

4.4 Escenario 2030 PNIEC para vehículos compactos en la isla de Tenerife

Como se ha desarrollado y mencionado en apartados anteriores, los estamentos públicos han definido un plan para orientar el país hacia energías renovables y, por tanto, más respetuosas con el medio ambiente. En España este plan se ha denominado PNIEC, desarrollado en un apartado anterior, donde se reflejan las principales mejoras e inversiones que pretende hacer nuestro país a lo largo de los años, para cumplir los objetivos impuestos por la UE.

Una vez se han presentado los resultados obtenidos para los vehículos en la actualidad, se puede observar como la reducción de las emisiones de CO₂ por parte de los vehículos enchufables, se ve lastrada por el mix eléctrico tinerfeño. Por ello, se ha llevado a cabo una simulación del parque de generación tinerfeño en 2030.

En dicho escenario, se ajustarán lo máximo posible los objetivos propuestos en el PNIEC, o en el mejor de los casos, llegarán a cumplirse. La mayor inclusión de energías renovables en el mix eléctrico supondrá, como mínimo, un 60% en la producción de electricidad y generará una disminución del WTP de los vehículos que hagan uso de la energía eléctrica para la carga de sus baterías, es decir, este cambio afectará únicamente a los vehículos PHEV y BEV.

Cabe mencionar, que, aunque en 2030 se prevé que la fabricación de baterías y el reciclaje de las mismas, se hará de una manera menos nociva respecto a las emisiones de CO₂, actualmente este hecho es complicado de conocer y, por tanto, no se ha tenido en cuenta un descenso de las emisiones asociadas a la fabricación éstas.

A continuación, se muestra una figura donde se resumen las fases del ciclo de vida útil de estos vehículos y el valor de emisiones de CO₂ en cada una de ellas.

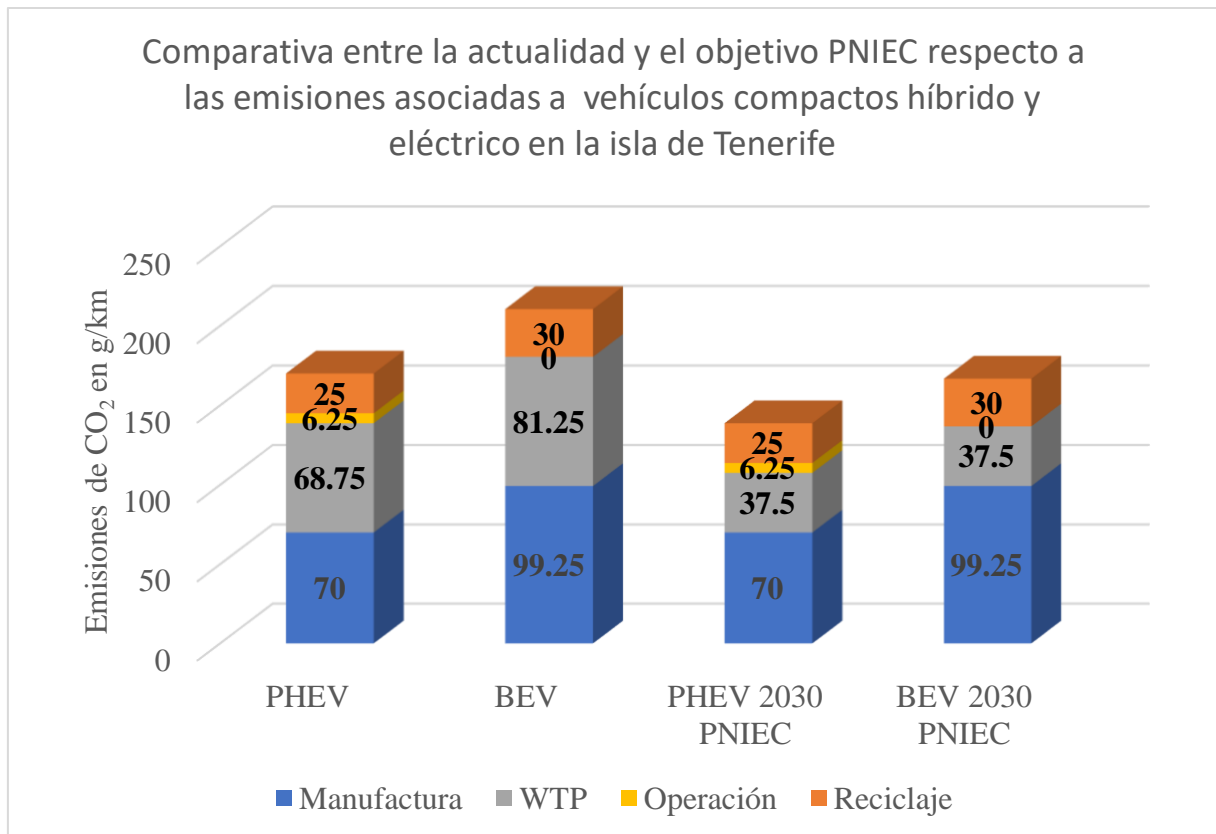


Figura 4.10 Distribución de las emisiones asociadas a los vehículos compactos en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

Como se observa en la figura 4.9, la tendencia de las emisiones asociadas a los vehículos electrificados para los próximos años presenta un descenso evidente. Cabe mencionar que, para el escenario simulado, los valores asociados a la manufactura de los vehículos, la fase de operación y de reciclaje tienen el mismo valor de emisiones que en la actualidad, porque no se tienen los datos suficientes para someter dichas fases a una simulación.

