

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Estudio de la reutilización de baterías de
vehículos eléctricos en sistemas de
almacenamiento estacionario para mejorar
la penetración de energía renovable en
España”

Trabajo Final de Grado

Autor:

Carlos Seguí Peidro

Tutores:

Maria Teresa Sebastià Frasquet

Juan Carlos Sacristán Antoni

Resumen

La necesidad de reducir las emisiones de CO₂ emitidas por el transporte es clave para alcanzar el objetivo "Carbon Neutral" promovido por los objetivos de desarrollo sostenible para 2050. Esta visión está derivando en la fabricación de vehículos eléctricos. Con ello existe un aumento en el número de baterías y acumuladores de iones litio que van a ser producidos y posteriormente gestionados como residuos.

El objetivo principal del TFG es reutilizar dichas baterías en sistemas de almacenamiento estacionario, aumentando la vida útil de estos productos, incorporando el concepto de economía circular y favoreciendo la integración de energía renovable.

Para crear este discurso, se han empleado diversas referencias bibliográficas y artículos electrónicos, con el objetivo de identificar la problemática y el impacto de la propuesta en la sociedad y el medio ambiente. Llegando a la conclusión de que para que exista una mayor integración de energías renovables en el mix energético, es preciso contar con almacenamiento energético, y las baterías reutilizadas surgen como una tecnología efectiva.

Abstract

The need to reduce CO₂ emissions from transport is key to achieving the "Carbon Neutral" target promoted by the sustainable development targets for 2050. This vision is leading to the manufacture of electric vehicles. With this there is an increase in the number of lithium ion batteries and accumulators that will be produced and subsequently managed as waste.

The main objective of the TFG is to reuse these batteries in stationary storage systems, increasing the useful life of these products, incorporating the concept of circular economy and favoring the integration of renewable energy.

To create this discourse, several bibliographical references and electronic articles have been used, with the aim of identifying the problems and the impact of the proposal on society and the environment. Reaching the conclusion that for there to be a greater integration of renewable energies in the energy mix, it is necessary to have energy storage, and reused batteries emerge as an effective technology.

Palabras clave

Baterías Li-Ion, movilidad eléctrica, energía renovable, economía circular, segunda vida.

Keywords

Li-Ion batteries, electric mobility, renewable energy, circular economy, second life.

Índice de contenidos

1	Introducción	1
2	Objetivos.....	6
3	Cadena de valor actual frente a cadena de valor propuesta	7
4	Aplicaciones del almacenamiento energético	13
4.1	Introducción	13
4.2	Panorámica de las aplicaciones del almacenamiento de energía en la red:..	17
4.3	Aplicaciones del almacenamiento de energía en detalle.....	19
4.3.1	Control de Frecuencia	19
4.3.2	Peak Shaving Application (Afeitado de picos).....	21
4.3.3	Curtailment Application (Recorte)	22
4.3.4	Aplicación de la transferencia de recursos (Resource shifting application). 23	
5	Impacto derivado de la propuesta (Second life battery storage).....	24
5.1	Justificación del impacto del proyecto.....	24
5.2	Justificación del encaje del proyecto en la estrategia RIS3CV	25
5.3	Justificación del encaje del proyecto en el Plan de Energía sostenible de la Comunidad Valenciana	27
5.4	Justificación del impacto favorable relevante para la economía circular, simbiosis industrial, reducción de residuos, eficiencia energética y minimización del consumo de recursos naturales que presenta la propuesta.....	28
5.5	Justificación del impacto social del proyecto, valorando la incidencia en aspectos de salud, calidad de vida, creación relevante de empleo y atención a colectivos desfavorecidos.....	29
6	Procedimiento para implantar baterías de vehículos eléctricos en sistemas de almacenamiento estacionario	30
6.1	Introducción	30
6.2	Test de análisis del estado de salud de las baterías	31
6.3	Test de capacidad: pasos a realizar	31
6.4	Test de pulsos: pasos a realizar	32
7	Barreras.....	33
7.1	Barreras legislativas	33
7.2	Barreras sociales.....	34
7.3	Barreras económicas.....	34
7.4	Barreras técnicas.....	35
8	Conclusiones	35
9	Bibliografía.....	37

