

ENVIRONMENTAL IMPACT OF SECOND LIFE BATTERIES IN STATIONARY APPLICATIONS

Canals Casals, Lluc; Amante García, Beatriz; González Benítez, María Margarita
UPC

Energy storage systems, and batteries in particular, are being more and more studied with the entrance of renewable power sources, distributed generation and smart grids in the generation and distribution of electricity. Thus, the manufacture of batteries and its efficiency in the grid support applications implies an environmental impact that was previously inexistent.

Knowing that electric vehicle batteries can be used on stationary applications when they have lost a 20% of its initial capacity, a study of its environmental impact compared to several other battery technology alternatives will be done. Additionally, a study of the potential benefits that the use of batteries in a distributed generation system against the actual generation, distribution and consumption system will be carried out.

This study will be executed departing from the Spanish electricity MIX, the possible batteries' use cases in the grid and a battery ageing model developed with Matlab to determine the rest of useful life in the cases analyzed.

Keywords: second life; batteries; lithium; environmental impact

IMPACTO AMBIENTAL DE LA INTEGRACIÓN DE BATERÍAS DE SEGUNDA VIDA EN SISTEMAS ESTACIONARIOS

Los sistemas de almacenaje de energía, y las baterías en concreto, están siendo cada vez más estudiadas con la llegada de las energías renovables, la generación distribuida y la implementación de redes inteligentes en la producción y gestión de la energía eléctrica. Así, la manufactura de baterías y la eficiencia en su uso en aplicaciones de servicio a la red conlleva un impacto medioambiental antes inexistente que debe ser analizado.

Sabiendo que las baterías de vehículo eléctrico pueden ser reutilizadas para otros fines cuando estas han perdido un 20% de su capacidad inicial, se realizará una comparativa del impacto ambiental de re-utilizar dichas baterías en una segunda vida contra el uso de baterías nuevas de distintas tecnologías. Al mismo tiempo se valorará el posible beneficio que el uso de baterías e implantación de un sistema distribuido puede conllevar, comparado con el estado actual del sistema de generación, distribución y consumo de la energía.

Este estudio se realizará partiendo del MIX energético español, de distintos casos de uso de baterías en aplicaciones estacionarias y de un modelo de envejecimiento de baterías desarrollado en Matlab para determinar la vida útil de las baterías en los distintos casos analizados.

Palabras clave: segunda vida; baterías; litio; imacto ambiental

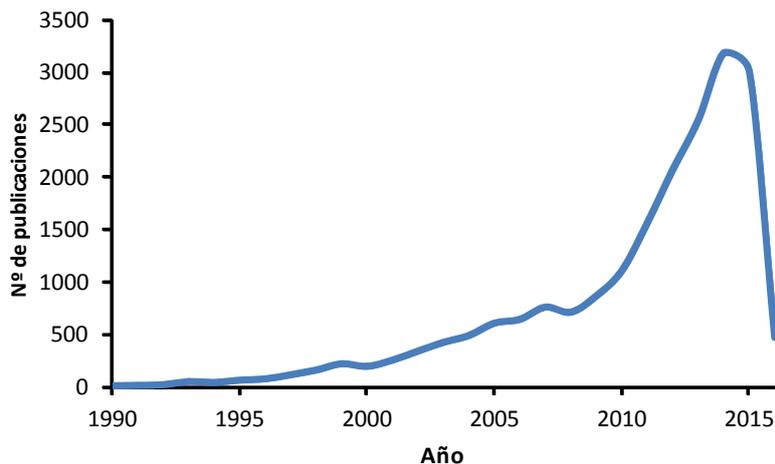
Correspondencia: Lluc Canals Casals - lluc.canals@upc.edu

Agradecimientos: Agradecer a la UPC y al proyecto ReViBe TEC2015-63899-C3-1-R de la convocatoria de retos de la sociedad del gobierno español por la oportunidad ofrecida para investigar en la segunda vida de baterías de VE, sus negocios y su impacto ambiental.

1. Introducción

La creciente entrada del vehículo eléctrico (VE) en el sector de la automoción y de las energías renovables en el sector energético están poniendo de relieve el potencial y la necesidad de los sistemas de almacenaje de energía y en concreto, de las baterías. Con ello, en los últimos años han incrementado considerablemente los estudios que hacen referencia a baterías de litio, tal y como se muestra en la Figura 1.

Figura 1: N° de publicaciones sobre baterías de litio en Scopus.



El VE en sí mismo no emite gases de efecto invernadero ni de ningún otro tipo (Ma et al., 2012), por tanto el VE se presenta como una posible alternativa a las emisiones de CO₂ producidas por los vehículos de combustión interna (VCI), cuya normativa europea restringe cada vez más.

Por otro lado, la incorporación de baterías como soporte a las energías renovables permitiría un mayor despliegue de dichos sistemas de generación de energía, eliminando el factor de incertidumbre en la producción de electricidad al no depender, gracias a las baterías, de las condiciones climatológicas (Heymans et al., 2014).

De este modo, parece que la incorporación de baterías en estos dos sectores conlleva una mejora sustancial si se mira desde una óptica medioambiental.

Además, el alto coste de las baterías de VE ha incentivado la imaginación financiera y la apertura hacia nuevos negocios incorporando la segunda vida de las baterías de VE al final de su vida útil en vehículo (Lacey, Putrus & Salim, 2013). De hecho, se considera que una batería ya no es apta para usos de tracción cuando esta ha perdido un 20% de su capacidad (Price, Dietz & Richardson, 2012). Así, estando aún cerca de un 80% del estado de salud (SOH), dichas baterías pueden ser utilizadas para aplicaciones estacionarias con requerimientos eléctricos y temperaturas menos exigentes que los de la electromovilidad.