El escenario del PNIEC presentado, revela el descenso de las emisiones asociadas al WTP, con la mayor inclusión de energías renovables en la producción de electricidad. Para el vehículo PHEV el descenso es del 45%, lo que provocaría una reducción de las emisiones de manera considerable. En el caso de un BEV el descenso será de un 54% en el año 2030.

La reducción es más acusada para el vehículo BEV, debido a que éste únicamente utiliza la energía eléctrica para su movimiento, a través de la recarga de las baterías, por ende, un descenso de las emisiones en la producción de esa energía beneficia de manera considerable a la reducción de las emisiones de CO₂ por parte del vehículo.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Al igual que ocurría con los análisis anteriores, se va a presentar una comparación a través de la figura 4.10 de las emisiones totales de los vehículos electrificados a lo largo de su vida útil, tanto en la actualidad como en el escenario que presenta el PNIEC.

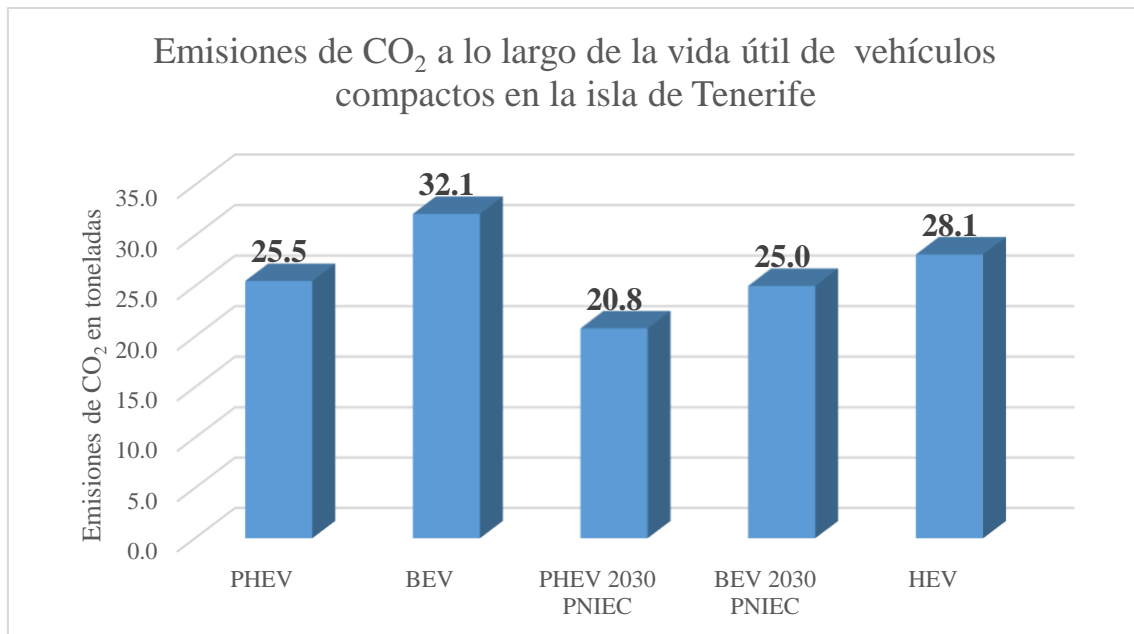


Figura 4.11. Emisiones totales asociadas a los vehículos compactos en 2030 en la isla de Tenerife.

Fuente: Propia.

Se aprecia como sólo con la disminución de las emisiones asociadas a la fase de WTP, la reducción de CO₂ será considerable en 2030. En el caso del vehículo PHEV, emitirá un 18% menos de dióxido de carbono, mientras que, para el BEV el descenso sería de casi del 21%. Para ahondar aún más, en la importancia y el beneficio de que las energías renovables tengan un mayor peso en la producción de la electricidad en Tenerife, de cumplirse el objetivo propuesto en este trabajo, el vehículo BEV producirá la misma cantidad de CO₂ en el 2030 que el vehículo PHEV en la actualidad e incluso reducirá el impacto que tiene un HEV actualmente. Para que dicha diferencia sea más notoria aún, habría que reducir la intensidad de CO₂ de la red.

4.4.1 Impacto medioambiental de vehículos compactos en 2030 en la isla de Tenerife

Se procede a analizar la huella de carbono de diversos vehículos compactos en el escenario 2030. Se debe tener en cuenta, que la situación del PNIEC solo afecta a vehículo BEV, es decir, que tanto el vehículo de gasolina como el HEV tendrán las mismas emisiones en 2030, que en la actualidad.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

Cabe mencionar que, las condiciones en las que se ha realizado este estudio son las mismas que para los anteriores análisis de la huella de carbono, a excepción de que en este caso no se tendrá en cuenta la fase de reciclado, porque como ya hemos mencionado, esperamos que para el año 2030 las emisiones asociadas a esta fase se reduzcan.

