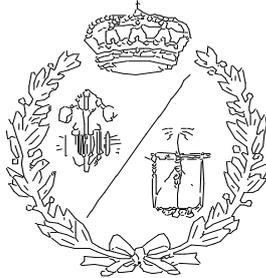


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**Cálculo de la huella de carbono de vehículos
utilitarios mediante el análisis del ciclo de vida**

**Life cycle assessment of utility vehicles to
obtaining the carbon footprint**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Carlos Quintana Díez

09 - 2018



ÍNDICE

ÍNDICE	2
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 EL CONCEPTO DE CAMBIO CLIMÁTICO	7
1.2 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ESPAÑA.....	10
1.3 OBJETIVO.....	11
2. MÉTODO DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA APLICADO AL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO	12
2.1 DEFINICIÓN DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	12
2.2 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO-MÉTODO PAS:2050	13
3. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LOS VEHICULOS UTILITARIOS	17
3.1 ANÁLISIS DE LA ETAPA DE FABRICACIÓN	17
3.1.1 EXTRACCIÓN DE LOS MATERIALES.....	20
3.1.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO.....	32
3.2 ANÁLISIS DE LA FASE DE USO	35
3.2.1 ANÁLISIS DE VIDA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES.....	35
3.2.2 ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DEL MIX ELÉCTRICO	39
3.3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LAS BATERÍAS.....	41
4. RESULTADOS	45
4.1 ICEV Gasolina	45
4.1.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES	45
4.1.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO.....	48
4.1.3 FASE DE USO	50
4.1.4 EMISIONES TOTALES	50
4.2 ICEV Diésel	52
4.2.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES	52
4.2.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO.....	54
4.2.3 FASE DE USO	56



4.2.4 EMISIONES TOTALES	57
4.3 HEV.....	58
4.3.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE LOS MATERIALES	58
4.3.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO.....	61
4.3.3 FASE DE USO	62
4.3.4 EMISIONES DE LA BATERÍA	63
4.3.5 EMISIONES TOTALES	64
4.4 PHEV.....	65
4.4.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE LOS MATERIALES	65
4.4.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO.....	68
4.4.3 FASE DE USO	69
4.4.4 EMISIONES DE LA BATERÍA	70
4.4.5 EMISIONES TOTALES	71
4.5 EV	72
4.5.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES	72
4.5.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO.....	75
4.5.3 FASE DE USO	76
4.5.4 EMISIONES DE LA BATERÍA	77
4.5.5 EMISIONES TOTALES	77
4.6 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	78
4.7 COMPARACIÓN SEGÚN LOS MIX ENERGÉTICOS.....	81
5. CONCLUSIONES	82
6. REFERENCIAS.....	84
7. ANEXOS	86



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Emisiones anuales en España por sector	10
Figura 2. Ciclo de vida de la cuna a la puerta [25]	14
Figura 3. Ciclo de vida de la cuna a la tumba [25]	14
Figura 4. Ciclo de vida de un vehículo [9]	17
Figura 5. Mapa de flujo de un vehículo [9]	18
Figura 6. Extracción y producción de acero [1].....	21
Figura 7. Evolución de la composición de los vehículos	22
Figura 8. Ciclo de vida del aluminio [2]	25
Figura 9. Ciclo de vida del cobre [5]	25
Figura 10. Límites tomados en la producción de PU [6]	27
Figura 11. Límites tomados en la producción de PVC [7]	28
Figura 12. Ciclo de vida completo de los combustibles	36
Figura 13. Destilación del petróleo	37



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes GWP [24].....	9
Tabla 2. Porcentajes de material por vehículo [10], [11].....	19
Tabla 3. Porcentaje de cada tipo de plástico [10], [11]	19
Tabla 4. Emisiones por ud. funcional en la fase de extracción y procesado.....	31
Tabla 5. Emisiones por kg de material para cada proceso [9], [10]	33
Tabla 6 Distribución de las transformaciones sobre la lista de materiales. [9]	34
Tabla 7. Propiedades de los combustibles y factores de emisión [28]	38
Tabla 8. Huella de carbono de diferentes mix energéticos [31], [32], [33]	40
Tabla 9. Modelo de conducción de los PHEV [Fuente propia].....	43
Tabla 10. Selección de vehículos gasolina	46
Tabla 11. Lista de materiales de los ICEV gasolina.....	46
Tabla 12. Relación de plásticos ICEV gasolina.....	46
Tabla 13. Emisiones por la extracción y procesado ICEV gasolina.....	47
Tabla 14. Emisiones para cada tipo de plástico ICEV gasolina.....	47
Tabla 15. Cantidad de material por transformación ICEV gasolina	48
Tabla 16. Emisiones de la fase de producción ICEV gasolina.....	49
Tabla 17. Emisiones ICEV gasolina fase de uso	50
Tabla 18. Emisiones ICEV gasolina totales	51
Tabla 19. Selección de vehículos diésel	52
Tabla 20. Lista de materiales de los ICEV diésel	52
Tabla 21. Relación de plásticos ICEV diésel.....	53
Tabla 22.Emisiones por la extracción y procesado ICEV diésel	53
Tabla 23. Emisiones para cada tipo de plástico ICEV diésel.....	54
Tabla 24. Cantidad de material por transformación ICEV diésel	55
Tabla 25. Emisiones de la fase de producción ICEV diésel.....	56
Tabla 26. Emisiones ICEV diésel fase de uso.....	57
Tabla 27. Emisiones ICEV diésel totales	57
Tabla 28. Selección de vehículos híbridos.....	58
Tabla 29. Lista de materiales de los HEV	59
Tabla 30. Relación de plásticos HEV	59
Tabla 31. Emisiones por la extracción y procesado HEV	60
Tabla 32. Emisiones para cada tipo de plástico HEV.....	60
Tabla 33. Cantidad de material por transformación HEV	61



Tabla 34. Emisiones de la fase de producción HEV.....	62
Tabla 35. Emisiones HEV fase de uso.....	63
Tabla 36. Emisiones HEV totales.....	64
Tabla 37. Selección de vehículos PHEV.....	65
Tabla 38. Lista de materiales PHEV.....	66
Tabla 39. Relación de plásticos PHEV.....	66
Tabla 40. Emisiones por la extracción y procesado PHEV.....	67
Tabla 41. Emisiones para cada tipo de plástico PHEV.....	67
Tabla 42. Cantidad de material por transformación PHEV.....	68
Tabla 43. Emisiones de la fase de producción PHEV.....	69
Tabla 44. Consumo total PHEV.....	70
Tabla 45. Emisiones fase de uso PHEV.....	70
Tabla 46. Emisiones totales batería PHEV.....	71
Tabla 47. Emisiones totales PHEV.....	71
Tabla 48. Selección de vehículos EV.....	72
Tabla 49. Lista de materiales EV.....	73
Tabla 50. Relación de plásticos EV.....	73
Tabla 51. Emisiones por la extracción y procesado EV.....	74
Tabla 52. Emisiones para cada tipo de plástico EV.....	74
Tabla 53. Cantidad de material por transformación EV.....	75
Tabla 54. Emisiones de la fase de producción EV.....	76
Tabla 55. Emisiones totales EV.....	77
Tabla 56. Comparativa de las emisiones para cada fase.....	79
Tabla 57. Emisiones de los PHEV según países.....	81
Tabla 58. Emisiones EV según países.....	81



1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL CONCEPTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es una variación de los patrones meteorológicos cuando los estudiamos para un periodo de tiempo muy prolongado, el cual puede variar entre miles y millones de años.

La comunidad científica diferencia entre dos tipos, según el origen de las causas de estos cambios, el cambio climático natural, y el cambio climático antropogénico o derivado de las acciones humanas.

El cambio climático es algo que se lleva dando desde hace millones de años. El denominado “clima prehistórico” o “paleoclima”, es estudiado para conocer en profundidad qué condiciones meteorológicas se daban en nuestro planeta hace millones de años.

La Tierra ha sufrido variaciones en su clima mucho antes de la aparición de la especie humana. Esta se ha calentado y enfriado, mediante agentes no dependientes de la acción humana, como son el vulcanismo, la actividad solar y las variaciones en la órbita de la Tierra, dando lugar a periodos de glaciación con un descenso global de la temperatura, seguidos de periodos más calurosos.

No es hasta la Revolución Industrial del siglo XVIII cuando el factor humano comienza a tener presencia en el cambio climático. El comienzo de la quema de combustibles fósiles a gran escala supuso una fuente de gases de efecto invernadero que nunca se había visto. A lo largo de toda la historia del planeta, las fuentes naturales de CO₂ se veían contrarrestadas con sumideros también naturales de este gas, principalmente los océanos, con lo que la cantidad total presente en la atmósfera no sufría grandes cambios.

En cambio, cuando el ser humano comienza a expulsar tales cantidades de gases a la atmósfera, los mecanismos naturales de absorción de CO₂ no son capaces de hacer frente a tanta cantidad y este se comienza a almacenar en la atmósfera.

No fue hasta finales del siglo XIX cuando la comunidad científica comenzó a sospechar del calentamiento del planeta, pero aún sin vincularlo a los humanos. Se comenzaron a investigar



las causas naturales, como las expuestas anteriormente, pero las causas humanas fueron cuestionadas.

Más tarde, durante la época de los 60, la comunidad científica comenzó a darle más peso al cambio climático. Diversos estudios realizados a partir de entonces revelaron que el aumento de la cantidad de CO₂ era mayor de lo que inicialmente se había predicho, al descubrir nuevos indicadores de su concentración en la atmósfera.

En los años 70 surgió el problema de los aerosoles, y las partículas en suspensión que estos producían. Se comenzó a considerar seriamente la implicación de las emisiones humanas en el cambio climático.

En la década de los 80 se investigaron otras moléculas que tenían el mismo efecto en la atmósfera que el CO₂, como los CFC y el metano. Estas moléculas tienen la característica de multiplicar el efecto realizado por el CO₂ con lo que una pequeña concentración en la atmósfera puede ser significativa. Gracias a la extracción de núcleos de hielo se confirmó la relación entre el aumento de la temperatura y la concentración de CO₂.

La consiguiente preocupación por el calentamiento global llevó a la firma el 11 de diciembre de 1997 del Protocolo de Kioto, un acuerdo firmado y ratificado por gran parte de países salvo por Estados Unidos que no llegó a ratificarlo. El objetivo del acuerdo era comprometerse a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para un periodo de años entre 2008 y 2012.

Debido a las necesidades actuales de emisiones, se decidió redactar otro acuerdo más actualizado que en el que los firmantes se comprometiesen a que el aumento de la temperatura global respecto a la época industrial no fuese mayor de 2 °C, y si fuese posible menos. El gran avance de este acuerdo fue englobar a un número mayor de países, aunque en algún caso como el de Estados Unidos, ya se han retirado.

En la actualidad se utiliza el denominado CO₂ equivalente. Es una manera de hallar la huella de carbono de la totalidad de emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque el gas más abundante sea el CO₂ se debe considerar también el efecto realizado por otros gases de efecto invernadero. Para ello se utilizan unos coeficientes del Índice GWP (Global Warming Potential) en el cual se le otorga un determinado peso a cada gas de efecto invernadero. Se



utiliza como base el CO₂, su coeficiente es 1, y al resto un valor mayor en función de la radiación que puede absorber.

Tabla 1. Coeficientes GWP [24]

Gas efecto invernadero	Potencial GWP
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298
HFCs	124 – 14,800
PFCs	7,390 – 12,200
NF ₃	17,200
SF ₆	22,800

Así, al calcular la huella de carbono de cierto proceso en kg de CO₂ eq nos aseguramos de abarcar las emisiones de todos los gases emitidos.

El cálculo de la huella de carbono es una herramienta que nos permite hallar todas las emisiones de gases de efecto invernadero (también conocidos como GHG, “greenhouse gas”) producidas por una organización o actividad. Permite a dichas organizaciones o individuos estudiar el impacto que tiene la realización de cierta actividad en el llamado efecto invernadero.

La huella de carbono permite conocer qué procesos producen una mayor cantidad de gases de efecto invernadero, un paso básico para poder proceder con su reducción

Es de especial interés por parte de las empresas en los últimos años, ya sea por la imagen medioambiental frente al consumidor, como por ser una forma de reducir la toxicidad en el medio de trabajo. Desde la firma del Protocolo de Kioto, los esfuerzos por reducir a nivel mundial las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado considerablemente. La sociedad comenzó a concienciarse de la necesidad de reducir estas emisiones, con la consiguiente obligación de las empresas de reducir sus emisiones con el fin de mejorar su imagen frente al consumidor. Se requería una herramienta capaz de determinar las emisiones totales de cierto proceso o producto y de cada parte de su ciclo de vida.



El proceso del cálculo de la huella de carbono tiene dos variantes, en función de la huella a obtener, pero ambos coinciden en que se realizan a través de métodos estándar internacionales.

- Para una organización los más utilizados son GHG protocol e ISO 14064-1.
- Para un producto o un servicio ISO/TS 14067:2013 y PAS 2050.

1.2 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN ESPAÑA

De la página del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, y Medio Ambiente se pueden obtener las emisiones de GEI divididas por sectores para el año 2017:

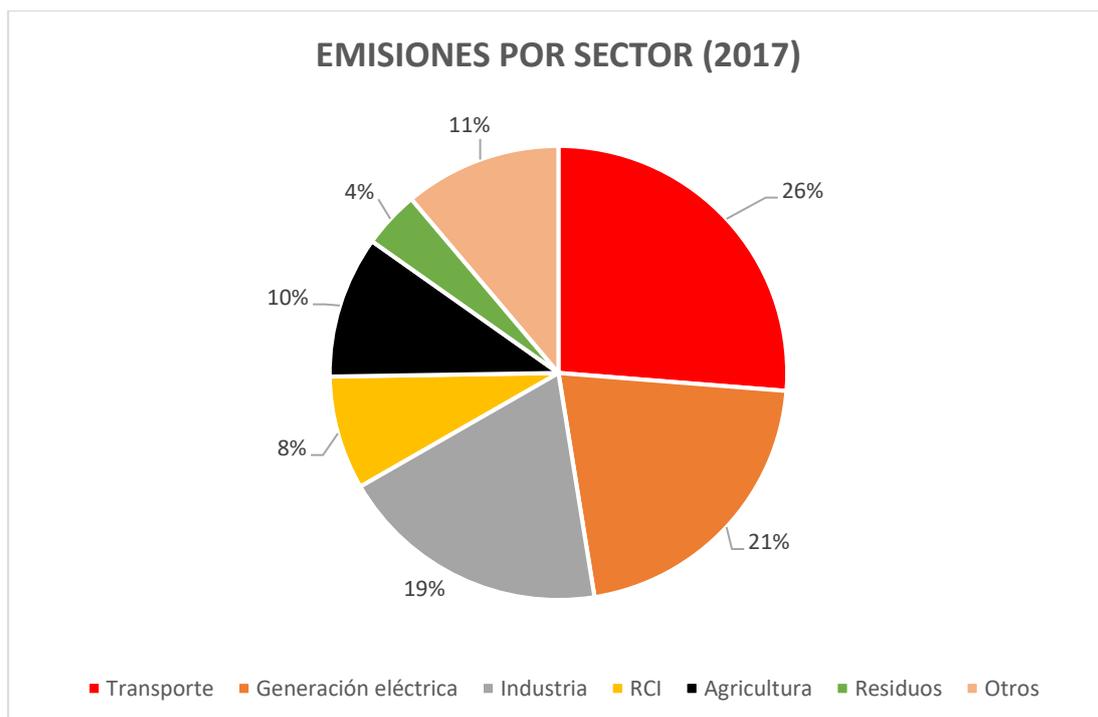


Figura 1. Emisiones anuales en España por sector

El sector del transporte está a la cabeza con un total de 88,088 millones de toneladas de CO₂ eq. Hay que tener en cuenta que estas emisiones solo abarcan las emisiones en el uso de los vehículos tanto coches, como tren avión y barco. De esta manera no se están teniendo en cuenta por ejemplo las emisiones indirectas derivadas del uso de un vehículo eléctrico, que durante su uso en carretera no



se producen al no necesitar ninguna quema de combustible, pero si conlleva emisiones la generación de la energía eléctrica en las centrales. Nos encontramos con el problema de que la etapa de uso de los vehículos no abarca la totalidad de las emisiones, y es por ello necesario un estudio más en profundidad, en concreto, un análisis del ciclo de vida. Este enfoque es el correcto para el cálculo de la huella de carbono del producto.

1.3 OBJETIVO

En la actualidad, compiten en el mercado de la movilidad por carretera diferentes tecnologías: combustión diésel y gasolina, eléctrico, híbrido, híbrido enchufable, gas etc. Sin embargo no existe una visión clara de cuál es la tecnología más eficiente desde el punto de vista de su impacto sobre el cambio climático (generación de CO₂), ya que normalmente sólo se tiene en cuenta las emisiones directas de la fase de uso que como se ha comentado no reflejan la totalidad de las emisiones generadas en el transporte.

El objetivo de este trabajo se puede resumir en dos puntos:

- 1.- Calcular la huella de carbono de una gama de vehículos en un enfoque de análisis del ciclo de vida, de la cuna a la tumba, a través de la herramienta de la huella de carbono, consiguiendo así las emisiones de CO₂ en su totalidad.
- 2.- Revisar el impacto de cada una de las tecnologías actuales predominantes, para poder determinar la de menor impacto sobre el cambio climático.



2. MÉTODO DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA APLICADO AL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO

2.1 DEFINICIÓN DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Es una técnica que me permite el estudio de los impactos medioambientales derivados del ciclo de vida de un producto o servicio. Se trata de una metodología estandarizada que nos ayuda a obtener el impacto, cuantificarlo y evaluarlo para un determinado producto o servicio.

Como impacto medioambiental existen tres categorías, utilizando diferentes indicadores para representar dicho impacto [36]:

- Daños al medio ambiente

Miden diferentes efectos contaminantes derivados de la acción humana, como pueden ser las emisiones de gases de efecto invernadero, medidas en kg de CO₂ equivalente, potencial de acidificación, medido en kg de SO₂, eutrofización, un proceso por el cual proliferan las algas en medios acuáticos por el aumento de la presencia de nutrientes que provienen aparte del envejecimiento natural de las masas de agua, del uso masivo de fertilizantes, reduciendo el nivel de oxígeno disuelto.

- Daños a la salud humana

Calidad del aire o cantidad de partículas en suspensión

- Consumo de recursos

Cantidad total de energía utilizada a lo largo del ciclo de vida

Existen diversos métodos estandarizados que dependen del objetivo del estudio. Para productos, existen normativas internacionales como ISO 14040, ISO 14044 y PAS 2050. Otras entidades han desarrollado normativas para la aplicación en organizaciones, como GHG Protocol e ISO14064.



2.2 CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO-MÉTODO PAS:2050

El impacto, de un producto u organización, sobre el cambio climático en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (principalmente CO₂) se evalúa mediante el cálculo de la huella de carbono. La huella de carbono refleja una parte (relativa a las emisiones de CO₂) del impacto sobre el medio ambiente a lo largo del ciclo de vida de un producto.

Para el cálculo de la huella de carbono, vamos a utilizar el estándar internacional PAS:2050. Es un método específico para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero desarrolladas a lo largo del ciclo de vida completo, que abarca desde la extracción de materiales hasta la gestión como un residuo. Ha sido desarrollada por British Standards Institution en colaboración con Carbon Trust y el departamento de medio ambiente de Reino Unido (Defra).

Este método se caracteriza por proporcionar una evaluación de las emisiones en cada estadio del ciclo de vida de un producto o servicio, la cual puede ser utilizada a nivel interno por la empresa para la sustitución de procesos o productos muy contaminantes, como un objetivo para otras empresas o como reclamo para ciertos sectores del consumo.

El objetivo de esta norma es proporcionar un método de estandarización para el cálculo de la huella de carbono de manera que pueda ser usado a nivel empresarial e individual.

El primer paso a la hora de realizar el cálculo de la huella de carbono es fijar el producto a analizar y los objetivos, estos pueden ser obtener la huella de carbono para identificar los principales emisores dentro de una cadena de montaje, realizar un estudio comparativo entre dos productos del mismo sector (como se hará más adelante) o para desarrollar una estrategia de mercado basada en la eficiencia medioambiental. Este paso es fundamental para poder determinar más adelante el alcance y los límites del estudio.

A continuación tenemos que definir la unidad funcional. Es un indicador de cómo se utiliza dicho producto por parte del consumidor. Esta unidad nos permite hacer comparaciones entre las emisiones de gases de efecto invernadero de dos productos similares. Fijando la unidad funcional en kg CO₂ por cada km, se puede hacer un estudio comparativo entre las



emisiones de dos coches. Estas comparaciones son posibles siempre que utilicen una misma unidad funcional, y que además guarden una relación con el producto en sí.

Una vez hecho esto, debemos realizar un estudio del ciclo de vida del producto. El ciclo de vida es una división en cinco partes de la existencia de un producto. Estas cinco partes son la extracción de los materiales, la manufactura, la distribución, el uso por parte del consumidor y el reciclado. De esta manera, se incluirá en el estudio cualquier emisión realizada directa o indirectamente por parte del producto, al identificar todos los procesos y etapas por los que pasa.