Desde un punto de vista medioambiental, esta opción evita la fabricación de baterías nuevas para usar en servicios para la red eléctrica según las conclusiones del proyecto "Second Life concepts" (2016). Esta conclusión puede pecar de precipitada, pues si bien es cierto que reutilizar baterías permite no comprar baterías nuevas, también es cierto que es debido al menor precio de las baterías reutilizadas que los sistemas de almacenamiento pueden participar en servicios energéticos donde las baterías no eran competitivas. Es decir, se está abriendo un nuevo mercado, lo que implica que no solo se tratará de la sustitución de baterías nuevas por viejas en aplicaciones ya existentes.

Adicionalmente, cabe decir que el almacenamiento, como todos los procesos de transformación de la energía, tiene sus pérdidas y, consecuentemente, una reducción de la eficiencia global del sistema. Teniendo en cuenta que las baterías, a medida que envejecen, ven incrementada su resistencia interna (Broussely et al., 2005) y que la resistencia interna es el principal elemento que afecta a la eficiencia de las baterías (Braun et al., 2012), usar baterías envejecidas repercute en peores eficiencias y, por ende, en mayores pérdidas energéticas e impacto ambiental.

De hecho, muchos de los modelos de negocio que incorporan sistemas de almacenamiento de energía para dar servicios a la red eléctrica, no son sistemas con energías renovables ni se hacen para la mejora del impacto ambiental. Son modelos lucrativos a nivel económico. Los negocios económicamente más interesantes se ha visto que son la regulación de área y el desplazamiento en la transmisión (Rastler, 2010).

Al mismo tiempo, según los estudios de Faria et al. (2013) y Patterson et al. (2011), el impacto sobre el calentamiento global imputable a la fabricación de un vehículo eléctrico es un 60% mayor al de la fabricación de un VCI. Además, aunque el propio VE no conlleve emisión alguna, la producción de la energía que este requiere para cargar las baterías y circular, sí que tiene un impacto ambiental asociado al mix energético de cada región o país, pudiendo incluso hasta ser mayor al imputable a un VCI (Nordelöf et al., 2014).

Por todas estas razones se creyó interesante realizar un profundo análisis del ciclo de vida (ACV) desde la fabricación al desmantelamiento de las baterías con una segunda vida así como los impactos relacionados con el uso y producción de la energía en distintas aplicaciones.

2. Objetivos

Este estudio pretende valorar el impacto ambiental que se deriva del uso de baterías reutilizadas de VE en aplicaciones estacionarias, es decir, el impacto ambiental consecuencia de apostar por la segunda vida de baterías.

Este estudio se realizará partiendo del MIX energético español, de distintos casos de uso de baterías en aplicaciones estacionarias y de un modelo de envejecimiento de baterías desarrollado en Matlab para determinar la vida útil de las baterías en los distintos casos analizados.

3. Metodología

El análisis del impacto ambiental de una batería de ión de litio de vehículo eléctrico a lo largo de todo su ciclo de vida incorpora, en este estudio, las posibilidades de trabajo en una segunda vida. Este análisis cuenta, pues, con cinco etapas claramente diferenciadas: La primera etapa de extracción de materiales, la etapa de fabricación de la batería, la etapa de uso en VE, la etapa de segunda vida en aplicaciones estacionarias y, finalmente, la etapa de desmantelamiento y reciclaje.

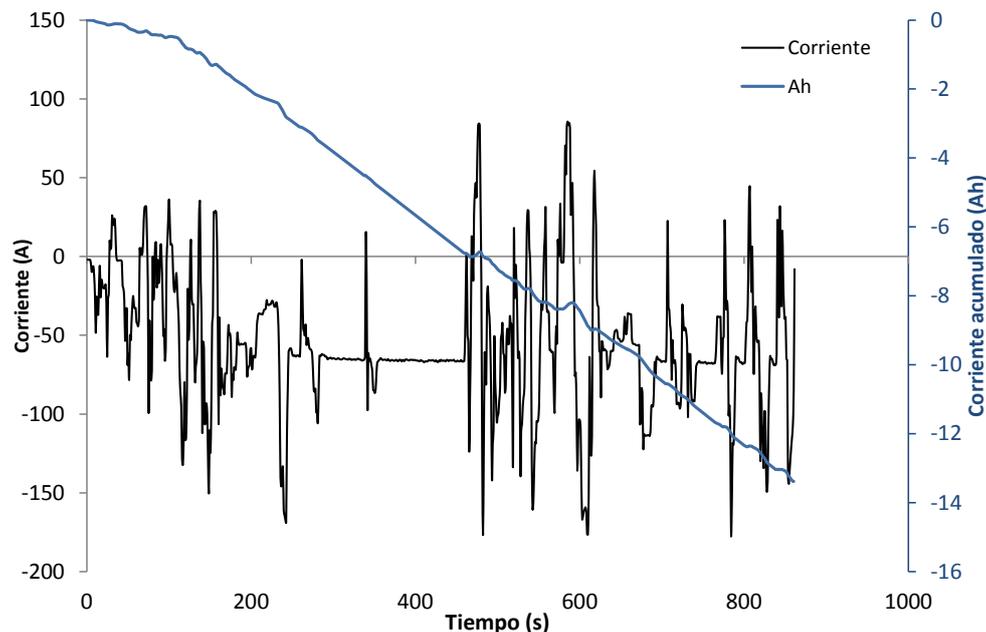
Los cálculos del impacto ambiental se realizarán usando la herramienta SIMAPRO y sus bibliotecas de inventarios Ecoinvent.9 y el método de cuantificación del impacto ReCiPE (H/A). El impacto de la fabricación de la batería y de los sistemas necesarios para una segunda vida, así como del consumo de energía según el mix energético español están incorporados en la base de datos del programa.

El impacto ambiental de la batería durante su fase de uso en la primera vida, es decir, en el VE, se considera a partir del consumo eléctrico necesario para cargar la batería. Así, el cálculo del consumo energético del VE se obtuvo haciendo circular un vehículo siguiendo el

ciclo de conducción ARTEMIS ajustado a 79 km. La corriente aportada y regenerada por la batería durante uno de los ciclos se muestra en la Figura 2 en negro.

