



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

Anexo

Realizado por:

Alejandro Antonio Serra Palerm

Directora:

Beatriz Amante Garcia

Co-director:

Lluc Canals Casals



Sumario

Sumario	2
Lista de tablas	3
Lista de figuras	4
1 Introducción.....	5
2 Características y ventas de los vehículos eléctricos e híbridos vendidos en España del 2011 al 2014.....	6
2.1 Ventas de los vehículos eléctricos e híbridos vendidos en España del 2011 al 2014	6
3 Desglose de elementos que forman una fábrica para preparar las baterías y que porcentaje del coste representan.....	12
4 Resolución de los diferentes casos pero con una batería nueva.....	15
4.1 Instalación fotovoltaica de una vivienda aislada	15
4.2 Instalación para cargar un EV con un cargador rápido a partir de un acumulador	18
4.3 Instalación de un acumulador para reducir la factura eléctrica	19
4.3.1 Cálculo del coste de la instalación de un acumulador de una vivienda para reducir la factura.....	19
5 Resultados finales del ACV completo	21
6 Referencias.....	25

Lista de tablas

Tabla 1: Lista de los diferentes vehículos eléctricos que hay en el mercado	7
Tabla 2: Desglose de las ventas de vehículos híbridos del 2011 al 2015	8
Tabla 3: Continuación del desglose de las ventas de vehículos híbridos del 2011 al 2015 9	
Tabla 4: Desglose de las ventas de EV del 2011 al 2015	9
Tabla 5: Parámetros usados para los cálculos en este apartado	15
Tabla 6: Resultado de la ecuación anterior para las tres franjas	15
Tabla 7: Energía restante, energía consumida anualmente y años de vida restantes de cada batería	16
Tabla 8: Componentes y precios de los componentes seleccionados.....	17
Tabla 9: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones expuestas en este subapartado	17
Tabla 10: Parámetros y resultados de la ecuación (7)	18
Tabla 11: Parámetros usados y años de vida restantes de la batería.....	18
Tabla 12: Parámetros usados en este subapartado.....	19
Tabla 13: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones comentadas en este subapartado	19
Tabla 14: Parámetros usados y vida restante de la batería nueva	20
Tabla 15: Parámetros usados en los cálculos para la instalación de un acumulador para una vivienda para rebajar la factura eléctrica	20
Tabla 16: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones comentadas en este subapartado para la instalación de un acumulador en una vivienda para reducir la factura eléctrica.	20
Tabla 17: Desglose de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo para la instalación fotovoltaica.....	21
Tabla 18: Desglose de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo para la instalación de un acumulador para cargar un EV con una batería reutilizada	22
Tabla 19: Desglose de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo para la instalación de un acumulador para cargar un EV con una batería nueva	23
Tabla 20: Desglose de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo para la instalación de un acumulador para rebajar la factura eléctrica	24



Lista de figuras

Figura 1: Gráfico con las ventas de vehículos híbridos en España del 2011 al 2014	10
Figura 2: Gráfico con las ventas de vehículos eléctricos en España del 2011 al 2014.....	11
Figura 3: Desglose de costes totales, capital inicial, costes directos y costes indirectos de una fábrica para preparar baterías en porcentaje.....	13



1 Introducció

En este anexo se desarrollan una serie de puntos que complementan el documento memoria. Entre estos temas se encuentra información complementaria sobre las ventas de vehículos eléctricos y algunas de sus características. También se desarrolla en este anexo el estudio de costes del caso alternativo, mostrando las ecuaciones y los datos usados. El desglose de elementos que forman una fábrica para preparar las baterías y las tablas de resultados del ACV completo.

2 Características y ventas de los vehículos eléctricos e híbridos vendidos en España del 2011 al 2014

Antes de modelar el EV genérico del estudio, hay que ver qué tipos de vehículos eléctricos e híbridos hay en el mercado para conocer la oferta proporcionada por el sector de la automoción, primero empezando por los vehículos que ofrecen algunas de las empresas, Tabla 1. En la tabla se muestra marca, modelo, capacidad, tensión de la batería, tipo de batería y tipo de vehículo. En este último se pueden encontrar cuatro tipos de vehículos: vehículo híbrido (HEV), vehículo híbrido conectable (PHEV) y vehículo eléctrico de autonomía ampliada (REEV) y vehículo eléctrico (EV).

Observando la Tabla 1 se puede ver que a día de hoy una gran parte de los fabricantes han implementado baterías de iones de litio. Aunque hay marcas que aun usan baterías de níquel e hidruro metálico, como son Toyota y Lexus. Aunque solo sean dos marcas las que usan esta tecnología, resulta ser que son las que han vendido más vehículos híbridos el 2014 (Tabla 2, Tabla 3, Figura 1). Por otro lado se tienen los EV, en estos es indiscutible que el tipo de batería seleccionado es la de ion de litio.

Viendo el listado de vehículos de la Tabla 1 se puede observar que los EV son los que tienen una mayor capacidad (entre 14,5 y 28 kWh, con excepción del Tesla Model S de 85 kWh y el Mercedes-Benz SLS AMG E-Drive de 60 kWh), también hay los HEV y los REEV con baterías de 16 a 21,6 kWh. Por último los PHEV son los que tienen una capacidad menor entre 2,2 a 11,2 kWh.

2.1 Ventas de los vehículos eléctricos e híbridos vendidos en España del 2011 al 2014

Pasando ahora al desglose de los datos que proporciona la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) [1]. Se presentan primero los datos de las ventas de vehículos híbridos en España del periodo 2011-2014 (Tabla 2, Tabla 3, Figura 1) y después las ventas de los EV (Tabla 4, Figura 2).