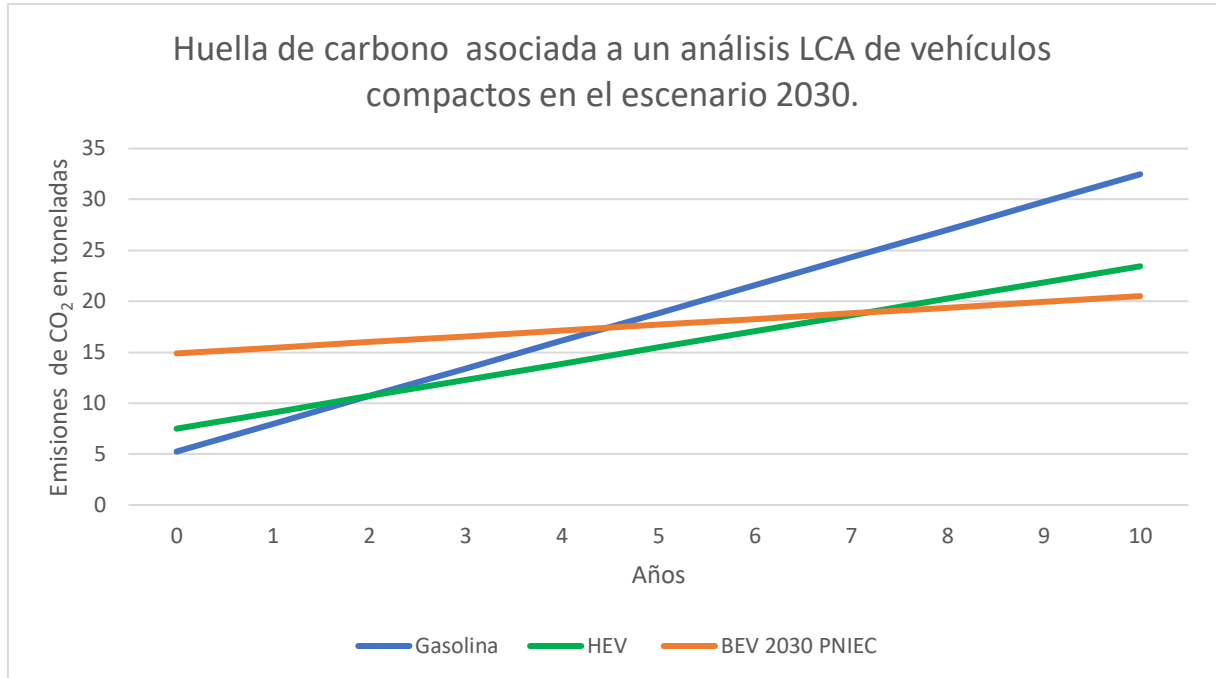


Figura 4.12. Huella de carbono asociada a varios vehículos compactos en el año 2030 en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

Se puede observar en la figura 4.11, que la interacción entre el vehículo de gasolina y el vehículo HEV es la misma que en la figura 4.4, y por ello, no se profundizará más en la explicación de ésta.

Sin embargo, se detecta como el vehículo BEV ha reducido sus emisiones de CO₂ en 5 toneladas con respecto a la actualidad, lo que se traduce en un avance significativo respecto al resto de vehículos. En este caso, el BEV tendrá una menor huella de carbono que el vehículo de gasolina transcurridos 5 años, es decir, 2 años antes que en la actualidad. Incluso, reducirá también la huella de carbono respecto al HEV, hecho que en la actualidad no se constata, y ocurrirá pasado 7 años a partir de la fabricación de ambos vehículos.

Por tanto, la inclusión de más energías renovables en el mix eléctrico tinerfeño, supone una reducción considerable de las emisiones que produce un vehículo BEV en la isla. El cumplimiento de los pasos establecidos en el PNIEC, abre un abanico de posibilidades para esta tipología de vehículos, siendo menos contaminantes que aquellos que utilicen combustibles fósiles, como los híbridos no enchufables.

4.5 Escenario 2030 PNIEC para vehículos SUV en la isla de Tenerife

Se va a presentar el escenario que hemos simulado en 2030 para los vehículos SUV, en la isla de Tenerife. Las condiciones de este análisis son las mismas que se utilizaron en el apartado anterior. A continuación, se compara el SUV PHEV y BEV en la actualidad y en el año 2030.