Como se puede observar en la curva azul de la Figura 2, que corresponde a la corriente acumulada aportada por la batería, hay ciertos momentos en el que la corriente acumulada disminuye. Esto es debido a la regeneración de la energía en frenadas y se descuenta del cómputo global de la energía consumida para obtener únicamente el valor total consumido de la red. Así, en un ciclo, el vehículo consume 13.38 Ah de los 25 Ah de capacidad que tiene la batería, es decir, un 53.5%. Si la batería del VE tiene 24 kWh, se deduce que el vehículo consume 12.85 kWh en cada trayecto. Estos 12.85 kWh corresponden a la energía que la batería debe obtener de la red eléctrica en cada carga.

Figura 2: Corriente instantánea y acumulada en el ciclo de ARTEMIS adaptado a 79 km



Usando un modelo de envejecimiento de baterías previamente desarrollado (Canals Casals, Amante García & González Benítez, 2015), se obtuvo que la cantidad de veces que el VE puede realizar este ciclo antes de alcanzar su fin de vida en vehículo, equivalente al 80% de SOH, es de 1985 ciclos. Multiplicando el consumo de energía de la batería (E_{bat}) por el número de ciclos antes de llegar al fin de vida (N) y dividiendo por el rendimiento del cargador (η_c) y de la batería (η_{bat}), estimados en un 90% en total (Du et al., 2010), según la ecuación (1), obtenemos el consumo total (E_T) de energía de la red eléctrica. El resultado final correspondiente es de 28.330 kWh consumidos directamente de la red eléctrica durante la primera vida en VE.

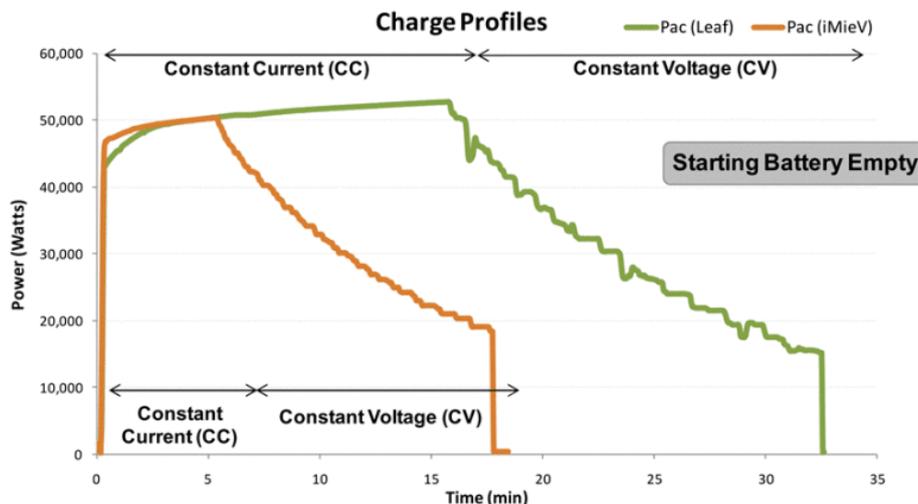
$$E_T = (E_{bat} \cdot N) / (\eta_c \cdot \eta_{bat}) = 12.85 \text{ kWh} \cdot 1.985 / 0.9 = 28.330 \text{ kWh} \quad (1)$$

Finalmente, los 4 posibles casos de estudio en segunda vida serán analizados partiendo de consumos energéticos experimentales aportados por el IREC en el marco del proyecto Sunbatt (Canals Casals et al., 2015) y cuyos ciclos de corriente están descritos en la Figura 4. Estos casos de estudio corresponden a las siguientes aplicaciones en segunda vida donde se considera que las baterías de VE tienen potencial de uso:

- Carga rápida de VE: El factor de potencia contratada es clave en los negocios energéticos. Con el uso de baterías como soporte a la carga rápida de VE, se puede reducir dicho factor de potencia. El caso particular de estudio corresponde a una

electrolinera con 3 cargadores rápidos que pueden funcionar simultáneamente. Como en un proceso de carga rápida de VE los picos de potencia son cercanos a los 50 kW, en este caso, la potencia contratada tendría que llegar a ser de 150 kW para casos puntuales en los que 3 VE empezaran la carga al mismo tiempo. Aún así, no todos los VE tienen la misma curva de carga rápida ni todos cargan siempre partiendo de una batería completamente vacía, tal y como se muestra en la Figura 3. Si además se añaden cálculos de simultaneidad, difícilmente se darán casos en los que 3 vehículos estén pidiendo máxima potencia al sistema durante más de 10 minutos (Leou, Su, & Teng, 2015). Un primer paso para suavizar el factor de potencia contratado es el de poder contar con un gestor de la energía o carga (EMS) que permita pequeños desplazamientos de algunos minutos en el momento de máxima carga. Con la incorporación de una batería, que se cargaría durante las fases de inactividad del sistema, el EMS puede utilizar la batería en los pocos instantes que requieran más de 50 kW, permitiendo una reducción de la potencia instalada a valores mucho menores a los 150 kW inicialmente mencionados. De hecho, se considera que, en funcionamiento normal, el sistema debe ser capaz de cargar un solo VE sin necesidad de recurrir a la energía almacenada en la batería de soporte. Solamente en los momentos de solape con más de un VE, la batería aportará la energía adicional necesaria (llegando a un máximo de 70 kW).

