



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

Estudio del Impacto en el Análisis de ciclo de vida de dar o no una segunda vida a las baterías de Vehículos eléctricos

Memoria

Realizado por:

Alejandro Antonio Serra Palerm

Directora:

Beatriz Amante Garcia

Co-director:

Lluc Canals Casals

Sumario

Sumario	2
Lista de tablas	4
Lista de figuras	6
1 Objeto del estudio	8
2 Justificación del estudio	9
3 Alcance del estudio	11
4 Especificaciones básicas del estudio	13
5 Antecedentes i/o estado del arte	14
6 Definición de análisis de ciclo de vida (ACV)	17
7 Análisis de ciclo de vida de la primera vida de una batería	19
7.1 Definición del EV genérico	21
7.2 Cálculo de impactos medioambientales	23
8 ACV de la segunda vida de una batería	27
8.1 Planteamiento	29
8.2 Preparación e infraestructura necesaria para preparar la batería	30
8.3 Instalación fotovoltaica de una vivienda aislada	31
8.3.1 Dimensionado de la instalación fotovoltaica	34
8.3.2 Cálculo del coste de la instalación fotovoltaica	38
8.3.3 Cálculo de impactos ambientales de la instalación fotovoltaica	41
8.4 Instalación para cargar un EV con un cargador rápido a partir de un acumulador	43
8.4.1 Dimensionado de la instalación de carga rápida de un EV para una vivienda	44
8.4.2 Cálculo del coste de la instalación para cargar un EV con un cargador rápido	45
8.4.3 Cálculo de impactos ambientales de la instalación para cargar un EV	49
8.5 Instalación de un acumulador para reducir la factura eléctrica	52
8.5.1 Dimensionado del acumulador de una vivienda para reducir la factura ..	52
8.5.2 Cálculo del coste de la instalación de un acumulador de una vivienda para reducir la factura	53
8.5.3 Cálculo de impactos ambientales de la instalación de un acumulador en una vivienda para reducir la factura eléctrica	54



9	Resultados.....	56
10	Legislación.....	61
11	Conclusiones	62
12	Resumen del presupuesto	64
13	Planificación y organización de la fase siguiente	65
14	Referencias.....	67

Lista de tablas

Tabla 1: Incremento de las ventas de EV en los últimos años en España [9]	22
Tabla 2: Características de los modelos de EV más vendidos en España en el periodo del 2011 al 2014.....	22
Tabla 3: Características del EV genérico del estudio	23
Tabla 4: Datos y artículos usados para modelar los impactos ambientales	23
Tabla 5: Impactos ambientales del ACV de primera vida de la batería	24
Tabla 6: Rendimientos de las diferentes partes que intervienen para suministrar la energía a la batería del EV. Donde la carga L1 hace referencia al sistema de carga rápido y el L2 al sistema de carga normal.....	25
Tabla 7: Valores de los impactos ambientales que produce el mix energético español [26], [27].....	25
Tabla 8: Impactos totales del ACV de la primera vida de las baterías reutilizando y reciclando la batería.	26
Tabla 9: Impactos ambientales de la energía consumida en la fábrica	31
Tabla 10: Valores medios anuales de irradiación solar para cada caso (kWh/ m ² día)	36
Tabla 11: Parámetros usados para los cálculos en este apartado	37
Tabla 12: Resultados de las ecuaciones anteriores para las tres franjas.....	37
Tabla 13: Componentes y precios de los componentes seleccionados.....	38
Tabla 14: Energía restante, energía consumida anualmente y años de vida restantes de cada batería	39
Tabla 15: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones expuestas en este subapartado	40
Tabla 16: Impactos ambientales de la segunda vida de la batería y del caso alternativo	42
Tabla 17: Valores de los impactos ambientales que produce el mix energético nocturno español.....	43
Tabla 18: Parámetros y resultados de la ecuación (12)	45
Tabla 19: Precio y horarios de la tarifa con discriminación horaria supervalle.....	46
Tabla 20: Parámetros usados y años de vida restantes de la batería.....	46
Tabla 21: Parámetros usados en este subapartado.....	47
Tabla 22: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones comentadas en este subapartado	48
Tabla 23: Impactos ambientales por casos de la instalación para cargar un EV con cargador rápido con una batería reutilizada.....	50



Tabla 24: Impactos ambientales por casos de la instalación para cargar un EV con cargador rápido con una batería nueva.....	50
Tabla 25: Tarifa con discriminación horaria en España [44], [49].....	52
Tabla 26: Parámetros usados y años restantes de vida para el acumulador de una vivienda para rebajar la factura	53
Tabla 27: Parámetros y valores usados en los cálculos de este subapartado	53
Tabla 28: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones comentadas en este subapartado para la instalación de una vivienda con acumulador para rebajar la factura eléctrica	54
Tabla 29: Impactos ambientales de la instalación de un acumulador para reducir la factura eléctrica de una vivienda, con los datos de los casos con batería reutilizada y batería nueva	55
Tabla 30: Resumen del presupuesto.....	64

Lista de figuras

Figura 1: Esquema del ACV de un EV con las partes que los forman [12]	17
Figura 2: Esquema del ACV de primera vida. Elaboración propia.....	20
Figura 3: EV con las mayores ventas en España en el periodo del 2011 al 2014 [9]	22
Figura 4: Gráfica con los impactos ambientales del ACV de primera vida de la batería, teniendo en cuenta que se recicla todo el EV. Datos numéricos en la Tabla 5.	26
Figura 5: Esquema del ACV de segunda vida	28
Figura 6: Comparación del impacto ambiental de la preparación del batería (fábrica) con el impacto ambiental de extracción y producción de la batería. Datos numéricos en la Tabla 5 y Tabla 9	31
Figura 7: Instalación fotovoltaica ECC. Elaboración propia	32
Figura 8: Instalación fotovoltaica ECA. Elaboración propia	33
Figura 9: Instalación fotovoltaica ECA con múltiples viviendas. Elaboración propia	33
Figura 10: Irradiación solar media en España (kWh/ m ² día), [38]	35
Figura 11: Comparación de costes unitarios entre usar una batería reutilizada y una nueva para una instalación fotovoltaica.....	41
Figura 12: Gráfico de los valores totales obtenidos de la segunda vida y del caso alternativo.....	42
Figura 13: Instalación de carga rápida de un EV para una vivienda. Elaboración propia .	44
Figura 14: Comparación de costes unitarios entre usar una batería reutilizada y una nueva para una instalación para cargar un EV.....	48
Figura 15: Peso de cada coste de la instalación para cargar un EV	48
Figura 16: Comparación del coste actualizado de la instalación sin el coste de la electricidad con el ahorro que se obtiene tras 20 años de uso para el caso de la instalación para cargar un EV.....	49
Figura 17: Comparativa de los impactos totales de la instalación con batería reutilizada y nueva y por casos.....	51
Figura 18: Porcentajes de los impactos ambientales por casos de la instalación con batería nueva	51
Figura 19: Instalación de un acumulador para reducir la factura eléctrica. Elaboración propia.....	52
Figura 20: Comparación del coste unitario del caso con batería reutilizada y batería nueva para la instalación de un acumulador de una vivienda para reducir la factura eléctrica.....	54

Figura 21: Comparación del coste actualizado de la instalación sin el coste de la electricidad con el ahorro que se obtiene tras 20 años de uso para el caso de la instalación de un acumulador en una vivienda para reducir la factura eléctrica.....	54
Figura 22: Comparación de los impactos ambientales totales del caso con batería reutilizada y nueva de una instalación con un acumulador para reducir la factura eléctrica de una vivienda	55
Figura 23: Representación de la necesidad de más de un EV para poder llevar a cabo la segunda vida de la batería	56
Figura 24: Comparación de los impactos ambientales totales para la instalación fotovoltaica	57
Figura 25: Porcentajes de los diferentes elementos que forman los impactos ambientales para el ACV completo de una batería para el caso de la instalación fotovoltaica.....	57
Figura 26: Comparación de los impactos ambientales totales para la instalación de un acumulador para cargar un EV.....	58
Figura 27: Valores de los diferentes elementos que forman los impactos ambientales para el ACV completo de una batería para el caso de la instalación de un acumulador para cargar un EV.....	58
Figura 28: Comparación de los impactos ambientales totales para la instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica	59
Figura 29: Porcentajes de los diferentes elementos que forman los impactos ambientales para el ACV completo de una batería para el caso de la instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica	59
Figura 30: Impactos ambientales del ACV completo de una batería para el caso de la instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica, variando en número de ciclos de vida del acumulador de la vivienda	60
Figura 31: Tareas a realizar y tiempo de dedicación de cada una para la siguiente fase del estudio	65



1 Objeto del estudio

El objetivo de este estudio es realizar un análisis económico y de ciclo de vida (ACV) de la primera y segunda vida de las baterías de los vehículos eléctricos que hay actualmente en el mercado. Con el ACV se pretende valorar si hay una reducción del impacto ambiental de algunos de los casos de segunda vida de las baterías.

2 Justificación del estudio

En los últimos años ha aparecido una nueva manera de circular por las calles, esta nueva manera está basada en el uso de la electricidad para impulsar los vehículos. Estos vehículos se dividen en dos grupos, el primero se caracteriza por ser propulsado parcialmente por energía eléctrica (vehículo híbrido (HEV), vehículo híbrido conectable (PEHEV) y vehículo eléctrico de autonomía ampliada (REEV)) y el segundo por ser propulsado íntegramente por energía eléctrica (vehículo eléctrico (EV)).

Estos nuevos vehículos presentan algunos problemas a día de hoy, como es el aumento de su precio respecto un modelo tradicional. Este aumento del coste es debido a las baterías que ha de incorporar y a la transmisión eléctrica [1]. El coste de una batería ronda alrededor de los 5000€ y los 11000€ [2]. Aunque el incremento del coste puede ser mayor si durante la vida útil del vehículo hay que cambiarle la batería, por ejemplo en un PHEV el aumento del coste en su ciclo de vida puede estar entre un incremento del 33-84% [1].

Actualmente, lo que hacen algunas compañías es recuperar la batería para así después recuperar la materia prima valiosa que puedan contener, un ejemplo sería Renault que alquila sus baterías [3], bajando así el precio de sus vehículos y asegurándose, por un lado un pago mensual y por otro, la recuperación de todas las baterías. Otra estrategia consiste que en el desarrollo de una batería se reduzca el porcentaje de materiales caros en la medida de lo posible, como por ejemplo la reducción del porcentaje de cobalto que esta lleva [4]. También se consigue alargar su vida útil con un sistema electrónico que optimice mejor el uso de la batería del vehículo eléctrico [5]. Otra forma, que es la que se desarrolla en el presente estudio, es intentar bajar estos costes dándole una segunda vida a las baterías, ya que estas se consideran no aptas para la tracción cuando han perdido entre un 20% y un 30% de su capacidad de carga [6].

Otro problema que presentan las baterías de los EV e híbridos son algunos impactos ambientales que se ven incrementados en comparación a los vehículos tradicionales. Algunos de estos impactos ambientales son la formación de partículas, el agotamiento de metales y la eutrofización. El incremento que se produce es alrededor de un 10%, producidos por la fabricación del EV y del mix energético de la electricidad usada [7].

Estos efectos negativos de carácter medioambiental que presenta el EV en la actualidad se pueden ver acentuados si las ventas se dispararan y pasan a ser el tipo de vehículo más usado [7].



La solució que se planteja en este treball es analitzar si al darle una segona vida a la bateria del EV, se consigue mitigar los problemas que esta presenta y además que esta sea viable económicamente. La idea consiste que en vez de reciclar la batería, esta sea reutilizada para una nueva aplicación. Con este nuevo uso para la batería, que consiste básicamente en alargar su vida útil, se pretende ver si el impacto medioambiental es menor. Si no se tiene que fabricar ni reciclar la batería que ha sido remplazada por la reutilizada, puede ser que se produzca una reducción de los impactos ambientales.

3 Alcance del estudio

En este proyecto primero de todo se realiza un estudio del tipo de baterías que el sector de la automoción usa actualmente, centrado solo en los turismos. En el que se valoran las principales características de las baterías como su capacidad, la forma, sistema de refrigeración y los materiales de estas.

Una vez hecha una valoración de lo que hay en el mercado se procede a analizar y comparar estudios de análisis de ciclo de vida de baterías en su primera vida (teniendo en cuenta la vida del vehículo). A partir de los datos recopilados de estos estudios se calcula el impacto ambiental de un EV teniendo en cuenta todas las etapas que forma la vida del EV y de la energía eléctrica usada, aunque se desprecia el impacto ambiental del mantenimiento.

Después se procede a buscar posibles aplicaciones para las baterías en su segunda vida. En cada una de las aplicaciones se realiza un ACV y un estudio de costes de la instalación y de su funcionamiento a lo largo de toda su vida. Los resultados de estos estudios se comparan con una instalación que use baterías nuevas.

Respecto el ACV de segunda vida, no se tienen en cuenta los impactos ambientales producidos por su mantenimiento. Los impactos ambientales que se modelan de cada aplicación son los derivados del consumo de la energía eléctrica que primero se almacena en la batería y después es usada. Dentro de este proceso de carga y descarga de la batería hay unos rendimientos causados por los componentes que formen la instalación del caso planteado como los de transporte y distribución de la red eléctrica española [8]. Ya que como cada aplicación se compara con una aplicación igual en la que lo único que cambia es la batería, el resto de la instalación es igual. El estudio de costes de cada aplicación propuesta también se compara con su equivalente con una batería nueva.

Desde que la batería termina su vida útil en el EV hasta que llega a su aplicación, esta ha de ser transportada hasta una fábrica donde se prepara para su nueva aplicación. En este estudio se habla de la fábrica que hace falta para preparar la batería, pero solo de manera general. Donde se explican las instalaciones necesarias, servicios relacionados y equipamiento necesario, también se estima un precio para las baterías que prepara la fábrica y los impactos ambientales que cause el consumo de energía eléctrica de la fábrica. Una vez terminados los ACV de primera y segunda vida, estos se suman para obtener el ACV completo.



Para terminar, se realiza una reflexión con los resultados obtenidos del ACV completo y el estudio de costes para determinar su viabilidad económica y medioambiental.



4 Especificaciones básicas del estudio

- Es obligatorio el uso de la herramienta ACV
- Los modelos de segunda vida han de ser viables medioambientalmente
- Los modelos de segunda vida han de ser viables económicamente

5 Antecedentes i/o estado del arte

Desde 1940 a 2008 las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado un 40%, a la vista de esto han ido apareciendo normativas y planes internacionales para reducir este aumento de emisiones, como el VII programa de acción en medioambiente de la UE para 2020 y la directiva 2010/75/UE. Un elemento que se está introduciendo en la sociedad y que en el futuro podría llegar a conllevar una mejora en este buen propósito de reducir el impacto ambiental, es el vehículo eléctrico e híbrido.

El que primero ha empezado a introducirse en el mercado con una cierta aceptación por parte de los consumidores es el HEV (en el 2014 se vendieron 12.090 HEV con un incremento del 18,7% respecto el año anterior [9]). Pero este tipo de vehículo no es nuevo. El EV nace en el siglo XIX, de la mano de William Morrison el 1890 en EEUU (previamente el 1881 Gustave Trouvé había inventado el primer triciclo eléctrico en Francia). Este vehículo que circulaba por Chicago pesaba 1931kg, tenía 3CV, una velocidad de unos 22km/h y disponía de baterías de plomo. El 1900 Ferdinand Porsche construyó el primer HEV [10].

Para el 1905 ya había 100 fabricantes de EV en EEUU, pero también ya empezaba a haber fabricantes de vehículos de combustión interna. Estas últimas estaban mejorando sus modelos de vehículos de combustión interna más rápido que los fabricantes de EV. Esto haría que el EV fuese desplazado en las siguientes décadas, no sería hasta el 1997 con la producción en serie del híbrido Toyota Prius que los EV empezarían a recuperar el terreno perdido. A partir de ese momento otras marcas empezaron a sacar otros modelos, como el Chevrolet Volt (PHEV) en 2008 [10].

Aunque a fecha del 2012 el EV solo suponía el 0,1% de las ventas de todos los vehículos en la Unión Europea (13970 EV) [7]. La versión intermedia entre híbrido y eléctrico, el PHEV, presenta una reducción entre el 38% y 41% del impacto en el calentamiento global [11]. En parte, esta mejora sobre el impacto medioambiental es producida por la mayor eficiencia de los diferentes elementos que intervienen en la generación, transporte y transformación de la energía eléctrica, como por ejemplo la transmisión eléctrica, en comparación a la eficiencia del vehículo tradicional. Además el origen de la energía eléctrica que forma el mix energético también influye. Al no estar formado el mix energético íntegramente por combustibles fósiles, hace que el impacto ambiental sea menor en comparación a un vehículo tradicional que solo usa gasolina o gasóleo [5].

Los artículos, conferencias e informes que analizan los vehículos eléctricos e híbridos apuntan a que al cambiar los vehículos de combustión tradicionales por

EV, no solo se vería reducido el impacto del calentamiento global, también habría una reducción de la contaminación atmosférica y del agotamiento del petróleo [7]. Teniendo siempre en cuenta que todo el potencial de un EV se desarrolla al usar un mix energético formado solo por energías renovables [12], [5].

Por el contrario, si se usa un mix energético que no solo contenga energías renovables, sino también energía nuclear y otras energías, como es el caso de Francia. El impacto por radiación ionizante, producido por las centrales nucleares, se puede ver aumentado hasta un 50% [7]. Otros impactos que se podrían ver incrementados son el agotamiento de metales, la formación de partículas y la eutrofización del agua dulce, alrededor de un 10% [7]. Los impactos que se verían reducidos aparte de los ya comentados serían la acidificación, ozono fotoquímico, agotamiento del ozono y eutrofización marina [7].

En el desarrollo del EV hay un componente que ha estado y sigue en permanente desarrollo, la batería. En el desarrollo de la batería del vehículo han ido cambiando de tecnología. Los primeros vehículos eléctricos e híbridos funcionaban con baterías de plomo y no sería hasta la llegada del Toyota Prius en el 1997 que se introducirían las baterías de Níquel-Hidruro Metálico (Ni-MH) [10]. El último salto tecnológico ha sido pasar de las baterías de Ni-MH a las de ion de litio, aunque en la actualidad Toyota y Lexus siguen utilizando las de Ni-MH (Tabla 1 del anexo).

Las baterías de ion de litio tienen una mayor densidad energética que las de Ni-MH (de 55-35Wh/kg a 120-88Wh/kg, respectivamente). También tienen una gran potencia y una vida útil más larga. Por el contrario su coste es mayor [11], [13]. Dentro de las baterías de ion de litio hay dos grandes grupos las de magnesio (LiMn_2O_4) y las de hierro fosfato (LiFePO_4), cada fabricante usa una variante de uno de estos dos grupos [5].

Dentro del proceso de fabricación de la batería de ion de litio hay partes que generan un mayor impacto ambiental que otras. Como son el cátodo, el ánodo y el recipiente de la batería, por ejemplo el conjunto del cátodo y el ánodo representan el 50% y el recipiente un 27% del impacto en el calentamiento global del total del proceso de fabricación de la batería [13], [4]. Por otra parte este aumento de los impactos se puede ver reducido hasta un 50% si se usan materiales reciclados en el proceso de fabricación de la batería [14].

También hay que tener en cuenta que este aumento de la contaminación que se produce en el proceso de fabricación y de generación de la energía requerida para el uso del EV se produce en zonas de fuera de la ciudad, con una menor



densidad de población, por tanto los impactos negativos sobre la población se pueden ver reducidos al sacar la contaminación de dentro de la ciudad [13].

6 Definición de análisis de ciclo de vida (ACV)

En este estudio el método de análisis que se usa para estimar los impactos ambientales del sistema a estudiar es el ACV. El ACV es una herramienta, según la Norma ISO 14040 [15], que trata los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final.

El ACV se desarrolla en cuatro fases: definición del objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto ambiental e interpretación. Para la evaluación del impacto ambiental lo que se hace es definir una unidad funcional, con el que se caracterizan los resultados obtenidos en el inventario para poderlos interpretar [16], [17].