Índice de gráficos

Gráfico 1. Coste decreciente en \$/kWh de las baterías Ion-Litio. En el eje Y se representa el precio real del pack de baterías y en el eje X el tiempo en años. Mostrando el porcentaje de reducción de precio desde 2010 a 2018. Fuente: Bloomberg New Energy Finance 2018.....	13
Gráfico 2. Coste decreciente en \$/W de los módulos fotovoltaicos (E. solar). En el eje Y se muestra el precio en dólares de los módulos y en el eje X se muestran los Watios. Fuente Bloomberg New Energy Finance NEO2018.	14
Gráfico 3. Crecimiento del mercado de vehículos eléctricos desde 2011 a 2019. En el eje Y se muestra el número de vehículos eléctricos en el mercado y en el eje X el tiempo en años y divididos en cuatrimestres. Fuente Bloomberg New Energy Finance NEO,2018.....	14
Gráfico 4. Ventas anuales de vehículos ligeros globales. En el eje Y se muestra el número de vehículos ligeros vendidos y en el eje X la evolución temporal en años y con previsión hasta 2040. Fuente: Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 2017.....	15
Gráfico 5. Una red eléctrica cambiante, En el eje Y se muestra la capacidad de generación renovable (solar [amarillo] y eólica [verde]) instalada en GW y en el eje X se representa la variación temporal. Fuente: GWEP, 2018, IEA Picture on Creative commons.....	16
Gráfico 6. Crecimiento de la capacidad instalada de almacenamiento de energía, estimación BNEF. En el eje Y se muestra la capacidad instalada en GW y en el eje X la evolución temporal prevista hasta 2040. Fuente Bloomberg New Energy Finance report.	17
Gráfico 7. Aplicaciones del almacenamiento energético. En el eje Y se representa la duración del almacenamiento (storage duration) y en el eje X el porcentaje de penetración Fuente: Chueh, 2018.....	17
Gráfico 8. Aplicación: Regulación de frecuencia y comparación entre baterías, hidroeléctrica de bombeo y CT (Central ciclo combinado). Ajuste y acople del control de frecuencia y la evolución temporal diaria. Fuente: Berner 2015.	20
Gráfico 9. Aumento del suministro de FCAS por tipo de combustible, En el eje Y se muestra el porcentaje de suministro y en el eje X el tipo de tecnología dividida cada una en cuatrimestres. Fuente: AEMO 2018.	20
Gráfico 10. Aplicación de afeitado (rasurado) de picos de demanda “Application Peak Shaving”. En el eje Y se muestra la carga (load) de la red en MW y en el eje X el tiempo (1 día o 24 horas). Fuente: Uddin 2018.....	21
Gráfico 11. California Duke Curve. Aplicación de las baterías para hacer frente a la sobre-generación durante la “Duke Curve” de California. En el eje Y se muestra la demanda en MW y en el eje X la variación de la carga vs demanda a lo largo de un día tipo. Fuente: Energy Government of California 2017.....	22
Gráfico 12. Aplicación recorte. En el eje Y se muestra la generación de energía en GW por las diferentes tecnologías que integran el mix y en el eje X el tiempo, concretamente de finales de marzo a principios de abril del 2013 Fuente: Chueh 2018.....	23
Gráfico 13. Perfil de recursos y demanda de California. Fuente Pierpont, 2017.....	24
Gráfico 14. Previsión de baterías VE usadas para 2025 (izquierda). Fuente: BNEF, 2017. Capacidad de almacenamiento en GW instalada por países prevista para 2040 (derecha), Fuente: BNEF, 2017.	31

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de baterías del Tesla Model S. Fuente: “Baterías de iones Litio, ¿cómo son? En C de Comunicación.es, Material eléctrico.....	3
Figura2. Proyecto Sunbatt, baterías reutilizadas acopladas a micro red. Fuente: Diario renovables.com.	4
Figura 3. Baterías reutilizadas del vehículo Nissan Leaf que dan soporte de red al estadio Ámsterdam arena. Fuente: El diario.es.....	5
Figura 4. Cadena de valor actual frente a cadena de valor propuesta. Elaboración: propia.	7
Figura 5. Extracción litio según países, año 2016 Datos extraídos del Informe especial sobre mercado de litio elaborado por la Dirección de Economía Minera de Argentina. Elaboración: Propia.	8
Figura 6. Esquema propuesto de la ampliación del servicio, nuevos roles y agentes en el servicio energético, derivado de la ampliación de la cadena de valor de las baterías. Fuente: elaboración propia.	12

Índice de tablas

Tabla 1. Consumo de energía en los principales sectores económicos en España. Fuente: IDAE, 2015. Elaboración: propia.....	2
Tabla 2. Pasos por realizar en el test de capacidad. Fuente Mora Martín, 2015, elaboración propia.	32
Tabla 3. Pasos para realizar en el test de Pulso. Fuente, Mora Martín, 2015, elaboración propia.	32