Figura 3: Comparativa de carga rápida entre I-miev y Leaf. Fuente: (Rajagopalan et al., 2014)



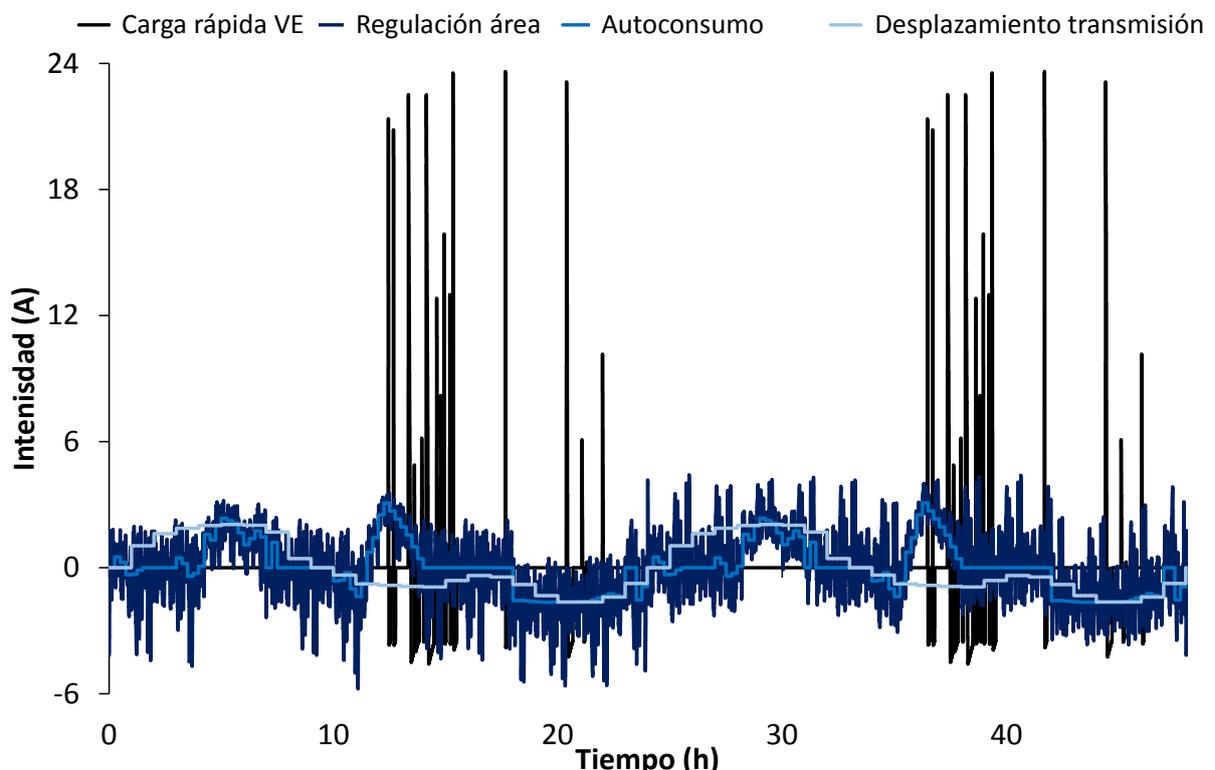
- Autoconsumo: Este caso está basado en un edificio comercial con un consumo energético de unos 34,2 kWh/día y está equipado con un EMS que puede ajustar los consumos energéticos según la fuente disponible. Así puede utilizar la energía de unos paneles solares que ofrecen 6,5 kWh/día de media, almacenar energía barata de la red en baterías para su uso cuando ésta es más cara o utilizar la energía de la red directamente para alimentar el edificio. En el caso de estudio las baterías ciclan ofreciendo 9,5 kWh/día, así, el resto de energía proviene directamente de la red eléctrica. Este caso de estudio se subdivide en 3 escenarios a la hora de calcular el impacto ambiental: el caso base, el caso que considera que toda la energía proviene de la red (edificio no inteligente), y el caso en que toda la energía proviene de paneles solares.
- Autoconsumo con regulación de área: Basándonos en el caso anterior, este escenario incorpora el concepto de red inteligente que participa del sistema de generación y distribución eléctrica para suavizar los cambios de tensión y frecuencia. Así, las baterías almacenan u ofrecen energía a la red según las necesidades cambiantes de la misma.

En la Figura 4, que muestra los ciclos de corriente de todos los escenarios, se puede ver como el rizado de corriente (azul oscuro) está superpuesto al del escenario de autoconsumo (azul).

- Desplazamiento de la transmisión: Este caso está únicamente enfocado al servicio del sistema de distribución. El aumento de la demanda energética de ciudades y barrios provoca que los transformadores instalados sean insuficientes en momentos y días puntuales del año. Cuanto más tiempo pasa, más a menudo se llega a esta saturación del sistema. Para alargar la vida de los transformadores y actualizarlos cuando la demanda justifique la gran inversión requerida, se pueden instalar sistemas de baterías de forma transitoria que aporten la energía adicional que el barrio demanda en esos días clave. En el caso de estudio, se estimó que esta necesidad de recurrir a las baterías ocurriría 17 veces el primer año y que cada año que pasase aumentaría en 17 veces más hasta el fin de vida de las baterías. Los niveles de energía requeridos por este sistema son claramente mayores a los de los escenarios anteriores, llegando a intercambiar 995 kWh/día entre las baterías y el sistema en los días de más actividad. Esto implica la instalación de 82 baterías de VE.

Cabe mencionar que el fin de vida de las baterías en cada una de las aplicaciones es ligeramente distinto. Como se muestra en la Tabla 1, los escenarios de autoconsumo tienen definido el final de vida útil de la batería cuando esta alcanza el 40% de SOH, mientras que el resto de casos se definió el final al 60% SOH, por la importancia de un fallo de funcionamiento.

Figura 4: Ciclos de corriente al que están sometidas las baterías en 2ª vida



Introduciendo estos ciclos de corriente de 2ª vida de las baterías (Figura 4) en el modelo de envejecimiento, se obtuvo una esperanza de vida para las baterías en cada uno de los escenarios. Partiendo de esta esperanza de vida, se han calculado los consumos finales de energía según la fuente de generación introducidos en el programa SIMAPRO, tal y como resume la Tabla 1.