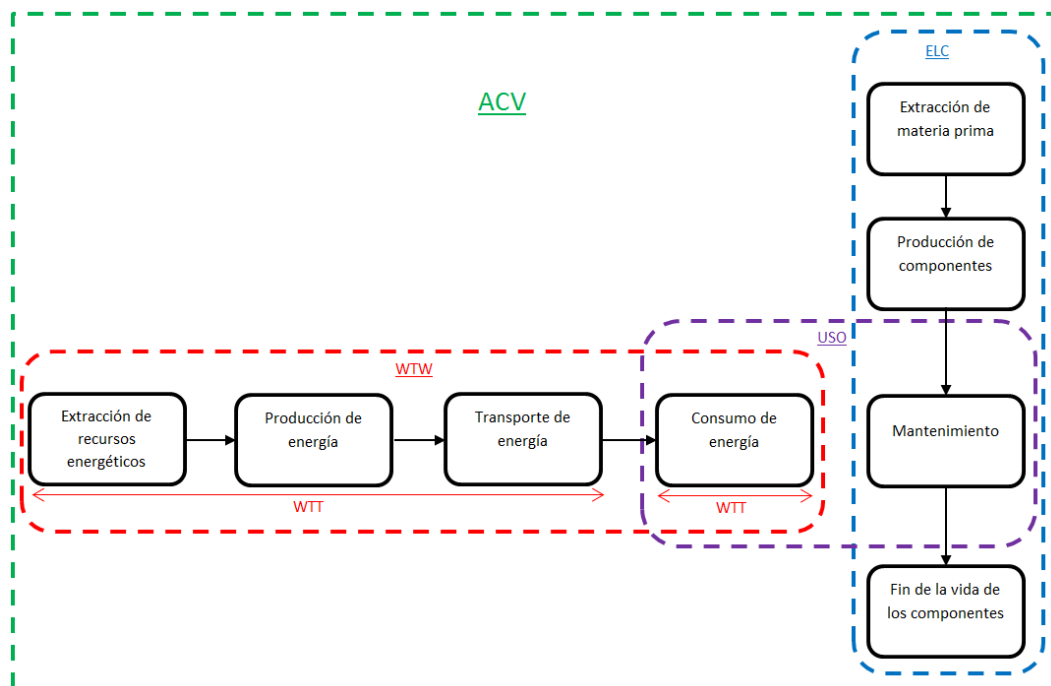


Figura 1: Esquema del ACV de un EV con las partes que los forman [12]

En el caso que concierne en este estudio y que se termina de desarrollar en el capítulo 7, una parte del trabajo se realiza sobre un EV. Para estudios de EV, el ACV se puede dividir en dos partes. Una parte que hace referencia a todos los impactos referentes a la obtención de materias primas, producción de la energía eléctrica y su uso (*“well-to-wheel”*, WTW) y otra en la que los impactos a estudiar están referidos a la obtención de materias primas para producir el EV, a la producción del EV, su mantenimiento y su posterior reciclado (*“equipment life cycle”*, ELC). La primera parte se puede dividir en dos partes más, una que va desde la materia prima hasta llegar al EV (*“well to tank”*, WTT) y otra que consiste

en la propulsi3n del EV (*"tank-to-wheel"*, TTW) [12], Figura 1. Estas divisiones son aplicables para todo sistema que tenga una fase de producci3n de componentes y una de producci3n y consumo de energa, como las aplicaciones para las segundas vidas de las bateras.

En estas segundas vidas de las bateras se puede dar el caso que la batera reciba la energa de una fuente 100% renovable, que provenga de combustibles f3siles o que sea una combinaci3n de ambas, esto afecta a al recuadro de "Extracci3n de recursos naturales" de la Figura 1. Seg3n el origen de la fuente de energa el impacto ambiental varia [7]. El desarrollo de las diferentes segundas vidas para los casos que se plantean, se desarrollan en el capitulo 8.

Para definir la unidad funcional de la batera hay diversas opciones como son definirla por kil3metros recorridos con el EV, por capacidad de la batera, por peso de batera y por energa consumida a lo largo de toda su vida. En este estudio en el que se tiene una parte del ACV en una situaci3n dinàmica y en la otra es estatica tiene poco sentido usar como unidad funcional los kil3metros recorridos con el EV. Usar el peso como unidad funcional tiene sentido si se est3 buscando que batera tiene la masa m3s apropiada en funci3n del tamao y de la energa consumida, cosa que en este estudio no es lo requerido. La energa consumida es una variable que puede variar seg3n el uso que se le d3 a la batera en su segunda vida y esto no permite usarla como unidad funcional. Finalmente se llega a la opci3n de usar la capacidad de la batera como unidad funcional, como en este estudio se tiene una capacidad determinada (en el siguiente capitulo se justifica), usarla como unidad funcional hace que todos los impactos sean comparables entre s3.

7 Análisis de ciclo de vida de la primera vida de una batería

Antes de la realización del ACV de la primera vida de la batería hay que definir cómo se desarrolla y que limitaciones tiene, para saber que se analizado y que no (Figura 2). Para el desarrollo del análisis de la primera vida de la batería, no solo se puede centrar en la batería en sí. Ya que esta forma parte de otro elemento que es el EV, por ello el ACV es de todo el EV. Este ACV de la primera vida de la batería está basado en estudios ya realizados de ACV tanto de las baterías de EV como del propio EV.

A la vista de la gran variedad de características que puede tener un vehículo y la gran variedad de categorías en las que se le puede clasificar [7], se ha de definir un vehículo genérico. A la hora de definir cómo es este EV, se toman como referencia las características de los EV más vendidos en España en estos últimos cuatro años. Las características que importan del EV a modelar son: la capacidad de la batería, el tipo de batería usada, el consumo del vehículo, la autonomía, el tamaño de este y su vida útil.

El ACV de la primera vida, como se ha comentado en el capítulo anterior, se divide en una serie de bloques, Figura 1. Estos se pueden agrupar en tres grandes grupos, producción del EV, consumo de la energía eléctrica y desmantelamiento y reciclado del EV. Cada grupo recibe una serie de “inputs” que generan otros “outputs”, como se puede ver en la Figura 2. En el primer punto, producción del EV, se tiene en cuenta la extracción de los materiales necesarios, la producción de los materiales necesarios, la producción de los componentes del vehículo y el ensamblaje de estos para acabar teniendo un EV terminado, ver Figura 2. A causa de cómo se realizan normalmente los artículos sobre esta temática [7], [13], [18], [5], los impactos que se obtendrán de este primer grupo son los impactos ambientales totales de producir la batería y los impactos ambientales de producir el resto del EV.

El siguiente apartado de la vida de un EV es el consumo de la energía eléctrica, en él se generan impactos ambientales producidos por el consumo de la energía que hace falta para poderse desplazar con el vehículo y el mantenimiento del EV en toda su vida. En el consumo de un vehículo afectan una serie de parámetros como son el peso del vehículo, el tráfico que hay en las carreteras, la manera de conducir de cada conductor, de si se conduce dentro o fuera de ciudad, la eficiencia del vehículo y la eficiencia de la batería [5].

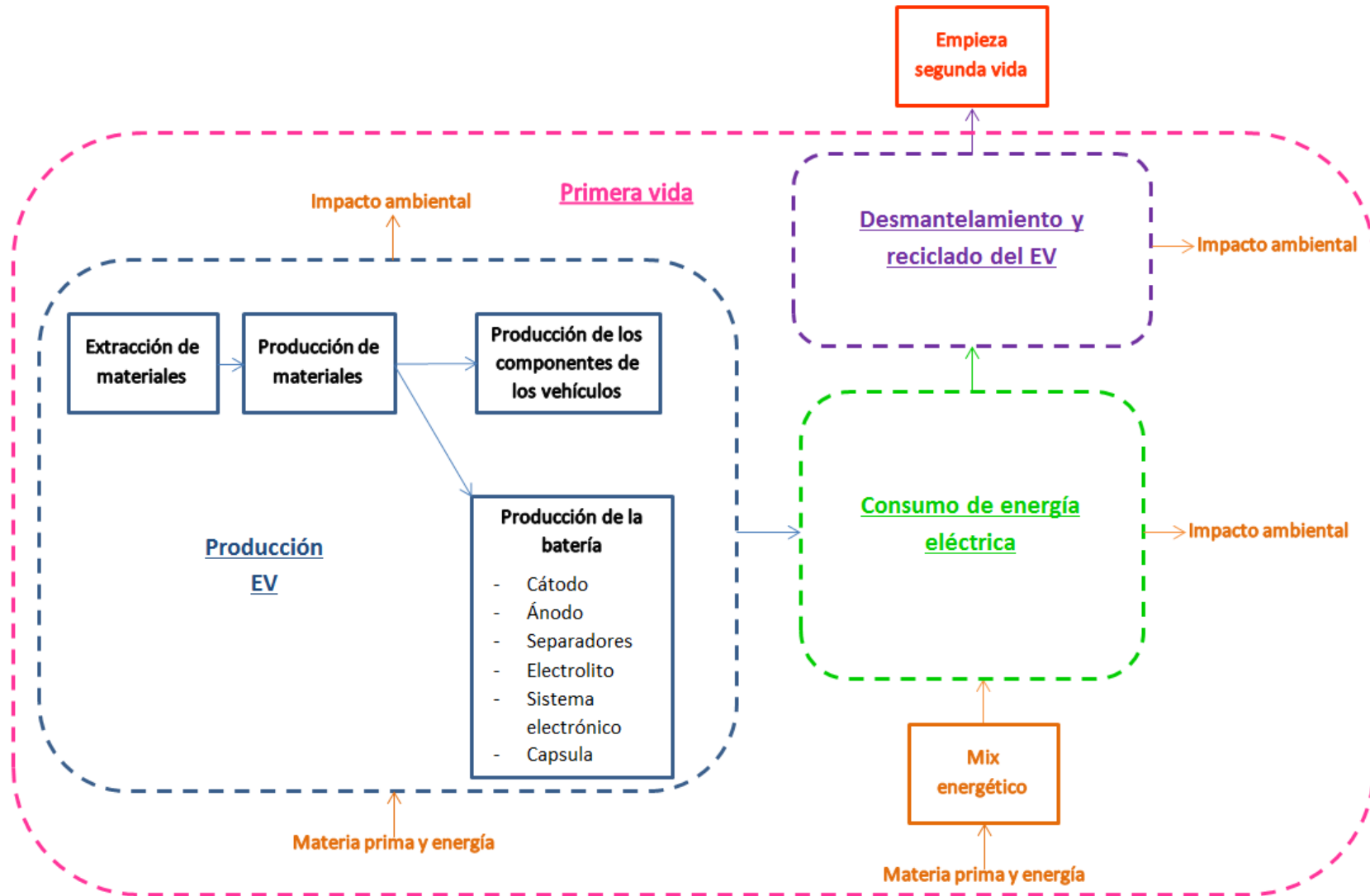


Figura 2: Esquema del ACV de primera vida. Elaboración propia

Modelar el consumo del vehículo eléctrico con todos estos parámetros, haría que el proceso de determinar el consumo de este fuese significativamente complejo. A parte de que no es necesario para el propósito de este trabajo. Así que a partir de los datos que aportan otros trabajos de investigación [11], [7], [13], [18], [5], [19], [20], [21], y del vehículo definido, se determina un consumo aproximado del EV. Con este consumo y los datos del mix energético de España se procede a calcular el impacto ambiental que genera el uso del EV. También se le añade un coeficiente de rendimiento de todo el sistema de generar y transportar la energía eléctrica y de cargar las baterías [19]. Respecto al mantenimiento, como es un impacto muy pequeño comparado con los otros impactos se puede considerar despreciable [11], [13].

Al llegar al final de su vida útil, el vehículo se ha de mandar a dismantelar para ser reciclado. En el caso de este trabajo el vehículo se separa en dos partes, una la batería que se manda a reutilizar y el resto del vehículo que se recicla. Para la batería el impacto que genera es el de extraer la batería y mandarla a la fábrica para ser reutilizada. Estos impactos se tienen en cuenta en el ACV de la segunda vida de la batería, Figura 2. Respecto al resto del vehículo, como muestra el artículo [22] los impactos ambientales producidos en el proceso de reciclado de un vehículo son muy pequeños al lado de los impactos ambientales de las otras partes del ACV de un vehículo. Así que se consideran nulos los impactos ambientales producidos en el reciclado del EV.

Impactos ambientales a considerar:

- Calentamiento global (GWP)
- Eutrofización (FEP)
- Acidificación (TAP)
- Agotamiento abiótico (ADP)

7.1 Definición del EV genérico

En los últimos años ha habido progresivamente un incremento de las ventas de los EV en España, como se puede observar en la Tabla 1. Aunque en la actualidad el número de ventas por año aún es muy pequeño. Para definir el EV genérico del estudio se usan las características técnicas de los EV más vendidos en España. Como se puede observar en la Figura 3, los EV más vendidos son el Nissan Leaf, el Renault ZOE, el BMW i3 y el Renault FLUENCE (para ver la Figura 3 completa y el desglose numérico de ventas ir al subapartado 2.1 del anexo).

En la Tabla 2 se tienen las características de los EV más vendidos en el periodo del 2011 al 2014. Aunque algunos valores expuestos no parecen muy diferentes entre ellos, si se comparasen todas las características de los EV es muy probable que se encontrasen diferencias entre unos y otros modelos. Así que los valores que se obtienen de hacer la media están sujetos a cierta incertidumbre causada por estas posibles diferencias entre ellos.

Tabla 1: Incremento de las ventas de EV en los últimos años en España [9]

	2011	2012	2013	2014
Total de EV vendidos	367	437	811	1076
Incremento (%)	-	19,07	85,58	32,68

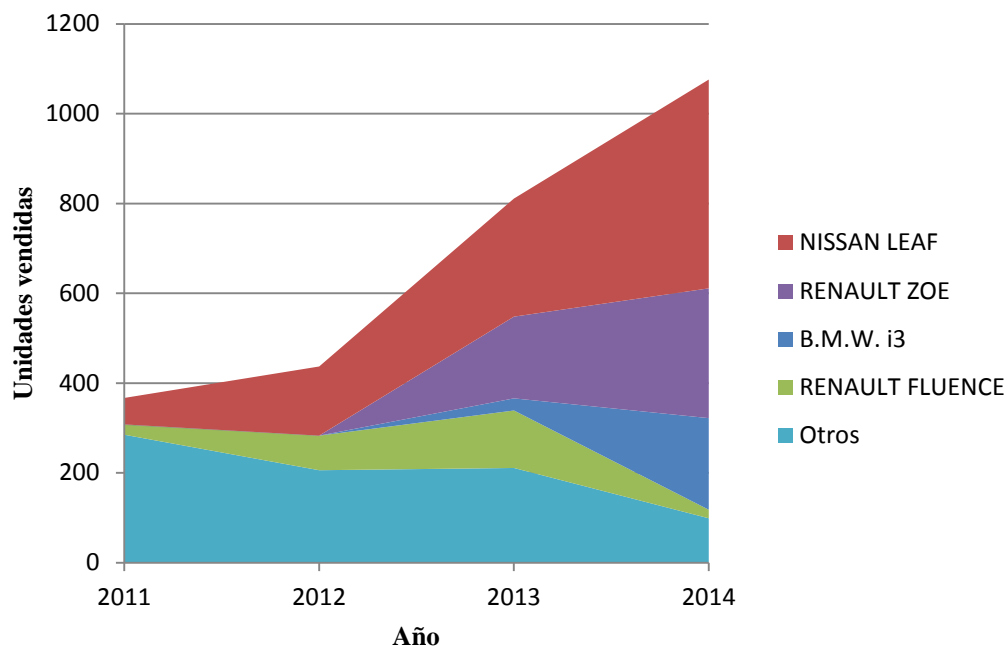


Figura 3: EV con las mayores ventas en España en el periodo del 2011 al 2014 [9]

Tabla 2: Características de los modelos de EV más vendidos en España en el periodo del 2011 al 2014

Marca	Modelo	Capacidad (kWh)	Tipo de batería	Consumo (kWh/km)	Peso máx. Vehículo	Autonomía (km)
BMW	i3 [23]	21,6	Ion de litio	0,129	1620	190
Nissan	Leaf [24][25]	24	Ion de litio	0,150	1945	199
Renault	Fluence Z.E. [3]	22	Ion de litio	0,141	1943	185
Renault	ZOE [3]	22	Ion de litio	0,146	1985	210

Tabla 3: Características del EV genérico del estudio

	Capacidad (kWh)	Tipo de batería	Consumo (kWh/km)	Peso máx. Vehículo	Autonomía (km)
EV genérico	22,4	Ion de litio	0,142	1873	196

En la Tabla 3 se presenta la media de los valores de los EV de la Tabla 2. También hay que definir un número de kilómetros que realiza en toda su vida útil, viendo el valor que se ha usado en otros artículos como [7], [13], [5], [21], se define que la vida total del EV sea de 150.000km.

7.2 Cálculo de impactos medioambientales

Como ya se ha comentado anteriormente en ACV de la primera vida de la batería se divide en tres partes: extracción de materiales, producción, uso y fin de vida. En este apartado se tratan los impactos de cada grupo por separado y además el primero lo se divide en la parte que corresponde a la batería y la parte que corresponde al resto del EV, como se puede ver en la Figura 2. Se empieza el cálculo de impactos ambientales de extracción y producción por EV sin la batería, para posteriormente pasar a la extracción y producción de la batería, después uso y finalmente acabando con el final de vida.

Tabla 4: Datos y artículos usados para modelar los impactos ambientales

Impacto ambiental	Artículos	Datos		Unidades
		Extracción y producción del EV	Extracción y producción de la batería	
GWP	[11]	3,75E+05	1,19E+05	g CO ₂ eq./kWh
	[13]	2,75E+05	5,26E+04	
	[18]	-	2,68E+05	
	[5]	-	1,74E+05	
	[21]	-	2,50E+05	
FEP	[7]	3,64E+02	-	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	[5]	-	5,36E-01	
	[21]	-	4,50E+02	
TAP	[7]	6,21E+02	-	g SO ₂ eq./kWh
	[21]	-	1,20E+03	
ADP	[13]	2,40E+03	4,27E+02	g Sb eq./kWh
	[5]	-	2,89E-04	

Para el cálculo de la extracción de materiales y producción del EV y de la batería se usan los datos que se exponen en la Tabla 4. En esta tabla se pueden ver los artículos usados para realizar el cálculo de cada impacto y el resultado obtenido después de caracterizar los datos proporcionados por los artículos (inicialmente en impacto equivalente o impacto equivalente partido kilómetros recorridos). Una

vez caracterizados los datos, se realiza la media de cada impacto de la Tabla 4 para obtener los resultados finales del impacto de extracción de materiales y producción del EV y de la batería, Tabla 5.

Tabla 5: Impactos ambientales del ACV de primera vida de la batería

Impactos ambientales	Unidades	Extracción y producción del EV	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclado de la batería
GWP	g CO ₂ eq./kWh	3,25E+05	1,73E+05	3,72E+05	-8,64E+04
FEP	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh	3,64E+02	2,25E+02	5,07E+02	-1,13E+02
TAP	g SO ₂ eq./kWh	6,21E+02	1,20E+03	1,75E+03	-6,00E+02
ADP	g Sb eq./kWh	2,40E+03	2,13E+02	2,88E+03	-1,07E+02

Para el cálculo del impacto ambiental producido por el uso del EV se usa la ecuación utilizada por [12], pero añadiéndole un coeficiente de rendimiento (η_{WTT}) [19], ecuación (1).

$$E_{EV} = \frac{C_{EV}}{\eta_{WTT}} * e_{mix} \quad (1)$$

Dónde E_{EV} es el impacto ambiental resultante en kWh/km, C_{EV} es el consumo del EV en kWh/km y e_{mix} es el impacto ambiental por kWh, en la Tabla 7 se muestran todos los impactos ambientales que hacen falta para modelar las emisiones de uso. El valor (η_{WTT}) es el rendimiento de la obtención de la energía eléctrica desde su origen de producción hasta que se almacena en la batería del EV. Para obtenerlo, se usa la información proporcionada por [19] (Tabla 6). Como el artículo [19] proporciona valores máximos y mínimos se realiza la media de los valores finales, ya que en este estudio el objetivo no es centrarse en valores exactos de los impactos de la primera vida, sino los valores medios de un EV genérico para poderlos comparar con todos impactos del ACV de este estudio. Para el cálculo del rendimiento global que se expone en la Tabla 6 se ha usado la ecuación (2) [19].

$$\eta_{WTT} = \eta_{trans.} * \eta_{dis.} * \eta_{carga} \quad (2)$$

Donde $\eta_{trans.}$ es el rendimiento de la transmisión, $\eta_{dis.}$ es el rendimiento de la distribución, η_{carga} es el rendimiento de la carga (puede ser rápida o lenta, Tabla 6).