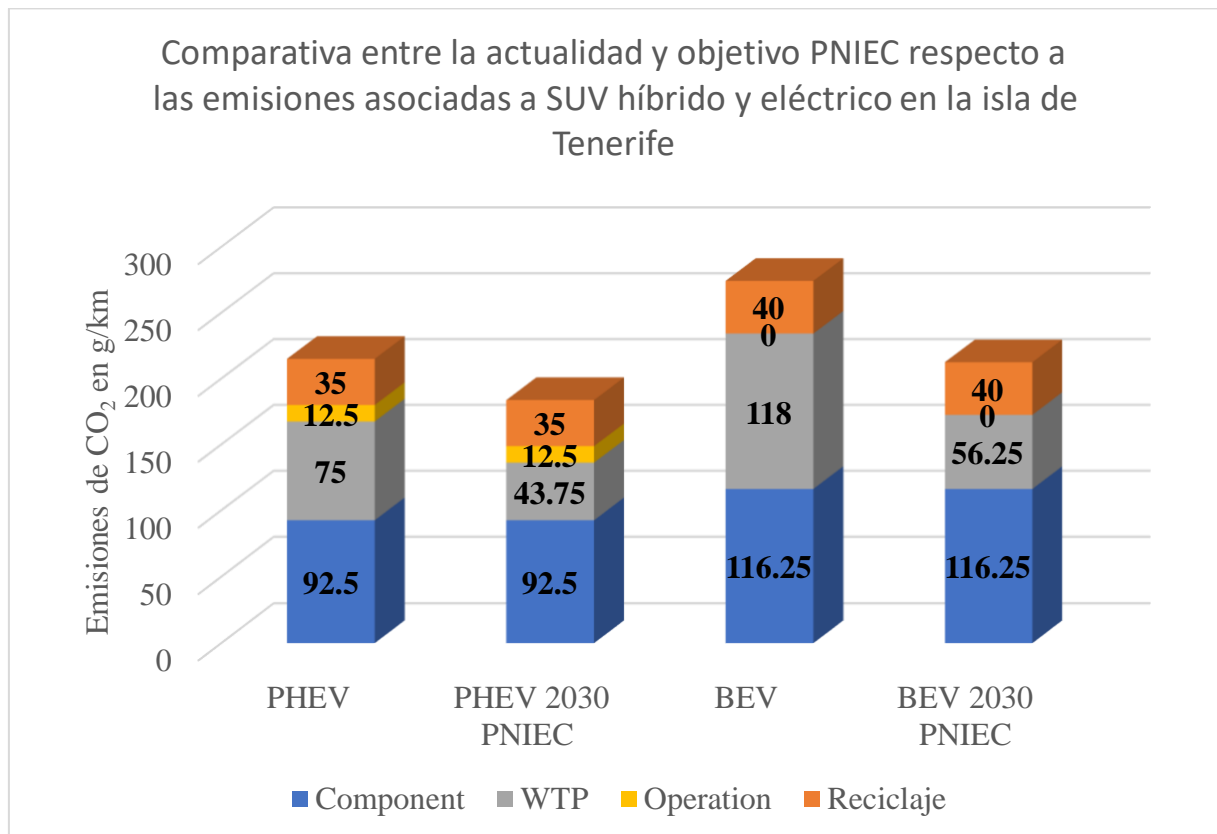


Figura 4.13. Distribución de las emisiones asociadas a los vehículos SUV en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

Tal y como refleja la figura anterior, la reducción de las emisiones tanto del SUV BEV como del SUV PHEV son considerables. La producción de electricidad en 2030 permitirá la carga de baterías de mayor capacidad de una manera más limpia, que, en la actualidad, de manera que, en dicho año la carga de las baterías de un SUV BEV, supondrá una menor emisión de CO₂ que la carga de las mismas para un PHEV, en la actualidad. Los cambios introducidos en el mix eléctrico para el año de estudio, provocan que el SUV PHEV reduzca en un 41% sus emisiones de CO₂ y que un BEV lo haga en un 53%.

Para hacer más hincapié en el descenso de las emisiones de CO₂, se presenta la siguiente figura, en la que se recogen las emisiones finales tras el ciclo de vida de los SUV, en la actualidad y en el escenario propuesto por el PNIEC.

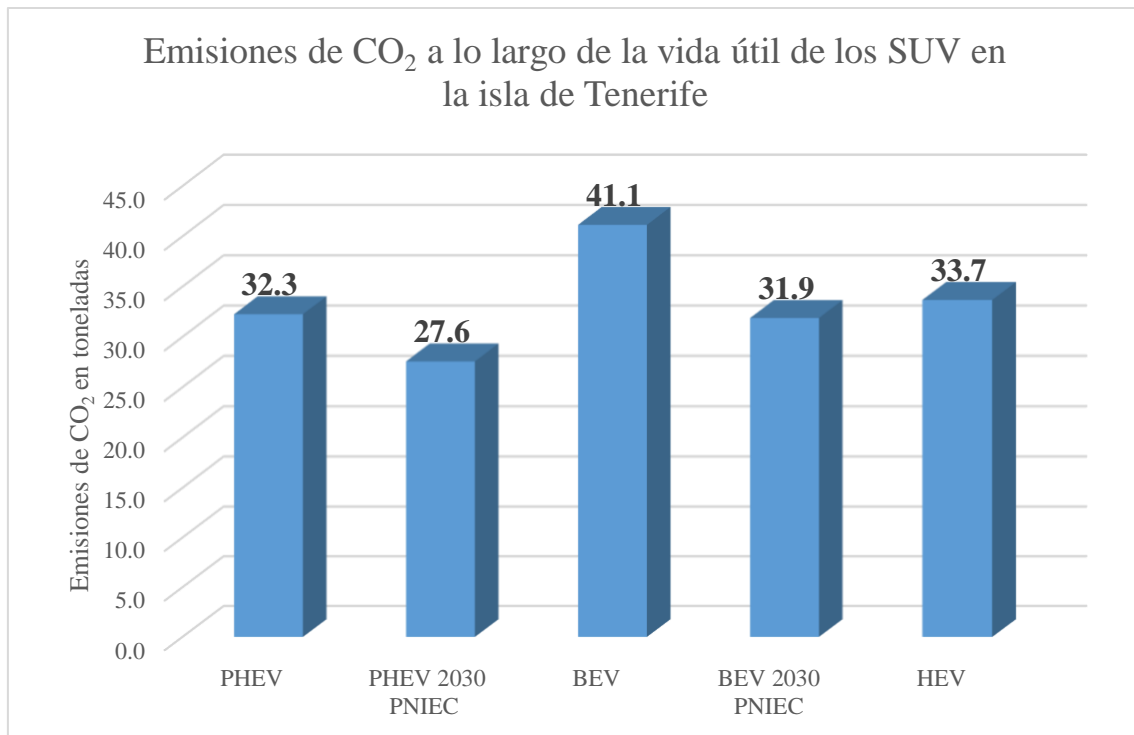


Figura 4.14. Emisiones totales asociadas a los SUV en 2030 en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

En la figura 4.13 es evidente el descenso de las emisiones de este tipo de vehículos para el año 2030. El SUV PHEV, reduce las emisiones de dióxido de carbono en casi un 15%, mientras que el BEV lo hace en un 22%, respecto a la actualidad. Incluso, como ocurría en el segmento de vehículos compactos, si se cumplieran las predicciones asociadas al PNIEC, en 2030 el SUV BEV sería menos nocivo de lo que lo es el SUV PHEV y que el HEV en la actualidad, de lo que se deduce la importancia que tiene que las energías renovables adquieran un mayor peso en la generación de electricidad.