Tabla 1: Especificaciones de los escenarios en segunda vida a analizar

	Autoconsumo			Regulación Área	Carga rápida VE	Desplazamiento Transmisión
	Todo red	base	Todo solar			
Nº baterías	1	2	0	1	1	82
Peso baterías (kg)	312	624	0	312	312	25584
Fin de vida (SOH)	40%	40%	-	60 %	60 %	60 %
Superficie de paneles (m ²)	16,3	88,2	0	16,3	0	0
Energía paneles solares (kWh)	28.207	63.269	0	28.207	0	0
Energía baterías (kWh)	43.368	89.512	0	28.943	28.083	1.401.573
Energía de la red (kWh)	121.846	0	147.490	60.122	28.083	1.401.573
Duración baterías en 2ª vida (años)	11,8	11,8	-	4,7	29	12

Los datos del impacto de la fabricación de la batería, de los paneles solares y de los inversores necesarios para el intercambio de energía con la red están incluidos en las librerías Ecoinvent del mismo programa SIMAPRO. Igual que también contiene los datos del Mix energético español, para el cálculo del impacto ambiental cuando se consume energía de la red. El método implementado en el proceso de cálculo fue el ReCiPe Midpoint (H/A) europeo.

Los resultados por cada categoría de impacto son mostrados en un mismo eje pero utilizando distintas unidades, por este motivo el eje vertical de algunas gráficas carece de unidad específica, teniendo que recurrir a la Tabla 2 para conocer la unidad particular de cada categoría de impacto.

Tabla 2: Especificaciones de los escenarios en segunda vida a analizar

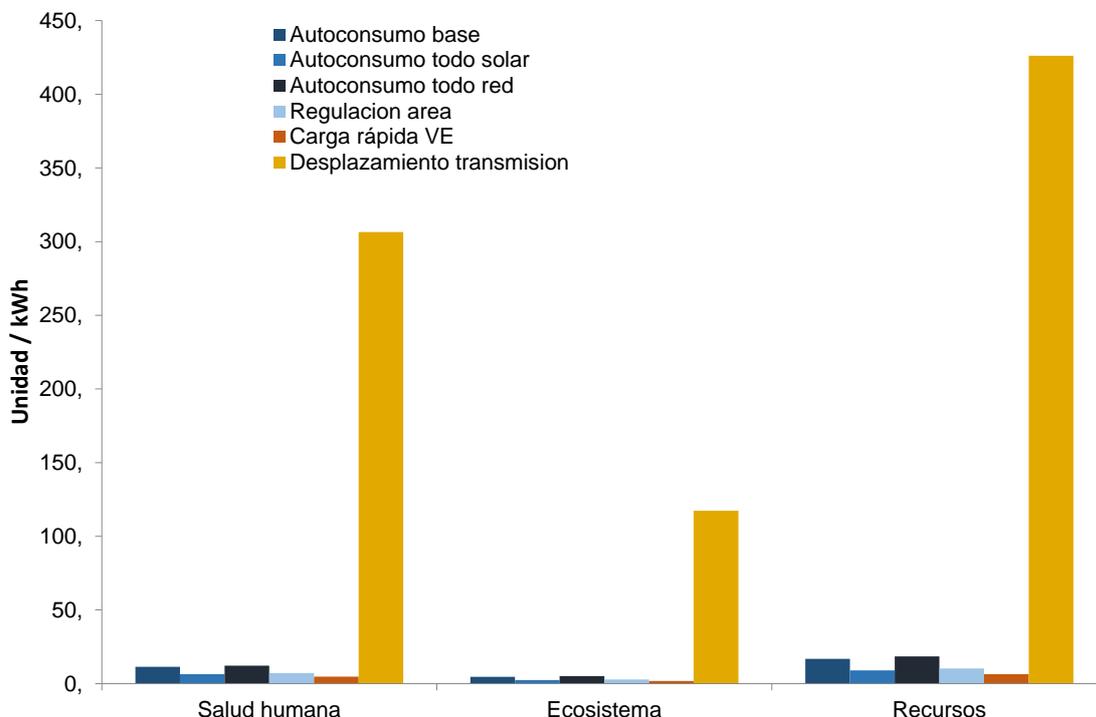
Categoría de impacto	Unidad	Acrónimo
Cambio climático salud humana	kg CO ₂ eq/p/año	CC
Reducción de la capa de ozono	kg CFC-11 eq/p/año	OD
Toxicidad humana	kg SO ₂ eq/p/año	TA
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg P eq/p/año	FE
Formación de partículas materiales	kg N eq/p/año	MEP
Radiación ionizada	kg 1,4-DB eq/p/año	HT
Cambio climático ecosistemas	kg NMVOC/p/año	POF
Acidificación terrestre	kg PM10 eq/p/año	PMF
Eutrofización del agua	kg 1,4-DB eq/p/año	TET
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq/p/año	FET
Ecotoxicidad acuática	kg 1,4-DB eq/p/año	MET
Ecotoxicidad Marina	kg U235 eq/p/año	IR
Ocupación de tierra agrícola	m ² a/p/año	ALO
Ocupación de suelo urbano	m ² a/p/año	ULO
Transformación del medio natural	m ² /p/año	NLT
Reducción de metales	m ³ /p/año	WPD
Reducción de combustibles fósiles	kg Fe eq/año	MRD
Cambio climático salud humana	kg crudo eq/p/año	FRD
Agrupaciones	Unidad	
Ecosistemas	Especies.año/p/año	
Salud humana	DALY/p/año	
Recursos	\$/p/año	

4. Resultados

El impacto total de cada una de las aplicaciones sobre la salud humana, el ecosistema y los recursos naturales se presenta en la Figura 5. Este impacto agrupa las 18 categorías de impacto en salud humana, ecosistemas y recursos según la relación definida en el método ReCiPe (Tabla 2). Como se puede observar, el impacto total de la aplicación de desplazamiento de la transmisión es mucho mayor al impacto de las otras aplicaciones. Esto se debe, básicamente, al tamaño de la instalación ya que, como está indicado en la Tabla 1, esta instalación dispone de 82 baterías frente a las 2 o 1 baterías de las otras aplicaciones e intercambia más de diez veces más energía que las otras aplicaciones. De la misma manera, la aplicación con menor impacto total en las tres clasificaciones es la del apoyo a la carga rápida del VE. Parecería lógico entonces indicar que se deberían potenciar las

aplicaciones de apoyo a la carga rápida e impedir las de desplazamiento de la transmisión, pero para ello hace falta entrar más en detalle en el análisis de los resultados.