Tabla 1: Lista de los diferentes vehículos eléctricos que hay en el mercado

Marca	Modelo	Tipo de vehículo	Capacidad (kWh)	Tipo de batería	Tensión (V)	Referencia
Audi	A3 Sportbacke-tron	PHEV	8,8	Ion de litio	345	[2]
Audi	Q5 Hybrid quattro	HEV	1,3	Ion de litio	-	[3]
BMW	I3	EV	21,6	Ion de litio	360	[4]
BMW	I8	PHEV	21,6	Ion de litio	355	[2], [4]
BMW	Serie 3 Active Hybrid	HEV	1,35	Ion de litio	-	[4]
BMW	Serie 5 Active Hybrid	HEV	1,35	Ion de litio	-	[4]
Chevrolet	Spark EV	EV	19	Ion de litio	-	[5]
Chevrolet	Volt	REEV	16,7	Ion de litio	370	[4]
Citroën	C-Zero	EV	14,5	Ion de litio	300	[4]
Fiat	500e	EV	24	Ion de litio	-	[6]
Ford	Focus electric	EV	24	Ion de litio	-	[7]
Honda	Accord Plug-in Hybrid	PHEV	6,7	Ion de litio	-	[8]
Honda	Fit EV	EV	20	Ion de litio	-	[8]
Kia	Soul electric	EV	27	Ion de litio	360	[4],
Lexus	GS 300h	HEV	-	Níquel e hidruro metálico	650	[9]
Lexus	LS 600h	HEV	-	Níquel e hidruro metálico	650	[9]
Lexus	LT 600h	HEV	-	Níquel e hidruro metálico	202	[9]
Mercedes-Benz	Clase B electric drive	EV	28	Ion de litio	-	[4], [10]
Mercedes-Benz	Clase S 500 Plug-in hybrid	PHEV	8,7	Ion de litio	396	[4], [10]
Mercedes-Benz	SLS AMG E-Drive	EV	60	Ion de litio	400	[4], [10]
Mitsubishi	i-MiEV	EV	16,5	Ion de litio	330	[4]
Nissan	E-NV200	EV	24	Ion de litio	360	[4]
Nissan	Leaf	EV	24	Ion de litio	360	[11], [12]
Opel	Ampara	REEV	16	Ion de litio	290	[4]
Porsche	Panamera SE-Hybrid	PHEV	9,4	Ion de litio	384	[4], [13]
Renault	Fluence Z.E.	EV	22	Ion de litio	398	[14]
Renault	ZOE	EV	22	Ion de litio	400	[14]
Tazzari	EV EM1 Anniversary	EV	12,8	Ion de litio	80	[4]
Tesla	Model S	EV	85/60	Ion de litio	-	[15]
Toyota	Prius Plug-in Hybrid	PHEV	2,2	Níquel e hidruro metálico	345	[16]
Volkswagen	e-Golf	EV	24,2	Ion de litio	326	[4]
Volkswagen	e-up!	EV	18,7	Ion de litio	374	[4]
Volkswagen	Jetta Hybrid	HEV	1,1	Ion de litio	220	[17]
Volvo	V60 Plug-in	PHEV	11,2	Ion de litio	375	[4], [18]

Tabla 2: Desglose de las ventas de vehículos híbridos del 2011 al 2015

MARCA	MODELO	Ventas			
		2011	2012	2013	2014
AUDI	A6	0	14	8	3
AUDI	A8	0	5	1	0
AUDI	Q5	12	73	21	13
B.M.W.	335	0	1	23	5
B.M.W.	535	0	6	2	3
B.M.W.	750 II	3	0	0	0
B.M.W.	X6	3	0	0	0
BYD	F3DM	8	2	0	0
CHEVROLET	VOLT	1	14	0	0
CITROEN	DS5	13	195	71	25
FERRARI	LAFERRARI	0	0	0	2
FORD	MONDEO	0	0	0	9
HONDA	CIVIC	271	0	0	1
HONDA	CR-Z	281	149	8	1
HONDA	INSIGHT	256	87	7	0
HONDA	JAZZ II	172	136	39	63
INFINITI	Q50	0	0	9	16
INFINITI	Q70	0	0	13	3
INFINITI	M35	2	12	0	0
KIA	OPTIMA	0	0	33	0
LAND ROVER	RANGE ROVER	0	0	0	1
LEXUS	LEXUS CT 200	1.654	1.244	795	1343
LEXUS	LEXUS GS 300	0	0	15	138
LEXUS	LEXUS GS 450	37	131	92	46
LEXUS	LEXUS IS 300	0	0	583	883
LEXUS	LEXUS LS 600	14	6	34	17
LEXUS	LEXUS NX 300	0	0	0	580
LEXUS	LEXUS RX 400	1	0	0	0
LEXUS	LEXUS RX 450	446	398	342	300
MERCEDES	C 300	0	0	0	2
MERCEDES	E 300	0	33	50	43
MERCEDES	S 300	0	0	0	1
MERCEDES	S 400	6	3	20	25
OPEL	AMPERA	1	33	0	0
PEUGEOT	3008	0	193	91	115
PEUGEOT	508	0	147	343	71
PORSCHE	CAYENNE	51	26	8	1
PORSCHE	PANAMERA	14	4	3	8

Tabla 3: Continuación del desglose de las ventas de vehículos híbridos del 2011 al 2015

MARCA	MODELO	Ventas			
		2011	2012	2013	2014
TOYOTA	AURIS	3.105	2.234	3644	4573
TOYOTA	PRIUS	3.979	3.969	2327	1486
TOYOTA	YARIS	0	960	1587	2305
VOLKSWAGEN	JETTA	0	0	50	7
VOLKSWAGEN	TOUAREG	12	2	3	1
Total		10.342	10.077	10.222	12.090
Incremento (%)		-	-2,56	1,44	18,27

Tabla 4: Desglose de las ventas de EV del 2011 al 2015

Marca	Modelo	Ventas			
		2011	2012	2013	2014
B.M.W.	i3	0	0	27	204
BYD	E6	0	0	0	15
CITROEN	C-ZERO	85	58	3	2
FORD	FOCUS	0	0	5	0
KIA	SOUL	0	0	0	2
MERCEDES	A E-CELL	17	6	0	0
MITSUBISHI	i-MIEV	23	31	139	0
NISSAN	LEAF	59	154	263	465
PEUGEOT	ION	125	73	6	0
RENAULT	FLUENCE	23	77	128	19
RENAULT	ZOE	0	0	182	289
SEAT	ALTEA	0	3	0	0
SMART	SMART	10	5	57	35
TESLA	MODEL S	0	0	1	15
TESLA	ROADSTER	2	0	0	0
THINK	CITY	23	30	0	0
VOLKSWAGEN	GOLF	0	0	0	16
VOLKSWAGEN	UP!	0	0	0	14
Total		367	437	811	1076
Incremento (%)		-	19,07	85,58	32,68