1 Introducción

Con el paso del tiempo existen más argumentos económicos, sociales y ambientales claros que conducen a la necesidad de un cambio en las formas de obtención de energía, y refuerzan la necesidad de la transición hacia un nuevo modelo energético. Cada vez son más los usuarios que se preocupan por conocer el origen de la energía que consumen y priorizan en sus hábitos de compra consumir energía de origen renovable a la vez que hacen un uso más responsable de la misma. En España más de 700 ayuntamientos han establecidos convenios con comercializadoras de energía renovable para dar servicio a más de 12 millones de españoles (Vélez, 2017). Las metas de descarbonización del sistema eléctrico fijados por organizaciones gubernamentales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) o la Unión Europea (UE) alientan a nuevas formas de generación energética. Aunque en la actualidad, en el “mix energético” el porcentaje de energía renovable es bajo en comparación con las formas de generación convencional (carbón, petróleo o gas natural), (Red Eléctrica España, 2019). Como muestra Red Eléctrica España, los objetivos a nivel europeo de descarbonización del sistema energético e integración de energía tienen tres fechas para ser alcanzados.

- En 2020, se pretende lograr el 20% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) frente a 1990, lograr una penetración de al menos el 20% de generación renovable en la UE y mejorar un 20% la eficiencia energética.
- En 2030 los objetivos son la reducción en un 40% de emisiones de GEI frente a 1990, lograr en torno a 30% de generación mediante energía renovable en la UE, mejorar la eficiencia energética en un 30%.
- Por último, para 2050, se espera la reducción de emisiones de GEI entorno a un 90%.

Estos objetivos son muy ambiciosos para el nivel de penetración de energía renovable. En España, según Red Eléctrica España, tal y como muestra en su estudio “Energías Renovables en el Sistema Eléctrico Español” (2017) existe una potencia instalada de 48.185 MW de generación renovable, que respecto a la capacidad eléctrica total instalada supone el 46%. Pero esta potencia instalada no es la generación real de energía renovable. Si observamos los datos de generación se muestra como de la demanda nacional (268.808 GWh) sólo existe una generación renovable de 84.505 GWh, es decir, del total de energía necesaria para cubrir la demanda española, la generación renovable supone aproximadamente el 31,5% de la generación. Lo que significa que la capacidad instalada para la generación eléctrica renovable no se corresponde con la generación de energía renovable real. A pesar de la cantidad de GW instalados, estos, no generan la electricidad que podrían, por la variabilidad y porque faltan instalaciones de almacenamiento que permitan una generación adecuada para la capacidad que hay instalada. Como consecuencia, los productores de energía renovable tienen dos opciones, apagar las plantas de generación, lo que supone una pérdida de rendimiento o verter a la red en periodos donde la demanda es muy baja y la energía no vale nada o casi nada. Ambas parecen malas decisiones y una pérdida en la eficiencia y rendimiento de las plantas de generación renovable.

Por otro lado, los sectores que mayor cantidad de energía consumen son el transporte y la industria (IDAE, 2015). Tal y como se observa en la tabla 1, respecto al transporte, con la meta de alcanzar la electrificación total y lograr dejar atrás los motores de combustión interna alimentados con recursos no renovables, la tendencia de la demanda energética va a aumentar drásticamente en los futuros años.

Tabla 1. Consumo de energía en los principales sectores económicos en España.
Fuente: IDAE, 2015. Elaboración: propia.

Consumo de energía final por sectores (España) %	
Sectores	Porcentaje
Transporte	41,70%
Industria	23,50%
Hogares	18,50%
Servicios (Comercio, Sanidad, Educación, Oficinas)	12,50%
Agricultura, Pesca, Otros	3,80%
Total consumo energético	100%

En el escenario de transición energética, se observa el aumento en la demanda de vehículos eléctricos en sustitución a los modelos de combustión. Según la agencia *Citi Group*, la previsión de crecimiento anual en la demanda de vehículos eléctricos de aquí a 2030 se sitúa en el 2%, llegando a representar en 2030 el 21 % de los vehículos matriculados a nivel mundial (*Citi Group 2018*). Lo que supone un aumento considerable en la demanda eléctrica.