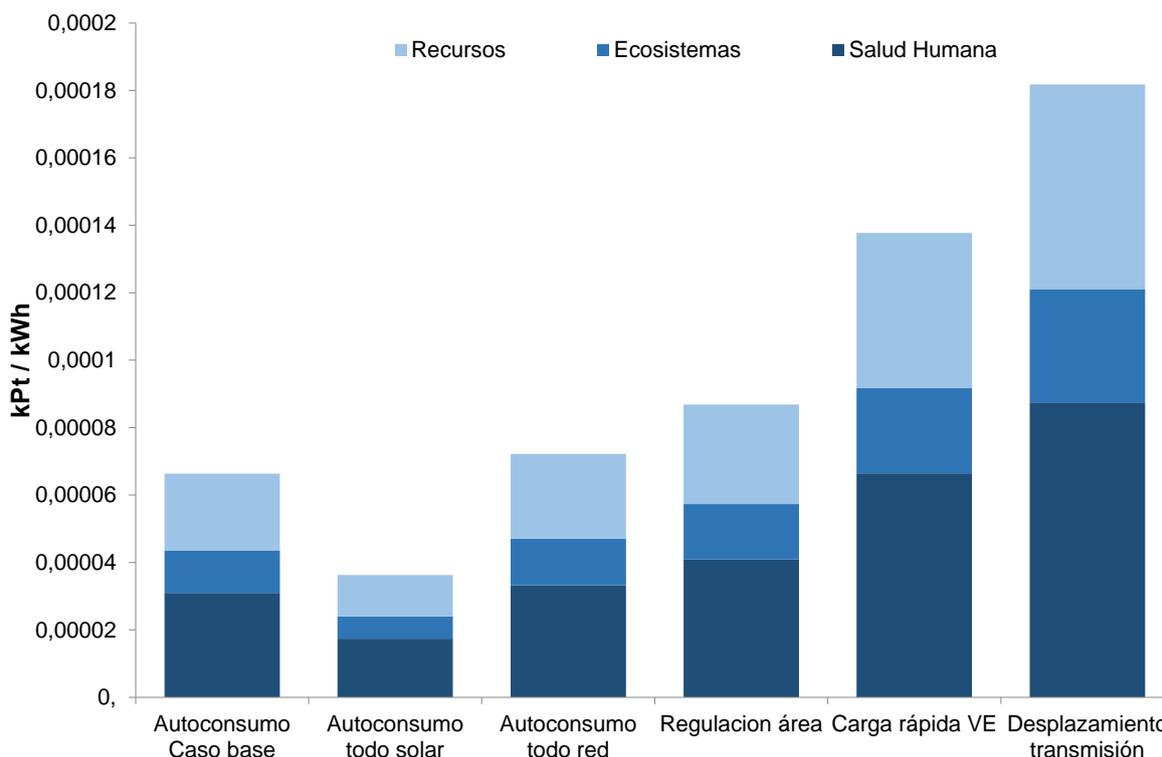
Figura 5: Impacto ambiental de los seis escenarios analizados



La selección de la unidad funcional (UF) o de la unidad de referencia tiene una fuerte repercusión en la representación e interpretación de los resultados (Matheys et al., 2007). Por este motivo, el impacto total será ponderado en base a la energía y al número de baterías correspondientes en cada escenario. De este modo, el alto impacto de la aplicación en desplazamiento de la transmisión debido al gran número de baterías y la cantidad de energía intercambiada quedará en el mismo orden de magnitud que el resto de escenarios. Este proceso comparativo de dividir el impacto por los kWh permite, también, computar e identificar el impacto de la primera y la segunda vida.

La Figura 6 muestra una comparativa del impacto total según la normalización del método ReCiPe en relación a los kWh consumidos por el sistema. De este modo se incorporan tres factores claves en la interpretación de los resultados como son: el fin de vida útil de las baterías; el tiempo de vida de las baterías; y finalmente, la procedencia de la energía. En la metodología se describió como en algunos escenarios este fin de vida estaba fijado al 60% SOH y en otros al 40%. El fin de vida y el tiempo de vida de las baterías están relacionados entre sí y repercuten en la cantidad de energía intercambiada por las baterías. Por ejemplo, la batería del escenario de soporte a la carga rápida, que tiene muy poco uso por año pero una duración de 29 años (Tabla 1), acaba repercutiendo en una cantidad de kWh intercambiados similar al de la regulación de área. Por otro lado, el caso de autoconsumo, con un fin de vida del 40% y con más del doble de la vida que el caso de la regulación de área, termina con casi un 50% más de energía intercambiada. Finalmente, el tercer aspecto permite identificar el origen de la energía computada. Así, los escenarios de desplazamiento de transmisión y de soporte a la carga rápida de VE solamente valoran la cantidad de energía intercambiada por las baterías, mientras que los casos de autoconsumo y de regulación de área tienen, además, un consumo adicional proveniente de fuentes de energía renovable.