En este apartado del estudio nos encontramos con las dos opciones que nos proporciona el método PAS 2050.

La primera es un estudio empresa-empresa, en el cual el cálculo de las emisiones cesa en el tercer paso, es decir solo se tienen en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero de la extracción, manufactura, y distribución hasta el consumidor. También se conoce este paso como estudio de la cuna a la puerta, cerrando el estudio el fin de la propia cadena de montaje.



Figura 2. Ciclo de vida de la cuna a la puerta [25]

El segundo método es el ciclo completo descrito antes, o empresa-consumidor. En este estudio no solo se calculan las emisiones de la fabricación del producto, sino también las emitidas por el consiguiente uso del producto.



Figura 3. Ciclo de vida de la cuna a la tumba [25]

La aplicación de uno u otro depende en gran medida del objeto analizado y el objetivo del estudio. Para un coche, calcular únicamente las emisiones de las tres primeras fases hace que



se ignoren una gran cantidad de emisiones, obteniendo un resultado de emisiones que no es realmente representativo si el objetivo de la empresa es mostrarlo públicamente como reclamo publicitario por ejemplo. Sí que puede tener aplicación como estudio interno dentro de la empresa, como herramienta de comparación entre diferentes procesos implementados en dos cadenas de montaje diferentes. Por ello, la utilización de un método u otro depende de los objetivos y producto a analizar que fijamos en el primer paso.

Una vez escogido el método que más se ajusta a nuestro producto, debemos realizar un mapa de flujo. Para ello partimos del objeto de estudio (nos situamos al final de la cadena de montaje), y vamos retrocediendo a lo largo de la misma. Con esto obtenemos una lista detallada, primero, de las partes constituyentes del objeto y segundo, del conjunto de procesos que ha ido sufriendo. Cuanto más complejo sea este objeto, mayor será la cantidad de procesos y partes que lo constituyen. Por último, llegamos a la “cuna”, es decir la extracción de todos los materiales que componen el producto final.

Llegados a este punto, debemos definir los límites del estudio, los cuales deben ir acorde al objetivo fijado al comenzar. Los límites del sistema implantan el alcance del estudio, ya que fijan qué procesos o productos intermedios se van a tener en cuenta a la hora hallar las emisiones. Es importante que los límites sean claros para que estos definan una línea clara entre lo que se debe considerar en el mapa de flujo y lo que se debe excluir.

Después de definir el alcance, el estudio continúa con la búsqueda de información. Esta se puede obtener de diferentes fuentes, ya sean bases de datos como Ecoinvent, páginas como Scopus y Science Direct, contienen una gran cantidad de información y trabajos realizados por otros autores, aunque la disponibilidad de la misma es bastante limitada si no se tienen los permisos necesarios para acceder a la información.

Una vez recabada la información necesaria, lo que debemos hacer es volver a avanzar a lo largo de la cadena de montaje, obteniendo las emisiones de gases de efecto invernadero en cada paso: extracción de la cantidad necesaria de materiales, procesado de los mismos, fabricación de piezas y montaje, hasta llegar al producto acabado, obteniendo aparte las emisiones totales de la fabricación.

A continuación el estudio prosigue con la obtención de las emisiones realizadas en la fase de consumo. Esta fase varía enormemente de un producto a otro, y es responsabilidad del



Carlos Quintana Díez

realizador del estudio obtener el perfil de uso por parte del consumidor medio para que el cálculo se aproxime lo más posible al valor real. Se puede hallar mediante encuestas, información pública proporcionada por organismos oficiales o contactando con fabricantes.

Por último se calculan las emisiones de la última fase en la vida del producto, la etapa de reciclado. En numerosos casos esta parte se puede omitir ya que en comparación con las otras fases las emisiones son despreciables, o bien porque el proceso de reciclado del producto no está desarrollado y básicamente consiste en un traslado al vertedero.



3. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LOS VEHICULOS UTILITARIOS

Este trabajo se centra en el análisis de las emisiones producidas a lo largo de la vida útil de vehículos impulsados mediante cuatro tecnologías diferentes. Para ello se opta por seguir las directrices del método PAS 2050, el cual ha sido explicado con anterioridad.

Con la finalidad de abarcar toda fuente de emisiones, se llevarán a cabo varios estudios. Primero aplicaremos el método a los vehículos, y posteriormente, se analizarán los ciclos de vida de los combustibles, de la energía consumida en los vehículos eléctricos e híbridos, y de las baterías utilizadas en estos dos últimos como fuente de energía para la unidad de potencia eléctrica.

3.1 ANÁLISIS DE LA ETAPA DE FABRICACIÓN

Para comenzar con el análisis del ciclo de vida de los vehículos fijamos la unidad funcional, la cual nos debe facilitar la comparación de los resultados obtenidos para cada tecnología de automoción. Para que los resultados sean más legibles, se toman dos unidades funcionales, que son los kilogramos de CO₂ equivalente emitidos en toda la vida del vehículo, y los kilogramos de CO₂ equivalente por cada kilómetro recorrido a lo largo de la vida de este. Esto permite una comparación más fácil de una tecnología a otra.

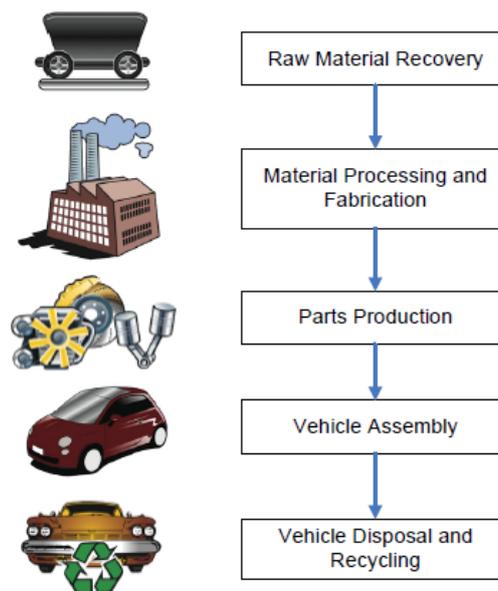


Figura 4. Ciclo de vida de un vehículo [9]



Siguiendo el método PAS 2050, debemos realizar un mapa de flujo para cada uno de los productos a analizar. Partimos de un modelo genérico para cada tecnología y volviendo atrás sobre su cadena de montaje, obtendremos una lista de materiales y de procesos aplicados sobre los mismos que terminan definiendo el vehículo.

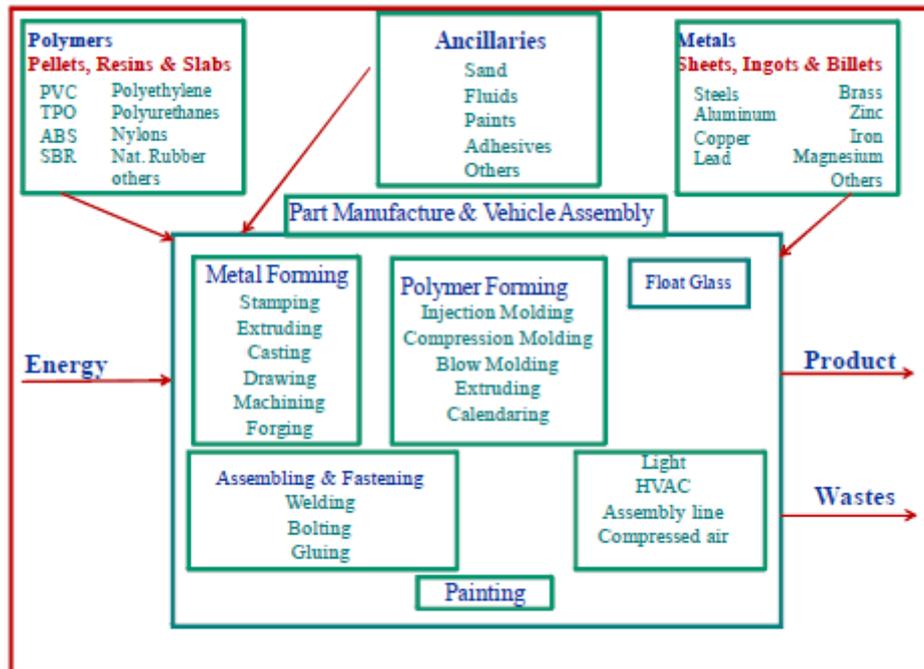


Figura 5. Mapa de flujo de un vehículo [9]

Este es un proceso de gran complejidad debido a la falta de información, ya sea porque no se hace pública por parte de los fabricantes, o por la enorme cantidad de componentes que incorporan los coches actuales. Resolvemos este inconveniente aplicando modelos básicos dotados de porcentajes para cada material. Estos porcentajes se mantienen constantes dentro de cada tecnología al variar de manera muy pequeña la composición básica de los coches de un mismo tipo. [9]

La posibilidad de aplicar dichos modelos depende del coche que se esté analizando. En un coche de alta gama es desaconsejable aplicarlos, ya que implica tomarlo como un utilitario y omitir posibles fuentes potenciales de emisiones, al tener los coches de alta gama una composición más variada y con presencia de materiales que no están presentes en un vehículo corriente, como puede ser la fibra de carbono. Por lo tanto en esos casos es necesario desarrollar una lista de componentes y procesos más precisa. [9]



Utilizamos el siguiente conjunto de porcentajes para la obtención de la lista de materiales necesaria en el primer paso del análisis de ciclo de vida:

De aquí en adelante el trabajo se referirá a:

- ICEV: vehículo de combustión interna (Internal Combustión Engine Vehicle)
- HEV: híbrido convencional (Hybrid Electric Vehicle)
- PHEV: híbrido enchufable (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)
- EV: vehículo eléctrico (Electric Vehicle)

Tabla 2. Porcentajes de material por vehículo [10], [11]

MATERIAL	ICEV	HEV y PHEV	EV
ACERO	61,7	65,2	66,38
HIERRO	11,1	6	2
ALUMINIO FORJADO	2,2	1,8	1,06
ALUMINIO FUNDIDO	4,7	5,1	5,5
COBRE	1,9	4,3	4,67
PLÁSTICO	11,2	10,6	12,1
VIDRIO	2,9	2,9	3,49
CAUCHO	2,4	1,9	1,77
TOTAL	98,1	97,8	96,97

Tabla 3. Porcentaje de cada tipo de plástico [10], [11]

TIPO	Porcentaje
PP	37,89
PU	27,96
PVC	21,77
HDPE	12,38



3.1.1 EXTRACCIÓN DE LOS MATERIALES

Se empieza con el estudio de la primera parte del ciclo de vida de los vehículos. Del proceso previo, se ha obtenido una lista de los materiales que componen cada uno de los coches, y su contribución al peso total.

Ahora debemos hallar las emisiones realizadas en la extracción de cada elemento y su tratamiento para poder ser utilizado como componente en un vehículo.

ACERO

Como se puede apreciar en las tablas de composición de cada vehículo, es el material que más presencia tiene dentro de los coches. Es el componente básico de la estructura y su uso ha permitido mejorar la seguridad al proteger de manera más efectiva a los integrantes del vehículo.

Para el proceso de la obtención del acero, fijaremos como unidad funcional la producción de un kg de acero en forma de plancha, ya que la mayor parte del acero de un coche sufrirá un proceso posterior de estampado, y partir de esta geometría facilita el proceso. Se tendrán en cuenta las emisiones realizadas hasta la puerta de salida de la factoría, lo que se denomina un estudio de la cuna a la puerta (cradle-to-gate). Este tipo de estudio cubre todos los pasos desde la extracción de materiales (la cuna) hasta el producto finalizado listo para ser enviado, el transporte de las fuentes de energía utilizadas en procesos intermedios, y la obtención de productos secundarios utilizados a lo largo del proceso de obtención del material.

Los límites en el cálculo de emisiones de producción del acero se pueden observar en la siguiente figura:

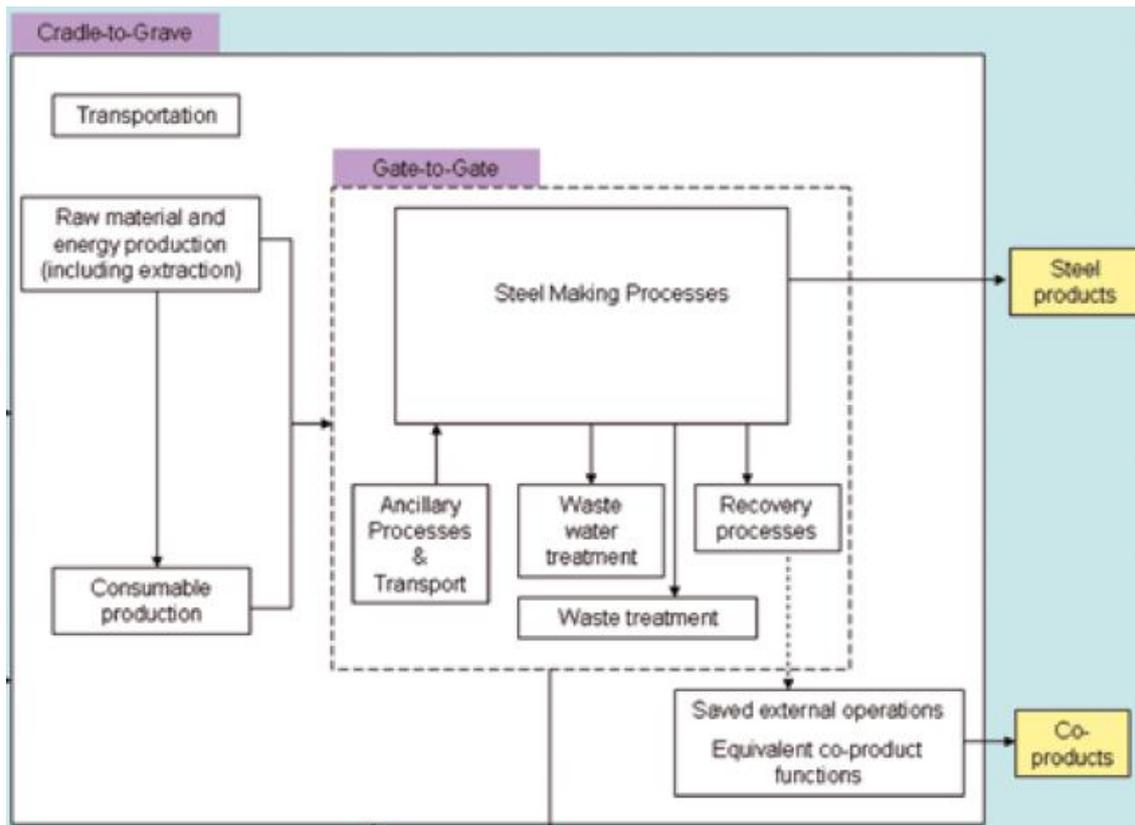


Figura 6. Extracción y producción de acero [1]

El proceso de la fabricación del acero tiene dos métodos, dependiendo de qué material se utilice como materia prima.

Si utilizamos mineral de hierro, el proceso comienza con el peletizado y el sinterizado cuando el contenido de hierro del mineral es menor al 60% [29]. Este mineral de bajo contenido, se tritura hasta formar un polvo muy fino que es separado magnéticamente para pasar después por un proceso de aglomeración. El peletizado consiste en introducir el fino polvo ya separado en hornos rotatorios que se encargan de formar los pelets de hierro. El sinterizado parte también del polvo fino y mediante la aplicación de presión y temperatura, obtenemos piezas con la geometría deseada.

A continuación se introducen en un alto horno mineral de hierro, caliza y coque obteniendo así el hierro fundido, o arrabio. Este hierro líquido tiene unos niveles muy altos de carbono, por lo que se inyecta oxígeno a alta presión en un convertidor que reduce los niveles del contenido de carbono. Se retiran las impurezas gracias a la acción de la caliza y a continuación se añaden materiales de aleación que mejoran las características del producto final.



Si en vez de utilizar mineral de hierro como materia prima se opta por el uso de chatarra, el proceso utiliza un horno de arco eléctrico para fundirla y mediante la posterior adición de caliza retiramos las impurezas.

HIERRO

La producción del hierro está íntimamente ligada a la del acero, pues comparten una gran parte del proceso de producción. La producción de hierro dentro del proceso de producción del acero supone entre el 70 y 80 % de las emisiones totales de CO₂ [3]. El hierro es un componente fundamental de la estructura del vehículo, aunque con la aparición de materiales de aleación ha perdido protagonismo en las últimas décadas.

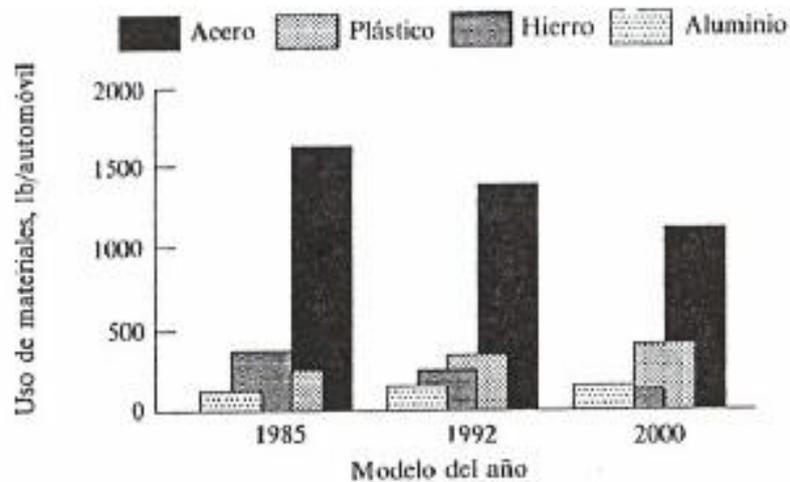


Figura 7. Evolución de la composición de los vehículos

Su ciclo de vida es común al del acero, omitiendo la parte del proceso productivo a partir del alto horno.

Como factor de emisión se toma el 75 % del valor del factor de emisión del acero, al ser la producción del hierro una gran parte del proceso de obtención de acero.



ALUMINIO

El ciclo de vida del aluminio desde una perspectiva de la cuna a la puerta, comienza al igual que el acero con la obtención de la materia prima, ya sea extrayendo un mineral, o a partir de chatarra. Continúa con su procesado y transporte hasta otra factoría para su manufactura.

Dependiendo de la materia prima de la que se parte, hay dos posibles rutas en la producción del aluminio, aunque teóricamente el producto final presenta las mismas propiedades indistintamente del proceso de fabricación. Por otra parte, sí que existe una gran diferencia en lo relativo a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Como con el acero, fijamos una unidad funcional que nos permita calcular con posterioridad las emisiones en la producción del vehículo. Como el aluminio es un producto semiacabado, el cual sufrirá más procesos para adoptar la forma necesaria, se toma como unidad funcional un kg de aluminio en forma de lingote.

Los límites que se tienen en cuenta para realizar el cálculo total de las emisiones es el siguiente:

- Extracción y procesado de la materia prima
El proceso comienza con la extracción de la materia prima, la bauxita. Este es el inicio para el aluminio que no utiliza como materia prima aluminio reciclado. En ocasiones antes de su transporte a la fábrica, se somete al mineral a un proceso que permite obtener un mineral de mayor concentración al retirar residuos, en el cual la bauxita es concentrada en una planta de beneficio.
- Transporte de la materia prima
- Combustible utilizado a lo largo de todo el proceso
- Extracción y procesado del combustible
- Extracción y procesado de subproductos utilizados durante el ciclo
Destacan la producción de la alúmina y la producción de ánodos. La alúmina es una forma de denominar al óxido de aluminio, Al_2O_3 , obtenido a partir de la bauxita. La bauxita se mezcla con carbonato sódico y se calienta en tanques a presión con los que se consigue separar las impurezas y formar cristales de alúmina mediante precipitación. Estos cristales se calcinan posteriormente para obtener finalmente la



alúmina. Se tendrán en cuenta a la hora de hallar el valor final, las emisiones realizadas en la producción y transporte del carbonato sódico y demás subproductos.

Los ánodos son productos que se consumen en la producción del aluminio durante la fase de electrolisis. Estos ánodos están compuestos de carbono y se suspenden dentro de las celdas electrolíticas. Partiendo de coque de petróleo y mezclándolo con un líquido residual obtenido durante la destilación realizada para obtener coque de carbón, se obtiene una pasta que es extruida en bloques que posteriormente se calientan en un horno.

- Mantenimiento del equipamiento utilizado
- Obtención del metal a través de electrolisis

A partir de la alúmina, obtenemos aluminio fundido a través del proceso electrolítico Hall-Heroult. Primero se disuelve la alúmina en un baño criolítico y posteriormente al hacer circular corriente a través de la solución, separamos el aluminio del oxígeno. El aluminio se extrae y el oxígeno reacciona con el ánodo que se produjo con anterioridad.