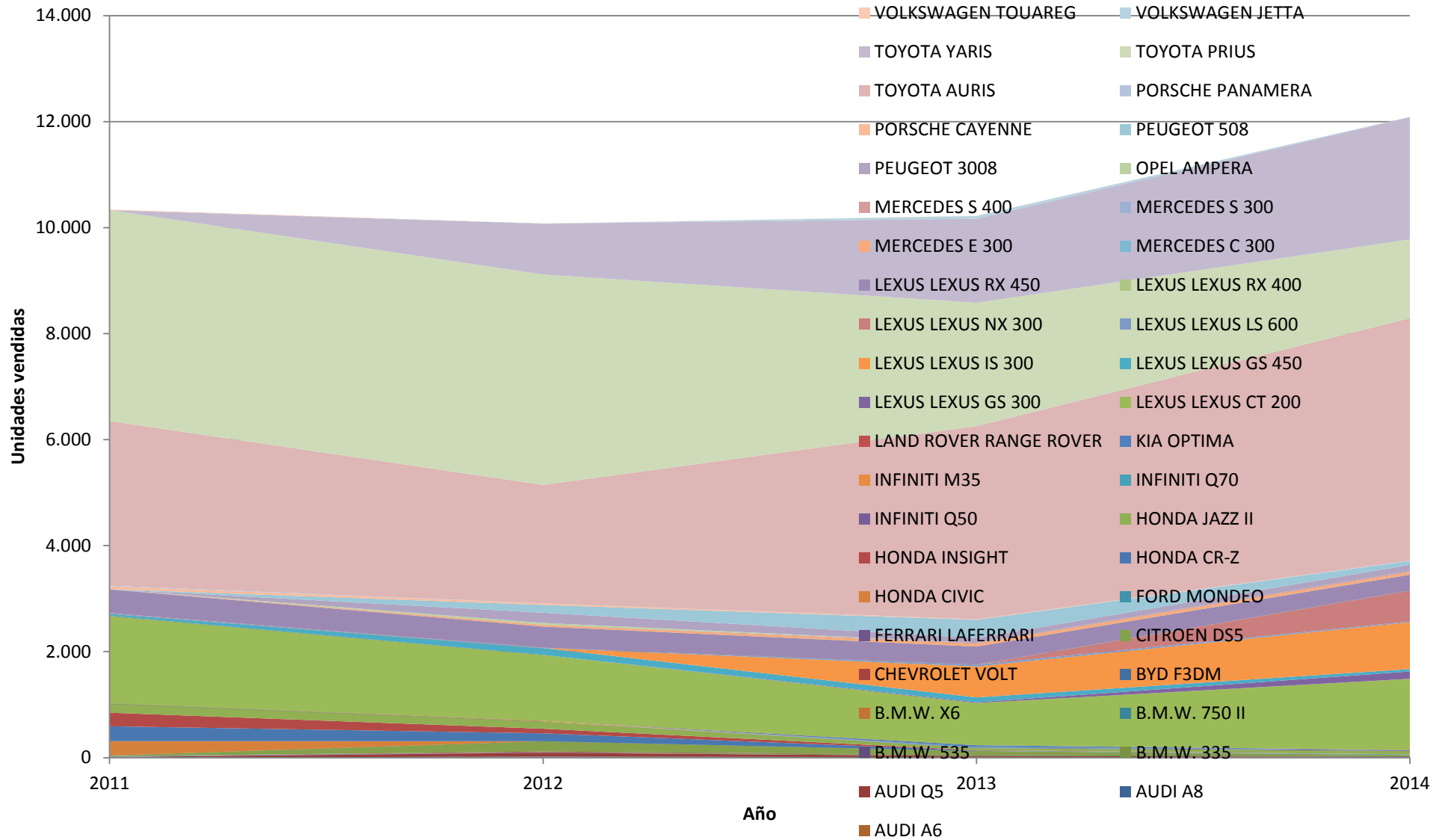


Figura 1: Gráfico con las ventas de vehículos híbridos en España del 2011 al 2014