Los valores usados para e_{mix} , se obtienen de la información que proporciona el artículo [26] y datos que proporciona la comisión nacional de energía (CNE) [27] (Tabla 7).

Tabla 6: Rendimientos de las diferentes partes que intervienen para suministrar la energía a la batería del EV. Donde la carga L1 hace referencia al sistema de carga rápido y el L2 al sistema de carga normal

	Rendimiento (%)		
	Min.	Max.	Media
Transmisión	98	99	98,5
Distribución	91	93	92
Carga (L1)	95	97	96
Carga (L2)	91	94	92,5
Global (w/L1)	84,7	89,3	87
Global (w/L2)	81,1	86,5	83,8
Total (η_{WTT})			85,4

Tabla 7: Valores de los impactos ambientales que produce el mix energético español [26], [27]

Impactos ambientales	Unidades	Emisiones
GWP	g CO ₂ eq./kWh	3,34E+02
FEP	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh	4,56E-01
TAP	g SO ₂ eq./kWh	1,57E+00
ADP	g Sb eq./kWh	2,58E+00

El impacto ambiental obtenido con la ecuación (1) está en kWh/km, esta no es la unidad funcional definida en el capítulo 6, por tanto se multiplica por el número de kilómetros recorridos por el EV (150.000 km) y se divide por el tamaño de la batería del EV (22,4 kWh) para obtener el impacto ambiental en las unidades deseadas (E_f), ecuación (3). El resultado obtenido se muestra en la Tabla 5.

$$E_f = \frac{E_{EV}}{\eta_{WTT}} \quad (3)$$

Como ya se ha comentado anteriormente el impacto ambiental en el reciclado del EV se desprecia. Respecto al reciclado de la batería, se tiene en cuenta la información que aporta el artículo [14]. Este artículo explica que el reciclado de la batería puede conllevar a una reducción de hasta un 50% de los impactos en el proceso de fabricación de la batería. Así que el impacto ambiental que se considera que genera el reciclado de las baterías de este trabajo es de un menos 50% del impacto de producción de la batería. Los datos que se generan están en la Tabla 5.

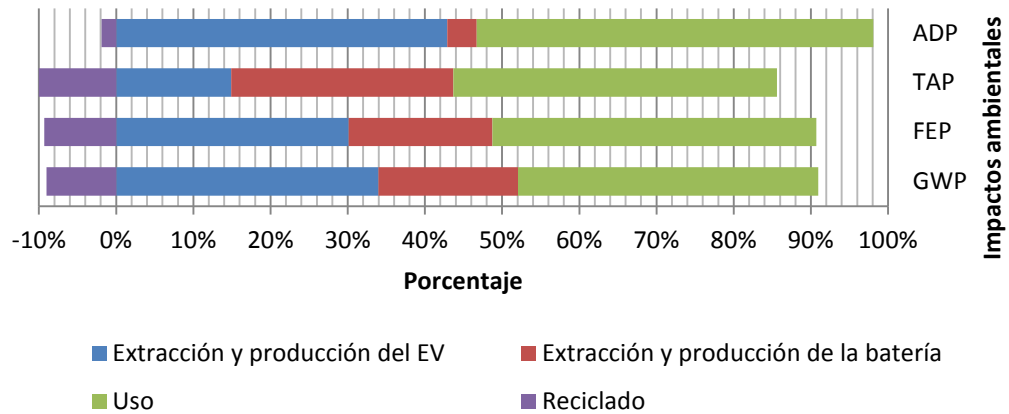


Figura 4: Gráfica con los impactos ambientales del ACV de primera vida de la batería, teniendo en cuenta que se recicla todo el EV. Datos numéricos en la Tabla 5.

Los resultados de los impactos ambientales que se obtienen del ACV de la primera vida de las baterías son los que se exponen en la Tabla 8. Además en la Figura 4 se muestra un gráfico de barras con los valores obtenidos en porcentaje.

Tabla 8: Impactos totales del ACV de la primera vida de las baterías reutilizando y reciclando la batería.

Impactos ambientales	Unidades	Total
GWP	g CO2 eq./kWh	7,84E+05
FEP	g PO3-4 eq./kWh	9,84E+02
TAP	g SO2 eq./kWh	2,97E+03
ADP	g Sb eq./kWh	5,38E+03

8 ACV de la segunda vida de una batería

Como se muestra en la Figura 5 el ACV de la segunda vida de las baterías se divide en una serie de fases por las cuales la batería va pasando. La primera fase empieza una vez que la batería termine su vida útil en el EV, esta consiste en recuperar las baterías para poderlas reutilizar para un nuevo uso. Para ello primero se debe extraer la batería del EV en un establecimiento que lo permita. Una vez extraída la batería, esta debe ser enviada a una fábrica para poder ser chequeada. Con este chequeo se mide el estado de salud de la batería para determinar sus buenas condiciones para su nuevo uso. También puede ser que para su nuevo uso haya que hacerle alguna preparación previa antes de ser enviada, como se puede ver en la Figura 5.

Una vez preparada la batería para la segunda vida, esta es enviada e instalada en el lugar donde desarrolla su segunda vida. Durante esta nueva vida, los impactos ambientales que se producen por el uso diario de la instalación vienen derivados del origen de la energía eléctrica que las baterías van almacenando.

Una vez que la batería finalizase su vida útil es cambiada por otra batería reutilizada y esta enviada a la fábrica de reciclaje. Una vez reciclada y recuperados todos los materiales estos son reintroducidos de nuevo en el ciclo para fabricar una batería nueva para un EV. Uno de los componentes que se recupera es el cátodo de la batería, a causa de su elevado coste y de su potencial riesgo medioambiental. Además es la parte de la batería que genera más residuos, un 37,5% [14].

Dentro de las múltiples posibilidades que hay para las segundas vidas, estas se pueden englobar en una serie de grupos. Todos estos grupos son casos estacionarios para la batería [28].

- Integración de las energías renovable
- Reducción de la factura eléctrica
- Apoyo a la red eléctrica en caso de incidencia

De estos tres grupos en este estudio se desarrollan los dos primeros, un caso para el primero y dos para el segundo. La razón de plantear dos casos en el segundo es para mirar de obtener una mayor integración del EV en la vida diaria y otro más genérico que se pueda instalar en cualquier vivienda. Los casos planteados son los siguientes:

- Como acumulador de una casa en el campo con placas fotovoltaicas.

- Como acumulador en una vivienda para cargar el EV en las horas del día en las que el precio de la energía es más caro y además por el método de carga rápida.
- Como acumulador de una vivienda, para rebajar la factura eléctrica. Al cargar el acumulador por la noche.

En el primer caso la idea es usarlo como acumulador para la energía sobrante que generen unas placas fotovoltaicas que estén instaladas en una casa de campo aislada. Así en las horas del día en las que las placas no generasen suficiente energía o por la noche se consume la almacenada y así no tener que depender de la red eléctrica.

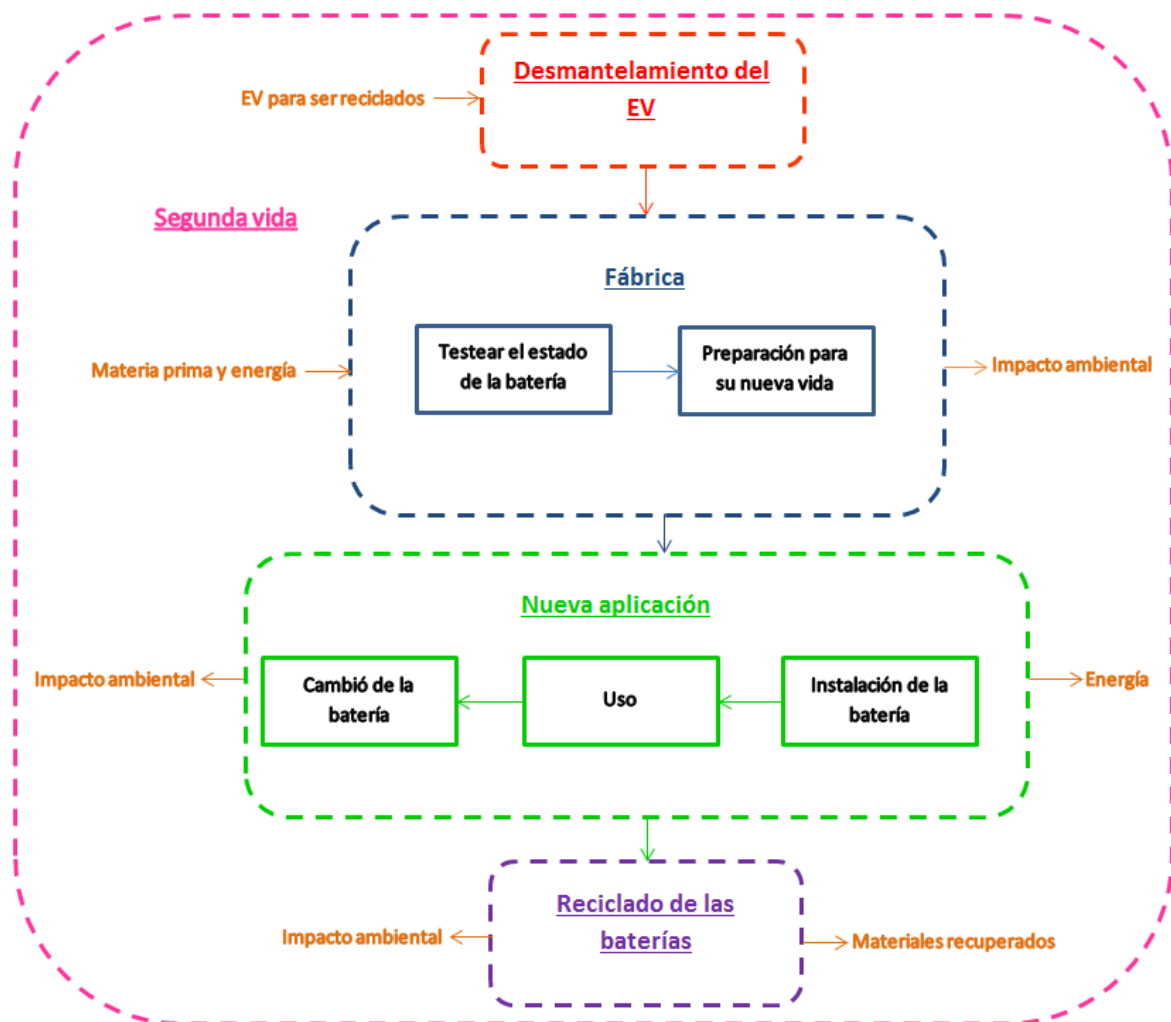


Figura 5: Esquema del ACV de segunda vida

En el segundo caso la idea es usarlo como acumulador en una vivienda para cargar el EV fuera del horario con un precio de tarificación menor. El sistema consiste en cargar las baterías en las horas en las que el precio del kilovatio es más bajo. Así si se quiere cargar el EV fuera de este horario que se tenga la

posibilidad de cargarlo una vez durante el día y que además esta carga pueda ser por el método de carga rápida.

El tercer caso es muy parecido al segundo, pero en vez de almacenar la energía para cargar el EV, usarla para suministra energía eléctrica a una vivienda (sin EV) durante el periodo del día con una tarifación más elevada.

8.1 Planteamiento

Una vez visto cómo funciona de manera general el ACV y algunas posibles aplicaciones para la segunda vida de este estudio, es hora de plantear como desarrollar cada una de las aplicaciones. Para realizar esto hay que ir definiendo una serie de variables y de pasos a seguir para realizar los cálculos necesarios.

Para empezar, todo lo relacionado con la instalación necesaria y el proceso de preparación de las baterías para su nueva vida, lo que se hace es determinar el coste final de la batería en el que se tiene en cuenta todos los costes relacionados desde el momento que la batería se extrae del EV hasta que está lista para su venta. También se determina un impacto ambiental relacionado con el consumo de energía eléctrica en el proceso de preparación de las baterías a partir de la información de una de las referencias, todo ello está explicado con más detalles en el apartado 8.2.

Para el primer caso, como acumulador de una casa en el campo con placas fotovoltaicas, se tiene que determinar un consumo medio de la vivienda y un valor de irradiación solar para España. Para después poder dimensionar la instalación fotovoltaica requerida [29]. Una vez dimensionada la instalación fotovoltaica se le asignan unos impactos ambientales y unos costes al proceso de fabricación e instalación de todo el conjunto según lo especificado en el alcance.

Para el segundo caso, como acumulador en una vivienda para cargar el EV fuera del horario con un precio de tarifación menor, hay que determinar qué tipo de vehículo se va a cargar. En función del vehículo a cargar la batería a instalar en la vivienda será mayor o menor. Una vez dimensionada la instalación se le asignan unos impactos ambientales y unos costes al proceso de fabricación e instalación de todo el conjunto según lo especificado en el alcance.

Para el tercer caso, como acumulador de una vivienda, hay que determinar el consumo medio de una vivienda familiar y las variaciones del precio de la electricidad en un día normal. Con el consumo medio de una vivienda familiar y sabiendo en que momentos la tarifación de la electricidad es más elevada, se puede determinar en qué porcentaje se quiere cubrir esos picos en el precio de

la electricidad y así determinar el tamaño de la batería. Con el tamaño de la batería determinada, solo hay que añadir el resto de componentes necesarios para el buen funcionamiento del acumulador. Una vez dimensionada la instalación se le asignan unos impactos ambientales y unos costes al proceso de fabricación e instalación de todo el conjunto según lo especificado en el alcance.

Para terminar, una vez finalizada la vida útil de la batería, esta se tiene que sustituir y mandar a reciclar. Este proceso genera unos costes e impactos ambientales. Estos costes van incluidos en el coste de instalación de la batería. Respecto al reciclado de las baterías, se realiza lo mismo que en la primera vida, se considera un reducción del 50% de los impactos de fabricación de la batería.

A parte de lo expuesto en este apartado, también se van a ir exponiendo los datos tanto de los costes como de los impactos ambientales del caso que se usa para comparar la posible mejora del ACV al reutilizar la batería. Este caso consiste en instalar una batería nueva de iones de litio. En el que cambia el precio de la batería (400 €/kWh [19]) y el tamaño de esta. La variación del tamaño es causada porque ahora no es necesario ajustar el tamaño de la batería necesaria a la capacidad restante de la batería del EV. El desarrollo detallado del proceso de obtención de los datos se puede encontrar en el capítulo 4 del anexo. Además, para el segundo y tercer caso se mira si el ahorro obtenido con el uso de la tarifa más barata permite recuperar la inversión.

8.2 Preparación e infraestructura necesaria para preparar la batería

La preparación de la batería para su nueva vida puede enfocarse de dos maneras diferentes, una en la que las baterías extraídas de los EV son chequeadas sin desmontar y otra en la que las baterías se desmontan y se chequean los módulos que la forman. En la primera opción el chequeo de las baterías es más rápido, el proceso es más sencillo y se reutilizan todos los componentes. Por lo contrario como es un único pack extraído del EV no tiene por qué ser apto para todas las segundas vidas, hay que manipular baterías de gran tamaño y hay que introducir un nuevo sistema de comunicación. En la segunda opción las baterías se adaptan mejor a la segunda vida, se manipulan solo los módulos de la batería, tiene un nuevo sistema de refrigeración y de control de la batería. Por lo contrario, el tiempo de preparación es mayor, se necesita hacer una nueva configuración y diseñar y programar los nuevos componentes [30].

Desde un punto de vista económico, el proceso en el que se obtiene una batería más barata es en la primera opción según la referencia [30 que basa sus cálculos en España y en las ventas de EV de este país], con un coste de 87

€/kWh. Para ver que partes del proceso de fabricación influyen más en el coste de preparación de cada batería, capítulo 3 del anexo.

Para terminar, se pasa a calcular el impacto ambiental de la energía eléctrica usada en el chequeo de las baterías donde se han usado los datos que proporciona la referencia [31]. Se multiplica la energía consumida (604800 kWh) por el impacto ambiental producido por la energía eléctrica del mix energético de España (Tabla 7) y se divide por el número de kWh chequeados (90720 kWh), resultados en la Tabla 9.

Tabla 9: Impactos ambientales de la energía consumida en la fábrica

Impactos	Unidades	Total
ADP	g Sb eq./kWh	1,72E+01
TAP	g SO ₂ eq./kWh	1,05E+01
FEP	g PO ₄ ³⁻ eq./kWh	3,04E+00
GWP	g CO ₂ eq./kWh	2,23E+03

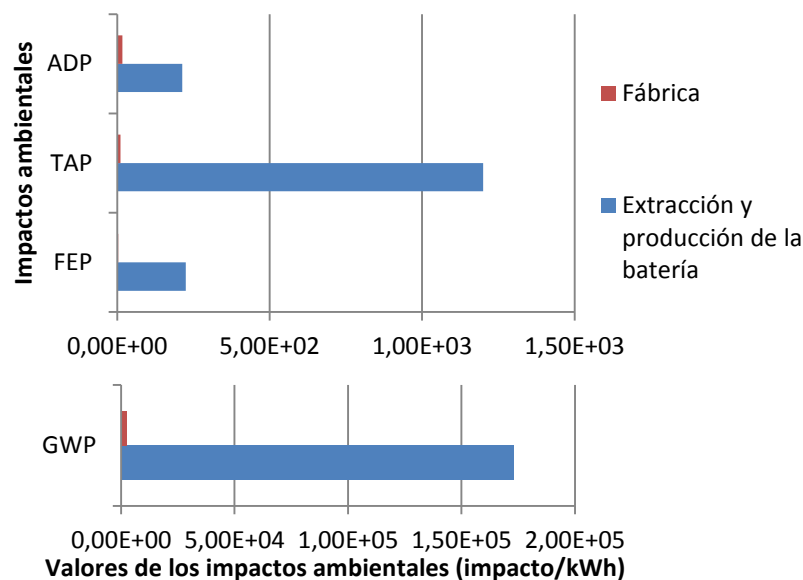


Figura 6: Comparación del impacto ambiental de la preparación del batería (fábrica) con el impacto ambiental de extracción y producción de la batería. Datos numéricos en la Tabla 5 y Tabla 9

Si se comparan los resultados obtenidos con la parte del ACV de la primera vida de la batería con menores impactos ambientales (extracción y producción de la batería). Se puede observar que los impactos ambientales producidos por la energía consumida por la fábrica son muy pequeños al lado de la extracción y producción de la batería, Figura 6.

8.3 Instalación fotovoltaica de una vivienda aislada

En este apartado se desarrolla el primer caso de segunda vida para la batería, que consiste en proporcionar energía eléctrica a partir de placas fotovoltaicas a

una vivienda aislada y desconectada de la red eléctrica. Antes de empezar a dimensionar esta instalación se va a realizar una breve explicación del funcionamiento de una instalación fotovoltaica en una vivienda desconectada de la red eléctrica.

Para proporcionar energía eléctrica a una vivienda aislada a partir de placas fotovoltaicas hay que instalar una serie de componentes que se ocupan de transformar la energía solar en eléctrica y de adaptar esta electricidad según si es almacenada en el acumulador o consumida por la vivienda. Hay dos tipos de instalaciones fotovoltaicas, una en la que la batería recibe en corriente continua la energía de los paneles mediante un regulador de carga (ECC) y otra en la que la batería recibe la corriente de la red de la vivienda en alterna (ECA). En la primera la batería está en el lado en el que la corriente es aun en continua (antes del inversor, Figura 7) y en el segundo caso está en la lado en el que la corriente es en alterna (después del inversor, Figura 8) [32], [33].