- Procesos de acabado

Al aluminio se le da forma en función del empleo que se le va a dar. Los fabricantes normalmente le dan forma de lingote para que posteriormente el comprador lo moldee a su interés.

Toda la lista se puede resumir en un ciclo de vida como el de la siguiente imagen:



Figura 8. Ciclo de vida del aluminio [2]

COBRE

Utilizando la misma perspectiva que para los otros elementos, de la cuna a la puerta, fijando los límites según la figura siguiente:

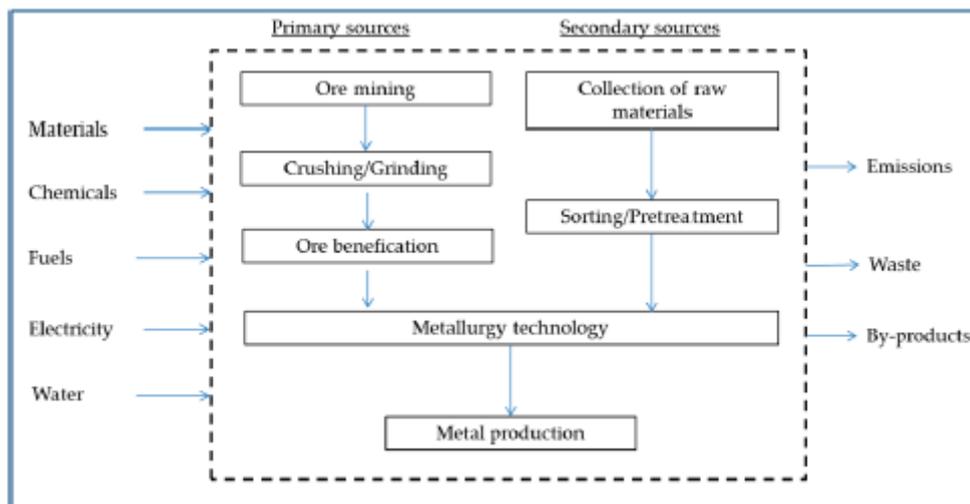


Figura 9. Ciclo de vida del cobre [5]

Al igual que con el aluminio, tendremos en cuenta todas las emisiones derivadas de la extracción y procesado (beneficiado) de la materia prima, el transporte de la misma, todos los combustibles y electricidad empleados durante el proceso, la producción de los productos intermedios y el proceso de obtención del metal.



El cobre se puede obtener de dos maneras, mediante la pirometalurgia o la hidrometalurgia del cobre. El proceso depende del tipo de mineral usado, acabando ambas en el mismo producto semielaborado, un cátodo de cobre. La pirometalurgia del cobre parte de minerales sulfúricos, y mediante la aplicación de calor, se separa el cobre del mineral. Posteriormente, mediante electrolisis, se eliminan impurezas utilizando un baño de sulfato de cobre y ácido sulfúrico. La hidrometalurgia del cobre requiere de mineral de óxido. El método consiste en separar el cobre del mineral con un tratamiento con agua (lixiviación). Con el cobre obtenido mediante ambos procesos, se obtienen cátodos que posteriormente serán fundidos para darles la forma deseada por el responsable de la manufactura. [4]

PLASTICO

Dentro del total de plástico de un coche, en este estudio se van a tener en cuenta cuatro tipos de plásticos, los cuales son el poliuretano (PU), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), y el polietileno de alta densidad (HDPE). Aparte de ser los de mayor presencia en los coches, lo son también del mercado mundial de plásticos.

Los plásticos son derivados del petróleo obtenidos a través de tratamiento térmico y bajo presión. Se caracterizan por ser moldeables en gran variedad de formas, lo que ha permitido su utilización en diferentes campos, como la construcción, sanidad o electrónica, y también en la vida cotidiana. Su industria se comenzó a desarrollar a principios del siglo pasado y desde entonces ha tenido un crecimiento exponencial.

POLIURETANO

Para la producción del poliuretano, se va a considerar un método que se está comenzando a implantar a escala industrial. Se basa en la producción de polioles a partir de CO₂ obtenido a de la captura del mismo de otra planta. Después de la captura del CO₂, se introduce en compresores para su transporte hasta la producción de los polioles. El uso de CO₂ como



fuentes de carbono permite reducir las emisiones entre un 10% y un 20% [6]. Estos polioles serán más tarde procesados en el producto de poliuretano final, lo cual se estudiará más adelante.

Los límites para el cálculo de emisiones se resumen en la siguiente imagen:

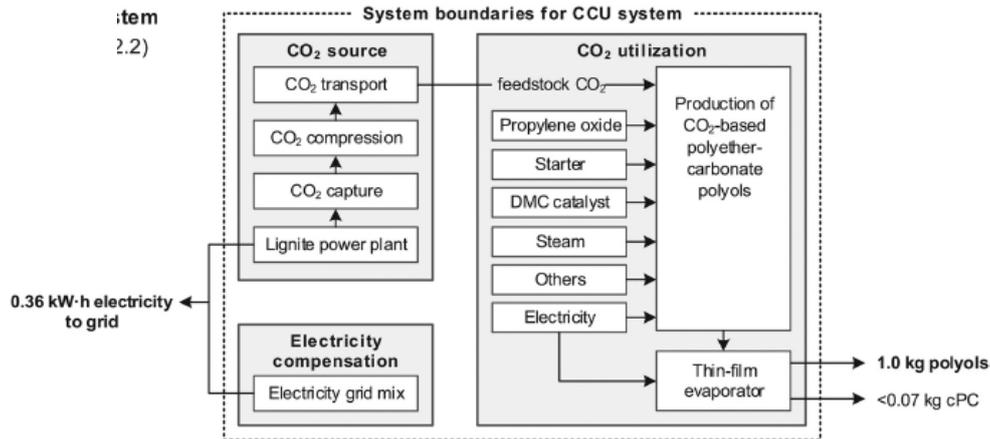


Figura 10. Límites tomados en la producción de PU [6]

PVC

Se trata de un polímero termoplástico, formado por dos materias primas, etileno y cloro. Los termoplásticos son materiales que se endurecen al enfriar o que se vuelven moldeables al ser calentados. Esta es su principal característica ya que a diferencia de los termoestables, permiten que se les pueda dar forma más de una vez. La producción de etileno se realiza a través del craqueo de nafta o de gas natural. El cloro se obtiene por electrolisis de una solución de sal. Durante este proceso, el cloro se libera en el ánodo mientras que el sodio y el hidrógeno se liberan en el cátodo.

Al reaccionar etileno y cloro, se genera el etileno diclorado, y tras un proceso de tratamiento térmico, obtenemos un monómero, el cloruro de vinilo, que formará el polímero final. Tras el proceso de polimerización y la incorporación de aditivos que permiten su uso en diferentes aplicaciones, obtenemos el PVC, Estos aditivos pueden ser lubricantes, fibras para reforzar el material, pigmentos o retardantes de llama. [7]

El producto obtenido sufrirá un último procesado, el cual le dará la forma deseada, lo cual no se incluye en este cálculo, sino más adelante. [7]

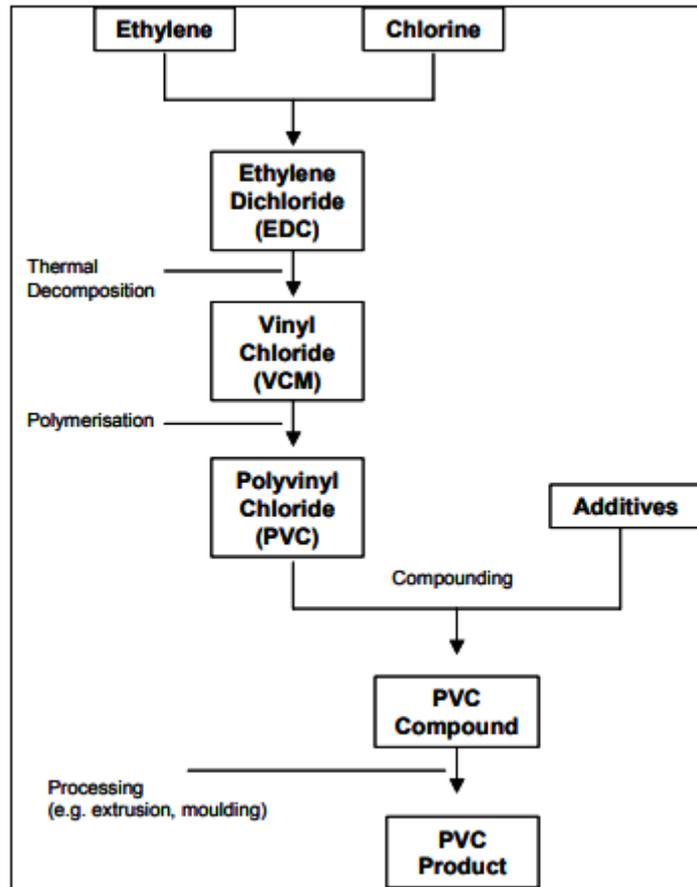


Figura 11. Límites tomados en la producción de PVC [7]

HDPE

El nombre bien de las siglas en inglés, high density polyethylene, lo que traducido es polietileno de alta densidad. Es también un polímero termoplástico, de alto peso molecular y numerosas aplicaciones, conducción de cables subterráneos, canalización de agua y residuos, o la agricultura.

Para la obtención de las materias primas, en el cálculo de las emisiones se incluyen la producción de olefinas (alquinos) mediante craqueo catalítico, y de peletización de HDPE reciclado. El craqueo es un proceso de refinado del petróleo que con la ayuda de un catalizador descompone cadenas pesadas de hidrocarburos en otras más ligeras. [8]

A partir de estos dos materiales, más adelante en la etapa de producción se realizará la manufactura de las piezas. [8]



Polipropileno

Se trata de otro polímero termoplástico. Por ello presenta numerosas aplicaciones debido a la diversidad de formas que puede tomar. Forma parte de vehículos y utensilios de laboratorio, bolsas y empaquetado y es usado también en la industria textil. Posee una menor densidad que el HDPE.

Al igual que con el HDPE, para la obtención de las materias primas utilizadas en la manufactura del PP, se utiliza el craqueo catalítico para la obtención de las olefinas que se utilizarán posteriormente en la producción del PP.

CAUCHO

El caucho es obtenido a través del procesado de la savia de árboles tropicales. Esta savia, o látex, se obtiene en grandes plantaciones que actualmente se encuentran en su mayoría en el sudeste de Asia.

Dentro de los vehículos tienen numerosas aplicaciones, aunque la de más relevancia y conocida es la de ser el componente básico de los neumáticos. Los neumáticos se componen de un polímero termoestable, con cadenas en una determinada posición espacial que hace que estos no puedan volver a ser moldeados de nuevo. A diferencia de los termoplásticos, que se volvían moldeables con la temperatura, estos no lo hacen, una vez que se han enfriado, no pueden volver a ser moldeados. Si son calentados, se queman.

En función de la finalidad de la pieza de caucho, esta se produce de manera diferente. Si la pieza será utilizada como un componente dentro del vehículo (correas, cubiertas, aislantes...) se utilizan técnicas de moldeo. En cambio para los neumáticos, al tener que soportar unas condiciones de trabajo más extremas debidas a la abrasión con el suelo o frío, requieren de un proceso que lo vuelva más duro y resistente al frío, la vulcanización. La vulcanización es un proceso irreversible que forma cadenas de azufre entre las moléculas del polímero.



VIDRIO

Debida a la dificultad encontrada de obtener un valor por separado para la extracción de los materiales y la producción del vidrio, para este material vamos a considerar una única cantidad de emisiones, la cual abarcará todo el proceso de obtención de materias primas y manufactura del vidrio. Este dato está sacado de un estudio del laboratorio Argonne del departamento de energía de Estados Unidos. [9]

El proceso comienza con la preparación del mix de materias primas que se desean utilizar. Para la producción del vidrio se pueden utilizar diferentes composiciones en función de las propiedades deseadas en el producto final. Entre estos están el óxido de silicio, el óxido de sodio, la caliza o la alúmina.

Seleccionado el mix deseado, se introduce en un horno donde se funden y se forma la red cristalina. Un proceso de refinado también se lleva a cabo en el horno, donde se eliminan posibles burbujas formadas en la mezcla y esta, aún líquida, se homogeneiza. Posteriormente se extrae la mezcla del horno y se le proporciona la geometría deseada. [12]

Completamos así la lista de las emisiones para la extracción de los principales materiales de un coche. Como se puede ver en el porcentaje de peso considerado, hay una pequeña cantidad restante que no se está teniendo en cuenta. Se debe a que esta es la suma de diferentes materiales que se encuentran en muy pequeñas proporciones dentro de la composición total, en concreto menos de un 1% del total, por lo que no es necesario tenerlas en cuenta. [25]

A continuación resumimos todos los valores de las emisiones en la extracción y procesado de los materiales que posteriormente conformarán el vehículo:



Tabla 4. Emisiones por ud. funcional en la fase de extracción y procesado

MATERIAL	EMISIONES	FUENTE
ACERO	1,9 kg CO ₂ eq/kg acero	[1]
ALUMINIO	8,937 kg CO ₂ eq/kg aluminio	[2]
HIERRO	1.425 kg CO ₂ eq/kg hierro	[3]
COBRE	6,6 kg CO ₂ eq/kg cobre	[5]
CAUCHO	0,66 kg CO ₂ eq/kg látex	[26]
VIDRIO	0,93 kg CO ₂ eq/kg vidrio	[9]
PP	1,5 kg CO ₂ eq/kg PP	[13]
PVC	2,2 kg CO ₂ eq/kg PVC	[13]
PU	2,75 kg CO ₂ eq/kg PU	[6]
HDPE	1,5 kg CO ₂ eq/kg HDPE	[13]

Después de haber obtenido la cantidad de cada material gracias a los modelos básicos de cada vehículo, al multiplicar por los factores de emisión hallados, se obtiene la cifra total de emisiones correspondiente a la primera etapa del ciclo de vida, extracción y procesamiento de materias primas.



3.1.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO

La producción del vehículo es un conjunto de transformaciones que se realizan sobre las materias primas que llegan a la fábrica.

Con anterioridad, se explicó que debido a la alta complejidad de la estructura de los vehículos se aplican modelos porcentuales para obtener la cantidad de materiales que los forman. A la hora de estudiar el proceso productivo, se recurre a un método parecido. El conjunto de transformaciones que se realizan sobre los materiales se puede aproximar a un modelo que contiene una lista de porcentajes de los cuáles se puede calcular qué cantidad de cada material está siendo tratado con un procedimiento u otro.

A continuación se muestra el conjunto de transformaciones y procesos tenidos en cuenta en la producción del automóvil:

- Estampación
- Moldeado del aluminio
- Moldeado del hierro
- Forjado
- Hilado del cobre
- Mecanizado
- Moldeado del caucho
- Moldeado por inyección y soplado
- Calandrado
- Producción de la espuma de PU
- Extrusión
- Soldadura
- Producción de las lunas
- Pintura
- Manejo del material
- Ventilación, iluminación y calefacción de la planta



Tabla 5. Emisiones por kg de material para cada proceso [9], [10]

PROCESO	EMISIONES
Estampación	0,31 kg CO ₂ eq/kg material
Moldeado del aluminio	3,08 kg CO ₂ eq/kg material
Moldeado del hierro	1,69 kg CO ₂ eq/kg material
Hilado del cobre	0,43 kg CO ₂ eq/kg material
Mecanizado	0.115 kg CO ₂ eq/kg material
Forjado	2,61 kg CO ₂ eq/kg material
Moldeado del caucho	0,74 kg CO ₂ eq/kg material
Moldeado por inyección	1,45 kg CO ₂ eq/kg material
Procesado espuma PU	0,27 kg CO ₂ eq/kg material
Moldeado por soplado	1,13 kg CO ₂ eq/kg material
Calandrado	0,36 kg CO ₂ eq/kg material
Extrusión	0,42 kg CO ₂ eq/kg material
Soldadura	62 kg CO ₂ eq
Pintura	268 kg CO ₂ eq
Iluminación, ventilación y calefacción	420 kg CO ₂ eq
Manejo del material	39,5 kg CO ₂ eq

Es importante destacar que los últimos cuatro valores vienen dados como una cantidad absoluta y no relativa, son aproximaciones que nos dan el valor total de las emisiones realizadas para las soldaduras en el coche, todo el proceso de pintura y también las emisiones producidas en la planta por los sistemas de ventilación, iluminación y calefacción, los cuales se dividen entre todas las unidades manufacturadas.

Esta tabla no contiene la totalidad de las transformaciones necesarias para componer un vehículo completo, pero si las de mayor relevancia y frecuencia. En total todos suman el 92,7% de la totalidad de los procesos. Los factores de emisión de cada proceso se han calculado a partir del consumo energético de la maquinaria, siendo las principales fuentes de energía el carbón, el gas natural, y el suministro de la red eléctrica. Los valores son aproximaciones según los factores de emisión de cada fuente, ya que para cada parte del mundo, las emisiones producidas en el uso de cada fuente varían, siendo esta variación más notable en la energía de la red eléctrica. [9]



Ahora se debe obtener la distribución de estas transformaciones a lo largo de la cadena de montaje. Gracias a la obtención del mapa de flujo del vehículo, se conoce la cantidad de material que ha sufrido cada transformación, aunque al igual que con la composición del vehículo, la información es muy escasa, y se debe aproximar a un modelo fijo que se aplicará a todos los vehículos.

Tabla 6 Distribución de las transformaciones sobre la lista de materiales. [9]

PROCESO	PORCENTAJE
ESTAMPACIÓN	ACERO 70%
MECANIZADO	ACERO 30%
MOLDEO	HIERRO 100 %, COBRE 32 %
HILADO DE COBRE	COBRE 68 %
MOLDEADO DE CAUCHO	CAUCHO 100 %
MOLDEADO POR INYECCIÓN	PLÁSTICO 40%
PROCESADO ESPUMA PU	PLÁSTICO 28%
EXTRUSIÓN	PLÁSTICO 16 %
MOLDEADO POR COMPRESIÓN	PLÁSTICO 12 %
MOLDEADO POR SOPLADO	PLÁSTICO 2 %
CALANDRADO	PLÁSTICO 2 %

Utilizando los porcentajes anteriores se obtienen cuántos kg de material han sufrido cada proceso, y al multiplicarlo por el factor de emisión correspondiente, se calculan las emisiones para cada proceso. Se suman todos, y así se obtiene una única cifra, la correspondiente a la emisión total en el proceso de fabricación del vehículo.

Llegados a este punto, se ha obtenido ya un valor de las emisiones realizadas en las dos primeras etapas del ciclo de vida. Se debe tener en cuenta que la precisión del valor hallado depende de la cantidad de procesos que se incluyan en el cálculo. Debido a la compleja estructura de los vehículos actuales, no se pueden tener en cuenta la totalidad de los procesos, pero gracias a la tabla utilizada, se cubre más del 90%, lo cual permite obtener una cifra total de emisiones razonable. En lo relativo a los materiales, los modelos adoptados para



cada tipo de motorización no abarcan el mismo porcentaje, pero todos cubren un mínimo del 96%. [9]

3.2 ANÁLISIS DE LA FASE DE USO

La utilización del vehículo es una parte fundamental en el estudio de las emisiones totales, ya que como se verá más adelante en los resultados, para un vehículo convencional, ya sea de gasolina o diésel, supone la fuente principal de emisiones del ciclo de vida completo.

Para poder obtener los resultados de las emisiones de esta etapa es necesaria la realización de dos ciclos de vida más específicos, los cuales nos proporcionen un valor de las emisiones equivalentes por cada kilómetro recorrido por el vehículo en función de su fuente de energía. Como en este estudio se abarcan los vehículos diésel, gasolina, híbridos y eléctricos, se requieren los factores de emisión del diésel, la gasolina y del mix eléctrico del cual se tome la energía para las baterías.

3.2.1 ANÁLISIS DE VIDA DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

Los combustibles fósiles, al igual que los vehículos, tienen un ciclo de vida compuesto por las mismas etapas de extracción y producción, transporte y posterior uso. Es importante realizar el estudio de las emisiones en las tres primeras porque no solo se emiten gases de efecto invernadero con la quema del propio combustible, sino que también hay una importante emisión durante la etapa de producción del mismo.

Comúnmente a este análisis de ciclo de vida se le denomina “Well-to-Wheels”, que traducido literalmente significa del pozo a la rueda, nombre derivado de abarcar las emisiones desde que se extrae el petróleo del pozo, hasta la quema del combustible ya en el interior del motor para transmitir potencia a las ruedas. Normalmente este WTW se divide a su vez en dos ciclos, “Well-to-Tank”, y “Tank-to-Wheels”. Así se consiguen diferencias entre las emisiones de la fase de extracción y producción del combustible, (WTT) y de la fase de uso (TTW).

En este ámbito el resultado del análisis puede variar en gran manera en función del método empleado para obtener el combustible y el país donde se refina, o la zona geográfica en la que se extrae el petróleo. Por ello, en este trabajo se tomarán datos relativos a refinerías dentro de una determinada zona para que los mismos no varíen demasiado entre sí. La



ventaja de este método es que si se desea realizar el cálculo de las emisiones en una zona diferente, se puede obtener una mayor precisión en el resultado utilizando datos de emisiones en esta zona particular, en vez de usar un valor genérico para todo el mundo lo que haría que el resultado difiriera del real.