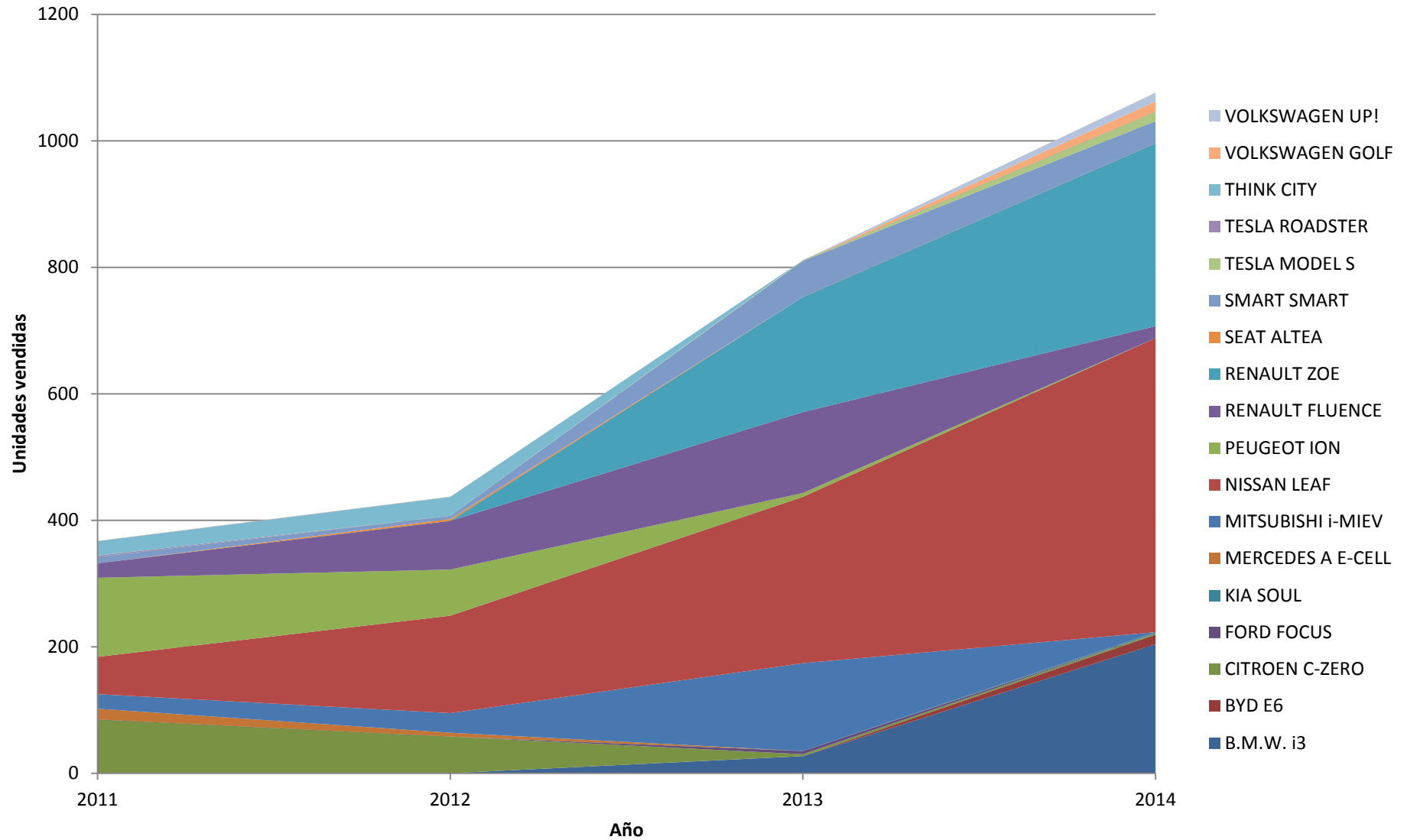


Figura 2: Gráfico con las ventas de vehículos eléctricos en España del 2011 al 2014

3 Desglose de elementos que forman una fábrica para preparar las baterías y que porcentaje del coste representan

En este capítulo se desglosan los elementos que forman una fábrica para preparar las baterías para su segunda vida y que porcentaje del coste representan. Para realizar esto se usan los datos que proporciona [19], con la intención de proporcionar un ejemplo de cómo podría ser la fábrica y que porcentaje representa cada coste.

En el transcurso del funcionamiento de la fábrica hay una serie de costes que se generan más el capital inicial necesario para empezar a operar. Dentro del capital inicial hay costes relacionados con el equipamiento necesario para realizar los test de las baterías, equipamiento para mover las baterías y material de oficina y otros. De los cuales el que tiene un mayor coste son los equipos para realizar los test de las baterías. Dentro del equipamiento para mover las baterías hay cintas transportadoras, equipos de elevación, un bastidor de almacenamiento y camiones. Por último dentro del material de oficina y otros hay ordenadores, muebles, una fotocopiadora, una impresora, un fax, equipamiento para la reparación de la maquinaria y preparación de las baterías y otros materiales de coste despreciable.

Los otros costes que hay son los generados a lo largo de su funcionamiento, costes directos e indirectos. Dentro de costes directos hay los costes de adquirir la batería, materiales y componentes que hacen falta a la batería para su nueva vida, costes laborales, alquiler de la nave industrial, consumo eléctrico, transporte, otros costes.

Dentro de costes laborales (que varían según el tamaño y el número de trabajadores) hay los trabajadores que se ocupan de preparar las baterías para los test (uno para cada una o cada dos máquinas de hacer test, según referencias), un camionero, un supervisor, un gerente, un ingeniero eléctrico, un jefe de ventas, un oficinista y un director.

Otros costes como el precio del alquiler varía según el tamaño de la nave industrial. Los costes de la electricidad vienen derivados principalmente del consumo eléctrico al realizar los test de las baterías.

También hay el coste del transporte que es causado al desplazar la batería del punto de origen hasta la fábrica para ser preparada. El punto de recogida de las baterías es donde se entregan los EV para ser desmantelados, que en España lo normal es que sea en el centro autorizado de tratamiento (CAT).

Para terminar, hay el término de otros costes que es el 2% de los costes laborables. Que incluye móviles, material de oficina y otros costes relacionados con el desempeño de la labor empresarial.

El otro grupo de costes son los indirectos. En estos encontramos los costes relacionados con seguros, gastos generales y administrativos y garantías, que representan un 3%, 16% y un 4% de los costes directos respectivamente.

A partir del desglose mostrado se pueden realizar una serie de gráficos en los que ver como de significativos es cada tipo de coste, Figura 3.