En ambos casos el primer componente que se encuentra es un conjunto de placas fotovoltaicas conectadas en paralelo y en serie que transforman la energía solar en eléctrica, el número de placas varía según la potencia de estas, del consumo energético estimado de la vivienda y de la radiación solar de la zona donde estén instaladas las placas fotovoltaicas. A partir de aquí la instalación varía según si es ECC o en ECA [32], [33].

En el caso de la ECC, se pasa al regulador de carga que se ocupa de cargar y de proteger el acumulador, impidiendo sobrecargas o descargas excesivas que lo pueden dañar. A continuación hay el acumulador que está compuesto por una batería usada de un EV. Finalmente, hay el inversor que transforma la electricidad de corriente continua del acumulador a corriente alterna para suministrarla a la vivienda según las necesidades de esta en cada momento (Figura 7) [32], [33].

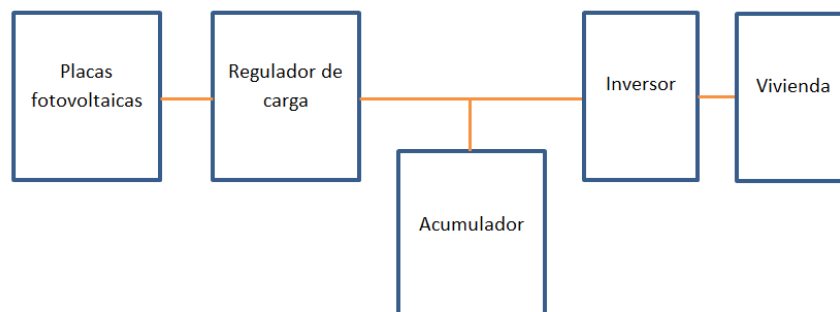


Figura 7: Instalación fotovoltaica ECC. Elaboración propia

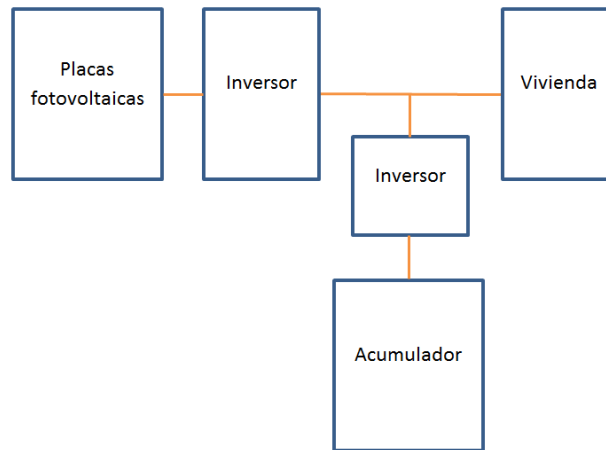


Figura 8: Instalación fotovoltaica ECA. Elaboración propia

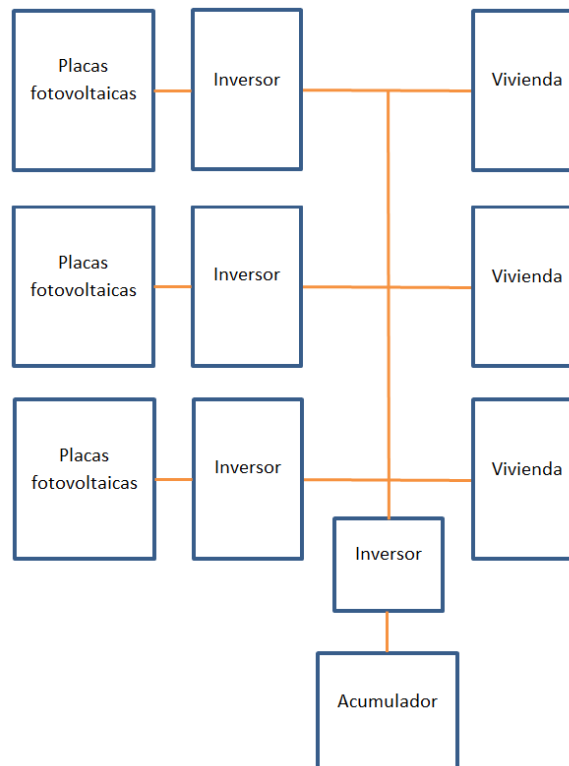


Figura 9: Instalación fotovoltaica ECA con múltiples viviendas. Elaboración propia

Para el caso de la ECA, las placas fotovoltaicas están conectadas a un inversor que transforma la energía eléctrica generada por las placas fotovoltaicas en corriente continua a corriente alterna y la suministra a la vivienda. Si la energía generada es mayor de la necesaria esta se envía a un inversor que está conectado a un acumulador. Este inversor se ocupa de pasar de corriente alterna a continua y viceversa, para que la energía eléctrica se pueda almacenar en el acumulador y ser usada cuando haga falta (Figura 8) [32], [33].

El último caso tiene la ventaja de que se puede montar una red de varias viviendas con diversas zonas con placas fotovoltaicas y un único acumulador (Figura 9) [33], por el contrario el ECC tiene que tener un acumulador para cada grupo de placas fotovoltaicas. Esto permite diseñar una infraestructura más versátil en la que las placas fotovoltaicas y el acumulador no tienen por qué estar juntas. Esto es muy interesante para un proyecto de varias viviendas aisladas, pero como en este estudio solo se quiere modelar la instalación para una vivienda no se obtiene ningún beneficio teniendo la batería separada de las placas fotovoltaicas. Por tanto en este estudio se desarrolla el caso de la ECC.

Este tipo de instalaciones fotovoltaicas que no están conectadas a la red eléctrica suelen tener un generador de apoyo conectado al inversor para suministrar energía adicional si fuera necesario [33]. El caso que se estudia en este trabajo se considera que hay un generador, pero que la instalación fotovoltaica es capaz de suministrar la energía requerida menos en algunos casos puntuales. Además se asume que el impacto del generador es lo suficientemente pequeño para no tenerlo en cuenta en este estudio y el coste de esta parte de la infraestructura se desprecia.

Medioambientalmente, en estas instalaciones hay que tener en cuenta que las instalaciones fotovoltaicas generan energía a partir del sol y no usan recursos fósiles, esto hace que la producción de energía eléctrica sea limpia. El problema reside en que para fabricar las placas fotovoltaicas sí que hace falta energía eléctrica y materia prima que genera un impacto ambiental, también genera impactos ambiental la fabricación de los otros componentes necesarios para construir la instalación, el transporte de todos ellos, su instalación y su reciclado [34].

8.3.1 Dimensionado de la instalación fotovoltaica

Para el dimensionado de la instalación fotovoltaica, como ya se ha comentado, se empieza determinando el consumo medio diario de una vivienda. Para determinar este valor el proceso que se sigue es coger el consumo medio de una vivienda media española (2,71 personas) [35] con el que se obtiene un consumo anual de 3487 kWh, estos datos se obtienen de la referencia [36] basados en datos del proyecto SPAHOUSEC del 2011 del instituto nacional de estadística (INE). Pero el consumo que se quiere es el diario, por tanto se divide entre 365 días y se obtiene un consumo de 9,6 kWh. Este valor obtenido es un valor medio de consumo, pero en pleno verano o invierno puede ser más alto a causa de la calefacción y la refrigeración que pueda haber en una casa.

Según datos proporcionados por un estudio del instituto para la diversificación y ahorro de la energía (IDAE) [37] el 9,7% del consumo eléctrico de una vivienda

en España es causado por la calefacción (7,4%) y la refrigeración (2,3%). Así que al valor obtenido de consumo medio de electricidad de una vivienda se le añade un coeficiente de seguridad del 10% para tener en cuenta el mayor consumo de electricidad en verano y en invierno más un pequeño margen para disminuir el error causado por estar hablando todo el rato de consumos medios de electricidad. Por tanto el valor final de consumo de electricidad diario en una vivienda que se usa en este estudio es de 10,6kWh.

Ahora se pasa a la obtención del valor de irradiación solar para España. Para calcular este valor se usa la información que proporciona la agencia estatal de meteorología (AEMET) y el valor se expresa en kWh/m² día. Este valor no es igual en toda España ni en todas las épocas del año, según los datos que proporciona la AEMET, el valor de irradiación solar en España está entre 3-5,5 kWh/m² día (Figura 10) [38]. Para intentar abarcar esta variación del valor sin tener que calcularlo para cada punto de España ni para cada día del año, lo que se ha hecho es dividir el mapa en tres franjas y de cada franja coger una ciudad de las estudiadas en el estudio [38]. También se ha asumido que la irradiación no varía excesivamente al largo del año. La primera franja va de 5,01-5,5 kWh/m² día (F1), la segunda de 4,03-5,01 kWh/m² día (F2) y la tercera de 3,00-4,03 kWh/m² día (F3). La ciudad seleccionada para cada franja es Huelva para F1, Salamanca para F2 y Oviedo para F3, de donde se obtienen los valores medios anuales de irradiación solar expuestos en la Tabla 10.

Una vez que se tienen estos dos valores se pasa a calcular las características de los componentes de la instalación fotovoltaica, para realizar estos cálculos se usa la información que proporciona la referencia [29] y que a continuación se va exponiendo.

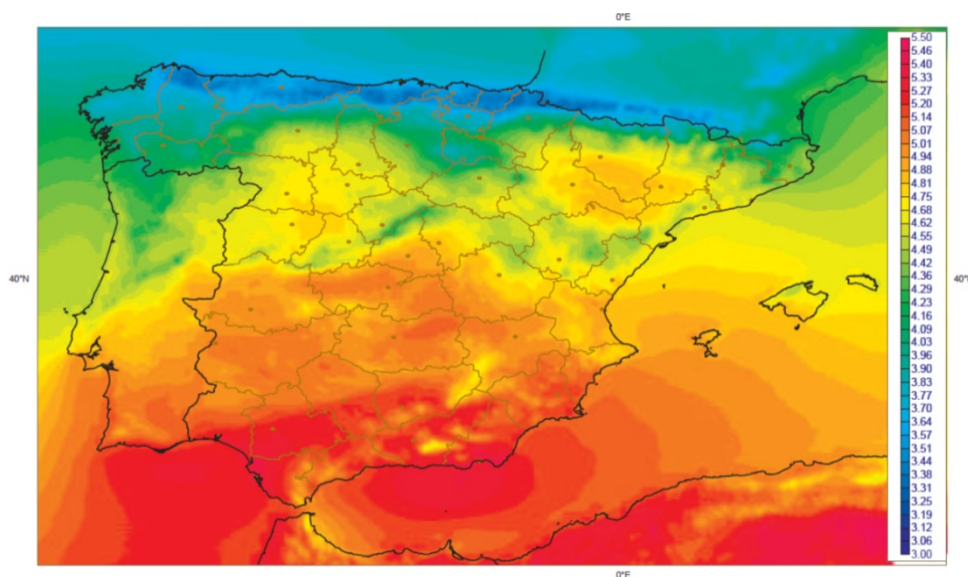


Figura 10: Irradiación solar media en España (kWh/ m² día), [38]

Tabla 10: Valores medios anuales de irradiación solar para cada caso (kWh/ m² día)

Franjas	Valores
F1	5,22
F2	4,72
F3	3,57

Se empieza dimensionando la placa fotovoltaica, para ello primero se calcula el área necesaria de las placas fotovoltaicas, para realizar este cálculo se usa la ecuación (4).

$$A_{PV} = \frac{L_{el}}{H_{avg} * \eta_{PV} * \eta_B * \eta_I * T_{CF}} \quad (4)$$

Donde A_{PV} es el área requerida para las placas fotovoltaicas en m², L_{el} es el consumo diario de la vivienda en kWh, H_{avg} es la irradiación solar media en kWh/m² día (Tabla 10), η_{PV} es el rendimiento de la placa fotovoltaica considerando un rendimiento del 15% (rendimiento típico de una placa fotovoltaica [39]), η_B es el rendimiento de la batería, η_I es el rendimiento del inversor y T_{CF} es el factor de corrección de la temperatura.

El pico de potencia de las placas fotovoltaicas se calcula con la ecuación (5).

$$P_{p(PV)} = A_{PV} * I_p * \eta_{PV} \quad (5)$$

Donde $P_{p(PV)}$ es el pico de potencia de la placa fotovoltaica en W y I_p es el pico de irradiación solar en W/ m².

El siguiente componente a dimensionar es la batería. El valor más importante para determinar la batería necesaria para esta instalación es la capacidad de la batería, que está influida por el número de días seguidos cubiertos en los que no haya sol. En la referencia [33] dice que se suelen dimensionar las baterías para tener una autonomía de 2 a 5 días. Así que para este estudio se usa el segundo valor menos favorable para asegurarse de un suministro sin tener una necesidad muy elevada de usar el generador de apoyo y que el número de baterías necesarias no sea muy elevado, 4 días. La ecuación usada para calcular la capacidad de la batería es la (6).

$$B_C = \frac{N_{ccd} * L_{el}}{\eta_B * D_d * \eta_I} \quad (6)$$

Donde N_{ccd} es el número de días seguidos sin sol y D_d es la profundidad máxima de descarga permitida para la batería. Esta variable puede tener un efecto negativo a la hora de dimensionar la batería, ya que al usar un valor muy pequeño la capacidad requerida aumenta. En el estudio [26] usan un valor del 50%, pero este valor genera un tamaño de batería bastante grande. Así que se

usa un valor algo más grande como un 65%. Una vez dimensionada la capacidad de la batería hay que saber cuántas baterías de EV hacen falta, para ello se divide el resultado entre la capacidad del EV genérico del estudio por el porcentaje capacidad perdida en la primera vida (17,9 kWh).

El último componente a dimensionar es el inversor. El inversor a usar en la instalación tiene que ser capaz de proporcionar la potencia máxima que la vivienda pueda demandar. Además, se le añade un coeficiente de seguridad del 20% sobre la potencia máxima. Para este estudio se supone que la potencia máxima de la vivienda es de 3kW. También hay que tener en cuenta que los inversores que se comercializan para instalaciones fotovoltaicas no están preparados para el voltaje de las baterías de EV ($\approx 200-400V$) (valores de voltaje en el capítulo 2 del anexo). Por tanto se asume que para cuando este estudio se ponga en práctica habrá en el mercado inversores para esta aplicación y a un precio similar al actual.

Tabla 11: Parámetros usados para los cálculos en este apartado

Parámetros	Valores	Unidades
L_{el}	10,6	kWh
η_{PV}	15	%
η_B	85	%
η_I	92,5	%
T_{CF}	80	%
I_p	1000	W/m ²
D_d	65	%
N_{ccd}	4	días

Los parámetros usados para dimensionar la instalación son los que ya se han ido introduciendo en este apartado y el resto salen de la referencia [29] (Tabla 11). Con estos valores y las ecuaciones explicadas se obtienen los valores que hay en la Tabla 12.

Tabla 12: Resultados de las ecuaciones anteriores para las tres franjas

Variables	Franjas			Unidades
	F1	F2	F3	
A_{PV}	23,9	26,4	35,0	m ²
$P_{p(PV)}$	3,59	3,97	5,24	kW
B_c	89,6	89,6	89,6	kWh
Nº de B_{EV}	5	5	5	unidades
$P_{inversor}$	3,60	3,60	3,60	kW

8.3.2 Cálculo del coste de la instalación fotovoltaica

A partir de los resultados calculados en el subapartado anterior se puede determinar el precio de los componentes necesarios. Los datos se obtienen a partir de una web que proporciona componentes para montar instalaciones fotovoltaicas [39], ver Tabla 13, y así poder valorar la viabilidad económica de la instalación fotovoltaica. Para la obtención del número de placas fotovoltaicas necesarias lo que se hace es dividir la potencia obtenida por la potencia de la placa fotovoltaica.

Tabla 13: Componentes y precios de los componentes seleccionados

Componente	Modelo	Precio unitario	Unidades	Precio (€)
Placa fotovoltaica	Panel Solar 310W 24V Policristalino AXITEC	275,00	F1 12	3300,00
			F2 13	3575,00
			F3 17	4675,00
Acumulador	Batería de ion de litio genérica reutilizada	1559,04	5	7795,20
Inversor	Inversor Cargador Solar Outback 3500W 24V VFX3524E	2027,30	1	2027,30
Regulador de carga	Controlador de Carga Bluesolar MPPT 150V 70 ^a	643,48	1	643,48

El siguiente punto a tratar es el número de años que le quedan a las baterías a usar en esta instalación. La vida de una batería está influenciado por una serie de factores que hacen que esta dure más o menos. Estos factores son la profundidad de las descargas, la temperatura a la que trabaja, el estado de la carga, la composición química, la edad y el número de ciclos realizados entre otros factores [40], [41]. Al depender de tantas variables la vida de las baterías hace que realizar el cálculo sea complejo y haga falta mucho tiempo para realizarlo correctamente. En este estudio se usa una aproximación en la que no se tienen en cuenta las variables comentadas, pero que da un resultado aproximado de la vida restante de la batería. La ecuación a usar es la (7) de la referencia [41] y el número de ciclos de la batería se consideran 1800 [4].

$$E = D_d * B_C * \text{ciclos} \quad (7)$$

Donde D_d es la profundidad máxima de descarga permitida para la batería (65%, Tabla 11), B_C es la capacidad de la batería para este estudio, E es la energía restante de la batería, si se divide por la energía que se almacena anualmente en la batería E_a se obtienen los años de vida de la batería (L) [41], ecuación (8).

$$L = \frac{E}{E_a} \quad (8)$$

Teniendo en cuenta que la E_a es la energía consumida anualmente por la vivienda dividido por el rendimiento del inversor (92,5%), por tanto el valor obtenido es de 3770 kWh. El resultado que se obtiene es el de la Tabla 14.

Tabla 14: Energía restante, energía consumida anualmente y años de vida restantes de cada batería

Variable	Valor	Unidades
E	104832	kWh
E _a	3770	kWh
L	28	años

Para el coste de adquisición y puesta en funcionamiento de la instalación fotovoltaica se usa la información que proporciona la referencia [29]. Para empezar se supone que la vida de la instalación es de 20 años y a partir de la vida restante de las baterías usadas que se instalan en la instalación fotovoltaica se puede determinar cada cuanto hay que cambiarlas y el número total de cambios a realizar. Como se ha visto en la Tabla 14 las baterías duran 28 años, por lo tanto no hay que cambiar la batería de la instalación. El coste de instalación (C_{ins}) se considera del 10% del coste inicial de las placas fotovoltaicas, basado en [29].

Finalmente, el coste final de la instalación fotovoltaica es la suma de todos los costes parciales representado por la ecuación (9).

$$CF = C_{pV} + C_B + C_{rc} + C_i + C_{ins} \quad (9)$$

Donde CF es el coste final de la instalación fotovoltaica, C_{pV} es el coste de las placas fotovoltaicas, C_B es el coste de la batería, C_{rc} es el coste del regulador de carga y C_i es el coste del inversor (Tabla 13). El coste actualizado al presente (CFA) viene determinado por la ecuación (10).

$$CFA = CF \left[\frac{1 - \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^N}{1 - \frac{1+i}{1+d}} \right] \quad (10)$$

Donde i es la inflación, d es la tasa de descuento y N es el número de años de vida útil de la instalación. El valor usado para la inflación es el que la política monetaria del banco central europeo (BCE), revisada el 2003, que considera que es el valor a alcanzar dentro de la Unión Europea (UE) para mantener la estabilidad de los precios es un 2% [42]. Para la tasa de descuento se usa el mismo valor que el del estudio [29], 8%. Por último el coste unitario por capacidad de la batería (CU) viene determinado por la ecuación (11).

$$CU = \frac{CFA}{B_C} \quad (11)$$

Si se comparan los valores obtenidos en la Tabla 15 y los del caso alterativo basado en una batería nueva del apartado 4.1 del anexo, se puede ver que el coste unitario de usar una batería usada es menor. Esto es debido a la reducción del precio de la batería adquirida. Por tanto el aumento del tamaño de esta se ve compensado por el ahorro de comprar una batería usada. Así que desde un punto de vista económico sale rentable comprar una batería usada (Figura 11). También se puede ver que al situar la instalación en una zona con menor irradiación solar los costes aumentan, ya que se precisa de un mayor número de placas solares.