4.5.1 Impacto medioambiental de vehículos SUV en 2030 en la isla de Tenerife

Al igual ha ocurrido en los anteriores análisis, se procede a presentar la huella de carbono de los vehículos SUV en el año 2030, y comprobar así, el impacto medioambiental de este tipo de vehículos, que como ya se ha indicado, sólo implican un incremento de los valores obtenidos, para los vehículos compactos.

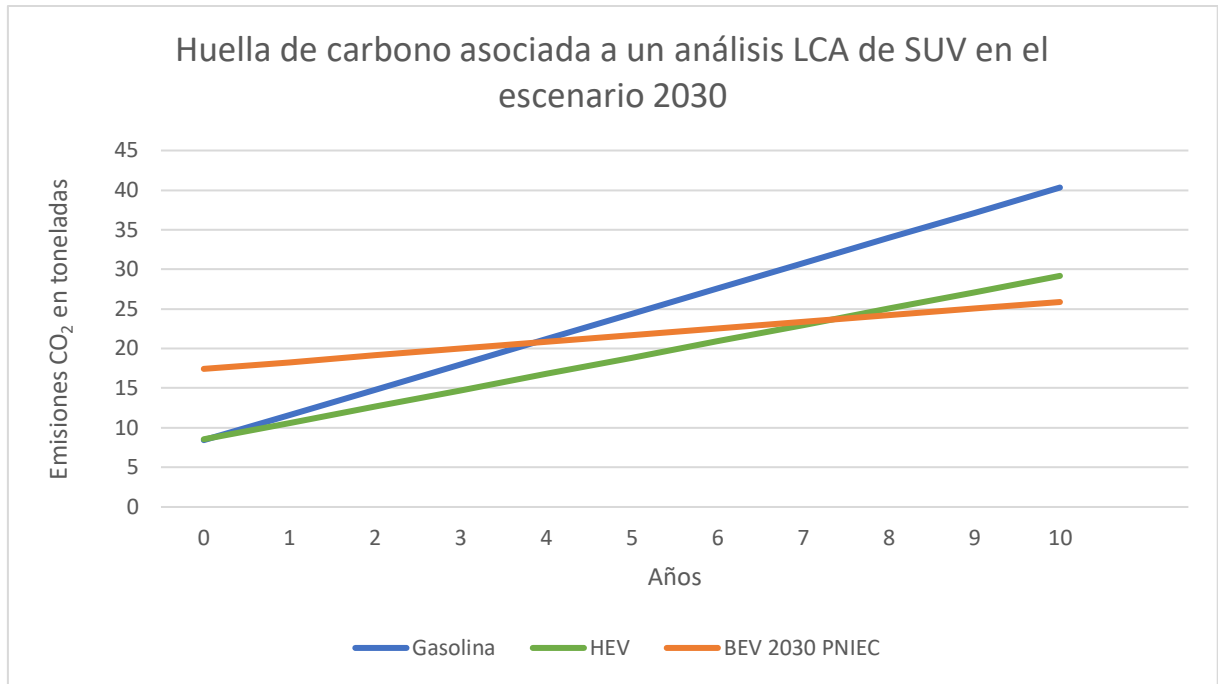


Figura 4.15. Huella de carbono asociada a varios vehículos compactos en el año 2030 en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

La mayor participación de energías renovables en el parque de generación tinerfeño provoca una reducción considerable de la huella de carbono del vehículo SUV BEV para el año 2030. Esto supone que a partir de los 4 años el SUV de gasolina tendrá un impacto mayor que el BEV, reduciendo el periodo de cambio en 3 años. En el séptimo año tendrá una menor huella de carbono que el HEV, lo que se traducirá en la emisión de casi cinco toneladas menos de CO₂ al final de su vida útil.

5 Conclusión

El objetivo de este estudio es el análisis de las emisiones que producen los turismos en la isla de Tenerife. Para ello se ha utilizado el análisis del ciclo de vida ofreciendo una visión más profunda y, por tanto, la posibilidad de una observación más realista de las emisiones en el transporte de la isla. De los resultados obtenidos se concluye que los vehículos cuya fuente de energía tienen como origen los combustibles fósiles, son más contaminantes. La diferencia entre un vehículo eléctrico y los que utilizan dichos combustibles depende en gran medida de la zona geográfica en la que se ubiquen, ya que el mix eléctrico del lugar es un condicionante de vital importancia en la recarga de las baterías de los vehículos enchufables.

Uno de los resultados más destacables que se han obtenido de este, es el de demostrar que actualmente el vehículo BEV, en la isla de Tenerife presenta emisiones importantes, siendo la diferencia con el vehículo convencional apenas de un 9%. Si bien es cierto que este hecho se fundamenta por la realización del estudio en Canarias, ya que si el mismo se realizase en un país donde su producción eléctrica presenta una intensidad de CO₂ de la red menor, el vehículo sería mucho menos nocivo que lo que se muestra en estos resultados.

Se ha demostrado como la hibridación es el método más efectivo en la reducción de emisiones de CO₂ en la isla desde un punto de vista LCA, ya que para el HEV supone un descenso de un 20% respecto al vehículo de gasolina y de un 12% respecto al BEV. En el caso del PHEV los resultados solo mejoran, siendo la disminución de casi un 30% en comparación al modelo de gasolina y de un 21% en relación al BEV. Estos fundamentos derivan en que el vehículo PHEV sea el más eficiente en la isla de Tenerife, puesto que se beneficia de los avances que proponen los vehículos eléctricos y también de los que han supuesto los vehículos convencionales. De esta manera, se demuestra que actualmente en la isla de Tenerife ninguno de los extremos, entre convencionales y puramente eléctricos, es óptimo.