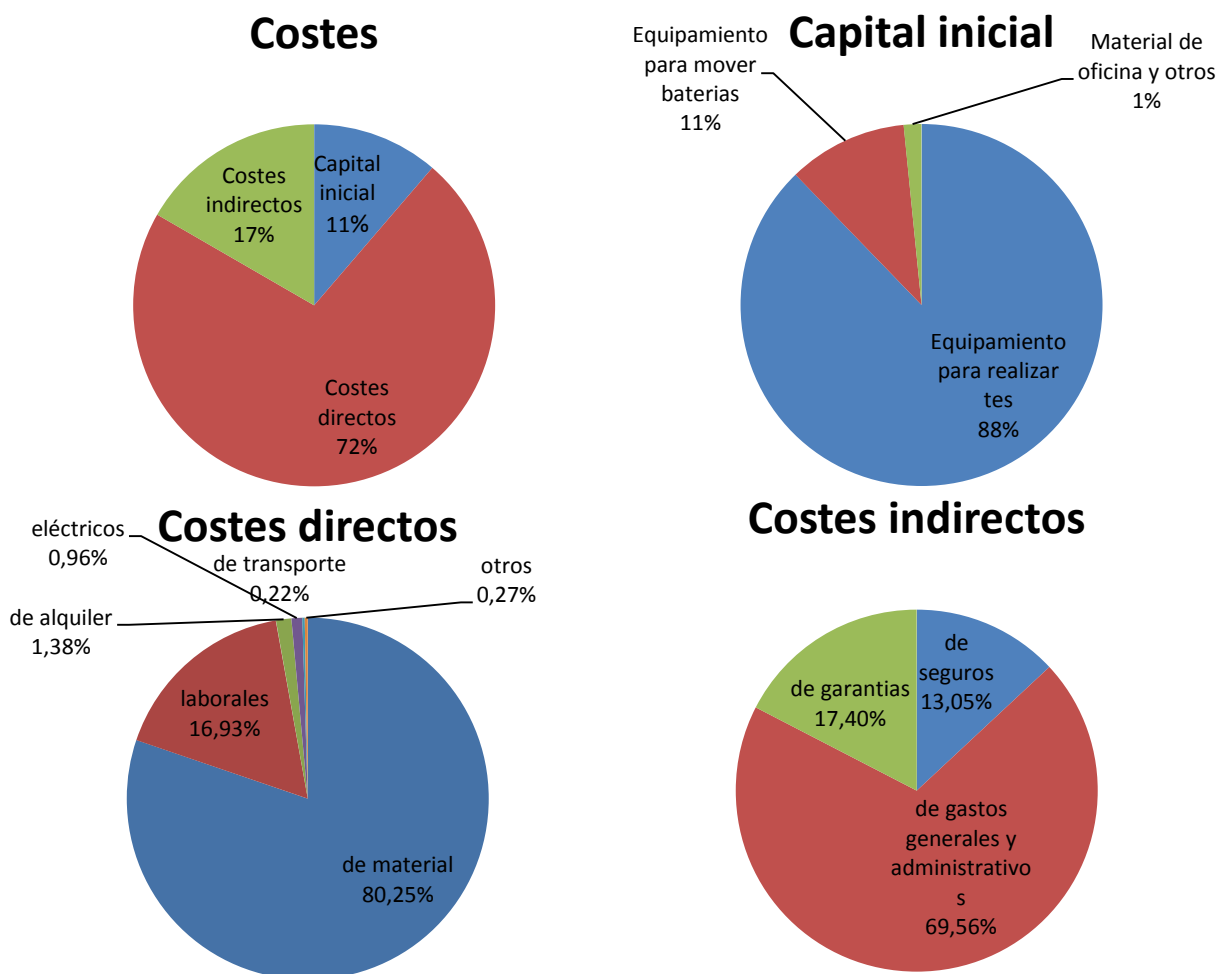


Figura 3: Desglose de costes totales, capital inicial, costes directos y costes indirectos de una fábrica para preparar baterías en porcentaje

De los datos que proporciona la Figura 3, se puede ver como el mayor coste de la fábrica es debido a los costes directos y dentro de estos los de adquisición del material. Dentro de estos hay el coste de adquisición de la batería, por tanto si el

precio de las baterías de los EV baja las baterías que salgan para la segunda vida también tendrán un menor precio. Así que la bajada del precio de producción de las baterías de los EV no solo afectará a los EV sino también a la segunda vida de las baterías. A parte de lo que se puede ver en la Figura 3 hay que tener en cuenta que estos datos obtenidos están influidos por el tamaño de la empresa. En las referencias [19] y [20] se comenta que el tamaño de la empresa depende del número de EV que se reciclen anualmente, esto genera un problema en España actualmente a causa de que las ventas de EV actualmente no son muy elevadas, Tabla 1 de la memoria. En estas referencias también se habla del tiempo necesario para preparar las baterías, actualmente es bastante elevado, esto influye en los costes laborales y en la rentabilidad de la empresa. En estos trabajos ya se comenta que para el futuro esto debe bajar para aumentar su rentabilidad. Por tanto los costes de la batería pueden sufrir cambios al largo de los años si el número de ventas de EV aumenta o disminuye y si se consigue mejorar el proceso de preparación de las baterías.

4 Resolución de los diferentes casos pero con una batería nueva

En este capítulo se recalculan los costes de las tres instalaciones para una batería nueva. Los componentes seleccionados para cada caso, a excepción de la batería, son los mismos. Ya que en el proceso de dimensionado de la batería no han intervenido.

4.1 Instalación fotovoltaica de una vivienda aislada

Para la instalación fotovoltaica la primera variable que cambia es la capacidad de la batería a instalar (B_C), porque ahora no es necesario ajustarla a la capacidad restante de la batería del EV. Por tanto si se usa la ecuación (1).

$$B_C = \frac{N_{ccd} * L_{el}}{\eta_B * D_d * \eta_I} \quad (1)$$

Donde N_{ccd} es el número de días seguidos sin sol, L_{el} es el consumo diario, η_B es el rendimiento de la batería y η_I es el rendimiento del inversor. Se usan los mismos datos usados en la memoria para el resto de variables (Tabla 5) se obtiene el resultado de la Tabla 6.

Tabla 5: Parámetros usados para los cálculos en este apartado

Parámetros	Valores	Unidades
L_{el}	10,6	kWh
η_B	85	%
η_I	92,5	%
D_d	65	%
N_{ccd}	4	días
i	2	%
d	8	%
N	20	años

Tabla 6: Resultado de la ecuación anterior para las tres franjas

Variables	Franjas			Unidades
	F1	F2	F3	
B_c	8,30E+01	8,30E+01	8,30E+01	kWh

El siguiente punto a tratar es el número de años que le quedan a las baterías a usar en esta instalación. Se usa la misma aproximación que en la memoria, ecuación (2) de la referencia [22] y el número de ciclos de la batería se consideran 1800 [23].

$$E = D_d * B_C * ciclos \quad (2)$$

Donde D_d es la profundidad máxima de descarga permitida para la batería (65%, Tabla 5), 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) [22], ecuación (3).

$$L = \frac{E}{E_a} \quad (3)$$

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 7.