La zona seleccionada es la Unión Europea, por la mayor cantidad de información disponible.

Para poder realizar el estudio del ciclo de vida, primero se deben establecer los límites que se van a abarcar. El ciclo de vida completo incluye la extracción del petróleo, su transporte por barco o mediante un oleoducto a una refinería, todo el proceso del refinado, el transporte a una estación de servicio y la posterior quema del combustible en el interior del motor.

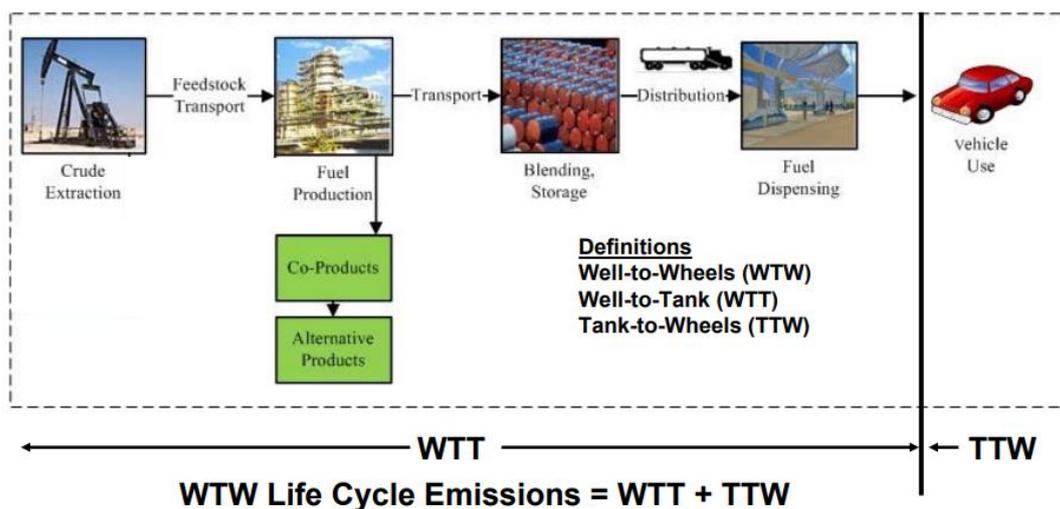


Figura 12. Ciclo de vida completo de los combustibles [28]

La producción de los combustibles comienza con la extracción del petróleo. El petróleo se encuentra en la corteza terrestre, en pozos debajo del océano o en tierra firme. Este petróleo se forma de manera continuada cuando depósitos de restos orgánicos se someten a una presión elevada, aunque como el ritmo de extracción es mucho mayor que el ritmo al cual se forma, se trata de una fuente no renovable de energía.



El refinado del petróleo consiste en un conjunto de procesos y reacciones químicas cuyo objetivo es obtener y tratar las diferentes fracciones del petróleo aislando las de interés para poder tratarlas. Comienza con la separación de los componentes mediante la destilación. Este proceso divide las partes de una mezcla gracias a los diferentes puntos de ebullición, obteniendo las fracciones que interesan para la producción de diésel y gasolina.

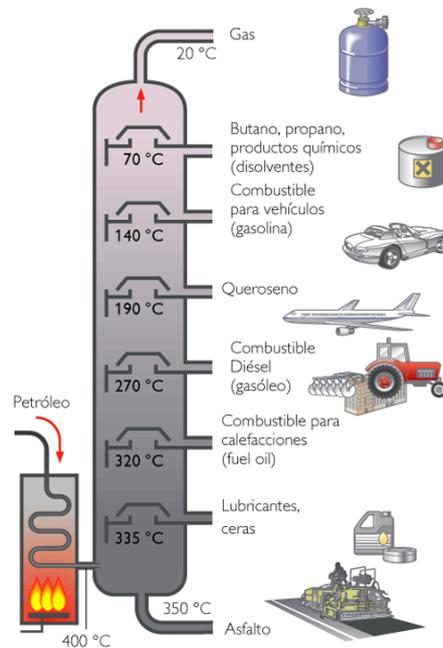


Figura 13. Destilación del petróleo

A continuación las fracciones se someten al craqueo catalítico, antes definido. Este proceso lo que permite es obtener una mayor cantidad de fracciones de interés.

Existe una variante de este proceso, la cual aparte de romper las cadenas pesadas, utiliza además hidrógeno para poder eliminar impurezas como el azufre, las cuales son retiradas en forma de gases.

A lo largo del siglo anterior, el refinado se ha mejorado, a través de numerosos procesos adicionales que aumentan la complejidad del refinado pero que mejoran el rendimiento y la calidad del resultado. Como ejemplos están el reformado catalítico, que permite la obtención de gasolina gracias a naftas obtenidas en la destilación, a través de reacciones que tienen como subproducto el hidrógeno, el cual se utiliza en otras fases de la producción del combustible. También es frecuente la alquilación y la obtención de coque. La alquilación



consiste en añadir un grupo alquilo a una molécula. En la refinación, esto aumenta el octanaje. La producción de coque a partir de fracciones pesadas permite obtener una fuente de energía que se usa en otros puntos del refinado, el coque de petróleo, y también produce moléculas más ligeras que se pueden usar en la producción de gasolina.

Expuesto el procedimiento general para la producción de los carburantes, ahora debemos plantear la unidad funcional que pueda ser utilizada para el cálculo de las emisiones del vehículo en su fase de uso. Al igual que en análisis de la etapa de fabricación, la unidad funcional elegida es el kg CO_{2eq}/km y la cantidad total de kg de CO_{2eq}. Nos encontramos con que la gran mayoría de los estudios en este campo, plantean los resultados en g de CO_{2eq}/MJ, con lo que necesitaremos realizar una serie de factores de conversión para lo que debemos conocer la densidad y el poder calorífico de ambos combustibles:

Tabla 7. Propiedades de los combustibles y factores de emisión [28]

	Diésel	Gasolina
Densidad	0.832 kg/L	0.745 kg/L
Poder calorífico inferior	43,1 MJ/kg	43.2 MJ/kg
Factor de emisión (W.T.T)	15.9 g CO _{2eq} /MJ	14.2 g CO _{2eq} /MJ
Factor de emisión (T.T.W)	73.2 g CO _{2eq} /MJ	73.3 g CO _{2eq} /MJ
Factor de emisión total (W.T.W)	89.1 g CO _{2eq} /MJ	87.5 g CO _{2eq} /MJ

El factor de conversión a realizar es el siguiente:

$$\rho \frac{kg}{L} \cdot PCI \frac{MJ}{kg} \cdot F.E. \frac{g \text{ CO}_{2eq}}{MJ} = \frac{g \text{ CO}_{2eq}}{L}$$

Ahora, para obtener las emisiones totales a lo largo de la vida útil, bastará con fijar un kilometraje medio para el vehículo que queremos estudiar, y conociendo el consumo del mismo, obtendremos los litros totales que ha consumido dicho vehículo en su fase de uso, con lo que podremos despejar las emisiones total de CO_{2eq} emitidas. Si a continuación



dividimos por esta vida útil, lo que obtenemos es la segunda unidad funcional que fijamos al principio, los kg de CO_{2eq}/km.

3.2.2 ANÁLISIS DE LAS EMISIONES DEL MIX ELÉCTRICO

Los vehículos de motorización eléctrica, utilizan la red como fuente de energía. Estos vehículos poseen grandes baterías que almacenan la suficiente energía eléctrica como para poder abastecer al motor durante una cantidad variable de kilómetros, cantidad que depende de la capacidad de las baterías, del modo de conducción o de la velocidad.

Al igual que con los vehículos de combustión interna, no se deben tener en cuenta las emisiones únicamente durante el uso del vehículo, ya que en el caso de los eléctricos, serían nulas. Un error muy común en el consumidor es pensar que un vehículo eléctrico produce cero emisiones en su uso, cuando la realidad es muy distinta. Se deben tener en cuenta las emisiones producidas a la hora de generar dicha energía eléctrica que abastece al coche. El denominado mix eléctrico es la combinación de todas las fuentes de energía eléctrica de un país. Este mix varía de manera muy significativa de un país a otro, existen países con una fuerte dependencia del carbón, con muy poca presencia de las fuentes renovables, como puede ser el caso de China, y otros países en el extremo opuesto, con una fuerte inversión por la energía renovable, como países como Noruega y Suecia, donde la energía hidroeléctrica supone una gran parte de su mix energético. Como se verá más adelante, en función del mix eléctrico utilizado, las emisiones totales por el uso de un vehículo 100% eléctrico pueden llegar a ser mayores en ciertos países cuyo mix depende en gran medida de combustibles fósiles como carbón o gas.

Para realizar un análisis de ciclo de vida de un determinado mix eléctrico, se deben estudiar todas las fuentes de energía que lo componen, para incluir la totalidad de las emisiones realizadas. Para cada una de las fuentes, se debe incluir cualquier emisión realizada a la hora de extraer las materias primas, su transporte, y la propia producción en la planta. Dependiendo del tipo de fuente, las emisiones por la extracción o producción varían enormemente.

Actualmente las más comunes a nivel global son las fuentes no renovables de energía. Estudiando el caso español, apoyándonos en el informe anual de Red Eléctrica de España:

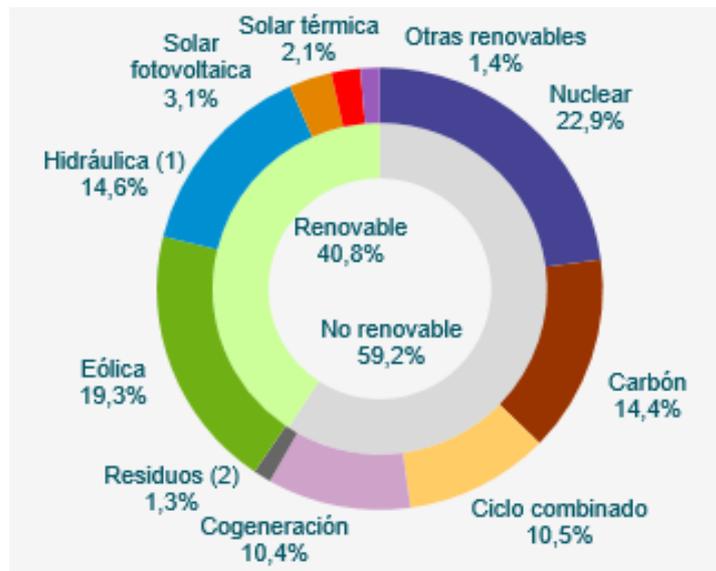


Imagen 1. Mix eléctrico español año 2016 [30]

Como fuentes de energía no renovables nos encontramos con las centrales nucleares, carbón, ciclo combinado y cogeneración.

Como el impacto del mix energético varía enormemente de un país a otro, se toman valores de varios países diferentes para poder apreciar mejor el impacto del uso de vehículos de motorización eléctrica.

Tabla 8. Huella de carbono de diferentes mix energéticos [31], [32], [33]

España	341 g CO _{2eq} /kWh
Media europea	447 g CO _{2eq} /kWh
Suecia	47 g CO _{2eq} /kWh
Estados Unidos	670 g CO _{2eq} /kWh
China	900 g CO _{2eq} /kWh



El cálculo de las emisiones se realiza gracias al consumo del vehículo, el cual nos permite hallar la cantidad de kWh consumidos para la vida útil fijada, y con ello despejar las emisiones igual que se hizo con los vehículos de combustión interna.

Más adelante en los resultados se realiza el cálculo de las emisiones de la fase de uso para cada factor de emisión, con lo que se puede apreciar cómo la utilización de un vehículo eléctrico puede llegar a tener un impacto tan grande como el de un vehículo de combustión interna.

3.3 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LAS BATERÍAS

El propósito de este estudio aparte es aplicar la misma metodología que se ha utilizado con los vehículos, y trasladarlo a las baterías. Los vehículos con motorización eléctrica o híbrida, constan de unas baterías más complejas y mayores, que no tienen nada que ver con las baterías presentes en los coches desde el siglo veinte. Estas primeras poseen un proceso de fabricación fuente de una cantidad de gases contaminantes considerable, por lo que requieren de un estudio aparte igual que se hizo con los combustibles o con el mix energético.

Las baterías de coches híbridos y eléctricos han sido investigadas en los últimos años como parte fundamental del desarrollo de estos vehículos. Los primeros modelos eléctricos carecían de una batería eficiente que le proveyese de una autonomía capaz de plantar cara a la de los vehículos convencionales. La mejora ha permitido a los fabricantes diseñar vehículos alternativos con una autonomía útil que se adapta a las necesidades del comprador.

Actualmente de todos los modelos disponibles, los que más están siendo investigados por su eficiencia y potencial de mejora son las baterías de iones de litio [19]. Dentro de las baterías de litio, para este estudio se toman las baterías LFP, que utilizan como material para el cátodo el LiFePO_4 .

La unidad funcional debe ser capaz de proporcionar las emisiones de la batería independientemente de la capacidad de esta, por ello se fija en $\text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{Wh}$. De esta manera, conociendo la capacidad máxima en kWh de la batería de cada vehículo, podremos obtener sus emisiones.



Al igual que con los vehículos, se debe identificar el ciclo de vida de la batería. Naturalmente, este ciclo constará de las fases de extracción de materiales, producción, y uso. La fase de reciclado de las baterías LFP aún no se ha implantado por motivos económicos, y los métodos utilizados para otras baterías de litio no son asequibles para las LFP [17], por lo que el reciclado consiste en transportar la batería por carretera a un vertedero, motivo por el cual no se incluye en el estudio.

Con todo esto, el ciclo de vida de una batería actualmente es:



Imagen 2. Ciclo de vida de una batería LFP [17]

De todo el proceso de producción, cabe destacar la fabricación del cátodo, y la obtención del material que lo compone, el LiFePO_4 . Este compuesto se obtiene a través de Li_2CO_3 mediante un proceso que trabaja a dos temperaturas diferentes, primero a $400\text{-}500\text{ }^\circ\text{C}$ y posteriormente una subida a $700\text{-}800\text{ }^\circ\text{C}$ [17]. El ánodo utilizado suele ser de grafito cubierto con láminas de cobre.

Las emisiones de todo el proceso de fabricación se obtuvieron a través de la base de datos de EcoInvent. El valor final obtenido para todo el proceso de producción es de $0.161\text{ kg CO}_2\text{ eq/Wh}$. [19]

La fase de uso de la batería también se debe tener en cuenta, ya que no solo se realizan emisiones de gases al producirla. En la mayor parte de estudios en este campo, se modela la fase de uso como las pérdidas de electricidad en la batería durante su vida útil. [17, 18]

Para las emisiones de la fase de uso, hay que realizar un cálculo diferente en caso de los vehículos híbridos enchufables, y los puramente eléctricos. Esto se debe a que un PHEV no funciona la totalidad de su vida útil en modo eléctrico. Es por ello que se debe establecer un perfil de conducción aproximado, en el que se establezca qué tiempo promedio funciona con el motor eléctrico y qué periodo lo hace con el motor de combustión.



Se considera que el usuario medio de un vehículo híbrido enchufable realiza un recorrido habitual por ciudad, sin recorrer distancias largas que excedan la autonomía puramente eléctrica, aunque para que se acerque lo más posible al caso real, también se debe considerar un porcentaje de tiempo de funcionamiento con el motor de combustión.

Tabla 9. Modelo de conducción de los PHEV [Fuente propia]

Modo eléctrico	75%
Modo diésel/gasolina	25%

Los porcentajes tomados para cada modo de funcionamiento influirán posteriormente en los cálculos de las emisiones de la fase de uso del vehículo y de la propia batería.

Para calcular las pérdidas en la fase de uso, necesitamos conocer la vida útil de la batería. Primero, se debe tomar una cifra de número de cargas de la batería, el cual se fija en 3000. A continuación, sabiendo que las baterías no se descargan por completo, si no que un porcentaje de la carga no se utiliza, para alargar la vida útil de la batería, el cual se fija en un 80% de la capacidad total [22] y con la capacidad de la batería, obtenemos los kWh utilizados a lo largo de la vida útil.

$$3000 \text{ ciclos} \cdot 0.8 \cdot 14 \text{ kWh} = 33600 \text{ kWh}$$

Fijando un consumo eléctrico para un PHEV medio en 22 kWh/100 km y 5.6 litros/100 km [23], se calculan los km recorridos en modo eléctrico:

$$\frac{33600 \text{ kWh}}{22 \frac{\text{kWh}}{100 \text{ km}}} \approx 150000 \text{ km}$$

Siendo esto el 75% de la distancia recorrida, si tenemos en cuenta también los km recorridos con el modo de combustión interna, la vida útil de la batería alcanza los:

$$150000 \text{ km} \cdot \frac{100}{75} = 200000 \text{ km}$$



Se considera que la vida útil de un vehículo híbrido o eléctrico es la misma que la vida útil de su batería, ya que reemplazar la batería de fábrica por una nueva implica una inversión alta, aparte de que es poco probable que el usuario agote de nuevo la batería.

Tomando un valor del 90% para la eficiencia de la batería [18], [20], calculamos las pérdidas internas en la batería a lo largo de la vida útil como un 10% del total de los kWh totales, antes calculados:

$$33600 \text{ kWh} \cdot 0.1 = 3360 \text{ kWh}$$

Si gracias al estudio del mix energético se obtuvieron los kg de CO_{2eq} este resultado se traduce en:

$$3360 \text{ kWh} \cdot 0.341 \frac{\text{kg } CO_{2eq}}{\text{kWh}} = 1145,76 \text{ kg } CO_{2eq}$$

Para los vehículos eléctricos, no se debe realizar un modelo de uso del coche, ya que el funcionamiento será 100% eléctrico.

En la fase de producción de la batería, se toma el mismo valor de emisiones, el cual dependía de la capacidad total de la misma. En la fase de uso, los cálculos para las emisiones por las pérdidas internas son iguales. Se tomará un número de cargas menor, 1000 ciclos, debido a que las baterías que incorporan los vehículos eléctricos poseen una mayor capacidad, manteniendo un consumo eléctrico parecido o incluso menor en ciertos modelos, por lo que la batería dura más. Procediendo de la misma manera que con el PHEV, se obtiene la vida útil de la batería que tomaremos como vida útil del vehículo, y a partir del mismo valor de eficiencia interna se obtienen las pérdidas internas de la batería.

Como modelo de batería en un EV actual, se toma una batería de 40 kWh, y un consumo medio para el vehículo eléctrico de 14,5 kWh/100 km. Este valor se obtiene a partir de la estimación para 2020 del consumo de un vehículo eléctrico y de datos del consumo de los mismos en 2010. [16]

Repitiendo los cálculos desarrollados en el PHEV, obtenemos la vida útil del EV:

$$1000 \text{ ciclos} \cdot 0.8 \cdot 40 \text{ kWh} = 32000 \text{ kWh}$$



$$\frac{32000 \text{ kWh}}{14,5 \frac{\text{kWh}}{100\text{km}}} \approx 220000 \text{ km}$$

En un híbrido convencional, la batería para la movilidad eléctrica es de menor capacidad y no se carga directamente de la red, sino que lo hace con el propio funcionamiento del motor de combustión. La batería se modela de 16 kg de peso y 1,6 kWh [31]. No se realizan cálculos sobre la parte del uso de la batería, ya que esta no conlleva pérdidas internas al no necesitar de carga externa.

Para finalizar este análisis de ciclo de vida, faltaría estudiar las emisiones por la fabricación de las baterías convencionales presentes en vehículos diésel y gasolina.

Estas baterías tienen un tamaño más reducido con un peso que suele rondar los 15 kg. El principal componente es el plomo, un material con una gran tasa de reciclado en Europa, lo que hace que las emisiones de la fase de producción se reduzcan. Como además las emisiones en la fase de uso son inexistentes, se llega a la conclusión de que se pueden despreciar al ser un valor muy pequeño en comparación con las emisiones del resto del vehículo. [21]

4. RESULTADOS

4.1 ICEV Gasolina

4.1.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES

Los cálculos de la etapa de fabricación comienzan con la extracción y procesado de los materiales. Gracias al modelo, se obtienen los kg de cada material presente en el vehículo a partir del peso de este.

Ayudándonos de la base de datos del IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía) obtenemos características técnicas de cada vehículo como peso y consumo.

A partir del valor del peso, comenzamos obteniendo la lista de los materiales que componen los modelos seleccionados.