Por otro lado, aunque es un mercado incipiente y que cada vez toma más protagonismo en el sector automovilístico, la aparición de los SUV no es positiva para reducir las emisiones asociadas al transporte, sino que representan un aumento, aún mayor si cabe, de las emisiones de CO₂ obtenidas para los vehículos compactos. Aún así, sigue siendo la hibridación la opción menos nociva en este segmento, el SUV HEV reduce las mismas respecto al de gasolina, un 25% y al BEV, un 18%. Al igual que ocurre con el segmento compacto, el modelo PHEV reduce aún más los valores presentados anteriormente. Para ahondar más en la nocividad de los vehículos de gasolina, de acuerdo a los resultados obtenidos en emisiones totales a lo largo de la vida útil, el vehículo compacto de gasolina

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

emite en la actualidad 35,5 toneladas de CO₂, mientras que un SUV BEV en 2030 emitirá 32. Es decir, que desde un punto de vista de LCA, y considerando una mejora notable de las emisiones, un SUV BEV emite prácticamente lo mismo que un gasolina compacto.

El análisis para el escenario 2030 refleja el beneficio de los vehículos enchufables a raíz de considerar un mix eléctrico con mayor penetración de las renovables. Los resultados obtenidos son satisfactorios, puesto que las reducciones de CO₂ para ambos vehículos se sitúan en torno al 20% para el mencionado año, e incluso en los SUV las diferencias son más notables aún. No obstante, se debe recordar que en esta simulación solo se ha teniendo en cuenta el descenso de las emisiones en la producción de la electricidad. Si unimos ese descenso, a la obtención de una solución más eficiente para la extracción del litio de las baterías y la fabricación de las mismas, así como un reciclaje más eficaz, nos encontramos en un escenario relativamente idóneo para los vehículos eléctricos y, por tanto, para la reducción de las emisiones de CO₂ asociadas al transporte de manera considerable, contribuyendo así, a una mejoría de los problemas medioambientales y solventando en gran medida el impacto nocivo que tiene el sector del transporte en el medioambiente.

Las conclusiones obtenidas del escenario simulado muestran como no sólo es importante la modernización del parque automovilístico hacia soluciones más sostenibles y renovables, sino que también, debe haber un impulso económico por parte de los estamentos públicos que propicie una transición energética hacia las energías renovables. De esta forma se contribuye al proceso de descarbonización del sector del transporte, y permitirá no lastrar el potencial de las nuevas tecnologías, tanto en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono como en el mantenimiento y conservación del medioambiente.

6 Bibliografía

1. **ONU.** infobae.com. <https://www.infobae.com/america/medio-ambiente/2021/06/23/un-alarmando-informe-de-la-onu-predice-efectos-devastadores-por-el-calentamiento-global-antes-de-2050/>.
2. **MITECO.** Emisiones brutas de dióxido de carbono. https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/010721-emisiones_co2.aspx.
3. **MITECO.** Cantidad porcentual de las emisiones de GEI divididas por gases. https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/010721-emisiones_co2.aspx.
4. **MITECO.** Cantidad porcentual del peso de los sectores en la emisión de GEI. https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/010721-emisiones_co2.aspx.
5. **MITECO.** Reducción de las emisiones asociadas a la producción de la electricidad. https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/010721-emisiones_co2.aspx.
6. **MITECO.** Descenso de las emisiones de GEI asociadas a la producción de electricidad. https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/010721-emisiones_co2.aspx.
7. **MITECO.** Inserción de energías renovables en la generación eléctrica. [En línea] https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/Paginas/2021/010721-emisiones_co2.aspx.
8. **Europea., Unión.** *Límite para las emisiones asociadas a la fase de operación de los vehículos.*
9. **Ambientum.** Ambientum.com. <https://www.ambientum.com/ambientum/cambio-climatico/como-podemos-conseguir-la-neutralidad-climatica.asp>.
10. **Ambientum.** Ambientum.com. <https://www.ambientum.com/ambientum/cambio-climatico/como-podemos-conseguir-la-neutralidad-climatica.asp>.
11. **Confidencial., El.** [elconfidencial.com. https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-07-16/fit-for-55-nuevas-medidas-europa-medioambiente_3186139/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-07-16/fit-for-55-nuevas-medidas-europa-medioambiente_3186139/).
12. **Confidencial., El.** [elconfidencial.com. https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-07-16/fit-for-55-nuevas-medidas-europa-medioambiente_3186139/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-07-16/fit-for-55-nuevas-medidas-europa-medioambiente_3186139/).
13. **Confidencial., El.** [elconfidencial.com. https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-07-16/fit-for-55-nuevas-medidas-europa-medioambiente_3186139/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-07-16/fit-for-55-nuevas-medidas-europa-medioambiente_3186139/).
14. **Confidencial., El.** [elconfidencial.com. https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-07-16/fit-for-55-nuevas-medidas-europa-medioambiente_3186139/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/clima/2021-07-16/fit-for-55-nuevas-medidas-europa-medioambiente_3186139/).
15. **MITECO.** [miteco.gob.es. https://www.miteco.gob.es/es/cambioclimatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/cambioclimatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx).
16. **MITECO.** [miteco.gob.es. https://www.miteco.gob.es/es/cambioclimatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/cambioclimatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx).