Tabla 7: Energía restante, energía consumida anualmente y años de vida restantes de cada batería

Variable	Valor	Unidades
E	97068	kWh
Ea	3770	kWh
L	26	años

Para el coste de adquisición y puesta en funcionamiento de la instalación fotovoltaica se realiza el mismo procedimiento que para la batería reutilizada. Con la diferencia que el tamaño de la batería ha cambiado. En este caso la batería dura 26 años (Tabla 7), por tanto con una batería es suficiente para toda la vida útil de la instalación.

El único de los costes que cambia es el de la batería, el resto de componentes tienen los mismos costes. El precio usado para la batería es de 400 €/kWh [24]. Así que para el cálculo del coste de la batería se multiplica el precio unitario por el tamaño de esta.

Finalmente, el coste final de la instalación fotovoltaica es la suma de todos los costes parciales representado por la ecuación (4).

$$CF = C_{pV} + C_B + C_{rc} + C_i + C_{ins} \quad (4)$$

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 8). El coste actualizado al presente (CFA) viene determinado por la ecuación (5).

$$CFA = CF \left[\frac{1 - \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^N}{1 - \left(\frac{1+i}{1+d}\right)} \right] \quad (5)$$

Y el coste unitario por capacidad de la batería (CU) viene determinado por la ecuación (6).

$$CU = \frac{CFA}{B_C} \quad (6)$$

Los valores usados para realizar los cálculos son los de la Tabla 5, Tabla 8. El desglose de los resultados que se obtienen son los de la Tabla 9.

Tabla 8: 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	400	83	33200,00
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

Tabla 9: 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	-	33200,00	€
C _{ins}	F1	330,00	€
	F2	385,00	€
	F3	495,00	€
CF	F1	39500,78	€
	F2	39803,28	€
	F3	41013,28	€
CFA	F1	3221,54	€
	F2	3246,21	€
	F3	3344,89	€
CU	F1	38,83	€kWh
	F2	39,13	€kWh
	F3	40,32	€kWh

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

Respecto el caso del subapartado 8.4 de la memoria, solo cambia que ahora no hace falta adaptar el tamaño de la batería a la batería usada (packs de 17,2kWh). Por tanto usando la ecuación (7).

$$B_C = \frac{B_{EV}}{\eta_B * D_d * \eta_c} \quad (7)$$

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 de cargador, η_B es el rendimiento de la batería y D_d es la profundidad máxima de descarga permitida para la batería. Los valores usados y el resultado obtenido es el expuesto en la Tabla 10.

Tabla 10: Parámetros y resultados de la ecuación (7)

Parámetros	Valores	Unidades
B_{EV}	22,4	kWh
η_B	80	%
η_c	90	%
D_d	65	%
B_C	47,9	kWh

Para determinar el coste que supone anualmente cargar el EV, se usa la ecuación (8).

$$C = \frac{B_{EV}}{\eta_B * \eta_c} * ds \quad (8)$$

Donde C es el consumo diario que se realiza en kWh/día, ds es el porcentaje de la batería que se ha descargado (70%) y los dos rendimientos son los comentados en el apartado 8.4 de la memoria.

Para el cálculo de la vida estimada que le queda a la batería, el número de baterías que hacen falta cambiar para cada caso y el coste de la electricidad consumida anualmente, se realiza el mismo procedimiento que en el apartado 8.4 de la memoria. Los parámetros usados y los resultados obtenidos son los de las Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13.

Tabla 11: Parámetros usados y años de vida restantes de la batería

Caso	Ea (kWh)	E (kWh)	L (años)
90%	7154	56000	8
50%	3974	56000	14
25%	1987	56000	28

Tabla 12: 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

Tabla 13: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones comentadas en este subapartado

Costes	Caso	Valor	Unidades
C_B	90	19145,30	€
C_{B1}		10810,02	€
C_B	50	19145,30	€
C_B	25	19145,30	€
C_{ins}	-	400,00	€
	90	66255,04	€
CF	50	53723,95	€
	25	52648,27	€
	90	5403,52	€
CFA	50	4381,53	€
	25	4293,80	€
	90	112,89	€/kWh
CU	50	91,54	€/kWh
	25	89,71	€/kWh

4.3 Instalación de un acumulador para reducir la factura eléctrica

El caso alternativo para este caso consiste en instalar una batería nueva del mismo tamaño que el de la batería reutilizada y cubrir el mismo porcentaje de consumo de electricidad que el del caso modelado en el subapartado 8.5 de la memoria. Por tanto se quiere cubrir el 86% del consumo diario de la vivienda, esto supone que se consume de la red eléctrica 10,9 kWh.

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

En este subapartado se calculan los costes del caso a estudiar, para ello se usan los valores ya usados anteriormente y se determina la vida útil de la batería, su coste y el coste del consumo eléctrico.

Respecto a la vida restante que le queda a la batería, se realiza el mismo proceso que en el apartado 4.1, usando las ecuaciones (2) y (3). Para determinar la energía usada a lo largo del año lo que se hace es multiplicar la energía

consumida diariamente por el número de días de cada caso. Los valores usados y los datos obtenidos son los de la Tabla 14.

Tabla 14: Parámetros usados y vida restante de la batería nueva

Ea (kWh)	E (kWh)	L (años)
3322	20966,4	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 hace falta realizar 2 cambios de batería. Para el coste de todo el conjunto con las ecuaciones modificadas del apartado anterior (4) – (6), pero usando como consumo diario el valor comentado en este apartado (10,9 kWh/día). Los parámetros usados son los de la Tabla 15 y los resultados que se obtienen son los expuestos en la Tabla 16.

Tabla 15: Parámetros usados en los cálculos para la instalación de un acumulador para una vivienda para rebajar la factura eléctrica

Parámetros	Valores	Unidades
i	2	%
d	8	%
Bc	17,9	kWh
Dd	65	%
Ci	2027,3	€
N	6	años
η_B	85	%
η_I	90	%

Tabla 16: Desglose de costes que se obtienen a partir de las ecuaciones comentadas en este subapartado para la instalación de un acumulador en una vivienda para reducir la factura eléctrica.