Tabla 15: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones expuestas en este subapartado

Costes	Franja	Valor	Unidades
C_{PV}	F1	3300,00	€
	F2	3575,00	€
	F3	4675,00	€
C_B	-	7795,20	€
C_{ins}	F1	330,00	€
	F2	357,50	€
	F3	467,50	€
CF	F1	14095,98	€
	F2	14398,48	€
	F3	15608,48	€
CFA	F1	1149,62	€
	F2	1174,29	€
	F3	1272,97	€
CU	F1	12,83	€kWh
	F2	13,11	€kWh
	F3	14,21	€kWh

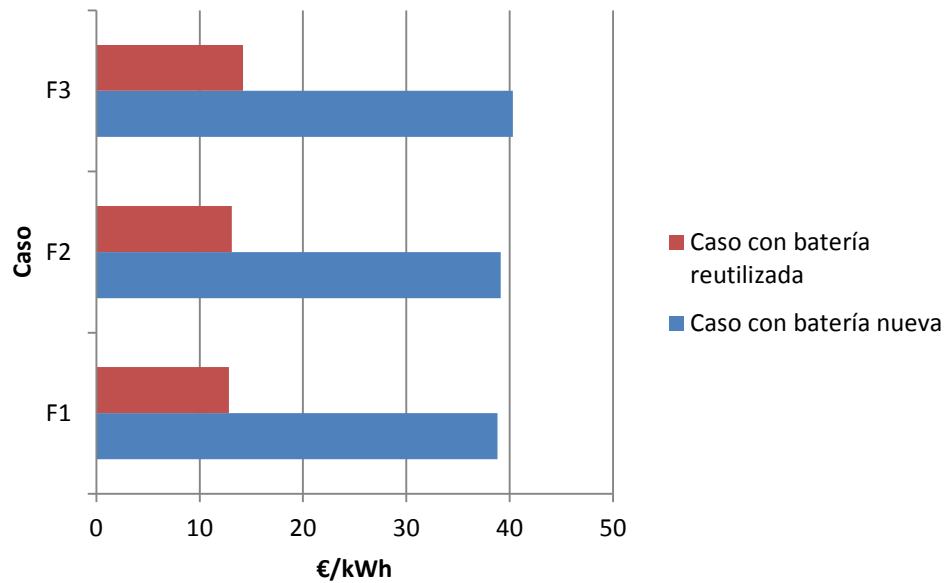


Figura 11: Comparación de costes unitarios entre usar una batería reutilizada y una nueva para una instalación fotovoltaica

8.3.3 Cálculo de impactos ambientales de la instalación fotovoltaica

En este subapartado se tratan los impactos ambientales que se producen en la instalación fotovoltaica. Como ya se ha comentado anteriormente solo se tienen en cuenta los producidos por la batería. El resto de impactos producidos por los otros componentes se han despreciado.

Las baterías generan una serie de impactos ambientales desde el momento que se fabrican hasta que llegan a su final de vida, como se ha visto en el ACV de la primera vida de la batería. En la segunda vida de la batería se tiene el caso estudiado (batería reutilizada) y el alternativo (batería nueva).

En el primero, batería usada, los impactos ambientales causados por su fabricación se tienen en cuenta en la primera vida de la batería. Por tanto para la segunda vida queda la preparación de esta (que se ha calculado su impacto en el subapartado 8.2) y el causado por su uso y su reciclaje.

En este caso como se usa energía renovable, el impacto ambiental por el uso de esta energía es cero. Respecto al reciclaje se utiliza la misma suposición que en el apartado 7.2. En el que se considera una reducción del 50% sobre el impacto de producir la batería. Para hacer esto hay que recordar que la batería usada en esta instalación son 5 baterías de EV, por lo tanto la reducción se hace sobre 5 baterías de EV. Se exponen resultados en la Tabla 16.

Tabla 16: Impactos ambientales de la segunda vida de la batería y del caso alternativo

Caso	Impactos	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclaje	Total	Unidades
Reutilizado	GWP	-	0	-4,32E+05	-4,32E+05	g CO ₂ eq./kWh
	FEP	-	0	-5,63E+02	-5,63E+02	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	TAP	-	0	-3,00E+03	-3,00E+03	g SO ₂ eq./kWh
	ADP	-	0	-5,34E+02	-5,34E+02	g Sb eq./kWh
Nuevo	GWP	8,00E+05	0	-4,00E+05	4,00E+05	g CO ₂ eq./kWh
	FEP	1,04E+03	0	-5,21E+02	5,21E+02	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	TAP	5,56E+03	0	-2,78E+03	2,78E+03	g SO ₂ eq./kWh
	ADP	9,88E+02	0	-4,94E+02	4,94E+02	g Sb eq./kWh

En el caso alternativo, batería nueva, a parte de los impactos que se encuentran en el caso anterior también hay que tener en cuenta el impacto ambiental de fabricar la batería. Porque ahora se fabrica una batería para usarla en la instalación fotovoltaica. Los impactos ambientales de producir la batería se obtienen del ACV de la primera vida de la batería. En este caso la batería es más grande que la del EV, por tanto el valor obtenido es tantas veces como de grande sea la batería nueva respecto la del EV. En este caso se tiene una batería de 83 kWh (valor en el subapartado 4.1 del anexo), por tanto es 4,6 veces mayor que la batería genérica. Se exponen resultados en la Tabla 16.

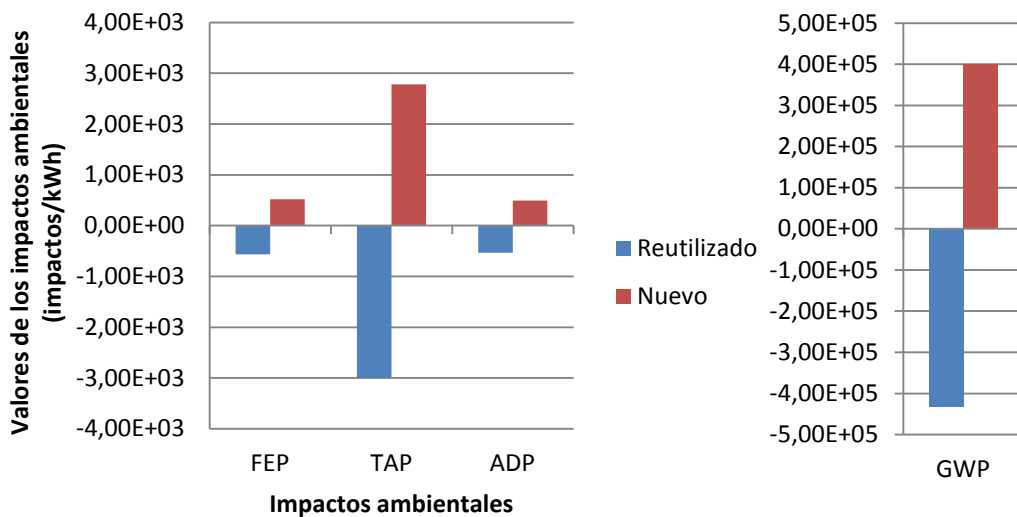


Figura 12: Gráfico de los valores totales obtenidos de la segunda vida y del caso alternativo

De los datos expuestos en la Tabla 16 hay que tener en cuenta que no se han expuesto los valores de los impactos ambientales de la preparación de la batería para la reutilización de las baterías, estos valores se añaden en el capítulo 9 cuándo se junten todos los datos de la primera y segunda vida de la batería. En el Figura 12 se puede observar como en el caso de reutilizar la batería solo se

obtiene un impacto negativo que es causado por el reciclaje de esta y en el caso alternativo se tiene un impacto positivo causado por las diversas partes de su ciclo de vida. Esto es debido a que falta adjuntar los impactos de la primera vida de la batería y la preparación de esta. Los resultados completos se exponen en el capítulo 9.

8.4 Instalación para cargar un EV con un cargador rápido a partir de un acumulador

Actualmente existen básicamente tres tipos de recarga, conocidos comúnmente como recarga convencional, semi-rápida o rápida. La diferencia reside principalmente en el tiempo empleado para cargar el EV. La recarga convencional necesita unas 8h para cargar la batería completamente, la semi-rápida unas 4h y la recarga rápida entre 15 o 30 minutos según el cargador usado y la capacidad de la batería, pero la batería no se carga completamente (entre un 65% y un 80% de la capacidad de la batería). Otro punto a tener en cuenta es la potencia necesaria, para la recarga convencional la potencia requerida es de 3,7 kW, para la semi-rápida la potencia requerida es de 7,3 kW y para la recarga rápida la potencia requerida es de 50 kW [43], [44].

Respecto a los modos de recarga hay cuatro tipos diferentes, que dependen del nivel de comunicación entre la infraestructura y el EV. Los modos con numeración más elevada corresponden a infraestructuras con una mayor comunicación con el EV. Esta mayor comunicación permite un mayor control en el proceso de recarga. El único modo habilitado para realizar carga rápida es el modo 4, que carga con corriente continua el EV [43], [44].

Tabla 17: Valores de los impactos ambientales que produce el mix energético nocturno español

Impactos ambientales	Unidades	Emisiones
GWP	g CO ₂ eq./kWh	3,34E+02
FEP	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh	4,56E-01
TAP	g SO ₂ eq./kWh	1,57E+00
ADP	g Sb eq./kWh	2,58E+00

Como ya se ha comentado, lo que se pretende estudiar es la instalación de un cargador rápido en una vivienda con un acumulador para poder cargar el EV durante el día. Así que el tipo de cargador a instalar en la vivienda es el del modo 4. A parte de este cargador se considera que la vivienda también puede recargar el EV mediante recarga lenta, aunque no se tenga en cuenta en el estudio porque se considera que la vivienda tiene este sistema de recarga independientemente de que la implantación del cargador rápido sea viable económicamente y medioambientalmente. El EV que se va a cargar con esta

instalación es el EV genérico definido en el apartado 7.1 y el mix energético en este caso es el nocturno. Se usa este mix energético porque el acumulador se carga solamente por la noche, Tabla 17 [45].

8.4.1 Dimensionado de la instalación de carga rápida de un EV para una vivienda

La energía eléctrica la proporciona la red eléctrica, esta se usa para cargar el acumulador. Con la energía almacenada en el acumulador se carga el EV a través del cargador rápido (Figura 13). A parte, el cargador también está conectado directamente con la red eléctrica por si se quiere realizar más de una carga rápida al día (este caso no se estudia en este trabajo).

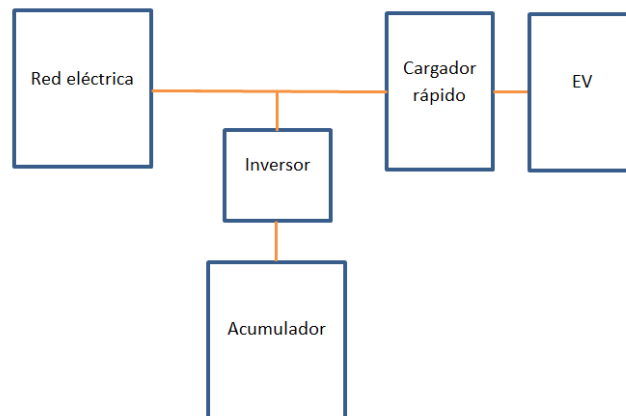


Figura 13: Instalación de carga rápida de un EV para una vivienda. Elaboración propia

Para dimensionar la batería se usa la ecuación (12).

$$B_C = \frac{B_{EV}}{\eta_B * D_d * \eta_c} \quad (12)$$

Donde B_C es la capacidad de la batería a instalar, B_{EV} es la capacidad de la batería del EV a cargar, η_c es el rendimiento del cargador, η_B es el rendimiento de la batería y D_d es la profundidad máxima de descarga permitida para la batería, para este parámetro se realiza la misma suposición que en el subapartado anterior y se le da un valor de 65%. Para el rendimiento del cargador se considera un valor del 90% [46].

El rendimiento de la batería no es igual para la carga normal que para la carga rápida. Esto es debido a que este rendimiento principalmente depende de las pérdidas por el efecto Joule ($P=R*I^2$). La variable de la resistencia depende de la temperatura, el estado de carga y de la edad de la batería [47], [48]. Para obtener un valor aproximado del rendimiento lo que se hace es a partir del rendimiento anterior obtener la resistencia de la batería (utilizando los datos de un cargador normal 3,7 kW y 16 A [44]) y después con los datos de un cargador rápido (50 kW y 100 A [44]) calcular el rendimiento de la batería, 80%.

En este caso, al igual que en el anterior, hay que determinar el número de baterías de EV que hacen falta para la instalación. Todos los parámetros que hacen falta y resultados obtenidos se exponen en la Tabla 18.

Tabla 18: Parámetros y resultados de la ecuación (12)

Parámetros	Valores	Unidades
B_{EV}	22,4	kWh
η_B	80	%
η_c	90	%
D_d	65	%
B_c	53,8	kWh
Nº de B_{EV}	3	unidades

8.4.2 Cálculo del coste de la instalación para cargar un EV con un cargador rápido

En este subapartado se calcula el coste de adquisición y puesta en funcionamiento de la instalación para cargar un EV con un cargador rápido. A diferencia del caso anterior, no solo hay que tener en cuenta los costes de cada componente, también hay que añadir los costes relacionados con la compra de energía eléctrica. Para que esta instalación tenga sentido hay que tener contratada la tarifa con discriminación horaria supervalle. Esta tarifa consta de tres franjas horarias con precios distintos para cada franja, supervalle, normal y valle. Como se observa en la Tabla 19 interesa cargar la batería en el intervalo de 1-7h con un precio de 0,044146 €/kWh [44], [49].

Para determinar el coste que supone anualmente cargar el EV y ver si es rentable esta instalación se suponen tres casos de uso. Con la intención de tener en cuenta la posibilidad que no todos los usuarios del EV tenga la misma necesidad de cargar su EV. Por eso se plantea el caso de un cliente que tiene una gran necesidad diaria de cargar su EV (90% de los días), uno que no siempre lo carga (50% de los días) y otro que raramente lo carga (25% de los días) (Porcentajes seleccionados de manera arbitraria). También se supone que la batería se empieza a cargar cuando se ha vaciado un 70%. Por tanto, para determinar la energía necesaria diaria se usa la ecuación (13).

$$C = \frac{B_{EV}}{\eta_B * \eta_c} * ds \quad (13)$$

Donde C es el consumo diario que se realiza en kWh/día, ds es el porcentaje de la batería que se ha descargado y los dos rendimientos son los comentados anteriormente, Tabla 21.

Para el cálculo de la vida estimada que le queda a la batería se realiza el mismo proceso que en el subapartado 8.3.2, usando las ecuaciones (7) y (8). Para determinar la energía usada al largo del año lo que se hace es multiplicar la energía consumida diariamente por el número de días de cada caso. Los parámetros usados y los datos obtenidos son los de la Tabla 20.

Tabla 19: Precio y horarios de la tarifa con discriminación horaria supervalle

Tarifa	Precio (€/kWh)	Horario (h)
Normal	0,150812	13 - 23
Valle	0,071879	7 - 13, 23 - 1
Supervalle	0,044146	1 - 7

Tabla 20: Parámetros usados y años de vida restantes de la batería

Caso	Ea (kWh)	E (kWh)	L (años)
90%	7154	62899	9
50%	3974	62899	16
25%	1987	62899	32

Respecto al número de veces que hay que cambiar la batería se realiza como en el caso anterior y se supone que la vida de la instalación es de 20 años. Así que como se ha visto en la Tabla 20 las baterías duran 9, 16 y 32 años según el porcentaje de uso que se les dé, por lo tanto hay que cambiarlas 1,2 (se aproxima a 1 veces), 0,25 (se aproxima a 0 veces) y 0 veces a lo largo de toda la vida útil de la instalación.

Para el cálculo del coste de la instalación se usan las ecuaciones (9)-(11) del subapartado 8.3.2, pero de la ecuación (9) se eliminan los términos C_{PV} , C_{rc} , se añaden el coste del cargador (se considera que tiene un coste de 30000€ [44]) y el coste del consumo de energía eléctrica. Para este último coste se tiene en cuenta la variación del coste de la energía eléctrica gastada anualmente con la variación de la inflación y de la tasa de descuento. A partir de la ecuación (14).

$$C_{elec} = \sum_{t=0}^N C_{elec.a} * \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^t \quad (14)$$

Donde C_{elec} es el coste total de la electricidad de N años, $C_{elec.a}$ es el coste de la electricidad anualmente y N son los años que la instalación está en servicio. Para obtener $C_{elec.a}$ lo que se hace es multiplicar Ea por el precio de la electricidad seleccionado anteriormente. Para el caso del 90% de los días hace falta una batería más. Para determinar su precio se tiene en cuenta la variación del coste de la batería con la variación de la inflación y de la tasa de descuento. El valor usado para la inflación es el que la política monetaria del banco central europeo (BCE), revisada el 2003, que considera que es el valor a alcanzar

dentro de la Unió Europea (UE) para mantener la estabilidad de los precios es un 2% [42]. Para la tasa de descuento se usa el mismo valor que el del estudio [29], 8%. Así que el cálculo del coste de cada batería remplazada se realiza con la ecuación (15).

$$C_{B1} = C_B \left(\frac{1+i}{1+d} \right)^N \quad (15)$$

Donde C_B es el coste inicial de la batería, C_{B1} es el coste actualizado, i es la inflación, d es la tasa de descuento y N es al cabo de cuantos años se cambia la batería (10 años).

Tabla 21: Parámetros usados en este subapartado

Parámetros	Valores	Unidades
i	2	%
d	8	%
ds	70	%
Cargador	30000	€
C_i	2027,3	€
C	21,8	kWh/día
N	10	años

Los parámetros que se usan son los de la Tabla 21 y los resultados que se obtienen son los expuestos en la Tabla 22, estos se tienen que comparar con los del caso alternativo de una batería nueva de la Tabla 13 del anexo para ver si se obtiene un menor coste unitario por capacidad. Se puede ver que el coste unitario de usar una batería usada es menor. Igual que en el caso anterior también es rentable el uso de una batería usada enfrente de una nueva, Figura 14. En los dos casos se puede ver que al usar menos el cargador rápido se obtiene un coste unitario menor. Esto es debido a que todos los costes son iguales para la instalación menos el coste energético y el coste de la batería para el caso del 90%. Esto hace que al usar menos la batería el coste total de todo el conjunto (instalación y coste energético) disminuya y salga más barato el coste por kWh, Figura 15. Para ver si se puede recuperar la inversión se miran si el ahorro en la factura eléctrica al cargar el acumulador por la noche es suficiente. Para realizar esto, se compara el coste actualizado de la instalación sin el coste de la electricidad con la diferencia del coste de la electricidad usando la tarifa supervalle y la normal, Figura 16 Como se puede ver el coste de la instalación es mucho mayor que el ahorro que se consigue tras 20 años de estar cargando el EV.