Figura 6: Impacto ambiental por kWh consumido en los seis escenarios



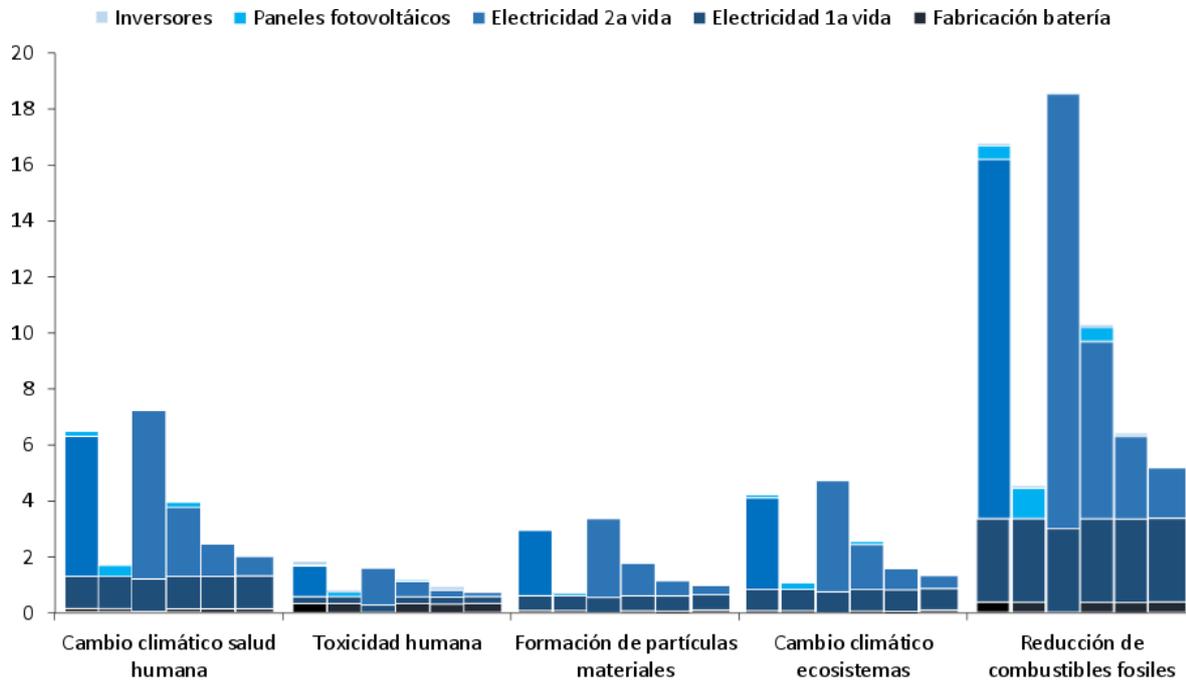
De la Figura 6 se aprecia que tanto el escenario de carga rápida de VE como el de desplazamiento de la transmisión son los más desfavorables en relación al uso de la energía, debido básicamente a la eficiencia del sistema de carga/descarga. Del mismo modo, se percibe claramente como el uso de energías renovables es altamente recomendable, ofreciendo el menor impacto ambiental por unidad de energía.

Asimismo, de los resultados derivados de la regulación de área, se puede extraer que el almacenamiento de energía en baterías para ofrecer este servicio a la red no repercute en una mejora del impacto ambiental, sino todo lo contrario, pues este se ve incrementado en un 31% respecto al caso base de autoconsumo.

En cambio, si la comparación se realiza en base a elementos del sistema como unidad de referencia, utilizando por ejemplo el número de baterías, los resultados varían notablemente. Así, en la Figura 7, que muestra el impacto de los 6 escenarios en relación al número de baterías, se puede observar que los escenarios de desplazamiento de la transmisión y de soporte a la carga rápida tienen un impacto similar al escenario que utiliza el 100% de energía renovable. Estos resultados, que aunque ciertos esconden información de los tres factores clave mencionados en esta misma sección, pueden ser utilizados por agentes interesados para favorecer la implantación de dichos sistemas.

De todos modos, la Figura 7 sigue demostrando que el uso de baterías juntamente con generación de electricidad a partir de fuentes renovables, por poca que sea, repercute en una reducción del impacto ambiental en casi todas las categorías de relevancia, excepto en la categoría de toxicidad humana, donde el impacto de la fabricación de las baterías, de los inversores y de los paneles solares acaba siendo ligeramente superior a la no utilización de dichos sistemas.

Figura 7: Impacto ambiental de las cinco categorías más relevantes dividido entre el número de baterías utilizadas en los seis escenarios



Nota: Las 6 columnas en cada categoría de impacto indican el escenario estudiado, de izquierda a derecha: Autoconsumo (Caso base; todo solar; Todo red); Regulación de Área; Carga rápida VE; Desplazamiento de la transmisión). En cada columna se muestra el origen del impacto ambiental

Durante el análisis de resultados, se pudo observar que, de las dieciocho categorías analizadas, solamente cinco de ellas representaban el 99% del impacto ambiental total. Por esta razón, en la Figura 7 se presentan solamente las categorías: Cambio climático en relación a la salud humana, toxicidad humana, formación de partículas, cambio climático en ecosistemas y reducción de combustibles fósiles. De todas ellas, es la categoría de impacto sobre el uso de combustibles fósiles la que más peso tiene.

Cabe notar que el escenario definido como autoconsumo todo red, que utiliza toda la energía directamente de la red eléctrica, no tiene ninguna batería, con lo que la división por el número de baterías sería imposible. Aun así, el escenario de autoconsumo base tiene solamente una batería, siendo el impacto del sistema dividido por el número de baterías equivalente al impacto total. De este modo, en la Figura 7, el caso autoconsumo todo red está indicando el impacto total igualmente, pudiendo ser comparado con el resto de escenarios.

5. Conclusiones y futuros trabajos

Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, sean de primera o segunda vida, conllevan un aumento del impacto ambiental si no van de la mano de sistemas de generación de energía renovable. Es decir, el uso de baterías incorporado a los sistemas actuales, aunque puedan suponer negocios provechosos o mejoras de la calidad del servicio, no repercute en ninguna mejora ambiental.