Tabla 10. Selección de vehículos gasolina

MODELO	CONSUMO	PESO
Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	6 litros/100 km	1568 kg
Honda Civic 4DR 1.5i VTEC	5,7 litros/100 km	1382 kg
Seat Leon 1.2 TSI	5,1 litros/100 km	1213 kg

Tabla 11. Lista de materiales de los ICEV gasolina

	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
Modelo	Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	Honda Civic 4DR 1.5i VTEC	Seat Leon 1.2 TSI
Acero	967,456	852,694	748,421
Hierro	174,048	153,402	134,643
Aluminio fundido	73,696	64,954	57,011
Aluminio forjado	34,496	30,404	26,686
Cobre	29,792	26,258	23,047
Vidrio	45,472	40,078	35,177
Plástico	175,616	154,784	135,856
Caucho	37,632	33,168	29,112
TOTAL CUBIERTO	1538,208	1355,742	1189,953

Dentro de los plásticos también debemos calcular los kg de cada uno, pues se conocen los factores de emisión para cada uno, lo que hace necesario obtener cuántos kg hay presentes de cada uno:

Tabla 12. Relación de plásticos ICEV gasolina

	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	Honda Civic 4DR 1.5i VTEC	Seat Leon 1.2 TSI
PVC	38,232	33,696	29,576
PP	66,541	58,648	51,476



PU	49,102	43,278	37,985
HDPE	21,741	19,162	16,819
TOTAL	175,616	154,784	135,856

Conociendo la cantidad de cada material presente en el vehículo, obtenemos las emisiones en la extracción y procesamiento de los mismos, gracias a los factores de emisión de cada uno:

Tabla 13. Emisiones por la extracción y procesado ICEV gasolina

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	Honda Civic 4DR 1.5i VTEC	Seat Leon 1.2 TSI
Acero	1838,166	1620,119	1422,000
Hierro	330,691	291,464	255,822
Aluminio	966,912	852,214	748,000
Cobre	196,627	173,303	152,110
Vidrio	42,289	37,273	32,715
Plástico	351,564	309,861	271,969
Caucho	24,837	21,891	19,214
TOTAL	3751,087	3306,124	2901,829

Las emisiones totales en la extracción de los materiales para el plástico se obtienen sumando las emisiones de la extracción para cada uno de los cuatro tipos de plástico predominantes.

Tabla 14. Emisiones para cada tipo de plástico ICEV gasolina

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	Honda Civic 4DR 1.5i VTEC	Seat Leon 1.2 TSI
PVC	84,110	74,132	65,067
PP	99,811	87,971	77,214



PU	135,031	119,013	104,460
HDPE	32,612	28,743	25,228
TOTAL	351,564	309,861	271,969

4.1.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO

Terminada la primera fase, se continúan los cálculos con la fase de producción. Para obtener los resultados, se utilizan los factores de emisión y la distribución de transformaciones que se presentaron en la sección 3.1.2. El cálculo consiste en hallar primeramente los kg de material que sufren cada transformación, gracias a la tabla 6, y posteriormente, al conocer el factor de emisión de cada proceso, se obtiene la emisión de la fase de producción:

$$A \text{ kg de acero} * 70\% \text{ acero estampado} = B \text{ kg acero estampado}$$

$$B \text{ kg de acero estampado} * 0,31 \frac{\text{kg } CO_2 \text{ eq}}{\text{kg acero estampado}} = C \text{ kg } CO_2 \text{ eq}$$

Repetiendo esto con toda la lista, obtenemos la cantidad de material clasificado por proceso sufrido:

Tabla 15. Cantidad de material por transformación ICEV gasolina

Transformación	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	Honda Civic 4DR 1.5i	Seat Leon 1.2 TSI
Estampación	677,219	596,886	523,895
Forjado	34,496	30,404	26,686
Moldeado de metales	257,277	226,759	199,029
Hilado del cobre	20,259	17,855	15,672
Mecanizado	290,237	255,808	224,526
Moldeado del caucho	37,632	33,168	29,112
Plástico			
Moldeado por inyección	70,246	61,914	54,342
Thermoset	47,416	41,792	36,681



Extrusión	28,099	24,765	21,737
Moldeado por compresión	22,830	20,122	17,661
Moldeado por soplado	3,512	3,096	2,717
Calandrado	3,512	3,096	2,717

Ahora, multiplicando por el factor de emisión de cada transformación:

Tabla 16. Emisiones de la fase de producción ICEV gasolina

Transformación	Cantidad (kg CO₂ eq)	Cantidad (kg CO₂ eq)	Cantidad (kg CO₂ eq)
Modelo	Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	Honda Civic 4DR 1.5i	Seat Leon 1.2 TSI
Estampación	209,938	185,035	162,407
Forjado	90,035	79,354	69,650
Moldeado de metales	537,236	473,508	415,604
Hilado del cobre	8,711	7,678	6,739
Mecanizado	33,377	29,418	25,821
Moldeado del caucho	27,848	24,544	21,543
Plástico			
Moldeado por inyección	101,857	89,775	78,796
Thermoset	12,802	11,284	9,904
Extrusión	11,801	10,401	9,130
Moldeado por compresión	16,894	14,890	13,069
Moldeado por soplado	3,969	3,498	3,070
Calandrado	1,264	1,114	0,978
Pintura	268,000	268,000	268,000
Soldadura	62,000	62,000	62,000
Iluminación y ventilación	225,000	225,000	225,000
Calefacción	195,000	195,000	195,000
Manejo del material	39,500	39,500	39,500
TOTAL	1845,234	1720,000	1606,212



Con esto obtenemos las emisiones de dióxido de carbono equivalente para la fase de producción.

4.1.3 FASE DE USO

Continuamos ahora con la fase de uso del vehículo. Las emisiones de esta parte dependen del tipo de combustible que utilice, diésel o gasolina, y del consumo del vehículo.

El cálculo se basa en obtener los litros utilizados por el vehículo a lo largo de su ciclo de vida, establecido en 250.000 km para los ICEV y gracias a las propiedades de la tabla 7 y de los resultados del análisis de ciclo de vida de los combustibles realizado en el apartado 3.2, calcularemos las emisiones totales de la fase de uso.

Este cálculo se dividirá en dos, primero para la fase “WTT”, es decir la extracción, refinado y transporte del combustible, y a continuación el cálculo para la fase “TTW”, la quema del combustible.

$$d \frac{kg}{litro} \cdot PCI \frac{MJ}{kg} \cdot f.e. \frac{kg CO_{2eq}}{MJ} \cdot X \text{ litros} = Y \text{ kg CO}_{2eq}$$

El factor de emisión “f.e.”, es la cantidad de gases emitidos por MJ, son dos valores, se conocen dos, uno para la fase “WTT” y otro para “TTW”.

Tabla 17. Emisiones ICEV gasolina fase de uso

MODELO	WTT	TTW
Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	6855,192 kg CO _{2 eq}	35386,308 kg CO _{2 eq}
Honda Civic 4DR 1.5i VTEC	6512,4324 kg CO _{2 eq}	33616,9926 kg CO _{2 eq}
Seat Leon 1.2 TSI	5826,9132 kg CO _{2 eq}	30078,3618 kg CO _{2 eq}

4.1.4 EMISIONES TOTALES

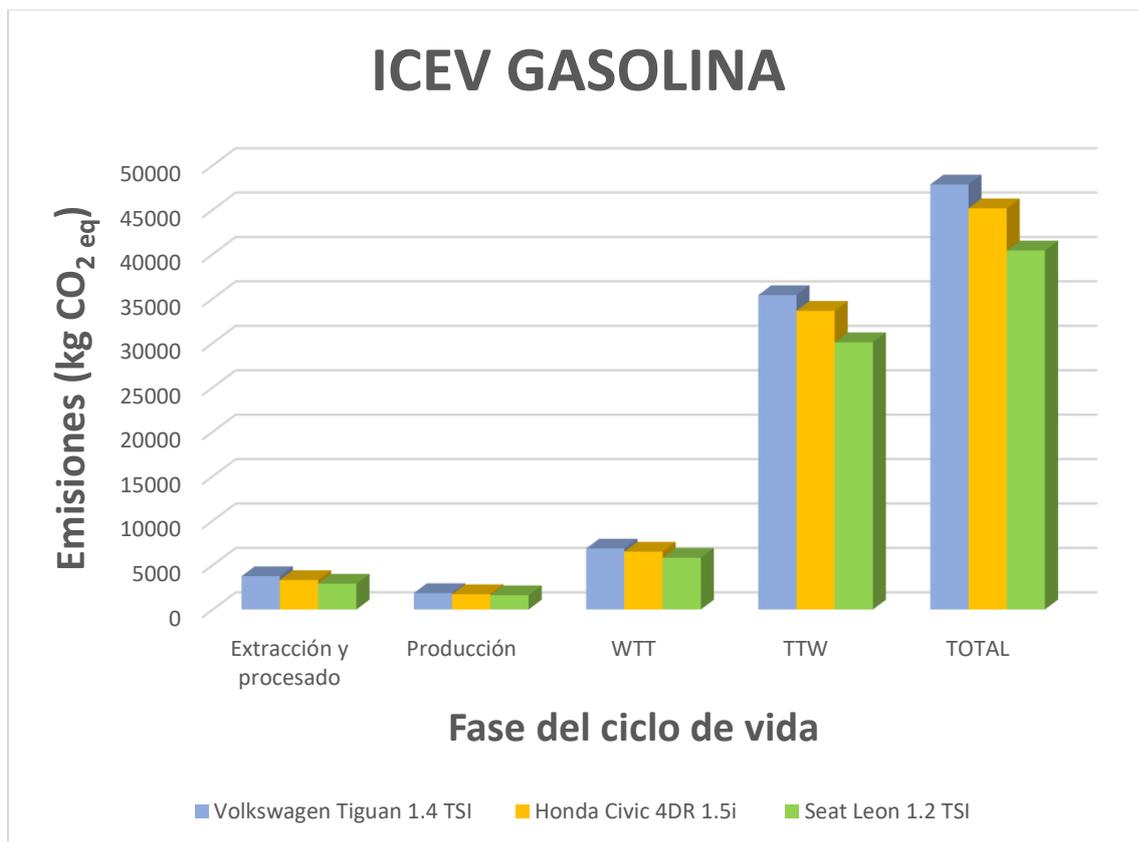
Sumando todos los valores de emisiones obtenidos, se alcanzan el valor final que será expresado con las unidades funcionales que se fijaron al comienzo.



Tabla 18. Emisiones ICEV gasolina totales

MODELO	EMISIONES TOTALES	EMISIONES POR KILÓMETRO
Volkswagen Tiguan 1.4 TSI	47837,820 kg CO ₂ eq	0,19135 kg CO ₂ eq/km
Honda Civic 4DR 1.5i VTEC	45155,549 kg CO ₂ eq	0,18062 kg CO ₂ eq/km
Seat Leon 1.2 TSI	40413,316 kg CO ₂ eq	0,16165 kg CO ₂ eq/km

Ayudándonos de la plantilla de Excel, graficamos las emisiones de cada fase para una visualización más sencilla de la distribución de las emisiones.



Se aprecia claramente cómo la etapa de uso implica una gran parte de las emisiones a lo largo de toda la vida del vehículo, en especial la fase “TTW (del tanque a las ruedas).



4.2 ICEV Diésel

4.2.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES

Se procede de manera idéntica al apartado anterior. Se seleccionan diferentes modelos y conociéndose el peso se calculan los kg de cada material y las emisiones realizadas durante la extracción de los mismos:

Tabla 19. Selección de vehículos diésel

MODELO	CONSUMO	PESO
Mazda CX-5	5,4 litros/100 km	1505 kg
Golf Sportsvan 1.6	4,2 litros/100 km	1420 kg
Ford Focus 1.6 TDCi	4,4 litros/100 km	1357 kg

Continuamos aplicando el modelo para obtener la composición por materiales de cada uno:

Tabla 20. Lista de materiales de los ICEV diésel

	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
Modelo	Mazda CX-5	Golf Sportsvan 1.6	Ford Focus 1.6 TDCi
Acero	967,456	852,694	748,421
Hierro	174,048	153,402	134,643
Aluminio fundido	73,696	64,954	57,011
Aluminio forjado	34,496	30,404	26,686
Cobre	29,792	26,258	23,047
Vidrio	45,472	40,078	35,177
Plástico	175,616	154,784	135,856
Caucho	37,632	33,168	29,112
TOTAL CUBIERTO	1538,208	1355,742	1189,953



Tabla 21. Relación de plásticos ICEV diésel

	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	Mazda CX-5	Golf Sportsvan 1.6	Ford Focus 1.6 TDCi
PVC	38,232	33,696	29,576
PP	66,541	58,648	51,476
PU	49,102	43,278	37,985
HDPE	21,741	19,162	16,819
TOTAL	175,616	154,784	135,856

Obtenidos la cantidad que tenemos presente en cada modelo apoyándonos en los factores de emisión de cada material, podemos hallar las emisiones realizadas en la primera fase del ciclo de vida de los vehículos diésel.

Tabla 22. Emisiones por la extracción y procesado ICEV diésel

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Mazda CX-5	Golf Sportsvan 1.6	Ford Focus 1.6 TDCi
Acero	1764,312	1664,666	1590,811
Hierro	317,405	299,478	286,191
Aluminio	928,063	875,647	836,798
Cobre	188,727	178,068	170,168
Vidrio	40,590	38,297	36,598
Plástico	337,439	309,861	304,255
Caucho	23,839	22,493	21,495
TOTAL	3600,373	3397,030	3246,317



Obtenemos el valor de las emisiones para los plásticos conociendo los kg de cada uno de los 4 tipos presentes y su factor de emisión, posteriormente, se suman y se llega a los valores de la tabla previa.

Para cada uno de los plásticos se contabilizan unas emisiones:

Tabla 23. Emisiones para cada tipo de plástico ICEV diésel

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Mazda CX-5	Golf Sportsvan 1.6	Ford Focus 1.6 TDCi
PVC	80,730	76,171	72,791
PP	95,801	90,390	86,380
PU	129,606	122,286	116,860
HDPE	31,302	29,534	28,223
TOTAL	337,439	318,381	304,255

Así se concluye la fase de extracción y procesado de materiales.

4.2.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO

La fase de manufactura se basa en conocer el conjunto de transformaciones que sufren los materiales a lo largo de la cadena de montaje. Al igual que con el apartado 4.1.2, aplicando el modelo conocido y mediante los mismos cálculos se procede a hallar la cantidad de kg que pasan por cada transformación, y conociendo el factor de emisión de la misma por cada kg, se obtienen las emisiones tanto de cada una como del total del proceso de producción.

Para los tres modelos elegidos:



Tabla 24. Cantidad de material por transformación ICEV diésel

Transformación	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	Mazda CX-5	Golf Sportsvan 1.6	Ford Focus 1.6 TDCi
Estampación	650,010	613,298	586,088
Forjado	33,110	31,240	29,854
Moldeado de metales	246,940	232,994	222,657
Hilado del cobre	19,445	18,346	17,532
Mecanizado	278,576	262,842	251,181
Moldeado del caucho	36,120	34,080	32,568
Plástico			
Moldeado por inyección	67,424	63,616	60,794
Thermoset	45,511	42,941	41,036
Extrusión	26,970	25,446	24,317
Moldeado por compresión	21,913	20,675	19,758
Moldeado por soplado	3,371	3,181	3,040
Calandrado	3,371	3,181	3,040



Tabla 25. Emisiones de la fase de producción ICEV diésel

Transformación	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Mazda CX-5	Golf Sportsvan 1.6	Ford Focus 1.6 TDCi
Estampación	201,503	190,122	181,687
Forjado	86,417	81,536	77,919
Moldeado de metales	515,651	486,528	464,942
Hilado del cobre	8,361	7,889	7,539
Mecanizado	32,036	30,227	28,886
Moldeado del caucho	26,729	25,219	24,100
Plástico			
Moldeado por inyección	97,765	92,243	88,151
Thermoset	12,288	11,594	11,080
Extrusión	11,327	10,687	10,213
Moldeado por compresión	16,215	15,300	14,621
Moldeado por soplado	3,809	3,594	3,435
Calandrado	1,214	1,145	1,094
Pintura	268,000	268,000	268,000
Soldadura	62,000	62,000	62,000
Iluminación y ventilación	225,000	225,000	225,000
Calefacción	195,000	195,000	195,000
Manejo del material	39,500	39,500	39,500
TOTAL	1802,816	1745,585	1703,167

4.2.3 FASE DE USO

Para la fase de uso se requiere un valor de vida media para que conociendo el consumo del vehículo, se obtengan los litros totales de combustible consumidos durante la vida útil. A partir de este valor, con la misma fórmula que en apartado anterior, se obtienen dos resultados, uno para las emisiones de la fase “WTT” de ese volumen de combustible, y otro para la fase “TTW”.



Para el vehículo de combustión interna diésel., se toma como kilometraje 250.000 km, igual que en el caso de gasolina. Realizando los mismos cálculos que en el apartado 4.1.3, llegamos a los siguientes resultados:

Tabla 26. Emisiones ICEV diésel fase de uso

MODELO	WTT	TTW
Mazda CX-5	7697,177 kg CO ₂ eq	35436,061 kg CO ₂ eq
Golf Sportsvan 1.6	5986,693 kg CO ₂ eq	27561,381 kg CO ₂ eq
Ford Focus 1.6 TDCi	6271,774 kg CO ₂ eq	28873,828 kg CO ₂ eq

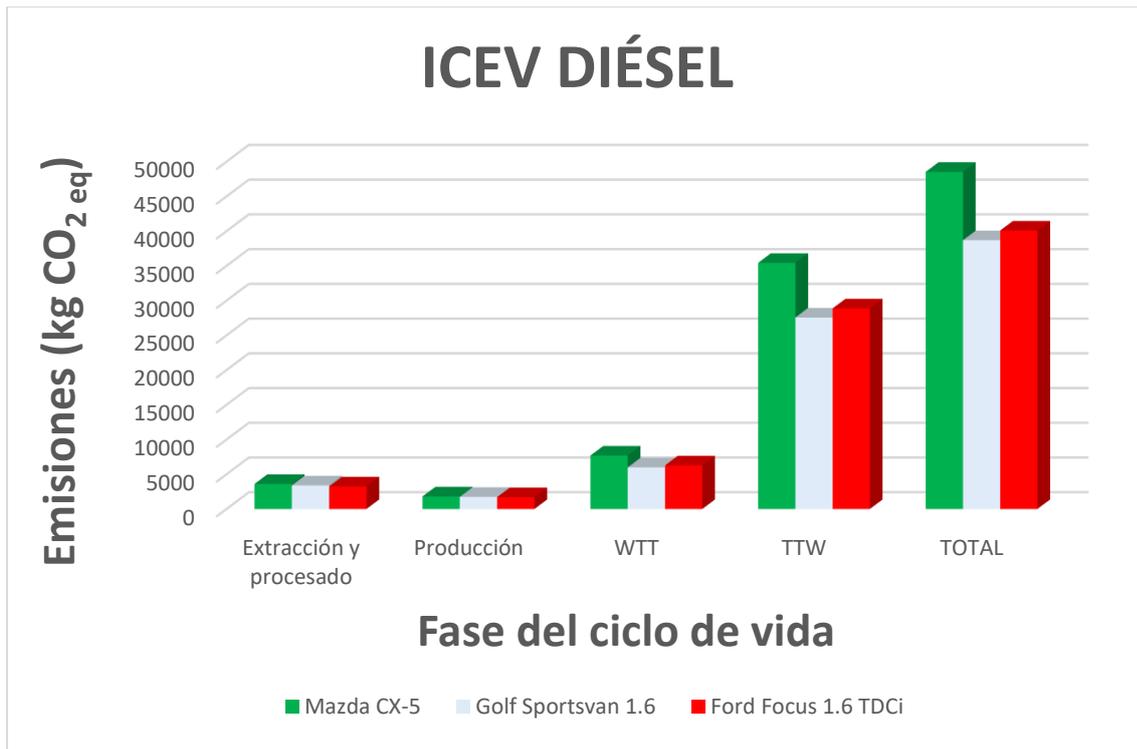
4.2.4 EMISIONES TOTALES

Obtenidas las emisiones para cada fase del ciclo de vida, se obtienen los resultados finales con las dos unidades funcionales fijadas:

Tabla 27. Emisiones ICEV diésel totales

MODELO	EMISIONES TOTALES	EMISIONES POR KILÓMETRO
Mazda CX-5	48536,428 kg CO ₂ eq	0,19415 kg CO ₂ eq/km
Golf Sportsvan 1.6	38690,690 kg CO ₂ eq	0,15476 kg CO ₂ eq/km
Ford Focus 1.6 TDCi	40095,086 kg CO ₂ eq	0,16038 kg CO ₂ eq/km

Para una mejor visualización de los resultados, reunimos todos en un mismo diagrama de Excel:



4.3 HEV

4.3.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE LOS MATERIALES

Para los vehículos híbridos, se toma el segundo modelo de composición que se reflejó en la tabla 2. Recurriendo a la base de datos del IDAE se seleccionan 3 modelos diferentes de vehículos híbridos:

Tabla 28. Selección de vehículos híbridos

MODELO	CONSUMO	PESO
Hyundai Ionic GDI 1.6	3,4 litros/100 km	1445 kg
Toyota Auris Hybrid 2015	3,6 litros/100 km	1310 kg
Toyota Yaris Hybrid 2015	3,3 litros/100 km	1165 kg

Aplicando los porcentajes del modelo para el HEV, se calculan los kg de cada material para cada uno de los modelos:



Tabla 29. Lista de materiales de los HEV

	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
Modelo	Hyundai Ionic GDI 1.6	Toyota Auris Hybrid 2015	Toyota Yaris Hybrid 2015
Acero	942,14	854,12	759,58
Hierro	86,7	78,6	69,9
Aluminio fundido	73,695	66,81	59,415
Aluminio forjado	26,01	23,58	20,97
Cobre	62,135	56,33	50,095
Vidrio	41,905	37,99	33,785
Plástico	153,17	138,86	123,49
Caucho	27,455	24,89	22,135
TOTAL CUBIERTO	1413,21	1281,18	1139,37

Tabla 30. Relación de plásticos HEV

	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	Hyundai Ionic GDI 1.6	Toyota Auris Hybrid 2015	Toyota Yaris Hybrid 2015
PVC	33,345	30,230	26,884
PP	58,036	52,614	46,790
PU	42,826	38,825	34,528
HDPE	18,962	17,191	15,288
TOTAL	153,17	138,86	123,49

Al poseer todos los kg de material que conforman el coche, se calculan las emisiones totales de esta fase multiplicándolos por su respectivo factor de emisión:



Tabla 31. Emisiones por la extracción y procesado HEV

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Hyundai Ionic GDI 1.6	Toyota Auris Hybrid 2015	Toyota Yaris Hybrid 2015
Acero	1790,066	1622,828	1443,202
Hierro	123,548	112,005	99,608
Aluminio	891,064	807,815	718,401
Cobre	410,091	371,778	330,627
Vidrio	38,972	35,331	31,420
Plástico	305,197	276,684	246,059
Caucho	18,120	16,427	14,609
TOTAL	3577,057	3242,869	2883,925

Al igual que en los apartados anteriores, la emisión total en la extracción y procesado de los plásticos se obtiene a partir de la suma de las emisiones de cada uno de los cuatro tipos presentes.