Tabla 22: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones comentadas en este subpartado

Costes	Caso	Valor	Unidades
C_B	90	4677,12	€
C_{B1}		2640,84	€
C_B	50	4677,12	€
C_B	25	4677,12	€
C_{ins}	-	400,00	€
	90	43617,69	€
CF	50	39255,77	€
	25	38180,09	€
	90	3557,30	€
CFA	50	3201,56	€
	25	3113,83	€
	90	66,17	€/kWh
CU	50	59,55	€/kWh
	25	57,92	€/kWh

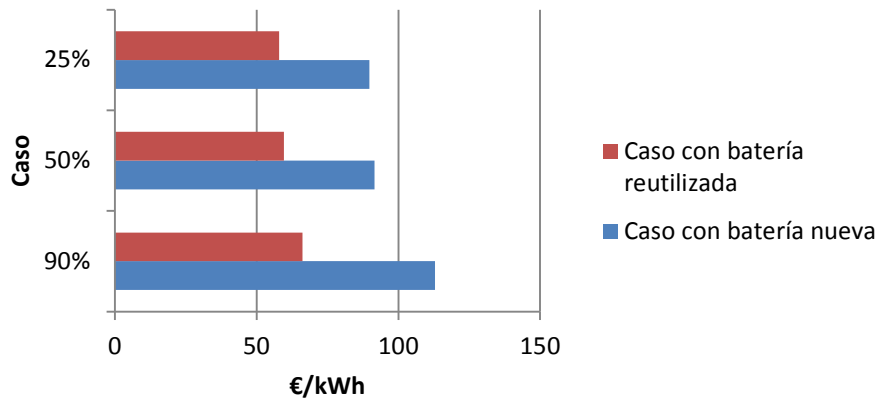


Figura 14: Comparación de costes unitarios entre usar una batería reutilizada y una nueva para una instalación para cargar un EV

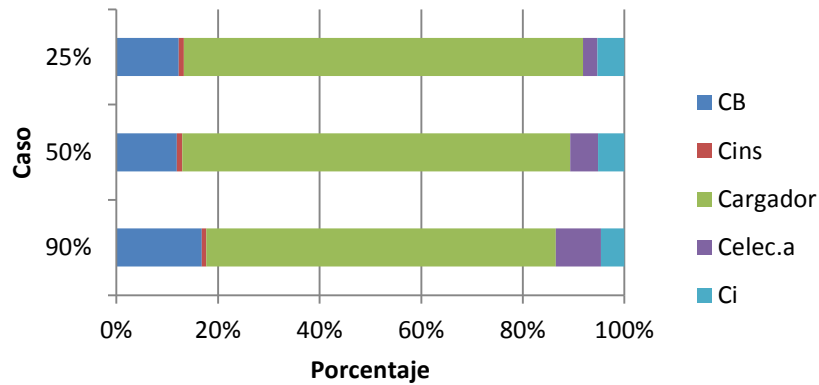


Figura 15: Peso de cada coste de la instalación para cargar un EV

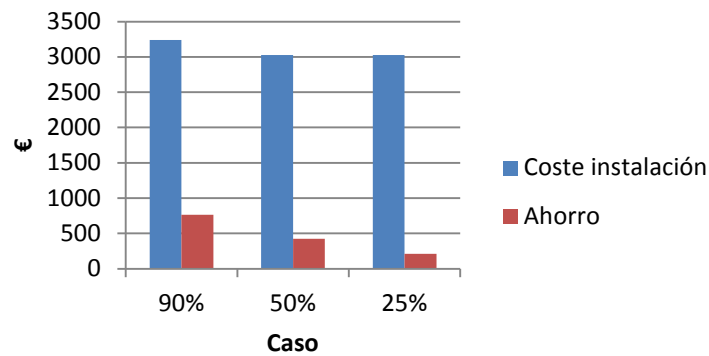


Figura 16: Comparación del coste actualizado de la instalación sin el coste de la electricidad con el ahorro que se obtiene tras 20 años de uso para el caso de la instalación para cargar un EV

8.4.3 Cálculo de impactos ambientales de la instalación para cargar un EV

En este subapartado se desarrollan los impactos ambientales que se producen en la instalación para cargar un EV con un cargador rápido. De la misma manera que para el caso de la instalación fotovoltaica solo se tienen en cuenta los impactos de la batería.

Igual que antes se estudia el caso de usar una batería reutilizada y una nueva. Para la batería reutilizada se tienen en cuenta los impactos ambientales (IA) causados por la energía almacenada en la batería, para este cálculo se utiliza la ecuación (16).

$$IA = \frac{E_a * N}{\eta_{WTT} * B_c} * e \quad (16)$$

Donde E_a se obtiene de la Tabla 19, N es el número de años que la instalación está en servicio (20 años), para η_{WTT} se usa el valor de 87% (Tabla 6), e es el mix energético nocturno de España (Tabla 17) y B_c es la capacidad de la batería de la instalación. También hay que añadir el impacto ambiental del reciclado como en la instalación fotovoltaica, pero en este caso solo hay 3 baterías de EV. También hay que añadir el impacto de una batería más para el de un uso del 90% de los días el cargador, ya que se ha de sustituir una vez al largo de la vida de la instalación fotovoltaica.

Para el caso alternativo, batería nueva, sí que se tiene en cuenta la producción de la batería. Para obtenerla se usan los valores del ACV de la primera vida de la batería multiplicado por el número de baterías equivalentes que representa la batería nueva (2,7 baterías de EV). Los cálculos del uso y del reciclaje que se procede igual que para la batería reutilizada, pero con los datos del apartado 4.2 del anexo, Tabla 24.

Observando la Figura 17 se puede ver como al cargar menos el EV los impactos ambientales son menores, tanto al usar una batería nueva como una reutilizada. Esto es debido a que la parte del impacto ambiental causado por el uso del cargador rápido, se ve reducida si se usa una cantidad menor de energía anualmente para cargar el EV. También se ve que el caso de con batería reutilizada tiene un menor impacto ambiental en los cuatro impactos modelados, aunque para poder afirmar que el impacto se reduce al añadir una segunda vida hay que añadirle primero la primera vida y el impacto de preparar la batería. Los impactos completos se exponen en el capítulo 9.

Tabla 23: Impactos ambientales por casos de la instalación para cargar un EV con cargador rápido con una batería reutilizada

Caso	Impactos	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclaje	Total	Unidades
90%	ADP	-	8,89E+03	-6,40E+02	8,25E+03	g Sb eq./kWh
50%		-	4,94E+03	-3,20E+02	4,62E+03	
25%		-	2,47E+03	-3,20E+02	2,15E+03	
90%	TAP	-	5,89E+03	-3,60E+03	2,29E+03	g SO ₂ eq./kWh
50%		-	3,27E+03	-1,80E+03	1,47E+03	
25%		-	1,63E+03	-1,80E+03	-1,65E+02	
90%	FEP	-	1,90E+03	-6,76E+02	1,22E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
50%		-	1,06E+03	-3,38E+02	7,18E+02	
25%		-	5,28E+02	-3,38E+02	1,90E+02	
90%	GWP	-	1,17E+06	-5,18E+05	6,52E+05	g CO ₂ eq./kWh
50%		-	6,50E+05	-2,59E+05	3,91E+05	
25%		-	3,25E+05	-2,59E+05	6,60E+04	

Tabla 24: Impactos ambientales por casos de la instalación para cargar un EV con cargador rápido con una batería nueva

Caso	Impactos	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclaje	Total	Unidades
90%	ADP	1,07E+03	8,89E+03	-5,34E+02	9,43E+03	g Sb eq./kWh
50%		5,34E+02	4,94E+03	-2,67E+02	5,21E+03	
25%		5,34E+02	2,47E+03	-2,67E+02	2,74E+03	
90%	TAP	6,00E+03	5,89E+03	-3,00E+03	8,89E+03	g SO ₂ eq./kWh
50%		3,00E+03	3,27E+03	-1,50E+03	4,77E+03	
25%		3,00E+03	1,63E+03	-1,50E+03	3,13E+03	
90%	FEP	1,13E+03	1,90E+03	-5,63E+02	2,46E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
50%		5,63E+02	1,06E+03	-2,82E+02	1,34E+03	
25%		5,63E+02	5,28E+02	-2,82E+02	8,09E+02	
90%	GWP	8,64E+05	1,17E+06	-4,32E+05	1,60E+06	g CO ₂ eq./kWh
50%		4,32E+05	6,50E+05	-2,16E+05	8,66E+05	
25%		4,32E+05	3,25E+05	-2,16E+05	5,41E+05	

De la Figura 18 se observa que el impacto ambiental que tiene mayor relevancia es el uso de energía eléctrica, también se observa que al reducir el porcentaje de recargas anuales la relevancia del uso disminuye. Así que una disminución del impacto ambiental del mix energético puede conllevar a una gran mejora del impacto total de la instalación de recarga de EV con cargador rápido.

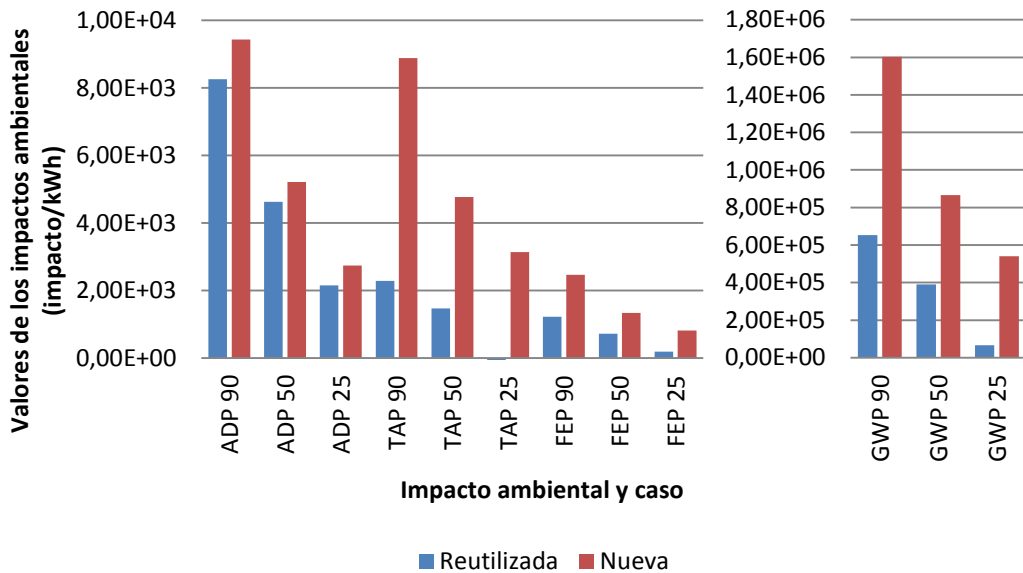


Figura 17: Comparativa de los impactos totales de la instalación con batería reutilizada y nueva y por casos

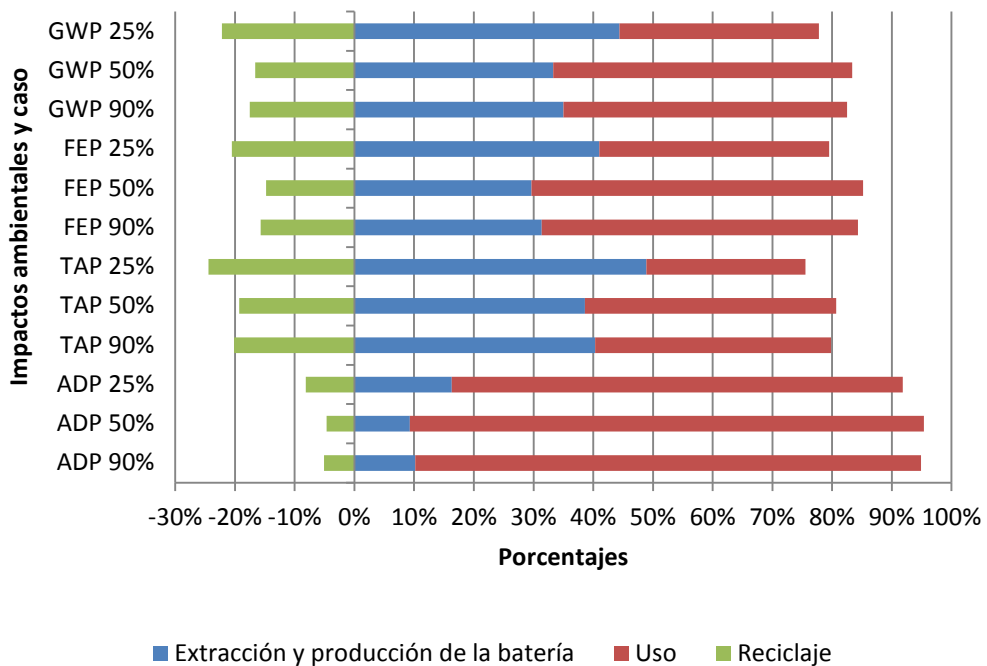


Figura 18: Porcentajes de los impactos ambientales por casos de la instalación con batería nueva

8.5 Instalación de un acumulador para reducir la factura eléctrica

El último caso a estudiar para implantar la segunda vida de la batería es el de instalar un acumulador en una vivienda para intentar reducir la factura eléctrica. En este caso se tiene la vivienda conectada a la red eléctrica y a un acumulador a través de un inversor. Este inversor al mismo tiempo está conectado a la red eléctrica para cargar el acumulador por la noche, (Figura 19).

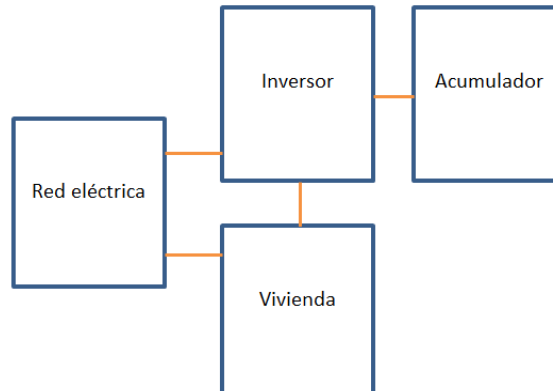


Figura 19: Instalación de un acumulador para reducir la factura eléctrica. Elaboración propia

8.5.1 Dimensionado del acumulador de una vivienda para reducir la factura

El consumo diario medio de una vivienda se ha fijado para este estudio en 10,6 kWh/día y la profundidad máxima de descarga permitida para la batería también es del 65% como en los otros dos casos. Con el objetivo de aprovechar el máximo los módulos de las baterías de los EV se mira qué porcentaje se puede cubrir con una sola batería del consumo diario medio de una vivienda, usando la ecuación (17).

$$L_{el} = B_C * \eta_B * D_d * \eta_I \quad (17)$$

El resultado que se obtiene es que se pueden cubrir 9,1 kWh/día, por tanto un 86% del consumo diario. Para saber el consumo diario de energía primero hay que tener en cuenta el rendimiento de cargar la batería, que según la Tabla 6 es del 83,8%, por tanto el consumo de energía es de 10,9 kWh/día.

Para calcular el coste que esto significa hay que multiplicarlo por el precio de la tarifa valle con discriminación horaria, se considera que el 83,3% del consumo eléctrico corresponde al periodo de tarificación normal, Tabla 25.

Tabla 25: Tarifa con discriminación horaria en España [44], [49]

Tarifa	Coste	Unidades	Horario (h)
Normal	0,148832	€/día kWh	12 – 22
Valle	0,057995	€/día kWh	0 – 12 y 22 - 24

8.5.2 Cálculo del coste de la instalación de un acumulador de una vivienda para reducir la factura

En este subapartado se calcula el coste de adquisición y puesta en funcionamiento de la instalación de un acumulador de una vivienda para reducir la factura eléctrica.

Respecto a la vida restante que le queda a la batería, se realiza el mismo proceso que en el subapartado 8.3.2, usando las ecuaciones (7) y (8). Para determinar la energía usada al largo del año lo que se hace es multiplicar la energía consumida diariamente por el número de días del caso a estudiar. Los valores usados y los datos obtenidos son los de la Tabla 26.

Tabla 26: Parámetros usados y años restantes de vida para el acumulador de una vivienda para rebajar la factura

Ea (kWh)	E (kWh)	L (años)
3322	26208	6

Como se acaba de ver la batería dura 6 años, esto significa que si se supone que la instalación tiene una vida de 20 años hacen falta dos baterías más. Para el coste de todo el conjunto con las ecuaciones modificadas del apartado anterior (9) – (11), (14) y (15), pero usando como consumo diario el valor calculado al principio de este apartado (10,9 kWh/día). Los valores usados son los de la Tabla 27 y los resultados que se obtienen son los expuestos en la Tabla 28. Si se comparan los resultados obtenidos en la Tabla 28 y los del caso alternativo de una batería nueva del apartado 4.3 del anexo, se observa que el coste de la instalación con batería reutilizada es menor. Así que la instalación es más rentable económicamente. Para ver si se puede recuperar la inversión de la instalación se sigue el mismo proceso que en el apartado anterior y se obtiene fig.. Esta vez la diferencia es menor entre el coste actualizado de la instalación y el ahorro, pero aun así tampoco se recupera la inversión.

Tabla 27: Parámetros y valores usados en los cálculos de este subapartado

Parámetros	Valores	Unidades
i	2	%
d	8	%
Bc	17,92	kWh
Dd	65	%
Ci	2027,3	€
N	6	años
η_B	85	%
η_I	92,5	%

Tabla 28: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones comentadas en este subapartado para la instalación de una vivienda con acumulador para rebajar la factura eléctrica

Costes	Valor	Unidades
C_B	1559,04	€
C_{B1}	1106,41	€
C_{B2}	785,19	€
C_{ins}	155,90	€
CF	8462,97	€
CFA	690,21	€
CU	38,52	€/kWh

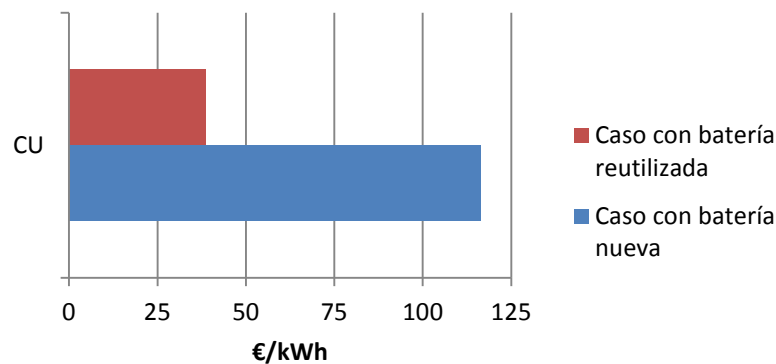


Figura 20: Comparación del coste unitario del caso con batería reutilizada y batería nueva para la instalación de un acumulador de una vivienda para reducir la factura eléctrica

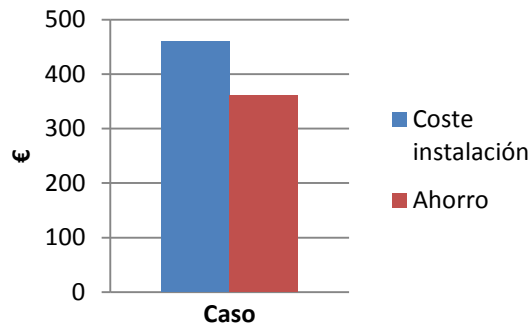


Figura 21: Comparación del coste actualizado de la instalación sin el coste de la electricidad con el ahorro que se obtiene tras 20 años de uso para el caso de la instalación de un acumulador en una vivienda para reducir la factura eléctrica

8.5.3 Cálculo de impactos ambientales de la instalación de un acumulador en una vivienda para reducir la factura eléctrica

En este subapartado se desarrollan los cálculos ambientales de la instalación estudiada. Como en los otros dos casos, solo se consideran los impactos de la batería y se estudian los impactos ambientales de usar una batería reutilizada y una nueva.

Para el cálculo de los impactos ambientales producidos por el uso de la batería se usa la ecuación (16), explicada en el caso anterior (subapartado 8.4.3). Respecto a la producción de la batería y el reciclaje de esta se procede igual que en el anterior caso, los valores son los de la Tabla 29. Como se puede observar en la Figura 22 el impacto ambiental de la batería reutilizada es un poco menor al de la nueva.