Según la normalización del método ReCiPe, es el impacto agregado sobre la salud humana el que acaba teniendo más peso, seguido de cerca por la reducción de recursos naturales.

Aún así, se observa que la categoría con más impacto antes de la normalización es la reducción de los combustibles fósiles.

Además, según el tiempo de trabajo de las baterías y el valor de su fin de vida útil en segunda vida de cada escenario analizado, el impacto de las baterías puede ser mayor durante la primera que durante la segunda vida, como es el caso de los escenarios de soporte a la carga rápida de VE y de desplazamiento de la transmisión. Al contrario, como se observa en el resto de casos, el uso de baterías acaba teniendo mayor impacto en la segunda que en la primera vida.

Además, los sistemas que tienen un uso poco frecuente de las baterías tienen un mayor impacto por kWh que aquellos sistemas con ciclados más intensivos. Esto es lógico sabiendo que las baterías se degradan también por calendario y sin estar en funcionamiento. De todos modos, para valorar la idoneidad de incorporar baterías a un sistema, deben valorarse las contrapartidas de no utilizarlas o aplicar otras soluciones técnicas y comparar las diferentes realidades para poder decidir cuál es la mejor opción a nivel medioambiental. Por ejemplo, el caso del desplazamiento de la transmisión tendría que ser comparado con una actualización del transformador de barrio para garantizar el abastecimiento energético en todo momento. De la misma manera, junto con el impacto ambiental hay otros factores, como los económicos, que predominan a la hora de seleccionar una solución. Es por esta razón que muchos de los análisis ambientales incorporan una equivalencia económica en sus razonamientos. Lo mismo ocurre con la regulación de área, si no la realizan las baterías, deberán ofrecerlo otros sistemas cuyo impacto debería ser evaluado y comparado en futuros trabajos.

6. Referencias

- Braun, P. V., Cho, J., Pikul, J. H., King, W. P., & Zhang, H. (2012). High power rechargeable batteries. *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 16(4), 186–198. doi:10.1016/j.cossms.2012.05.002
- Broussely, M., Biensan, P., Bonhomme, F., Blanchard, P., Herreyre, S., Nechev, K., & Staniewicz, R. J. (2005). Main aging mechanisms in Li ion batteries. *Journal of Power Sources*, 146(1-2), 90–96. doi:10.1016/j.jpowsour.2005.03.172
- Canals Casals, L., Amante García, B., Castellà Dagà, S., & Cruz-zambrano, M. (2015). Energy businesses from re-used electric vehicle batteries. In *Global Cleaner Production and Sustainable Consumption Conference*. Sitges. Retrieved from <http://www.cleanerproductionconference.com/conference-programme.asp>
- Canals Casals, L., Amante García, B., & González Benítez, M. (2015). Modelo de envejecimiento de baterías de vehículo eléctrico reutilizadas para aplicaciones estacionarias. In *XIX International congress on project management and engineering*. Granada. Retrieved from <https://www.dropbox.com/s/ho7r9szdx9a1hto/Libro Resumenes-abstracts Granada 2015 definitivo.pdf?dl=0>
- D. Rastler. (2010). *Electricity Energy Storage Technology Options*. doi:EPRI 1020676
- Du, Y., Zhou, X., Bai, S., Lukic, S., & Huang, A. (2010). Review of non-isolated bi-directional DC-DC converters for plug-in hybrid electric vehicle charge station application at municipal parking decks. *2010 Twenty-Fifth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, (1), 1145–1151. doi:10.1109/APEC.2010.5433359
- Faria, R., Marques, P., Moura, P., Freire, F., Delgado, J., & De Almeida, A. T. (2013). Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 271–287. doi:10.1016/j.rser.2013.03.063

- Heymans, C., Walker, S. B., Young, S. B., & Fowler, M. (2014). Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling. *Energy Policy*, 1–9. doi:10.1016/j.enpol.2014.04.016
- Lacey, G., Putrus, G., & Salim, A. (2013). The use of second life electric vehicle batteries for grid support. *IEEE EuroCon 2013*. doi:10.1109/EUROCON.2013.6625141
- Leou, R.-C., Su, C.-L., & Teng, J.-H. (2015). Modelling and verifying the load behaviour of electric vehicle charging stations based on field measurements. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 9(11), 1112–1119. doi:10.1049/iet-gtd.2014.0446
- Ma, H., Balthasar, F., Tait, N., Riera-Palou, X., & Harrison, A. (2012). A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. *Energy Policy*, 44, 160–173. doi:10.1016/j.enpol.2012.01.034
- Matheys, J., Autenboer, W. Van, Timmermans, J., Mierlo, J. Van, & Bossche, P. Van Den. (2007). Influence of Functional Unit on the Life Cycle Assessment of Traction Batteries. *LCA Case Studies*, 12(3), 191–196. doi:http://dx.doi.org/10.1065/lca2007.04.322
- Nordelöf, A., Messagie, M., Tillman, A.-M., Ljunggren Söderman, M., & Van Mierlo, J. (2014). Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(11), 1866–1890. doi:10.1007/s11367-014-0788-0
- Patterson, J., Alexander, M., Gurr, A., & Greenwood, D. (2011). *Preparing for a Life Cycle CO2 Measure*. doi:RD.11/124801.5
- Price, B., Dietz, E., & Richardson, J. (2012). Life cycle costs of electric and hybrid electric vehicle batteries and End-of-Life uses. *2012 IEEE International Conference on Electro/Information Technology*, 1–7. doi:10.1109/EIT.2012.6220712
- Rajagopalan, S., Maitra, A., Halliwell, J., Davis, M., & Duvall, M. (2014). Fast charging: An in-depth look at market penetration, charging characteristics, and advanced technologies. *World Electric Vehicle Symposium and Exhibition, EVS 2014*, 1–11. doi:10.1109/EVS.2013.6914945
- VDE. (2016). Second life Concept. *EOL-IS*. Retrieved April 4, 2016, from <http://www.eol-is.de/en/project>