Tabla 32. Emisiones para cada tipo de plástico HEV

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Hyundai Ionic GDI 1.6	Toyota Auris Hybrid 2015	Toyota Yaris Hybrid 2015
PVC	73,359	66,506	59,144
PP	87,054	78,921	70,186
PU	116,340	105,471	93,797
HDPE	28,444	25,786	22,932
TOTAL	305,197	276,684	246,059



4.3.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO

Una vez finalizados los cálculos de la primera fase del ciclo de vida podemos avanzar con el cálculo de las emisiones en la producción. El cálculo utiliza las mismas fórmulas que en los dos casos previos, apoyándose en porcentajes para obtener los kg de material que sufren cada transformación, para después hallar los kg CO₂ eq a partir del factor de emisión de cada proceso.

Tabla 33. Cantidad de material por transformación HEV

Transformación	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	Hyundai Ionic GDI 1.6	Toyota Auris Hybrid 2015	Toyota Yaris Hybrid 2015
Estampación	659,498	597,884	531,706
Forjado	26,01	23,580	20,970
Moldeado de metales	180,2782	163,436	145,345
Hilado del cobre	42,2518	38,304	34,065
Mecanizado	282,642	256,236	227,874
Moldeado del caucho	27,455	24,890	22,135
Plástico			
Moldeado por inyección	61,268	55,544	49,396
Thermoset	41,3559	37,492	33,342
Extrusión	24,5072	22,218	19,758
Moldeado por compresión	19,9121	18,052	16,054
Moldeado por soplado	3,063	2,777	2,470
Calandrado	3,063	2,777	2,470



Tabla 34. Emisiones de la fase de producción HEV

Transformación	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Hyundai Ionic GDI 1.6	Toyota Auris Hybrid 2015	Toyota Yaris Hybrid 2015
Estampación	204,444	185,344	164,829
Forjado	67,886	61,544	54,732
Moldeado de metales	407,106	369,072	328,221
Hilado del cobre	18,168	16,471	14,648
Mecanizado	32,504	29,467	26,206
Moldeado del caucho	20,317	18,419	16,380
Plástico			
Moldeado por inyección	88,839	80,539	71,624
Thermoset	11,166	10,123	9,002
Extrusión	10,293	9,331	8,299
Moldeado por compresión	14,735	13,358	11,880
Moldeado por soplado	3,462	3,138	2,791
Calandrado	1,103	1,000	0,889
Pintura	268,000	268,000	268,000
Soldadura	62,000	62,000	62,000
Iluminación y ventilación	225,000	225,000	225,000
Calefacción	195,000	195,000	195,000
Manejo del material	39,500	39,500	39,500
TOTAL	1669,523	1587,306	1498,999

4.3.3 FASE DE USO

Las emisiones en la fase de uso dependen fundamentalmente de dos factores, la vida media del vehículo y del consumo. Para los vehículos de combustión interna se fijó un valor de 250.000 km debido a que esta tecnología está más perfeccionada y permite una mayor duración. En cambio, para los vehículos que poseen una motorización eléctrica, ya sea parcial



o total, la vida media del vehículo normalmente viene definida por la duración de la batería. En los vehículos híbridos, la duración media estimada es de 200.000 km.

Las emisiones en la fase de uso al igual que en otros apartados, se calcula a partir del kilometraje realizado por el vehículo. Con esto se obtiene una cantidad de litros totales consumidos en la vida útil, y conociendo los factores de emisión de la fase “WTT” y “TTW”, obtenemos las emisiones realizadas tanto en la producción del fuel como en la quema del mismo.

Cabe destacar que aunque el vehículo tenga parte eléctrica, esta no se carga de la red, si no con el propio funcionamiento del vehículo, con lo que no es oportuno incluir las emisiones por los kWh consumidos a lo largo de la vida útil.

Tomando los datos de consumos previamente reflejados, se obtienen unos valores para cada coche de:

Tabla 35. Emisiones HEV fase de uso

MODELO	WTT	TTW
Hyundai Ionic GDI 1.6	3107,687 kg CO ₂ eq	16041,793 kg CO ₂ eq
Toyota Auris Hybrid 2015	3290,492 kg CO ₂ eq	16985,428 kg CO ₂ eq
Toyota Yaris Hybrid 2015	3016,284 kg CO ₂ eq	15569,976 kg CO ₂ eq

4.3.4 EMISIONES DE LA BATERÍA

Aunque la batería no produzca emisiones durante su uso ya que no se carga de la red eléctrica, sí que presenta emisiones debido a las dos primeras fases de su ciclo de vida, la extracción de los materiales y la manufactura.

Según el modelo planteado en el análisis de ciclo de vida de las baterías, una capacidad de 1,6 kWh implican una emisión total de:

$$1600 \text{ Wh} \cdot 0,161 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{Wh}} = 257,76 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

Cabe destacar que este valor es único para los tres modelos seleccionados al tomarse la misma batería en todos.



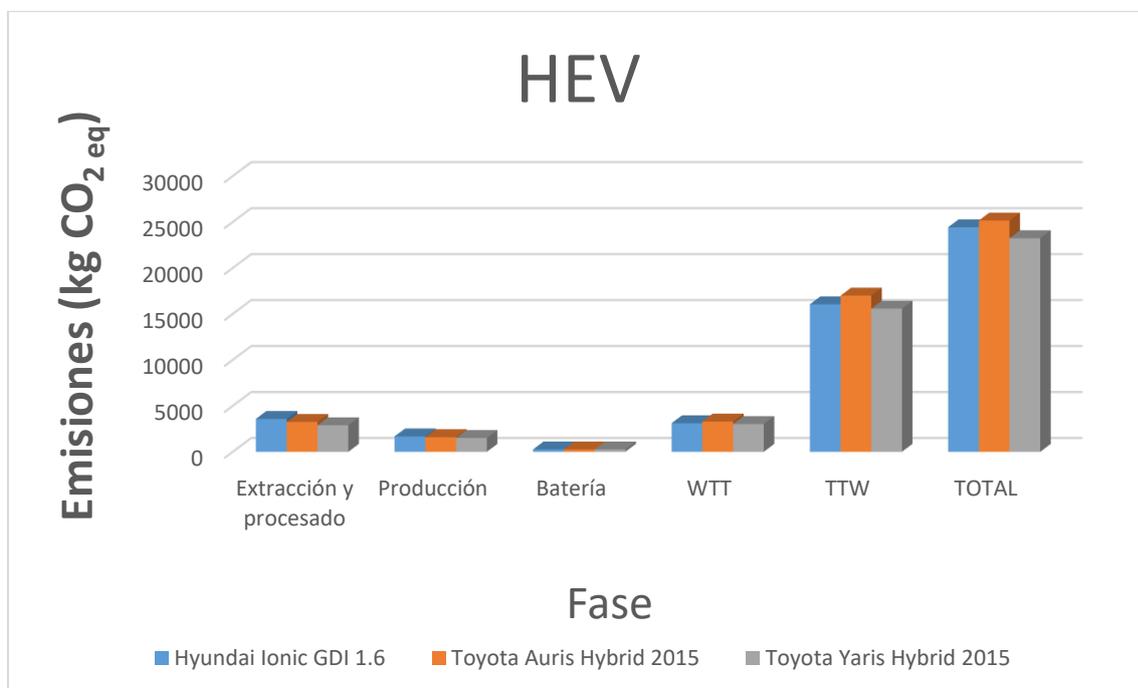
4.3.5 EMISIONES TOTALES

Si se contabilizan todas las emisiones de la vida útil, y además se obtiene un valor por km recorrido a partir de la vida útil fijada, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 36. Emisiones HEV totales

MODELO	EMISIONES TOTALES	EMISIONES POR KILÓMETRO
Hyundai Ionic GDI 1.6	24417,179 kg CO ₂ eq	0,12209 kg CO ₂ eq/km
Toyota Auris Hybrid 2015	25149,321 kg CO ₂ eq	0,12575 kg CO ₂ eq/km
Toyota Yaris Hybrid 2015	23226,944 kg CO ₂ eq	0,11613 kg CO ₂ eq/km

Introduciendo cada fase en una gráfica Excel para poder visualizar mejor las emisiones de cada fase:





4.4 PHEV

4.4.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE LOS MATERIALES

Para la primera fase de este tipo de vehículo se toma el mismo modelo que se utilizó en el apartado 4.3.1 sobre el HEV. Por ello, los porcentajes tomados para cada material serán iguales, cambiando únicamente la cantidad en función del peso tomado para cada vehículo.

Como se ha realizado con todas las motorizaciones anteriores, se seleccionan tres modelos diferentes de PHEV, y a través de la base de datos del IDAE, se extraen los dos datos necesarios para comenzar los cálculos.

Tabla 37. Selección de vehículos PHEV

MODELO	CONSUMOS	PESO
Passat PHEV	22 kWh/100 km y 5,6 litros /100 km	1722 kg
Golf GTE	22 kWh/100 km y 5,6 litros /100 km	1615 kg
Hyundai IONIQ PHEV	22 kWh/100 km y 5,6 litros /100 km	1495 kg

Se puede apreciar un mayor peso en general respecto a los otros apartados. Esto es debido a que en la actualidad, la motorización híbrida con un funcionamiento 100 % eléctrico, requiere en el coche una mayor batería que el híbrido convencional, lo que hace que el peso aumente considerablemente.

Realizando los cálculos pertinentes con los porcentajes del segundo modelo de composición, se obtienen los kg de cada material presentes en el vehículo y las emisiones de su extracción y procesado.



Tabla 38. Lista de materiales PHEV

	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
Modelo	Passat PHEV	Golf GTE	Hyundai IONIQ PHEV
Acero	1122,744	1052,98	974,74
Hierro	103,32	96,9	89,7
Aluminio fundido	87,822	82,365	76,245
Aluminio forjado	30,996	29,07	26,91
Cobre	74,046	69,445	64,285
Vidrio	49,938	46,835	43,355
Plástico	182,532	171,19	158,47
Caucho	32,718	30,685	28,405
TOTAL CUBIERTO	1684,116	1579,47	1462,11

Como en los apartados anteriores se deben hallar los kg de cada tipo de plástico por separado para poder hallar después los kg de emisiones de cada uno.

Tabla 39. Relación de plásticos PHEV

	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	Passat PHEV	Golf GTE	Hyundai IONIQ PHEV
PVC	39,737	37,268	34,499
PP	69,161	64,864	60,044
PU	51,036	47,865	44,308
HDPE	22,597	21,193	19,619
TOTAL	182,532	171,19	158,47

Es posible ahora calcular las emisiones para cada material multiplicando por el factor de emisión los kg presentes:



Tabla 40. Emisiones por la extracción y procesado PHEV

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Passat PHEV	Golf GTE	Hyundai IONIQ PHEV
Acero	2133,214	2000,662	1852,006
Hierro	147,231	138,083	127,823
Aluminio	1061,876	995,895	921,896
Cobre	488,704	458,337	424,281
Vidrio	46,442	43,557	40,320
Plástico	363,702	341,103	315,758
Caucho	21,594	20,252	18,747
TOTAL	4262,763	3997,888	3700,831

Al igual que en los apartados anteriores, la emisión total en la extracción y procesado de los plásticos se obtiene a partir de la suma de las emisiones de cada uno de los cuatro tipos presentes.

Tabla 41. Emisiones para cada tipo de plástico PHEV

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Passat PHEV	Golf GTE	Hyundai IONIQ PHEV
PVC	87,422	81,990	75,898
PP	103,742	97,296	90,066
PU	138,642	130,027	120,366
HDPE	33,896	31,790	29,428
TOTAL	363,702	341,103	315,758



4.4.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO

Al igual que en apartados anteriores, la fase de producción se estudia una vez se posean los kg de cada material presentes en el coche. Aplicando los porcentajes pertinentes, se obtienen los kg de material que sufren cada transformación, para luego ser multiplicados por el factor de emisión de cada proceso y hallar así el total de emisión de la segunda fase del ciclo de vida.

Tabla 42. Cantidad de material por transformación PHEV

Transformación	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	Passat PHEV	Golf GTE	Hyundai IONIQ PHEV
Estampación	785,921	737,086	682,318
Forjado	30,996	29,070	26,910
Moldeado de metales	214,837	201,487	186,516
Hilado del cobre	50,351	47,223	43,714
Mecanizado	336,823	315,894	292,422
Moldeado del caucho	32,718	30,685	28,405
Plástico			
Moldeado por inyección	73,013	68,476	63,388
Thermoset	49,284	46,221	42,787
Extrusión	29,205	27,390	25,355
Moldeado por compresión	23,729	22,255	20,601
Moldeado por soplado	3,651	3,424	3,169
Calandrado	3,651	3,424	3,169



Tabla 43. Emisiones de la fase de producción PHEV

Transformación	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	Passat PHEV	Golf GTE	Hyundai IONIQ PHEV
Estampación	243,635	228,497	211,519
Forjado	80,900	75,873	70,235
Moldeado de metales	485,147	455,001	421,193
Hilado del cobre	21,651	20,306	18,797
Mecanizado	38,735	36,328	33,629
Moldeado del caucho	24,211	22,707	21,020
Plástico			
Moldeado por inyección	105,869	99,290	91,913
Thermoset	13,307	12,480	11,552
Extrusión	12,266	11,504	10,649
Moldeado por compresión	17,560	16,468	15,245
Moldeado por soplado	4,125	3,869	3,581
Calandrado	1,314	1,233	1,141
Pintura	268,000	268,000	268,000
Soldadura	62,000	62,000	62,000
Iluminación y ventilación	225,000	225,000	225,000
Calefacción	195,000	195,000	195,000
Manejo del material	39,500	39,500	39,500
TOTAL	1838,219	1773,055	1699,973

4.4.3 FASE DE USO

La fase de uso de los PHEV implica unos cálculos extra debidos a la combinación de emisiones debidas a la quema del combustible en el funcionamiento de gasolina, y el consumo de energía en la batería que ha sido recargada directamente de la red, lo que implica unas emisiones debidas a la producción de dicha energía.

Se utiliza el modelo de conducción que se planteó en el análisis del ciclo de vida de las baterías, y conociendo el valor de la autonomía del vehículo, se calculan los kWh y litros de combustible utilizados.



Para la capacidad de la batería se utilizan 14 kWh [19] como valor medio en los PHEV actuales, lo que implica aproximadamente 200.000 km de autonomía. Conocido el consumo medio de los PHEV, reflejado en la tabla inicial de este apartado, obtenemos un consumo de combustible y de kWh, y al multiplicarlo por el factor de emisión tanto del mix eléctrico español, como el de las fases “WTT” y “TTW”.

Tabla 44. Consumo total PHEV

COMBUSTIBLE CONSUMIDO	KWh CONSUMIDOS
2850,909 litros	33600 kWh

Tabla 45. Emisiones fase de uso PHEV

MODELO	WTT	TTW	MIX ELÉCTRICO
PHEV	1302,902 kg CO ₂ eq	6725,543 kg CO ₂ eq	11457,6 kg CO ₂ eq

4.4.4 EMISIONES DE LA BATERÍA

Al igual que con el HEV, la incorporación al vehículo de una batería mayor, hace necesaria la inclusión de sus emisiones en el total.

Las baterías de los PHEV no solo emiten gases en su fabricación como en el caso de los HEV, sino que también durante su uso debido a las pérdidas internas de la batería.

Para la etapa de fabricación de la batería tomamos el valor de 0,161 kg CO₂ eq/Wh. Repitiendo el cálculo que se realizó en el apartado 4.3.4:

$$14000 \text{ Wh} \cdot 0,161 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{Wh}} = 2255,4 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

Se puede apreciar un aumento considerable debido a la mayor capacidad requerida para la batería en los PHEV.

Como emisiones adicionales se deben tener en cuenta las pérdidas internas en la batería. Estas pérdidas se modelan como el 10% del total de kWh consumidos a lo largo de la vida útil de la batería. En el apartado 4.3 se desarrolló este cálculo obteniendo un valor de 3360 kWh como pérdidas internas. Conociendo la huella de carbono del mix eléctrico español, las pérdidas suponen unas emisiones:



$$3360 \text{ kWh} \cdot 0,341 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kWh}} = 1145,76 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$$

Sumando ambos, se obtienen las emisiones del ciclo de vida de la batería:

Tabla 46. Emisiones totales batería PHEV

PRODUCCIÓN	2255,40 kg CO ₂ eq
USO	1145,76 kg CO ₂ eq
TOTAL	3401,16 kg CO₂ eq

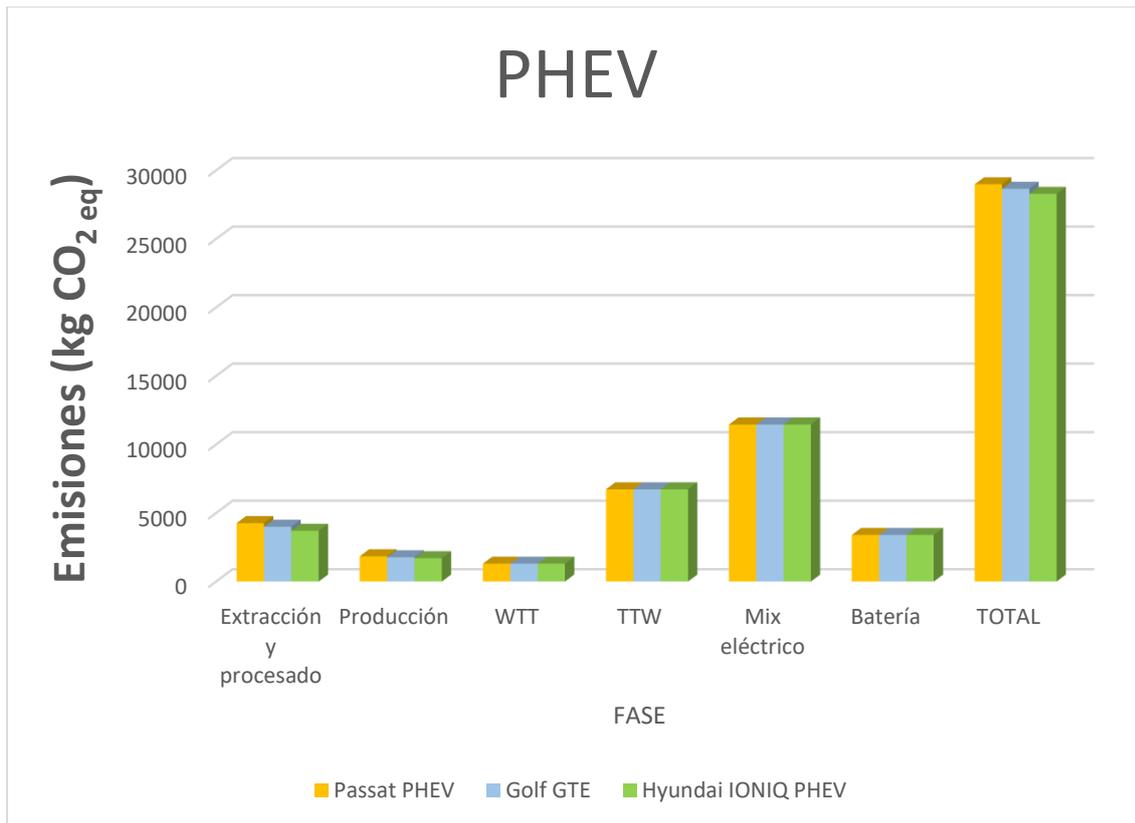
4.4.5 EMISIONES TOTALES

Habiendo obtenido las emisiones de cada una de las fases del ciclo de vida, se reflejan los valores totales de emisiones, y las emisiones por km para los tres modelos seleccionados:

Tabla 47. Emisiones totales PHEV

MODELO	EMISIONES TOTALES	EMISIONES POR KILÓMETRO
Passat PHEV	28988,187 kg CO ₂ eq	0,14235 kg CO ₂ eq/km
Golf GTE	28658,147 kg CO ₂ eq	0,14073 kg CO ₂ eq/km
Hyundai IONIQ PHEV	28288,009 kg CO ₂ eq	0,13891 kg CO ₂ eq/km

Al igual que con el resto de apartados, conviene reflejar los datos en una gráfica para una mejor visualización de los resultados:



4.5 EV

4.5.1 EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES

Como en los apartados anteriores, se comienza seleccionando tres modelos de vehículo eléctrico disponibles actualmente en el mercado:

Tabla 48. Selección de vehículos EV

MODELO	CONSUMO	PESO
BMW i3	14,5 kWh/100 km	1440 kg
Renault ZOE ZE40	14,5 kWh/100 km	1555 kg
Nissan Leaf	14,5 kWh/100 km	1495 kg



Para el cálculo de la composición de estos vehículos se toma el tercer modelo descrito en la tabla 2. Introduciendo el valor del peso de cada uno se calculan los kg de cada material presente:

Tabla 49. Lista de materiales EV

	Peso (kg)	Peso (kg)	Peso (kg)
Modelo	BMW i3	Renault ZOE ZE40	Nissan Leaf
Acero	955,872	1032,209	992,381
Hierro	28,800	31,100	29,900
Aluminio fundido	79,200	85,525	82,225
Aluminio forjado	15,264	16,483	15,847
Cobre	67,248	72,619	69,817
Vidrio	50,256	54,270	52,176
Plástico	174,240	188,155	180,895
Caucho	25,488	27,524	26,462
TOTAL CUBIERTO	1396,368	1507,884	1449,702

Tabla 50. Relación de plásticos EV

	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	BMW i3	Renault ZOE ZE40	Nissan Leaf
PVC	37,932	40,961	39,381
PP	66,020	71,292	68,541
PU	48,718	52,608	50,578
HDPE	21,571	23,294	22,395
TOTAL	174,240	188,155	180,895



Multiplicando por los factores de emisión de cada uno de los materiales:

Tabla 51. Emisiones por la extracción y procesado EV

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	BMW i3	Renault ZOE ZE40	Nissan Leaf
Acero	1816,157	1961,197	1885,524
Hierro	41,040	44,318	42,608
Aluminio	844,225	911,645	876,469
Cobre	443,837	479,282	460,789
Vidrio	46,738	50,471	48,523
Plástico	347,180	374,906	360,441
Caucho	16,822	18,166	17,465
TOTAL	3555,999	3839,985	3691,818

Al igual que en los apartados anteriores, la emisión total en la extracción y procesado de los plásticos se obtiene a partir de la suma de las emisiones de cada uno de los cuatro tipos presentes.

Tabla 52. Emisiones para cada tipo de plástico EV

	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	BMW i3	Renault ZOE ZE40	Nissan Leaf
PVC	83,451	90,115	86,638
PP	99,029	106,938	102,812
PU	132,344	142,913	137,399
HDPE	32,356	34,940	33,592
TOTAL	347,180	374,906	360,441



4.5.2 PRODUCCIÓN DEL VEHÍCULO

Los cálculos relativos a esta fase se realizan igual que con los otros modelos. A partir de los kg de cada material presentes en el vehículo, se calculan los kg que sufren cada proceso, y al multiplicar por su factor de emisión y sumar todo, se halla el valor final.

Tabla 53. Cantidad de material por transformación EV

Transformación	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)	Cantidad (kg)
Modelo	BMW i3	Renault ZOE ZE40	Nissan Leaf
Estampación	669,110	722,546	694,667
Forjado	15,264	16,483	15,847
Moldeado de metales	129,519	139,863	134,466
Hilado del cobre	45,729	49,381	47,475
Mecanizado	286,762	309,663	297,714
Moldeado del caucho	25,488	27,524	26,462
Plástico			
Moldeado por inyección	69,696	75,262	72,358
Thermoset	47,045	50,802	48,842
Extrusión	27,878	30,105	28,943
Moldeado por compresión	22,651	24,460	23,516
Moldeado por soplado	3,485	3,763	3,618
Calandrado	3,485	3,763	3,618



Tabla 54. Emisiones de la fase de producción EV

Transformación	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)	Cantidad (kg CO ₂ eq)
Modelo	BMW i3	Renault ZOE ZE40	Nissan Leaf
Estampación	207,424	223,989	215,347
Forjado	39,839	43,021	41,361
Moldeado de metales	328,976	355,248	341,541
Hilado del cobre	19,663	21,234	20,414
Mecanizado	32,978	35,611	34,237
Moldeado del caucho	18,861	20,367	19,582
Plástico			
Moldeado por inyección	101,059	109,130	104,919
Thermoset	12,702	13,716	13,187
Extrusión	11,709	12,644	12,156
Moldeado por compresión	16,762	18,101	17,402
Moldeado por soplado	3,938	4,252	4,088
Calandrado	1,255	1,355	1,302
Pintura	268,000	268,000	268,000
Soldadura	62,000	62,000	62,000
Iluminación y ventilación	225,000	225,000	225,000
Calefacción	195,000	195,000	195,000
Manejo del material	39,500	39,500	39,500
TOTAL	1584,665	1648,168	1615,036

4.5.3 FASE DE USO

La fase de uso del vehículo eléctrico no produce emisiones en el propio vehículo, al no producirse ningún tipo de quema de combustible, aunque sí que se producen emisiones en la producción de la electricidad que alimenta las baterías.

Repitiendo los cálculos que se hicieron con la batería del PHEV, se obtiene un valor de km recorridos en la vida útil de la batería, la cual se asume que es la del vehículo, y apoyándonos



en el dato del consumo, se calculan los kWh totales consumidos. Al poseer las emisiones por kWh producido se calculan fácilmente las emisiones de la vida útil.

$$32000 \text{ kWh} \cdot 0,341 \frac{\text{kg CO}_{2\text{eq}}}{\text{kWh}} = 10912 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$$

4.5.4 EMISIONES DE LA BATERÍA

La batería de los vehículos eléctricos posee una capacidad considerablemente mayor que la de los PHEV, por lo que las emisiones por la producción serán una de las fuentes principales de emisión de la vida útil del vehículo. Conociendo el factor de emisión por kWh:

$$40000 \text{ Wh} \cdot 0,161 \frac{\text{kg CO}_{2\text{eq}}}{\text{Wh}} = 6444 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$$

Las emisiones de la fase de uso se definieron como las pérdidas internas de la batería teniendo como valor del rendimiento interno de la misma el 90%. Por lo tanto, las pérdidas internas de la batería equivalen a 3200 kWh.

$$3200 \text{ kWh} \cdot 341 \frac{\text{g CO}_{2\text{eq}}}{\text{kWh}} = 1091,2 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}$$

4.5.5 EMISIONES TOTALES

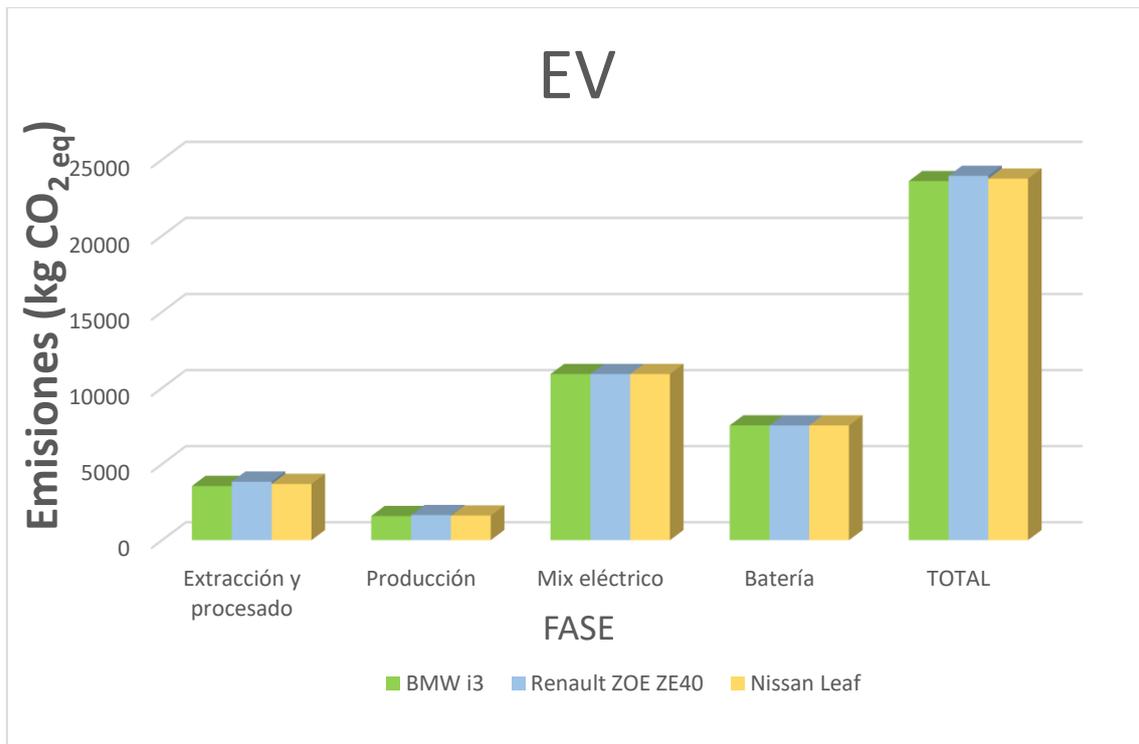
Sumando todos los resultados obtenidos llegamos a un valor final de emisión para cada uno de los vehículos. Como en los apartados anteriores, se muestran dos valores, uno total, y otro por km recorrido.

Tabla 55. Emisiones totales EV

MODELO	EMISIONES TOTALES	EMISIONES POR KILÓMETRO
BMW i3	23587,864 kg CO _{2 eq}	0,10688 kg CO _{2 eq} /km
Renault ZOE ZE40	23935,353 kg CO _{2 eq}	0,10846 kg CO _{2 eq} /km
Nissan Leaf	23754,054 kg CO _{2 eq}	0,10764 kg CO _{2 eq} /km



Incluyendo las emisiones en una gráfica, se puede visualizar mejor las emisiones por fase:



4.6 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

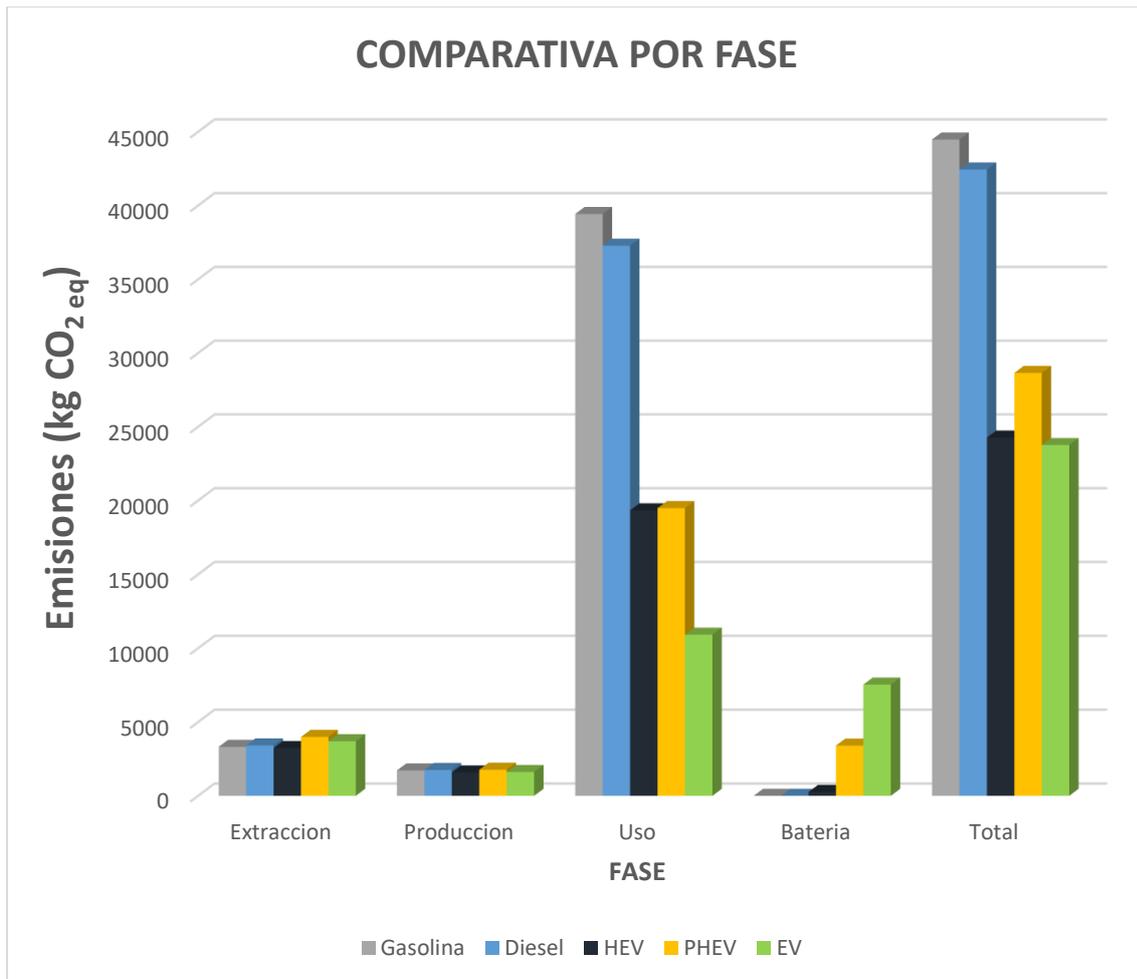
Para completar la finalidad de este proyecto, se deben comparar las emisiones de todos los vehículos el objetivo de ver cuál es el de menor emisión. Para ello, al haber obtenido tres valores para cada motorización, se procede a realizar la media de las tres, y utilizar dicho valor para hacer la comparación. La media se hace de los valores total, por km y para cada una de las fases.



Tabla 56. Comparativa de las emisiones para cada fase

	ICEV Gasolina	ICEV Diésel	HEV	PHEV	EV
Extracción y procesado de materiales kg CO₂ eq	3319,68	3414,573	3234,617	3987,161	3695,934
Producción kg CO₂ eq	1723,815	1750,523	1585,276	1770,416	1615,956
Uso kg CO₂ eq	39425,4	37275,628	19337,22	19486,045	10912
Batería kg CO₂ eq	0	0	257,76	3401,16	7535,2
Total kg CO₂ eq	44468,895	42440,73	24264,481	28644,78	23759,092
Por km	0,17787	0,16976	0,12132	0,14067	0,10766

Se representan los datos de esta tabla en dos gráficas comparativas de todas las tecnologías, una que refleje las emisiones de cada una por fase, y la total, y otra que represente las emisiones por km.





4.7 COMPARACIÓN SEGÚN LOS MIX ENERGÉTICOS

En este apartado, el objetivo es volver a calcular las emisiones de la fase de uso de los vehículos que son recargados de la red eléctrica y así poder ver la influencia de la misma en el valor total de las emisiones. Tomando los valores reflejados en la tabla 8 repetimos los cálculos de los apartados 4.4 y 4.5.

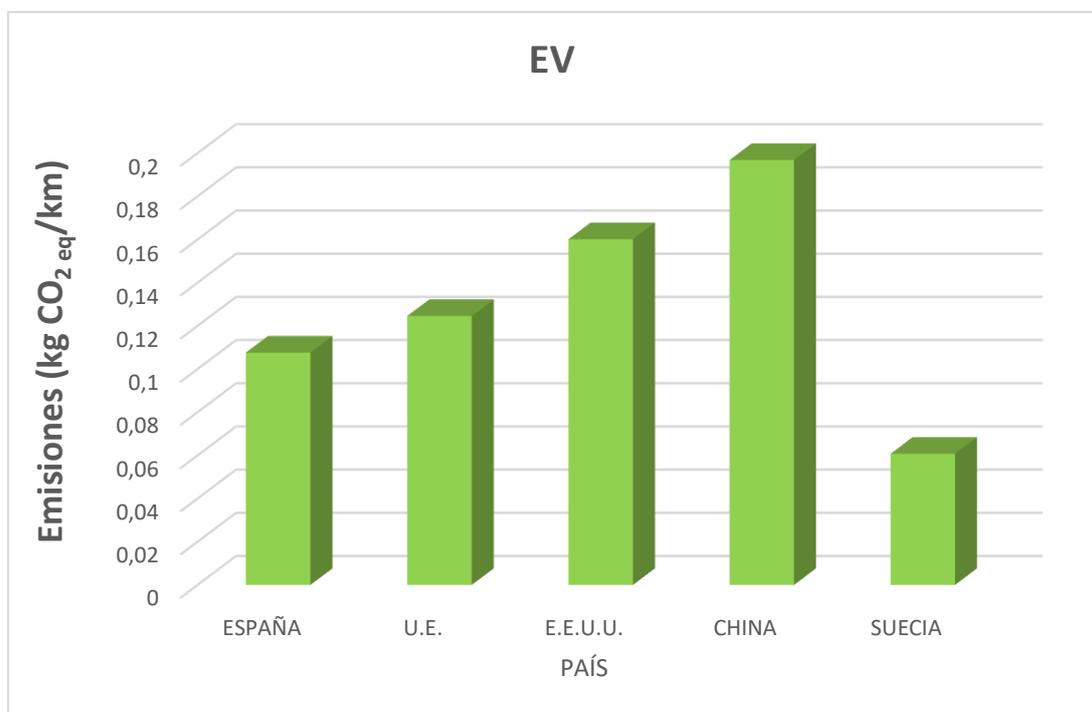
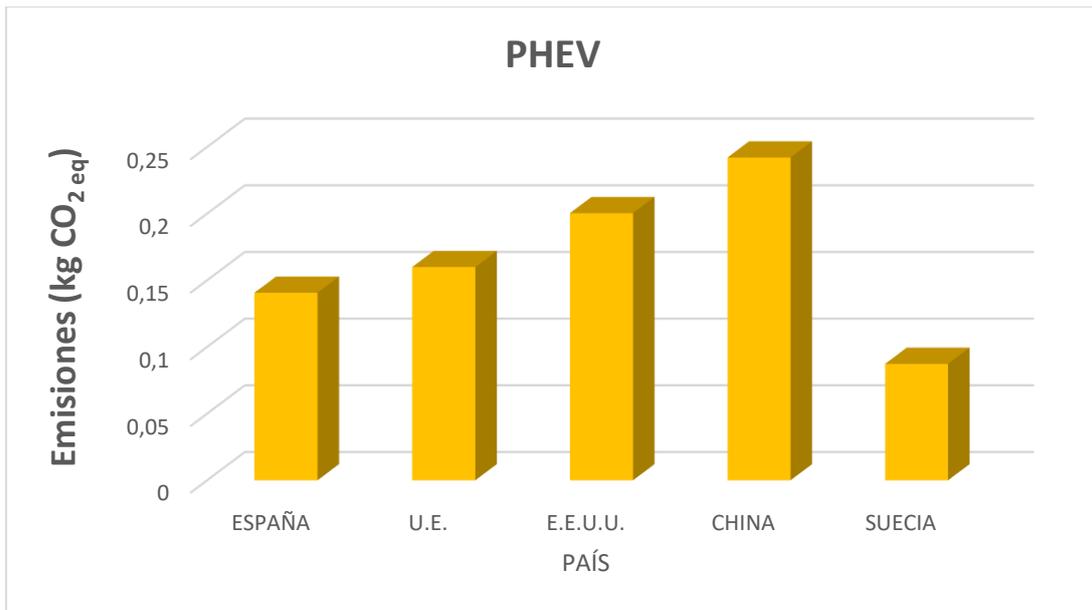
Tabla 57. Emisiones de los PHEV según países

	ESPAÑA	U.E.	E.E.U.U	CHINA	SUECIA
TOTALES kg CO₂ eq	28644,78	32562,552	40804,632	49305,432	17778,552
POR KM	0,14067	0,15991	0,20038	0,24212	0,08731

Tabla 58. Emisiones EV según países

	ESPAÑA	U.E.	E.E.U.U	CHINA	SUECIA
TOTALES kg CO₂ eq	23759,092	27490,292	35339,892	43435,892	13410,292
POR KM	0,10766	0,12457	0,16013	0,19682	0,060765

Como se ha procedido con el resto de resultados, se introducen en una tabla para una comparación más sencilla:



5. CONCLUSIONES

Habiendo realizado el cálculo de la huella de carbono de los cinco tipos de vehículos, se llega a la conclusión de que las tecnologías con motorización eléctrica son las que poseen un menor impacto en relación a las emisiones de CO₂ eq. Se puede apreciar el gran impacto en términos de emisiones que supone para los vehículos de combustión interna la fase de uso. Teniendo



unas menores emisiones asociadas en las primeras fases del ciclo de vida, llegando incluso a ser nulas en el análisis de la batería, en la fase de uso acarrear una gran cantidad de emisiones debidas sobre todo a la quema del combustible (fase "TTW"). Una gran ventaja que tienen es el mayor kilometraje asociado a su vida útil, lo que permite tener unas emisiones por km no tan elevadas respecto al resto, aunque en emisiones totales, doblan al resto de vehículos.