Tabla 29: Impactos ambientales de la instalación de un acumulador para reducir la factura eléctrica de una vivienda, con los datos de los casos con batería reutilizada y batería nueva

Caso	Impactos	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclaje	Total	Unidades
Reutilizado	GWP	-	1,63E+06	-2,59E+05	1,37E+06	g CO ₂ eq./kWh
	FEP	-	2,65E+03	-3,38E+02	2,31E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	TAP	-	8,20E+03	-1,80E+03	6,40E+03	g SO ₂ eq./kWh
	ADP	-	1,24E+04	-3,20E+02	1,21E+04	g Sb eq./kWh
Nuevo	GWP	5,18E+05	1,63E+06	-2,59E+05	1,89E+06	g CO ₂ eq./kWh
	FEP	6,76E+02	2,65E+03	-3,38E+02	2,98E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	TAP	3,60E+03	8,20E+03	-1,80E+03	1,00E+04	g SO ₂ eq./kWh
	ADP	6,40E+02	1,24E+04	-3,20E+02	1,27E+04	g Sb eq./kWh

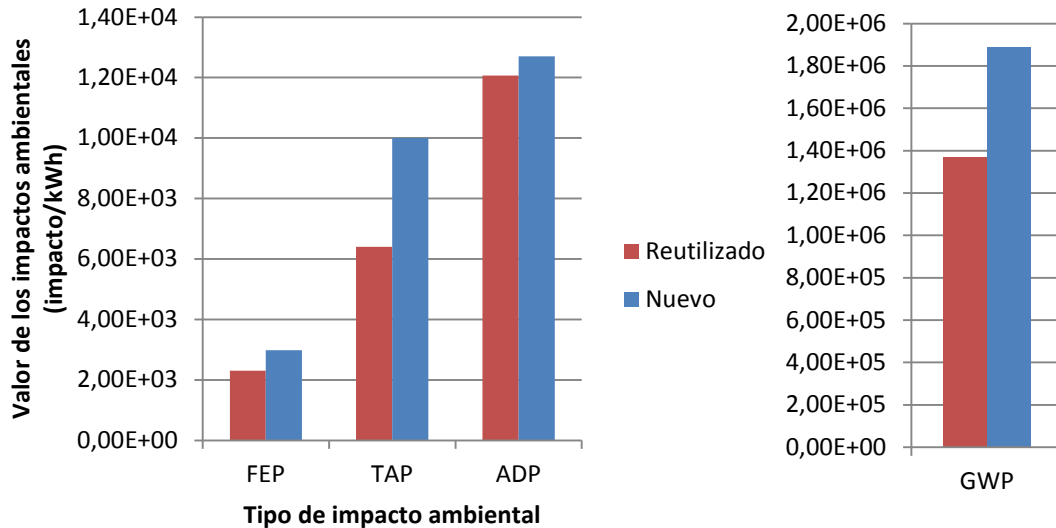


Figura 22: Comparación de los impactos ambientales totales del caso con batería reutilizada y nueva de una instalación con un acumulador para reducir la factura eléctrica de una vivienda

9 Resultados

En este capítulo se expone el resultado de la unión de los dos ACV de los capítulos anteriores. Para el ACV completo hay que recordar que está formado por la primera vida y la segunda vida de la batería. Como en la segunda vida el acumulador está formado por un cierto número de baterías reutilizadas (n), a la hora de añadir los impactos ambientales de la primera vida a los de la segunda vida para tener el ACV completo, estos no pueden ser solo los de un batería de EV. Por tanto, hay que multiplicar los impactos ambientales del ACV de la primera vida por el número de baterías usadas en la composición del acumulador de cada caso estudiado, Figura 23. Los resultados obtenidos del ACV completo de cada caso se comparan con el caso alternativo que se ha ido desarrollando en el capítulo anterior. En el caso alternativo el impacto de la primera vida hace referencia a que las baterías de los EV son recicladas, por tanto el factor n a usar es el del caso y no el de la batería dimensionada para el caso alternativo. Los valores desglosados y totales que se obtienen de los tres casos planteados están en el capítulo 5 del anexo.

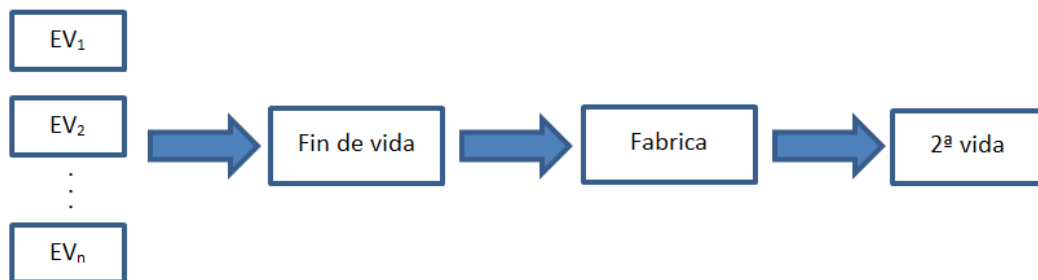


Figura 23: Representación de la necesidad de más de un EV para poder llevar a cabo la segunda vida de la batería

En este capítulo lo que sí que se exponen son una serie de gráficas de los tres casos para poder ver los resultados obtenidos de una manera más sencilla. Las Figura 24 y Figura 25 corresponden al primer caso, una instalación fotovoltaica. Se puede ver que hay una leve mejoría en el impacto ambiental al usar una batería reutilizada, pero es muy pequeña esta diferencia. También se observa que la preparación de la batería tiene un efecto casi despreciable y como ya se había explicado el uso en la segunda vida es cero. Al ser los impactos de la segunda vida muy pequeños, se sigue manteniendo el uso en la primera vida como principal impacto ambiental en este caso. Aunque en el impacto de GWP el impacto del uso en la primera vida está muy cerca del impacto de extracción y preparación del EV.

Para el caso del acumulador para cargar un EV se tienen las Figura 26 y Figura 27 en las que se puede observar que al usar una batería reutilizada hay una

mejora ambiental. Como ya se había adelantado en el capítulo anterior, al tener un menor consumo de energía causado por un menor número de recargas anualmente, el impacto total es menor. Además, si se comparan los resultados de usar una batería reutilizada y una nueva se puede observar que la mejora del impacto ambiental se va reduciendo si el impacto del uso del cargador se reduce (casos de 90%, 50% y 25%). También se ve cómo afecta la necesidad de haber de cambiar la batería para el caso de 90%, los impactos ambientales sufren un aumento considerable. El impacto causado por el uso de la batería en la primera vida es el más significativo de todos y como en el caso anterior la preparación de la batería tiene un impacto despreciable.

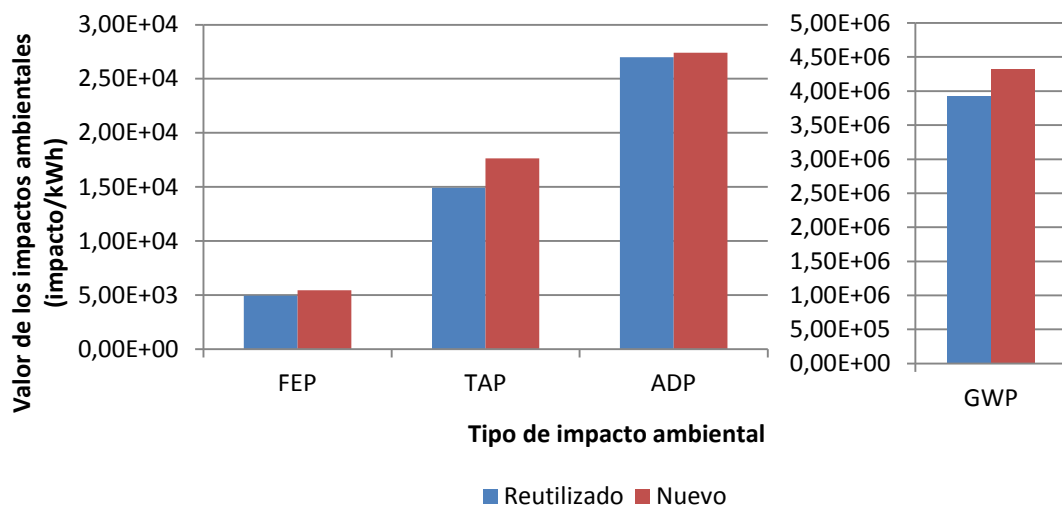


Figura 24: Comparación de los impactos ambientales totales para la instalación fotovoltaica

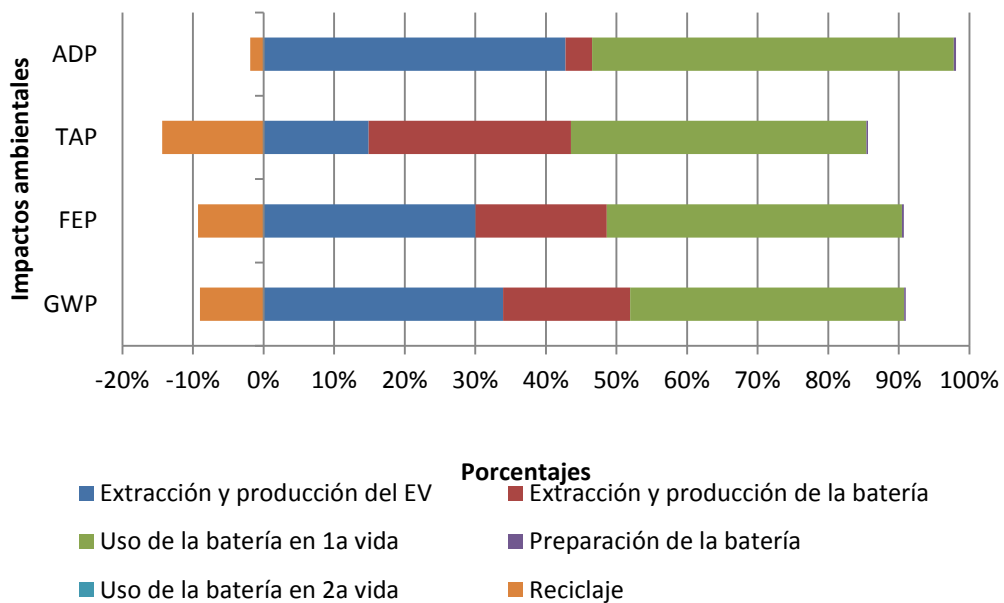


Figura 25: Porcentajes de los diferentes elementos que forman los impactos ambientales para el ACV completo de una batería para el caso de la instalación fotovoltaica

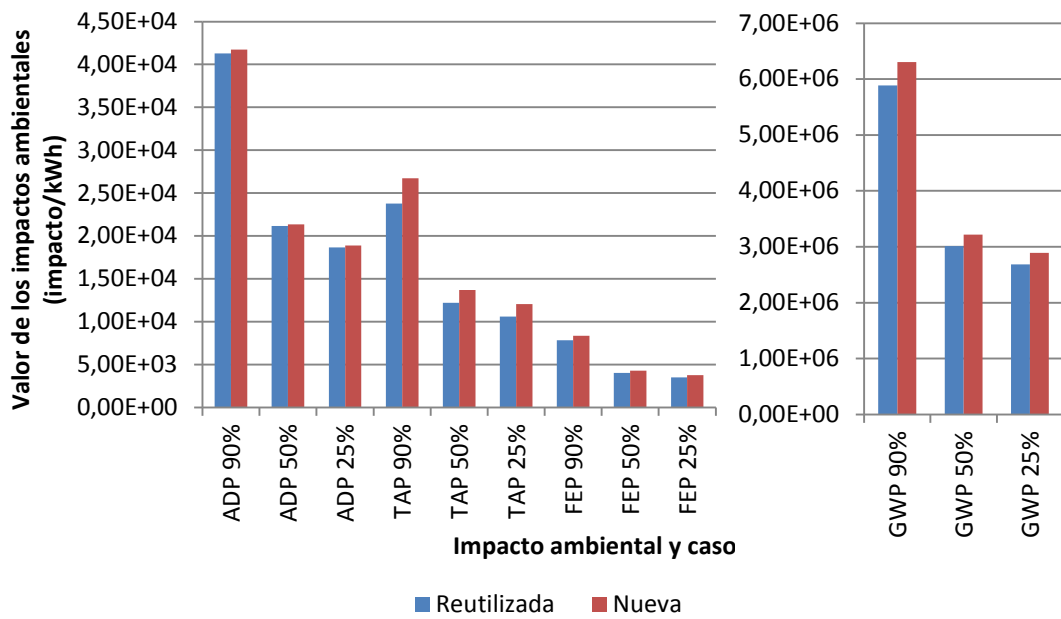


Figura 26: Comparación de los impactos ambientales totales para la instalación de un acumulador para cargar un EV

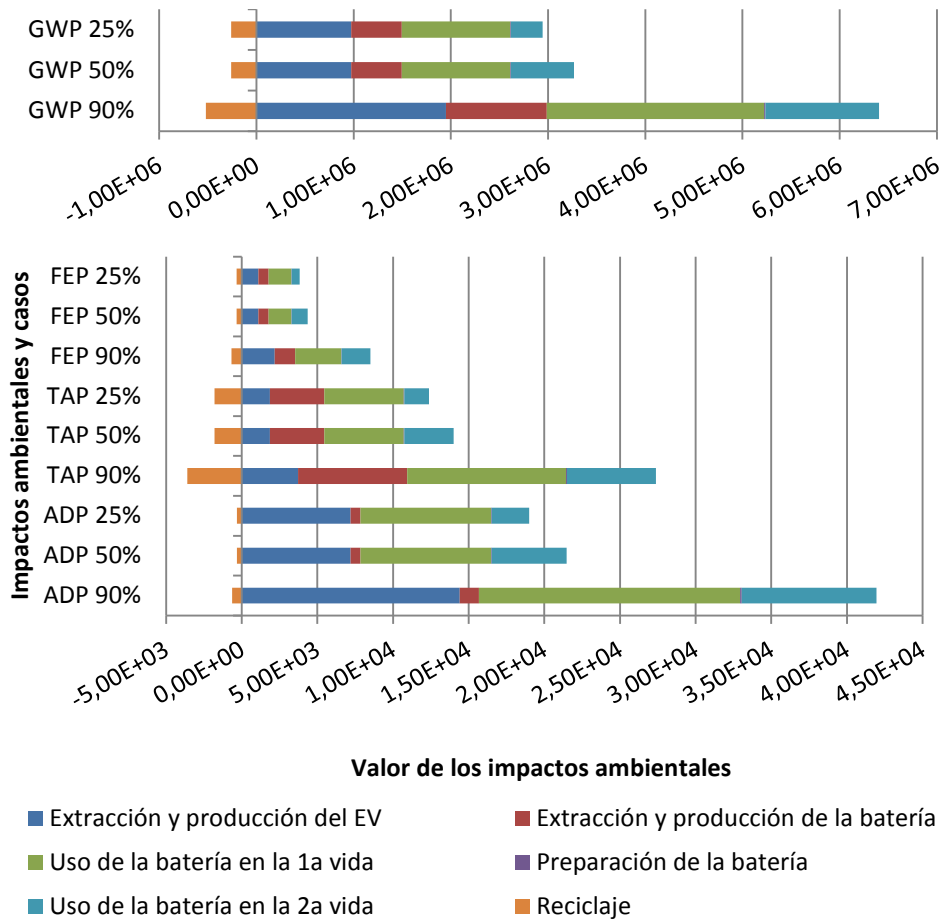


Figura 27: Valores de los diferentes elementos que forman los impactos ambientales para el ACV completo de una batería para el caso de la instalación de un acumulador para cargar un EV

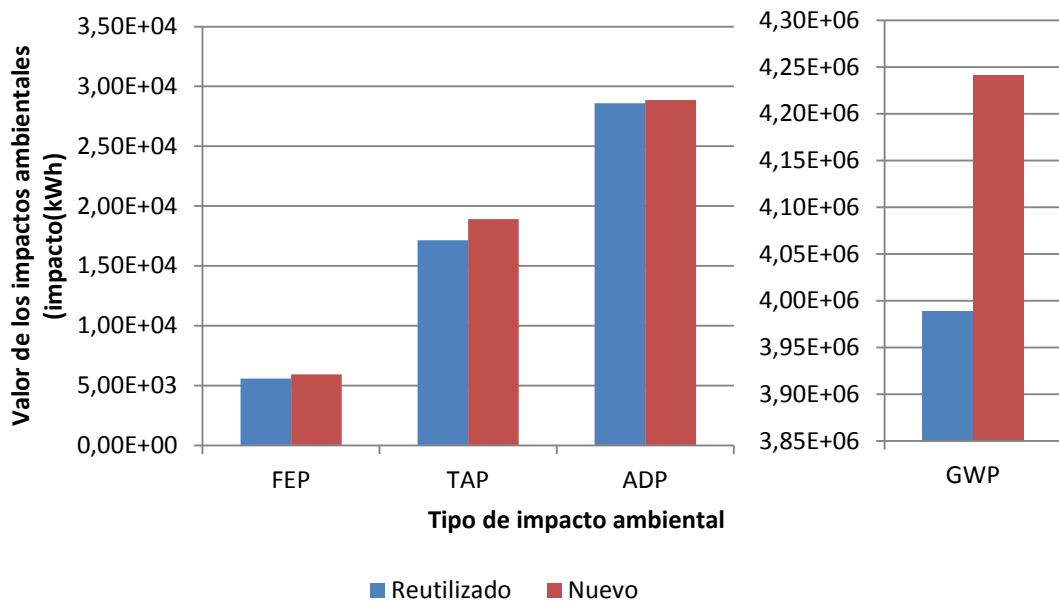


Figura 28: Comparación de los impactos ambientales totales para la instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica

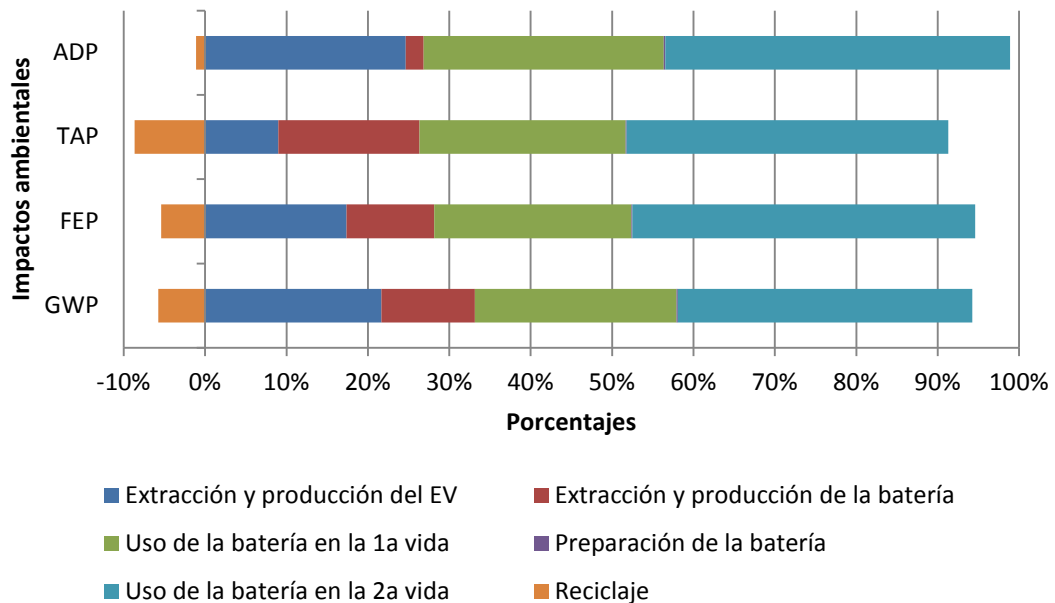


Figura 29: Porcentajes de los diferentes elementos que forman los impactos ambientales para el ACV completo de una batería para el caso de la instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica

Para el último caso, una instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica. Como se puede ver en la Figura 28 se consigue una mejora del impacto ambiental al usar una batería reutilizada, aunque esta mejora igual que en los dos otros casos también son pequeños. Respecto al desglose de las diferentes partes que generan impactos ambientales, se puede observar que la parte que contribuye de una manera más significativa es el uso de la

batería en la segunda vida (un 35%), seguido del uso de la batería en la primera vida, Figura 29. También se observa que la preparación de la batería es despreciable y el impacto ambiental ADP generado por la fabricación de la batería y su posterior reciclaje son muy pequeños.