Costes	Valor	Unidades
C_B	8960	€
C_{B1}	6358,67	€
C_{B2}	4512,58	€
C_{ins}	896,00	€
CF	25583,68	€
CFA	2086,51	€
CU	116,43	€/kWh

5 Resultados finales del ACV completo

En este capítulo se exponen las tablas de los ACV completos de los tres casos estudiados.

Tabla 17: Desglose de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo para la instalación fotovoltaica

Caso	Impactos	1a vida EV					2a vida			Total	Unidades
		Extracción y producción del EV	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclado	Preparación de la batería	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclaje		
Reutilizado	GWP	1,63E+06	8,64E+05	1,86E+06	-	1,12E+04	-	0,00E+00	-4,32E+05	3,93E+06	g CO ₂ eq./kWh
	FEP	1,82E+03	1,13E+03	2,54E+03	-	1,52E+01	-	0,00E+00	-5,63E+02	4,93E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	TAP	3,11E+03	6,00E+03	8,75E+03	-	5,25E+01	-	0,00E+00	-3,00E+03	1,49E+04	g SO ₂ eq./kWh
	ADP	1,20E+04	1,07E+03	1,44E+04	-	8,60E+01	-	0,00E+00	-5,34E+02	2,70E+04	g Sb eq./kWh
Nuevo	GWP	1,63E+06	8,64E+05	1,86E+06	-4,32E+05	-	8,00E+05	0,00E+00	-4,00E+05	4,32E+06	g CO ₂ eq./kWh
	FEP	1,82E+03	1,13E+03	2,54E+03	-5,63E+02	-	1,04E+03	0,00E+00	-5,21E+02	5,44E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	TAP	3,11E+03	6,00E+03	8,75E+03	-3,00E+03	-	5,56E+03	0,00E+00	-2,78E+03	1,76E+04	g SO ₂ eq./kWh
	ADP	1,20E+04	1,07E+03	1,44E+04	-5,34E+02	-	9,88E+02	0,00E+00	-4,94E+02	2,74E+04	g Sb eq./kWh

Tabla 18: Desglose de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo para la instalación de un acumulador para cargar un EV con una batería reutilizada

Caso	Impactos	1a vida EV					2a vida			Total	Unidades
		Extracción y producción del EV	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclado	Preparación de la batería	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclaje		
Reutilizado	ADP 90%	1,44E+04	1,28E+03	1,73E+04	-	1,03E+02	-	8,89E+03	-6,40E+02	4,13E+04	g Sb eq./kWh
	ADP 50%	7,20E+03	6,40E+02	8,63E+03	-	5,16E+01	-	4,94E+03	-3,20E+02	2,11E+04	
	ADP 25%	7,20E+03	6,40E+02	8,63E+03	-	5,16E+01	-	2,47E+03	-3,20E+02	1,87E+04	
	TAP 90%	3,73E+03	7,20E+03	1,05E+04	-	6,30E+01	-	5,89E+03	-3,60E+03	2,38E+04	g SO ₂ eq./kWh
	TAP 50%	1,86E+03	3,60E+03	5,25E+03	-	3,15E+01	-	3,27E+03	-1,80E+03	1,22E+04	
	TAP 25%	1,86E+03	3,60E+03	5,25E+03	-	3,15E+01	-	1,63E+03	-1,80E+03	1,06E+04	
	FEP 90%	2,18E+03	1,35E+03	3,04E+03	-	1,82E+01	-	1,90E+03	-6,76E+02	7,82E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	FEP 50%	1,09E+03	6,76E+02	1,52E+03	-	9,12E+00	-	1,06E+03	-3,38E+02	4,02E+03	
	FEP 25%	1,09E+03	6,76E+02	1,52E+03	-	9,12E+00	-	5,28E+02	-3,38E+02	3,49E+03	
	GWP 90%	1,95E+06	1,04E+06	2,23E+06	-	1,34E+04	-	1,17E+06	-5,18E+05	5,89E+06	g CO ₂ eq./kWh
	GWP 50%	9,76E+05	5,18E+05	1,12E+06	-	6,69E+03	-	6,50E+05	-2,59E+05	3,01E+06	
	GWP 25%	9,76E+05	5,18E+05	1,12E+06	-	6,69E+03	-	3,25E+05	-2,59E+05	2,68E+06	

Tabla 19: Desglose de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo para la instalación de un acumulador para cargar un EV con una batería nueva

Caso	Impactos	1a vida EV					2a vida			Total	Unidades
		Extracción y producción del EV	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclado	Preparación de la batería	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclaje		
Nuevo	ADP 90%	1,44E+04	1,28E+03	1,73E+04	-6,40E+02	-	1,07E+03	8,89E+03	-5,34E+02	4,17E+04	g Sb eq./kWh
	ADP 50%	7,20E+03	6,40E+02	8,63E+03	-3,20E+02	-	5,34E+02	4,94E+03	-2,67E+02	2,14E+04	
	ADP 25%	7,20E+03	6,40E+02	8,63E+03	-3,20E+02	-	5,34E+02	2,47E+03	-2,67E+02	1,89E+04	
	TAP 90%	3,73E+03	7,20E+03	1,05E+04	-3,60E+03	-	6,00E+03	5,89E+03	-3,00E+03	2,67E+04	g SO ₂ eq./kWh
	TAP 50%	1,86E+03	3,60E+03	5,25E+03	-1,80E+03	-	3,00E+03	3,27E+03	-1,50E+03	1,37E+04	
	TAP 25%	1,86E+03	3,60E+03	5,25E+03	-1,80E+03	-	3,00E+03	1,63E+03	-1,50E+03	1,20E+04	
	FEP 90%	2,18E+03	1,35E+03	3,04E+03	-6,76E+02	-	1,13E+03	1,90E+03	-5,63E+02	8,37E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	FEP 50%	1,09E+03	6,76E+02	1,52E+03	-3,38E+02	-	5,63E+02	1,06E+03	-2,82E+02	4,29E+03	
	FEP 25%	1,09E+03	6,76E+02	1,52E+03	-3,38E+02	-	5,63E+02	5,28E+02	-2,82E+02	3,76E+03	
	GWP 90%	1,95E+06	1,04E+06	2,23E+06	-5,18E+05	-	8,64E+05	1,17E+06	-4,32E+05	6,31E+06	g CO ₂ eq./kWh
	GWP 50%	9,76E+05	5,18E+05	1,12E+06	-2,59E+05	-	4,32E+05	6,50E+05	-2,16E+05	3,22E+06	
	GWP 25%	9,76E+05	5,18E+05	1,12E+06	-2,59E+05	-	4,32E+05	3,25E+05	-2,16E+05	2,89E+06	