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

17. **MITECO**.miteco.gob.es.<https://www.miteco.gob.es/es/cambioclimatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx>.

18. **MITECO**.miteco.gob.es.<https://www.miteco.gob.es/es/cambioclimatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx>.

19. **MITECO**.miteco.gob.es.<https://www.miteco.gob.es/es/cambioclimatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/objetivos.aspx>.

20. **MITECO**.miteco.gob.es.https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf.

21. **MITECO**.miteco.gob.es.https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf.

22. **MITECO**.miteco.gob.es.https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf.

23. **MITECO**.miteco.gob.es.https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf.

24. **MITECO**.miteco.gob.es.https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf.

25. **Insider, Business**.businessinsider.com.<https://www.businessinsider.es/espana-solo-tiene-4-vehiculos-electricos-previstos-2030-946359>.

26. **Insider, Business**.businessinsider.es.<https://www.businessinsider.es/espana-solo-tiene-4-vehiculos-electricos-previstos-2030-946359>.

27. **Insider, Business**.businessinsider.es.<https://www.businessinsider.es/espana-solo-tiene-4-vehiculos-electricos-previstos-2030-946359>.

28. **Insider, Business**.businessinsider.es.<https://www.businessinsider.es/espana-solo-tiene-4-vehiculos-electricos-previstos-2030-946359>.

29. **Insider, Business**.businessinsider.es.<https://www.businessinsider.es/espana-solo-tiene-4-vehiculos-electricos-previstos-2030-946359>.

30. **España, RedEléctrica**.ree.es.https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2020/Red-Elctrica-Infografia-Sector-Elctrico-Espanol-2020.pdf.

31. **España, RedEléctrica**.ree.es.https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2020/Red-Elctrica-Infografia-Sector-Elctrico-Espanol-2020.pdf.

32. **España, RedEléctrica**.ree.es.https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2020/Red-Elctrica-Infografia-Sector-Elctrico-Espanol-2020.pdf.

33. **Vanguardia, La**.lavanguardia.com.<https://www.lavanguardia.com/vida/20210212/6243701/1-11-ciento-parque-movil-canarias-son-coches-electricos.html>.

34. **Vanguardia, La**.lavanguardia.com.<https://www.lavanguardia.com/vida/20210212/6243701/1-11-ciento-parque-movil-canarias-son-coches-electricos.html>.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

35. **Vanguardia.,La.** [lavanguardia.com.https://www.lavanguardia.com/vida/20210212/6243701/1-11-ciento-parque-movil-canarias-son-coches-electricos.html](https://www.lavanguardia.com/vida/20210212/6243701/1-11-ciento-parque-movil-canarias-son-coches-electricos.html).
36. **ISTAC.** [gobiernodecanarias.org. http://www.gobiernodecanarias.org/istac/datos-abiertos/galerias/visor/indicadores.html?tema=vehiculos#data](http://www.gobiernodecanarias.org/istac/datos-abiertos/galerias/visor/indicadores.html?tema=vehiculos#data).
37. **ISTAC.** [gobiernodecanarias.org.http://www.gobiernodecanarias.org/istac/datos-abiertos/galerias/visor/indicadores.html?tema=vehiculos#data](http://www.gobiernodecanarias.org/istac/datos-abiertos/galerias/visor/indicadores.html?tema=vehiculos#data).
38. **21, Espiral.** [espiral21.com. http://espiral21.com/contaminacion-co2-canarias-supera-la-media-mundial-transporte-la-culpa-no-las-electricas/](http://espiral21.com/contaminacion-co2-canarias-supera-la-media-mundial-transporte-la-culpa-no-las-electricas/).
39. **Canarias, Gobierno de.** *Anuario Energético 2019.*
40. **Canarias, Gobierno de.** *Anuario Energético 2019.*
41. **Canarias, Gobierno de.** *Anuario Energético 2019.*
42. **Canarias., Gobierno de.** *Anuario Energético 2019.*
43. **ISTAC.** [gobiernodecanarias.org.http://www.gobiernodecanarias.org/istac/datos-abiertos/galerias/visor/indicadores.html?tema=vehiculos#data](http://www.gobiernodecanarias.org/istac/datos-abiertos/galerias/visor/indicadores.html?tema=vehiculos#data).
44. **Autofacil.** [Autofacil.es. https://www.autofacil.es/tecnologia/multas-co2-marcas-coches/180004.html](https://www.autofacil.es/tecnologia/multas-co2-marcas-coches/180004.html).
45. **km77.** [km77.com.https://www.km77.com/listados-tematicos/coches-hibridos-enchufables-phev-precios-autonomia-y-bateria](https://www.km77.com/listados-tematicos/coches-hibridos-enchufables-phev-precios-autonomia-y-bateria).
46. **Canarias, Gobierno de.** *Anuario Energético de Canarias.*
47. **ISTAC.** *Número de turismos en la isla de tenerife.*
48. **REE.** *Anuario Energético de Canarias.*
49. **Competencia, Comisión Nacional de Mercados y.** [canviclimatic.gencat.cat.https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/](https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_lenergia/).
50. **Koffi, B., Cerutti, A., Duerr, M., Iancu, A., Kona, A., Janssens-Maenhout, G.** *CoM Default Emission Factors for the Member States of the European Union.*
51. **Koffi, B., Cerutti, A., Duerr, M., Iancu, A., Kona, A., Janssens-Maenhout, G.** *CoM Default Emission Factors for the Member States of the European Union.*
52. **Xataka.** [Xataka.com.https://www.xataka.com/automovil/coches-a-gas-natural-comprimido-como-funcionan-modelos-que-puedes-comprar](https://www.xataka.com/automovil/coches-a-gas-natural-comprimido-como-funcionan-modelos-que-puedes-comprar).
53. **Bieker, Georg.** *A Global Comparison of the Lyfe-Cycle Greenhouse gas emissions of combustion engine and electric passenger.*
54. **Bieker, Georg.** *Intensidad del dióxido de carbono en la red eléctrica europea.*
55. **ISTAC.** *Número de turismos en la isla de Tenerife.*
56. **Europea, Comisión.** *Valor máximo de emisión de dióxido de carbono en la fase de operación de un vehículo.*
57. **Europea, Comisión.** *Valor máximo de emisión de dióxido de carbono en la fase de operación de un vehículo.*
58. **21., Espiral.** [espiral21.com.http://espiral21.com/contaminacion-co2-canarias-supera-la-media-mundial-transporte-la-culpa-no-las-electricas/](http://espiral21.com/contaminacion-co2-canarias-supera-la-media-mundial-transporte-la-culpa-no-las-electricas/).