En este caso, durante la vida de la instalación, se realizan dos cambios de baterías. Esto hace que aumente significativamente el impacto ambiental. Si se aumenta el número de ciclos de vida que puede realizar la batería, ya no sería necesario realizar tantos cambios de batería. Con un valor de 3000 ciclos (valor usado 1800 ciclos) se consigue reducir a solo un cambio de batería. En haber reducido en uno el número de cambios, se obtiene una mejora de los impactos ambientales Figura 30, de un 20% aproximadamente.

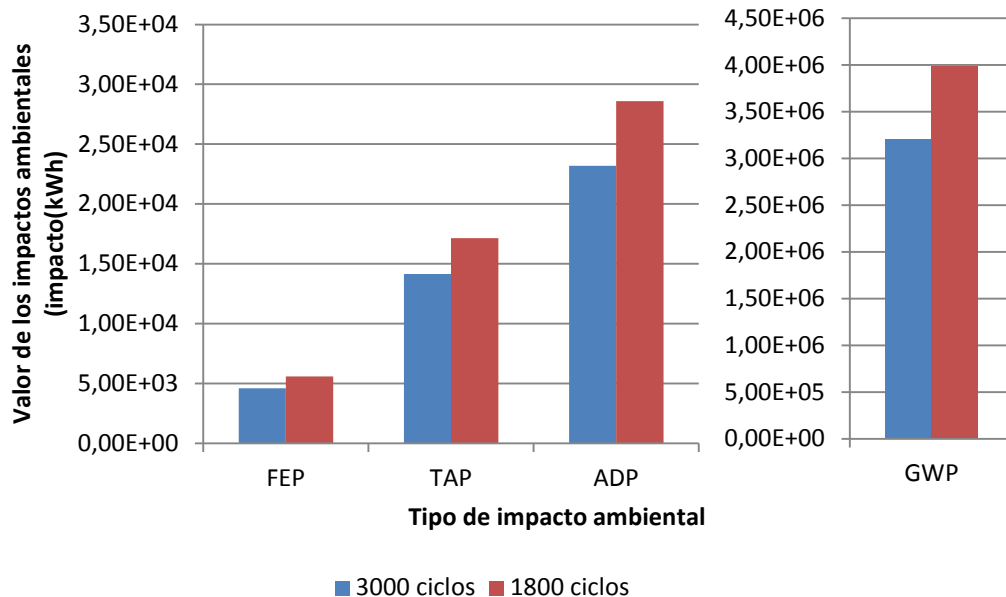


Figura 30: Impactos ambientales del ACV completo de una batería para el caso de la instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica, variando en número de ciclos de vida del acumulador de la vivienda

10 Legislación

Las baterías eléctricas de los EV en España tienen una serie de leyes que regulan su uso y en qué condiciones se han de instalar. Esto significa que no se puede instalar una batería eléctrica en cualquier aplicación que uno desee o que a la hora de instalarla no haya una serie de normas a seguir según cada caso.

El **Real Decreto 1699/2011** regula la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables y la cogeneración de alta eficiencia. En él se especifica que se le considera una instalación de generación y que tecnologías se pueden usar (*Artículo 2. Ámbito de aplicación*). Pero hay que esperar hasta el Artículo 11 en el que se habla del acumulador y deja claro que si se está conectado a la red eléctrica no puede haber un acumulador entre circuito de generación y el equipo de medida.

En el caso de poder instalar el acumulador en un entorno diferente al de un sistema de generación de electricidad. Aparecen requisitos de seguridad para el acumulador según si está en entornos corrosivos o húmedos y se usan acumuladores que puedan desprender gases. Esta información está en la GUÍA-BT-30, en ella se especifica según el caso a que condiciones de aislamiento debe ser capaz de superar el acumulador y el equipo eléctrico. Como ha de ser el emplazamiento donde está el acumulador, iluminación, ventilación.

11 Conclusiones

En este estudio en el que se ha analizado el ACV de una batería que se le da una segunda vida, se han observado resultados diferentes para cada uno de los casos planteados. Antes de entrar a comentar los resultados obtenidos para cada caso hay que recordar que en el transcurso de este estudio se han realizado aproximaciones y se han usado valores medios. Esto genera un cierto error en los resultados obtenidos. Uno de los errores que posiblemente ha influido más es usar un consumo medio anual de una vivienda y no modelar el consumo para cada hora del día a partir de un simulador. Otros errores que pueden haber influido son usar valores de irradiación medios para el primer caso. A la hora de determinar la vida restante de la batería usar una ecuación simplificada y no un modelo que tenga en cuenta todos o casi todos los parámetros que influyen en él.

Los resultados obtenidos en el análisis económico muestran que al usar una batería reutilizada en cada aplicación se consigue un menor coste del conjunto. Esto demuestra la importancia que tiene el precio del acumulador en los casos estudiados. Para trabajos futuros se podrían comparar los resultados obtenidos con otras tecnologías que se usan en la actualidad.

Por otra parte, en el segundo y tercer caso estudiado, el ahorro que se obtiene al cargar el acumulador por la noche no es lo suficientemente grande para cubrir los costes de la instalación. Esto genera un inconveniente para desarrollar estos casos en la actualidad, al no poderlos ofrecerlos al cliente como una inversión que recuperará y no solo como una contribución para mejorar el medioambiente. Por tanto, es importante que en el futuro los costes de la instalación se reduzcan para poderlos hacer viables económicamente.

Los resultados de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo muestran en términos absolutos que cada caso es diferente. El caso que genera un mayor impacto es el del 90% del segundo caso estudiado, seguido del caso de la instalación fotovoltaica, después de la instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica y terminando con los del 50% y 25% del caso de una instalación para cargar un EV. En todos ellos se observa una mejora del impacto ambiental no muy grande (varía entre un 10% - 1%).

Para mejorar el primer caso, instalación fotovoltaica, hay que reducir los impactos ambientales de la primera vida, ya que de la segunda solo se tiene la preparación de la batería y es muy pequeño. De los impactos ambientales de la primera vida el que tiene una mayor relevancia es el uso de la batería. Este

podría suponer una mejora importante si el mix energético tuviera un mayor porcentaje de energía renovable.

En el segundo caso analizado, instalación para cargar un EV con un cargador rápido, se puede observar la variabilidad de los impactos ambientales al tener que sustituir la batería de la instalación (un aumento del 50% aproximadamente). Esto demuestra la importancia de que cuando más tiempo pueda estar en uso la batería menor impacto ambiental se genera.

El último caso estudiado, instalación de un acumulador en una vivienda para rebajar la factura eléctrica, se ha visto también la importancia de la vida de la batería para rebajar el impacto ambiental al aumentar el número de ciclos de esta. A parte se puede observar que en este caso el uso de la batería en la segunda vida tiene una gran importancia. Esto es debido que a diferencia de los otros casos, en este solo hace falta una batería para formar el acumulador. Al solo querer cubrir un porcentaje del consumo energético de la vivienda.

Por tanto a la vista de los resultados de los tres casos los tres obtienen mejorar ambientales y dejan de relieve la necesidad de seguir mejorando la vida de las baterías. Aunque como se ha visto en el capítulo 10, el segundo y tercer caso presentan en la actualidad un problema legal a la hora de instalar las baterías en una vivienda conectada a la red eléctrica. Por tanto, se recomienda que las autoridades pertinentes hagan un esfuerzo para que en el futuro esta instalación se pueda llevar a cabo. Con el propósito de poder obtener la reducción del impacto ambiental que se observa en este estudio. Para conseguir un planeta más limpio para las futuras generaciones.

12 Resumen del presupuesto

En este capítulo se presenta el resumen del coste de realizar este estudio. El desglose detallado de todos los costes está desglosado en el documento presupuesto. En la Tabla 30 está el resumen del presupuesto.

Tabla 30: Resumen del presupuesto

Capítulo	Precio
Presupuesto de la mano de obra	8.750,00 €
Presupuesto del material informático	164,40 €
Subtotal	8.914,40 €
Costes operativos (10% subtotal)	891,44 €
Total	9.805,84 €

13 Planificación y organización de la fase siguiente

En este estudio se han estudiado tres posibles aplicaciones para la segunda vida de las baterías de un EV. Siguiendo en la línea del estudio realizado, se pueden estudiar otras posibles aplicaciones con enfoques diferentes. Como usar las baterías como apoyo a la red eléctrica para mejorar su funcionamiento, por ejemplo en momentos en los que haya picos de demanda. También se puede investigar hacia donde están evolucionando las tecnologías que hay alrededor de las baterías para ver que mejoras pueden aportar y cómo puede afectar a la segunda vida de esta.

Para realizar esto primero hay que documentarse con artículos y otros trabajos sobre esta materia. Esto es un trabajo que requiere bastantes horas de dedicación a buscar información, analizarla y entenderla.

▸ Estudio del impacto en el análisis de ciclo de vida de dar o no una segunda vida a las baterías de vehículos eléctricos para dar soporte a la red eléctrica	70 días
▸ Búsqueda de información de las posibles aplicaciones de un acumulador para dar soporte a la red eléctrica	33 días
Búsqueda de opciones y selección de las que se estudiarán	11 días
Información del funcionamiento de cada opción a estudiar	11 días
Búsqueda y análisis de las herramientas necesarias para modelar cada opción	7 días
Búsqueda de información de las nuevas tecnologías que se están desarrollando y que pueden ser de interés para el ACV del estudio	4 días
▸ Planteamiento del funcionamiento de cada instalación de cada caso	6 días
Caso 1	3 días
Caso 2	3 días
▸ Resumen del funcionamiento de la instalación de cada caso	6 días
Caso 1	3 días
Caso 2	3 días
▸ Modelado de cada caso	8 días
Caso 1	4 días
Caso 2	4 días
ACV completo	4 días
Análisis de resultados	5 días
Conclusiones	3 días
Redacción de los documentos finales	5 días
Fin	0 días

Figura 31: Tareas a realizar y tiempo de dedicación de cada una para la siguiente fase del estudio

Después hay una segunda fase de buscar información más concreta de los temas tratar, como son posibles aplicaciones y su funcionamiento. También

información de estudios sobre nuevas tecnologías y nuevos materiales para las baterías.

Una vez recopilada la información sobre los diferentes casos a estudiar se empiezan a realizar los cálculos para modelar todos los parámetros que influyen. Aquí es bastante recomendable intentar modelar las diferentes variables y elementos que influyen por medio de simuladores que puedan dar valores más próximos al real. Por falta de tiempo se puede ver la necesidad de usar aproximaciones o valores de otros trabajos para acoplarse mejor al tiempo disponible para realizar el estudio.

Una vez modelados los casos a estudiar se pasa a calcular los impactos ambientales, para después compararlos con el caso alternativo más apropiado según el caso estudiado.

Con los valores de los impactos ambientales calculados, se pasa a modelar el ACV completo, se puede usar el ACV de primera vida de este estudio. Una vez valorada la viabilidad ambiental se realizan las conclusiones con los resultados calculados, la información encontrada y las perspectivas de futuro de las baterías.

Para determinar el tiempo necesario de cada tarea se usa como referencia el tiempo usado para realizar este estudio. Todos los apartados y el tiempo necesario de dedicación se resumen en la Figura 31, en ella

14 Referencias

- [1] E. Wood, M. Alexander, and T. H. Bradley, "Investigation of battery end-of-life conditions for plug-in hybrid electric vehicles," *J. Power Sources*, vol. 196, no. 11, pp. 5147–5154, 2011.
- [2] S. B. Peterson, J. F. Whitacre, and J. Apt, "The economics of using plug-in hybrid electric vehicle battery packs for grid storage," *J. Power Sources*, vol. 195, no. 8, pp. 2377–2384, 2010.
- [3] "Renault ZOE - Vehículos Eléctricos - Renault España." [Online]. Available: http://www.renault.es/gama-renault/gama-vehiculos-electricos/zoe/zoe/#precios_y_especificaciones. [Accessed: 26-Feb-2015].
- [4] P. Swart, J. Dewulf, and A. Biernaux, "Resource demand for the production of different cathode materials for lithium ion batteries," *J. Clean. Prod.*, vol. 84, pp. 391–399, 2014.
- [5] J. Sanfèlix, M. Messagie, N. Omar, J. Van Mierlo, and V. Hennige, "Environmental performance of advanced hybrid energy storage systems for electric vehicle applications," *Appl. Energy*, vol. 137, pp. 925–930, 2014.
- [6] J. Neubauer and A. Pesaran, "The ability of battery second use strategies to impact plug-in electric vehicle prices and serve utility energy storage applications," *J. Power Sources*, vol. 196, no. 23, pp. 10351–10358, 2011.
- [7] F. F. Querini and E. Benetto, "Assessment for the evaluation of mobility policies Combining agent-based modeling and life cycle assessment for the evaluation of mobility policies," 2015.
- [8] L. Ahmadi, A. Yip, M. Fowler, S. B. Young, and R. a. Fraser, "Environmental feasibility of re-use of electric vehicle batteries," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 6, pp. 64–74, 2014.
- [9] "ANFAC - Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones." [Online]. Available: <http://www.anfac.com/portada.action>. [Accessed: 09-Apr-2015].
- [10] S. de T. de A. STA, *El vehículo eléctrico. Desafíos tecnológicos, infraestructuras y oportunidades de negocio*, Primera Ed. Barcelona, 2011.
- [11] C. Samaras and K. Meisterling, "Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles : Implications for Policy Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles : Implications for Policy," vol. 42, no. 9, pp. 3170–3176, 2008.
- [12] A. Nordelöf, M. Messagie, A. M. Tillman, M. Ljunggren Söderman, and J. Van Mierlo, "Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles-what can we learn from life cycle assessment?," *Int. J. Life Cycle Assess.*, pp. 1866–1890, 2014.

- [13] D. Notter, M. Gauch, R. Widmer, P. Wäger, A. Stamp, R. Z. Althaus, and Hans-Jörg, "Policy Analysis Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles," p. 6550, 2010.
- [14] J. Dewulf, G. Van der Vorst, K. Denturck, H. Van Langenhove, W. Ghyoot, J. Tytgat, and K. Vandeputte, "Recycling rechargeable lithium ion batteries: Critical analysis of natural resource savings," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 54, no. 4, pp. 229–234, 2010.
- [15] UNE-ISO 14044, "Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principio y marco de referencia," 2006.
- [16] Y. Lechón and CIEMAT, "Introducción al análisis de ciclo de vida (ACV) y uso de herramientas informáticas en ACV," 2011.
- [17] I. Conference and P. Engineering, "CATEGORÍAS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA VINCULADAS CON ENERGÍA : REVISIÓN Y PROSPECTIVA Resumen," pp. 1180–1190.
- [18] M. Zackrisson, L. Avellán, and J. Orlenius, "Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues," *J. Clean. Prod.*, vol. 18, no. 15, pp. 1519–1529, 2010.
- [19] R. Faria, P. Moura, J. Delgado, and A. T. De Almeida, "A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 61, pp. 19–30, 2012.
- [20] H. Ma, F. Balthasar, N. Tait, X. Riera-Palou, and A. Harrison, "A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles," *Energy Policy*, vol. 44, pp. 160–173, 2012.
- [21] a. Majeau-Bettez, G. , Hawkins, T., Hammer Stromman, "Life Cycle Environmental Assessment of Li-ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-in Hybrid and Battery Electric Vehicles. Supporting Information.," *Zhurnal Eksp. i Teor. Fiz.*, pp. 1–51, 2011.
- [22] M. Jos, S. F. Capuz-rizo, and U. Polit, "An integrated method to calculate an automobile 's emissions throughout its life cycle," vol. 83, 2015.
- [23] "BMW España - Página Web Oficial." [Online]. Available: <http://www.bmw.es/home/home.html>. [Accessed: 17-Feb-2015].
- [24] "2011 Nissan LEAF Owner's Manual - Revised - 2011-Nissan-Leaf.pdf." [Online]. Available: <http://www.nissan-techinfo.com/refgh0v/og/Leaf/2011-Nissan-Leaf.pdf>. [Accessed: 10-Feb-2015].
- [25] "Nissan LEAF® Electric Car: 100% Electric. 100% Fun." [Online]. Available: <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/>. [Accessed: 09-Apr-2015].

- [26] R. Faria, P. Marques, R. Garcia, P. Moura, F. Freire, J. Delgado, and A. T. De Almeida, "Primary and secondary use of electric mobility batteries from a life cycle perspective," *J. Power Sources*, vol. 262, pp. 169–177, 2014.
- [27] J. C. Jiménez, "El Sector Energético," 2013.
- [28] B. Williams, "Second Life for Plug-In Vehicle Batteries," *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, vol. 2287, no. -1, pp. 64–71, 2012.
- [29] A. Ghafoor and A. Munir, "Design and economics analysis of an off-grid PV system for household electrification," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 42, pp. 496–502, 2015.
- [30] C. Casals and E. Vehicle, "A cost analysis of electric vehicles batteries second life businesses," no. July, pp. 16–18, 2014.
- [31] E. Cready, J. Lippert, J. Pihl, I. Weinstock, P. Symons, and R. G. Jungst, "Technical and Economic Feasibility of Applying Used EV Batteries in Stationary Applications A Study for the DOE Energy Storage Systems Program," 2003.
- [32] J. Li and M. a. Danzer, "Optimal charge control strategies for stationary photovoltaic battery systems," *J. Power Sources*, vol. 258, pp. 365–373, 2014.
- [33] "Esquemas de energía solar fotovoltaica para electrificar su finca, vivienda, casa, agroturismo." [Online]. Available: <http://www.solarta.com/es/instalaciones-energia-solar/solar-fotovoltaica/esquemas-sistemas-solar-fotovoltaica.php>. [Accessed: 09-May-2015].
- [34] J. Peng, L. Lu, and H. Yang, "Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 255–274, 2013.
- [35] "CONSUMO MEDIO DE GAS Y ELECTRICIDAD - Compara Tarifas Energia." [Online]. Available: <http://www.comparatarifasenergia.es/comparar-precios-de-energia/consumo-medio>. [Accessed: 29-Apr-2015].
- [36] Idae, "Consumos del Sector Residencial en España Resumen de Información Básica," pp. 1–16, 2011.
- [37] Idae, "Análisis del consumo energético del sector residencial en España," p. 76, 2011.
- [38] J. M. Sancho Ávila, J. Riesco Martín, M. C. Sánchez de Cos Escuin, J. Montero Cadalso, and M. López Bartolomé, "Atlas de radiación solar - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España," 2012.

- [39] “Bienvenido a Auto Solar Energía Solar.” [Online]. Available: <https://autosolar.es/>. [Accessed: 09-May-2015].
- [40] D. Strickland, L. Chittock, D. a. Stone, M. P. Foster, and B. Price, “Estimation of transportation battery second life for use in electricity grid systems,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 795–803, 2014.
- [41] U. K. Debnath, I. Ahmad, and D. Habibi, “Quantifying economic benefits of second life batteries of gridable vehicles in the smart grid,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 63, pp. 577–587, 2014.
- [42] “Banco de España - Política monetaria - La estrategia del BCE.” [Online]. Available: http://www.bde.es/bde/es/areas/polimone/estrategia/La_estrategia_del_BCE.html. [Accessed: 29-Apr-2015].
- [43] “Endesa Vehículo Eléctrico.” [Online]. Available: <https://www.endesavehiculoelectrico.com>. [Accessed: 02-Apr-2015].
- [44] A. T, “Mapa Tecnológico. Movilidad Eléctrica,” p. 80, 2012.
- [45] “Red Eléctrica de España.” [Online]. Available: <http://ree.es/es>. [Accessed: 13-Apr-2015].
- [46] P. Olivella, “Modelado de la demanda de carga lenta y rápida de vehículos eléctricos para el estudio de impacto en la red de distribución,” 2012. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/2099.1/20535>. [Accessed: 29-Apr-2015].
- [47] A. Jossen, “Fundamentals of battery dynamics,” *J. Power Sources*, vol. 154, no. 2, pp. 530–538, 2006.
- [48] P. V. Braun, J. Cho, J. H. Pikul, W. P. King, and H. Zhang, “High power rechargeable batteries,” *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.*, vol. 16, no. 4, pp. 186–198, 2012.
- [49] IDAE, “Informe de precios energéticos regulados,” pp. 1–7, 2015.