Dentro de los tres tipos de vehículos estudiados con motorización eléctrica, la mayor cantidad de emisiones provienen del PHEV. Estos vehículos comparados con el híbrido convencional, requieren de un sistema de propulsión eléctrico mayor, manteniendo aún el sistema convencional de combustión interna. Esto hace que en la fase de uso aún haya una buena cantidad de emisiones asociadas, además de requerir de una mayor batería eléctrica que es otra fuente de emisiones. Esta batería limita mucho la vida útil del vehículo, lo que implica que aunque el valor de las emisiones totales esté relativamente próximo al de los otros dos vehículos de motorización eléctrica, el valor de emisiones por km sea prácticamente igual al de los vehículos de combustión interna.

El segundo tipo de vehículo con mejor rendimiento es el híbrido convencional. Estos vehículos son los que están más desarrollados en la actualidad. Poseen una motorización eléctrica, que sin ser fuente de una gran cantidad de emisiones como puede serlo en el PHEV, permite reducir el consumo de combustible notablemente, haciendo que las emisiones de la fase de uso sean bastante menores que las de los vehículos de combustión interna.

El vehículo de mejor rendimiento es el eléctrico. El reducido consumo eléctrico hace que su fase de uso no sea especialmente contaminante, aunque la necesidad de incorporar una batería de gran capacidad hace las emisiones no sean tan reducidas como podrían ser. Sí se debe tener en cuenta que esta tecnología de baterías es muy novedosa y aún está siendo investigada, por lo que previsiblemente con la mejora del rendimiento de las mismas y su producción en masa, las emisiones en su producción disminuyan

Del último apartado, se obtiene la principal ventaja de los vehículos que son recargados de la red. La fase de uso del PHEV y del EV, es la principal fuente de emisiones. En esto tiene mucho que ver la huella de carbono del mix energético del que se alimenta la batería. El uso de un mix energético con un gran peso de energías renovables, hace que las emisiones totales se reduzcan en gran cantidad, como puede ser el caso de Suecia. Por lo tanto, teniendo en



cuenta el avance en investigación en este tipo de fuentes de energía y su mayor inclusión alrededor del mundo, tanto el EV como el PHEV poseen muchas expectativas de futuro, siendo candidatos a sustituir a los vehículos convencionales.

Hay que tener en cuenta que también se puede dar el escenario contrario. Utilizar un mix energético fuertemente dependiente del carbón o del petróleo para producir la electricidad, hace que las emisiones totales y por km sean incluso superiores a las de los vehículos convencionales. Es por ello que la aplicación de estas tecnologías no es recomendable para cualquier país.

6. REFERENCIAS

- [1] World Steel Association (2011), *“Life cycle inventory for steel products”*
- [2] The Aluminum Association (2013), *“The Environmental Footprint of Semi-Finished Aluminum Products in North America”*
- [3]<https://www.globalccsinstitute.com/insights/authors/dennisvanpuyvelde/2013/08/23/ccs-iron-and-steel-production>
- [4] International Copper Association, *“Copper environmental profile”*. Copper Alliance
- [5] Anna Ekman Nilsson et al.(2017), *“A Review of the Carbon Footprint of Cu and Zn Production from Primary and Secondary Sources”*
- [6] Niklas von der Assen and André Bardow (2014) *“Life cycle assessment of polyols for polyurethane production using CO2 as feedstock: insights from an industrial case study”*
- [7] Commissioned by the European Commission (2004), *“Life Cycle Assessment of PVC and of principal competing materials”*
- [8] P Treenate et al. (2017), *“A complete life cycle assessment of high density polyethylene plastic bottle”*
- [9] J.L. Sullivan, A. Burnham, and M. Wang (2010), *“Energy-Consumption and Carbon-Emission Analysis of Vehicle and Component Manufacturing”*. Energy Systems Division, Argonne National Laboratory



- [10] A. Burnham, M. Wang, and Y. Wu (2006), *“Development and Applications of GREET 2.7-The Transportation Vehicle-Cycle Model”*. Energy Systems Division, Argonne National Laboratory
- [11] Qinyu Qiao, Fuquan Zhao, Zongwei Liu, Shuhua Jiang, Han Hao (2017), *“Cradle-to-gate greenhouse gas emissions of battery electric and internal combustion engine vehicles in China”*
- [12] Q. Dai, J. Kelly, J. Sullivan and A. Elgowainy (2015), *“Life-Cycle Analysis Update of Glass and Glass Fiber for the GREET Model”*. Argonne National Laboratory
- [13] Daniel Posen et al 2017, *“Greenhouse gas mitigation for U.S. plastics production: energy first, feedstocks later”*. Clemson University, Clemson
- [14] P.A. Nelson, K.G. Gallagher, I. Bloom, and D.W. Dees (2012), *“P.A. Nelson, K.G. Gallagher, I. Bloom, and D.W. Dees”*. Chemical Sciences and Engineering Division Argonne National Laboratory
- [15] Linda Ager-Wick Ellingsen, Bhawna Singh and Anders Hammer Strømman (2016), *“The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles”*. Norwegian University of Science and Technology
- [16] Maarten Messagie¹, Cathy Macharis, Joeri. Van Mierlo (2013), *“Key outcomes from Life Cycle Assessment of vehicles, a state of the art literature review”*. Barcelona
- [17] Mats Zackrisson, Lars Avellán, Jessica Orlenius (2010), *“Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles”*. Swerea IVF
- [18] Matheys, J., Autenboer, W.V., Mierlo, J.V. (2005), *“SUBAT: Sustainable Batteries. Work Package 5: Overall Assessment. Final Public Report”*. Vrije Universiteit Brussels e ETEC
- [19] Jens F.Peters et al. (2015), *“The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters”*. Karlsruhe Institute for Technology
- [20] Carl Johan Rydh, Björn A. Sandén (2004), *“Energy analysis of batteries in photovoltaic systems. Part II: Energy return factors and overall battery efficiencies”*. University of Kalmar, Sweden
- [21] Alistair J. Davidson¹ & Steve P. Binks¹ & Johannes Gediga (2015), *“Lead industry life cycle studies: environmental impact and lifecycle assessment of lead battery and architectural sheet production”*
- [22] Van Mierlo, J., Maggetto, G., Lataire, P. (2006), *“Which energy source for road transport in the future? A comparison of battery, hybrid and fuel cell vehicles”*



- [23] Honeywill, T. (2009), *Driving Range in Automotive Engineer*.
- [24] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, *“Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura”*
- [25] BSI British Standards (2008), *“Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of goods and services”*
- [26] *“Ecoinvent database”*
- [27] Carl Schaschke (2013) *“Density and Viscosity Measurement of Diesel Fuels at Combined High Pressure and Elevated Temperature”*. Department of Chemical and Process Engineering, University of Strathclyde
- [28] Mattias Eriksson and Serina Ahlgren (2013), *“LCAs of petrol and diesel”*. Swedish University of Agricultural Science
- [29] Yu Gan, W. Michael Griffin (2018) *“Analysis of life-cycle GHG emissions for iron ore mining and processing in China-Uncertainty and trends”*
- [30] <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales>
- [31] Constantine Samaras, Kyle Meisterling (2008), *“Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles”*
- [32] Alberto Moro, Laura Lonza (2017), *“Electricity carbon intensity in European Member States: Impacts on GHG emissions of electric vehicles”*
- [33] Jiang Lixue et al. (2013), *“Life-cycle GHG emission factors of final energy in China”*. Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University
- [34] <http://coches.idae.es/portal/basedatos/marcamodelo.aspx>
- [35] <https://www.mapama.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/las-emisiones-de-co2-crecen-en-espa%C3%B1a-un-44-en-2017-con-respecto-al-a%C3%B1o-anterior/tcm:30-457740>
- [36] Panagiotis Stavropoulos et al. (2015), *“Life cycle analysis: comparison between different methods and optimization challenges”*. Department of Mechanical Engineering and Aeronautics, University of Patras
- [37] *“ANEXO 7.- FACTORES DE EMISIÓN DE CO₂ Y PCI DE LOS COMBUSTIBLES”*. España, Informe Inventarios GEI 1990-2015

7. ANEXOS



B20		=1,425*B6	
3	Peso de referencia	1165 kg	
4			PP 49,439
5	Acero	718,805 kg	PVC 28,405
6	Hierro fundido	129,315 kg	HDPE 16,153
7	Aluminio	80,385 kg	PU 36,482
8	Fundido	54,755 kg	130,48
9	Forjado	25,63 kg	
PRODUCCIÓN DEL FUEL			
11	Cobre	22,135 kg	
12	Vidrio	33,785 kg	
13	Caucho	27,96 kg	
14	Plástico	130,48 kg	
15		1142,865 kg	
16		98,1 %	tenido en cuenta de la composición total
EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES (kg CO2 eq)		FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS Y MONTAJE	
19	Acero	1385,730	Emisiones por MJ de combustible en la producción
20	Hierro fundido	184,274	Gasolina
21	Aluminio	718,401	Diesel
22	Cobre	146,091	14,2 gCO2 eq/MJ Gasolina
23	Vidrio	31,420 (esto es la fabricación también)	5027,1408 kg CO2 eq
24	Caucho	16,454	15,9 gCO2 eq/MJ Diesel
25	Plástico	261,207	6271,774 kg CO2 eq
26	PP	74,158	
27	PVC	62,492	
28	HDPE	24,230	
29	PU	100,326	
30	TOTAL	2725,575	
BATERÍA		USO	
32			Kg material por proceso
33			Emisiones
34			kg CO2 eq
35			Vida media
36			Consumo medio
37			Consumo durante vida media
38			Emisiones por MJ de combustible
39			Valor medio:
40			Conociendo la densidad y el PCI
41			Gasolina
42			Diesel
43			PCI
44			Densidad
45			Emisiones por el uso
			Gasolina
			Diesel
			EMISIONES TOTALES
			Gasolina
			0,14111 kg CO2 eq/km



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
5	Acero	759,58	kg		PVC	26,884															
6	Hierro fundido	69,9	kg		HDPE	15,288															
7	Aluminio	80,385	kg		PU	34,528															
8	Fundido	59,415	kg																		
9	Forjado	20,97	kg																		
10	Cobre	50,095	kg																		
11	Vidrio	33,765	kg																		
12	Caucho	22,135	kg																		
13	Plástico	123,49	kg																		
14		1139,37	kg																		
15		97,8	%	tenido en cuenta de la composición total																	
16																					
17	EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES (kg CO2 eq)					FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS Y MONTAJE					USO										
18							kg material por proceso		Emisiones	kg CO2 eq											
19	Acero	1443,202			Estampación	531,706			164,829			Vida media	200000	km							
20	Hierro fundido	99,608			Forjado	20,970			54,732			Consumo medio	3,3	l/100km							
21	Aluminio	718,401			Moldeado de metales	145,345			328,221			Consumo durante vida media	6600	litros de combustible							
22	Cobre	330,627			Hilado del cobre	34,065			14,648												
23	Vidrio	31,420	(esto es la fabricación también)		Mecanizado	227,874			26,206			Emisiones por MJ de combustible									
24	Caucho	14,609			Moldeado del caucho	22,135			16,380			Valor medio:	73,3	gCO2 eq/M Gasolina							
25	Plástico	246,059			Plástico							Conociendo la densidad y el PCI									
26	PP	70,186			Moldeado por inyección	49,396			71,624			Gasolina	PCI	43,2	MJ/kg						
27	PVC	59,144			Thermoset	33,342			9,002			Densidad	0,745	kg/L							
28	HDPE	22,932			Extrusión	19,758			8,299												
29	PU	93,797			Moldeado por compresión	16,054			11,800			El resto es desconocido	Diesel	PCI	43,1	MJ/kg					
30	TOTAL	2883,925			Moldeado por soplado	2,470			2,791												
31					Calendered	2,470			0,869												
32					Pintura				268												
33	Modelo de batería	Li-Ion LFP			Soldadura				62												
34																					
35		1,6	kWh																		
36	No necesita recambios				Iluminación y ventilación				225												
37					Calefacción				195												
38					Manejo del material				39,5												
39		257,76	kg CO2 eq		TOTAL				1498,999												
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					
47																					

EMISIONES TOTALES
Híbrido gasolina
 23226,944 kg CO2 eq
 0,11613 kg CO2 eq/km



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
5					PVC	37,168														
6	Acero	1050,15684	kg		HDPE	21,137														
7	Hierro fundido	96,6402	kg		PU	47,736														
8	Aluminio	111,13623	kg			170,73102														
9	Fundido	82,14417	kg																	
10	Forjado	28,99206	kg																	
11	Cobre	69,25881	kg																	
12	Vidrio	46,70943	kg																	
13	Caucho	30,60273	kg																	
14	Plástico	170,73102	kg				14,2	gCO2 eq/MJ	Gasolina	1302,902	kg CO2 eq									
15		1575,23526	kg																	
16		97,8	%	tenido en cuenta de la composición total			15,9	gCO2 eq/MJ	Diesel	1625,478	kg CO2 eq									
17																				
18	EXTRACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES (kg CO2 eq)				FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS Y MONTAJE				USO											
19																				
20	Acero	1995,298			Estampación	735,110									Vida media	203636,36	km			
21	Hierro fundido	137,712			Forjado	28,992									Consumo medio	5,6	M/100km			
22	Aluminio	993,224			Moldeado de metales	200,947									Consumo durante vida media	2850,309	litros de combustible			
23	Cobre	457,108			Hilado del cobre	47,096									Emissiones por MJ de combustible					
24	Vidrio	43,440	(esto es la fabricación también)		Mecanizado	315,047									Valor medio:	73,3	gCO2 eq/MJ	Gasolina		
25	Caucho	20,198			Moldeado del caucho	30,603										73,2	gCO2 eq/MJ	Diesel		
26	Plástico	340,188			Plástico										Conociendo la densidad y el PCI					
27	Polipropileno	97,035			Moldeado por inyección	68,292									Gasolina					
28	PVC	81,770			Thermoset	46,097														
29	HDPE	31,705			Extrusión	27,317														
30	PU	129,679			Moldeado por compresión	22,195														
31	TOTAL	3987,169			Moldeado por soplado	3,415									PCI	43,2	MJ/kg			
32	BATERÍA					Calendered	3,415								Densidad	0,745	kg/L			
33																				
34	Modelo de batería	Li-Ion LFP			Pintura															
35	Peso	140	kg		Soldadura															
36		14	kWh																	
37	No necesita recambios				Iluminación y ventilación															
38					Calefacción															
39	Para la producción:				Manejo del material															
40		2255,4	kg CO2 eq		TOTAL															
41																				
42	Para la fase de uso:																			
43	Consumo eléctrico medio	0,22	kWh/km																	
44	Autonomía eléctrica	152727,273	km																	
45	Autonomía combustible	50909,091	km																	
46																				
47	Consumo total vida útil	33600	kWh																	
48																				



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U				
1																									
2		COMPOSICIÓN DEL VEHÍCULO																							
3		Peso de referencia	1496,667	kg																					
4																									
5		Acero	993,488	kg		PP		68,618																	
6		Hierro fundido	29,933	kg		PVC		39,425																	
7		Aluminio	98,181	kg		HDPE		22,420																	
8		Fundido	82,317	kg		PU		50,635																	
9		Forjado	15,865	kg				181,097																	
10		Cobre	69,894	kg																					
11		Vidrio	52,234	kg																					
12		Caucho	26,491	kg																					
13		Plástico	181,097	kg																					
14			1451,318	kg																					
15			96,37	%		tenido en cuenta de la composición total																			
16																									
17		RACCIÓN Y PROCESADO DE MATERIALES (kg CO₂ eq)				FABRICACIÓN DE LAS PIEZAS Y MONTAJE				USO															
18																									
19		Acero	1887,626			Estampación		635,441		215,587				Vida media	220689,655	km									
20		Hierro fundido	42,655			Forjado		15,865		41,407				Consumo medio	14,5	kWh/100 km									
21		Aluminio	877,447			Moldeado de metales		134,616		341,922				Consumo durante vida media	35200,0000	kWh									
22		Cobre	461,303			Hilado del cobre		47,528		20,437				Factor de emisión del mix eléctrico											
23		Vidrio	48,577	(esto es la fabricación también)		Mecanizado		298,046		34,275				España	341	g CO ₂ eq/kWh									
24		Caucho	17,484			Moldeado del caucho		26,491		19,603				Media U.E.	447	g CO ₂ eq/kWh									
25		Plástico	360,842			Plástico								E.E.U.U.	670	g CO ₂ eq/kWh									
26		Polipropileno	102,926			Moldeado por inyección		72,439		105,036				China	900	g CO ₂ eq/kWh									
27		PVC	86,734			Thermoset		48,896		13,202				Suecia	47	g CO ₂ eq/kWh									
28		HDPE	33,630			Extrusión		28,975		12,170															
29		PU	137,552			Moldeado por compresión		23,543		17,422															
30		TOTAL	3695,935			Moldeado por soplado		3,622		4,093															
31		BATERÍA																							
32						Calendered		3,622		1,304				Emisiones CO₂ eq											
33		Modelo de batería	Li-Ion LFP			Pintura				268,000				España	12003,200										
34						Soldadura				62,000				Media U.E.	15734,400										
35			40	kWh										E.E.U.U.	23584,000										
36						Iluminación y ventilación				225,000				China	31680,000										
37		Producción de la batería				Calefacción				195,000				Suecia	1654,400										
38						Manejo del material				39,500															
39						TOTAL				1615,957															
40			6444	kg CO ₂ eq																					
41																									
42										10912	1091,2	12003,2													
43		Para la fase de uso																							



ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA Iniciar sesión

P38 ✕ ✓ fx

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
22	Cobre	461,303				Hilado del cobre		47,528		20,437			Consumo durante vida media		35200,0000	kwh					
23	Vidrio	48,577	(esto es la fabricación también)			Mecanizado		298,046		34,275											
24	Caucho	17,484				Moldeado del caucho		26,431		19,603			Factor de emisión del mix eléctrico								
25	Plástico	360,842				Plástico							España	341	g CO2 eq/kwh						
26	Polipropileno	102,926				Moldeado por inyección		72,439		105,036			Media U.E.	447	g CO2 eq/kwh						
27	PVC	86,734				Thermoset		48,896		13,202			E.E.U.U.	670	g CO2 eq/kwh						
28	HDPE	33,630				Extrusión		28,975		12,170			China	900	g CO2 eq/kwh						
29	PU	137,552				Moldeado por compresión		23,543		17,422			Suecia	47	g CO2 eq/kwh						
30	TOTAL	3695,935				Moldeado por soplado		3,622		4,093											
31		BATERÍA				Calendered		3,622		1,304											
32						Pintura				268,000			Emisiones CO2 eq								
33	Modelo de batería	Li-Ion LFP				Soldadura				62,000			España	12003,200							
34													Media U.E.	15734,400							
35		40	kWh										E.E.U.U.	23584,000							
36						Iluminación y ventilación				225,000			China	31680,000							
37	Producción de la batería					Calefacción				195,000			Suecia	1654,400							
38						Manejo del material				39,500											
39						TOTAL				1615,957											
40		6444	kg CO2 eq																		
41																					
42										10912	1091,2	12003,2									
43	Para la fase de uso																				
44	Consumo eléctrico mec	0,145	kWh/km			EMISIONES TOTALES															
45	Autonomía eléctrica	220689,655	km			Mix español															
46							23759,092	kg CO2 eq													
47								0,10766	kg CO2 eq/km												
48	Consumo total vida útil	32000	kWh			Mix europeo															
49	Pérdidas internas (10%)	3200	kWh				27490,292	kg CO2 eq													
50								0,12457	kg CO2 eq/km												
51						Mix estadounidense															
52	Emisiones por uso de la batería:						35339,892	kg CO2 eq													
53		1091,2	kg CO2 eq					0,16013	kg CO2 eq/km												
54						Mix chino															
55	TOTAL BATERIA						43435,892	kg CO2 eq													
56		7535,2						0,19682	kg CO2 eq/km												
57						Mix sueco															
58							13410,292	kg CO2 eq													
59								0,060765	kg CO2 eq/km												
60																					
61																					
62																					
63																					
64																					

ICEV HEV PHEV **EV** Resumen comparativa Mix energético Hoja5 65%