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

59. **21, Espiral.** espiral21.com. <http://espiral21.com/contaminacion-co2-canarias-supera-la-media-mundial-transporte-la-culpa-no-las-electricas/>.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

ÁNEXO I

En este anexo, se podrán encontrar los valores relacionados a los diferentes resultados desarrollados en el apartado de análisis de resultados, pero con la información registrada en tablas. Los resultados que se presentan en las tablas 4.3, 4.5, 4.7 y 4.8 vienen expresados en gramos de CO₂ por kilómetro recorrido, mientras que, los de las tablas 4.10 y 4.11 vienen en toneladas de CO₂.

		Manufactura	WTP	Operación	Reciclaje	LCA
Vehículos compactos.	Gasolina	35	37,5	144	20	236,5
	Diesel	43,75	37,25	135	20	236,25
	GNC	37,5	25	125	20	207,5
	GLP	37,5	25	130	20	212,5
	HEV	50	30	87,5	20	187,5
	PHEV	70	68,75	6,25	25	170
	BEV	99,25	85	0	30	214,25

Tabla 4.3. Resultados asociados a los vehículos compactos en la isla de Tenerife.
Fuente: Propia.

		Manufactura	WTP	Operación	Reciclaje
Contribución LCA.	Gasolina	15%	16%	61%	8%
	Diesel	19%	16%	57%	8%
	GNC	18%	12%	60%	10%
	GLP	18%	12%	61%	9%
	HEV	27%	16%	47%	11%
	PHEV	41%	40%	4%	15%
	BEV	46%	40%	0%	14%

Tabla 4.4. Contribución en % de cada una de las fases al LCA.
Fuente: Propia.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

		Manufactura	WTP	Operación	Reciclaje	LCA
SUV	Gasolina	56,25	43,6	169	30	298,5
	Diesel	60	40	156,25	30	286,2
	HEV	57	25	112,5	30	224,5
	PHEV	92,5	75	12,5	35	215
	BEV	116,25	118	0	40	274,25

Tabla 4.5. Resultados asociados a los SUV en la isla de Tenerife.

Fuente: Propia.

		Manufactura	WTP	Operación	Reciclaje
Contribución LCA	Gasolina	19%	15%	57%	10%
	Diesel	21%	14%	55%	10%
	HEV	25%	11%	50%	13%
	PHEV	43%	35%	6%	16%
	BEV	42%	43%	0%	15%

Tabla 4.6. Contribución en % de cada una de las fases al LCA.

Fuente: Propia

		Manufactura	WTP	Operación	Reciclaje	LCA
Vehículo compacto.	PHEV	70	68,75	6,25	25	170
	BEV	99,25	85	0	30	214,25
	PHEV 2030 PNIEC	70	37,5	6,25	25	138,75
	BEV 2030 PNIEC	99,25	37,5	0	30	166,75

Tabla 4.7. Resultados asociados a los vehículos enchufables en la actualidad y en el año 2030.

Fuente: Propia.

		Manufactura	WTP	Operación	Reciclaje	LCA
SUV.	PHEV	92,5	75	12,5	35	215
	BEV	116,25	118	0	40	274,25
	PHEV 2030 PNIEC	92,5	43,75	12,5	35	183,75
	BEV 2030 PNIEC	116,25	56,25	0	40	212,5

Tabla 4.8. Resultados asociados a los SUV enchufables en la actualidad y en el año 2030.

Fuente: Propia.

Análisis del ciclo de vida de distintos sistemas propulsivos de aplicación a transporte ligero en la isla de Tenerife.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Gasolina	5,25	7,98	10,69	13,41	16,14	18,86	21,58	24,30	27,03	29,75	32,47	35,45
BEV	14,88	16,10	17,32	18,54	19,76	20,91	22,2	23,41	24,63	25,85	27,07	32,13
HEV	7,5	9,09	10,68	17,81	13,87	15,46	17,06	18,65	20,25	21,84	28,12	28,12

Tabla 4.9. Resultados asociados a la huella de carbono de vehículos compactos.

Fuente: Propia.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Gasolina	8,43	11,62	14,81	18	21,19	24,38	27,57	30,76	33,95	37,14	40,32	44,82
BEV	17,43	19,21	20,97	22,74	24,51	26,28	28,05	29,82	31,60	33,36	35,13	41,13
HEV	8,5	10,61	12,67	14,73	16,8	18,86	21	22,98	25,05	27,12	29,17	23,675

Tabla 4.10. Resultados asociados a la huella de carbono de SUVs.

Fuente: Propia.