Tabla 20: Desglose de los impactos ambientales obtenidos en el ACV completo para la instalación de un acumulador para rebajar la factura eléctrica

Caso	Impactos	1a vida EV				2a vida				Total	Unidades
		Extracción y producción del EV	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclado	Preparación de la batería	Extracción y producción de la batería	Uso	Reciclaje		
Reutilizado	GWP	9,76E+05	5,18E+05	1,12E+06	-	6,69E+03	-	1,63E+06	-2,59E+05	3,99E+06	g CO ₂ eq./kWh
	FEP	1,09E+03	6,76E+02	1,52E+03	-	9,12E+00	-	2,65E+03	-3,38E+02	5,61E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	TAP	1,86E+03	3,60E+03	5,25E+03	-	3,15E+01	-	8,20E+03	-1,80E+03	1,71E+04	g SO ₂ eq./kWh
	ADP	7,20E+03	6,40E+02	8,63E+03	-	5,16E+01	-	1,24E+04	-3,20E+02	2,86E+04	g Sb eq./kWh
Nuevo	GWP	9,76E+05	5,18E+05	1,12E+06	-2,59E+05	-	5,18E+05	1,63E+06	-2,59E+05	4,24E+06	g CO ₂ eq./kWh
	FEP	1,09E+03	6,76E+02	1,52E+03	-3,38E+02	-	6,76E+02	2,65E+03	-3,38E+02	5,94E+03	g PO ₃ ⁻⁴ eq./kWh
	TAP	1,86E+03	3,60E+03	5,25E+03	-1,80E+03	-	3,60E+03	8,20E+03	-1,80E+03	1,89E+04	g SO ₂ eq./kWh
	ADP	7,20E+03	6,40E+02	8,63E+03	-3,20E+02	-	6,40E+02	1,24E+04	-3,20E+02	2,89E+04	g Sb eq./kWh

6 Referencias

- [1] "ANFAC - Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones." [Online]. Available: <http://www.anfac.com/portada.action>. [Accessed: 09-Apr-2015].
- [2] "Catálogo de vehículos Movele - IDAE Movele," Feb. 2007.
- [3] "Unknown - Q5_SQ5.pdf." [Online]. Available: http://catalogodigital.audi.es/contenidos/q5-2014/Q5_SQ5.pdf. [Accessed: 17-Feb-2015].
- [4] "BMW España - Página Web Oficial." [Online]. Available: <http://www.bmw.es/home/home.html>. [Accessed: 17-Feb-2015].
- [5] "Spark EV 2015: Opciones y equipos estándar | Chevrolet." [Online]. Available: <http://es.chevrolet.com/spark-ev-electric-vehicle/specs/options.html#>. [Accessed: 16-Feb-2015].
- [6] "Modelos FIAT 500e | Tabla de comparación detallada." [Online]. Available: <http://es.fiatusa.com/model-compare/detailed-chart/?modelYearCode=CUX201504>. [Accessed: 16-Feb-2015].
- [7] "Ford Focus 2014 | Ver Todas las Especificaciones del Motor | Ford.com." [Online]. Available: <http://es.ford.com/cars/focus/specifications/engine/>. [Accessed: 16-Feb-2015].
- [8] "Most Fuel Efficient Cars from Honda.com." [Online]. Available: <http://automobiles.honda.com/all-models.aspx>. [Accessed: 17-Feb-2015].
- [9] "Vehículos Híbridos de Altas Prestaciones | Una completa gama de coches Full Hybrid." [Online]. Available: <http://www.lexusauto.es/index.tmex#/ExploreRange>. [Accessed: 15-Feb-2015].
- [10] "Mercedes-Benz España." [Online]. Available: <http://www.mercedes-benz.es>. [Accessed: 16-Feb-2015].
- [11] "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].
- [12] "Nissan LEAF® Electric Car: 100% Electric. 100% Fun." [Online]. Available: <http://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/>. [Accessed: 09-Apr-2015].
- [13] "Datos técnicos - Panamera S E-Hybrid - Todos los Panamera - Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG." [Online]. Available: <http://www.porsche.com/spain/models/panamera/panamera-s-e-hybrid/featuresandspecs/>. [Accessed: 18-Feb-2015].

- [14] “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].
- [15] “Model S Specifications | Tesla Motors.” [Online]. Available: <http://www.teslamotors.com/support/model-s-specifications>. [Accessed: 16-Feb-2015].
- [16] “Especificaciones tecnicas - PRIUS_2015.pdf.” [Online]. Available: http://toyotaprius.com.mx/downloads/PRIUS_2015.pdf. [Accessed: 10-Feb-2015].
- [17] “2015 VW Jetta Compact Sedan with Performance & Value | Volkswagen.” [Online]. Available: <http://www.vw.com/models/jetta/>. [Accessed: 18-Feb-2015].
- [18] “VOLVO.” [Online]. Available: http://www.plataformamk.com/Volvo/tarifas/V60_Plug-in_Hybrid/#page/20. [Accessed: 16-Feb-2015].
- [19] 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.
- [20] C. Casals and E. Vehicle, “A cost analysis of electric vehicles batteries second life businesses,” no. July, pp. 16–18, 2014.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.