Estos vehículos utilizan baterías de litio, las cuales en los vehículos tienen un tiempo de uso limitado por los ciclos de carga, que están limitados por cuatro parámetros principalmente: la profundidad de descarga, en inglés *Depth of Discharge* (DOD), la temperatura (a mayor temperatura mayor rapidez en la reacción química y por tanto menor tiempo de vida), el tiempo de uso y el ratio de pérdidas que sufren. Actualmente es difícil concretar la cantidad de ciclos de carga/descarga que las baterías destinadas a movilidad soportan. Los parámetros previamente mencionados dictaminan la vida de los acumuladores. Hoy en día, los fabricantes (en este caso del Nissan Leaf 2019) aseguran las baterías con una garantía de 8 años con un compromiso de no reducción de la capacidad del 75% (Servicio de atención al cliente, Nissan, 2019, comunicación personal (11 de febrero 2019.)). Esto quiere decir que, con el crecimiento en la demanda de vehículos eléctricos, vamos a tener disponibles cada año baterías que pueden tener una segunda o tercera vida y por tanto reducir la huella ecológica de estos residuos al mismo tiempo que se favorece la economía circular.

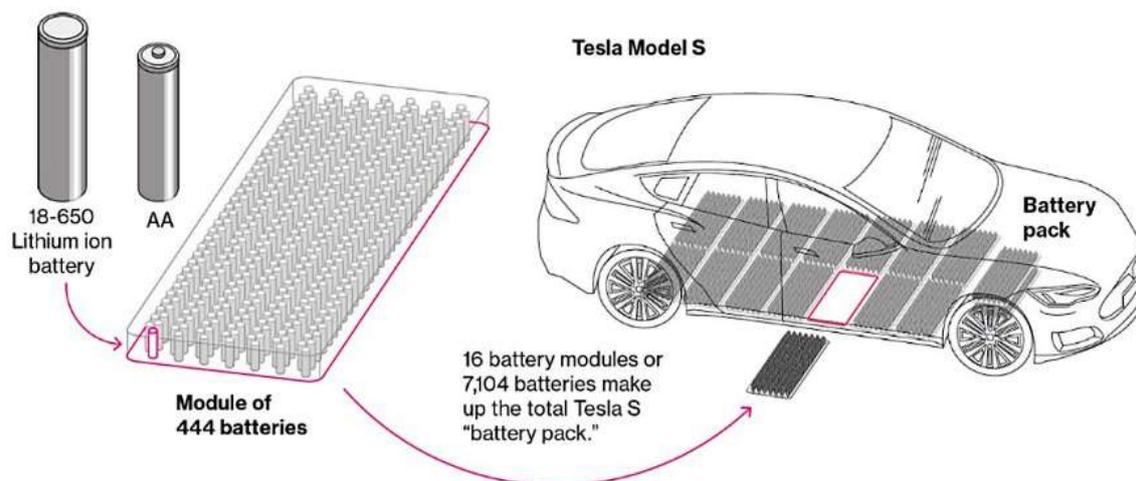


Figura 1. Esquema de baterías del Tesla Model S. Fuente: "Baterías de iones Litio, ¿cómo son? En C de Comunicación.es, Material eléctrico

Debido al creciente aumento del número de vehículos eléctricos y contando con las previsiones realizadas por instituciones de renombre como Citigroup, Bloomberg, Red Eléctrica España y AVAESSEN, entre otras, este crecimiento va a suponer un aumento de la demanda energética, entre otras cosas debido al número de matriculaciones de vehículos eléctricos. Este crecimiento será exponencial y provocará un incremento del 9% de la demanda energética mundialmente (BNEO, 2018), a su vez, estas baterías tienen un ciclo de vida inferior a la del propio vehículo. Se observa entonces, una oportunidad de mercado muy grande, con beneficios tanto a nivel empresarial como a nivel medioambiental. Estos residuos (las baterías) con capacidades residuales entre el 70 y 80% pueden ser reutilizadas.

Por otra parte, las dos fuentes de generación de energía renovable más influyentes en nuestro país son la solar fotovoltaica y la eólica. Ambas son fuentes inagotables de generación eléctrica, pero a su vez, son recursos variables. Por tanto, cuando se haga referencia a generación renovable se atenderá a este principio de generación renovable variable. ¿Qué significa esto? Que el sol no brilla siempre ni el viento sopla siempre. Por lo que cuando estas formas de generación renovable variable no pueden producir electricidad existen dos alternativas. La primera, la actual, en la que la energía que falta por cubrir la demanda debe ser cubierta por generación convencional, normalmente centrales de ciclo combinado. La segunda, es la propuesta que se defiende en este trabajo de fin de grado: reutilizar baterías de vehículos eléctricos (coche, motos, patinetes, etc.) e incorporarlas en sistemas de almacenamiento estacionario.

El mercado de vehículos eléctricos no ha supuesto todavía una disrupción total en el sector. Con el paso del tiempo se van observando los síntomas de un cambio que demanda tanto los usuarios como el mercado. Los primeros pasos en la electrificación de la movilidad y las investigaciones en materia de baterías han supuesto un gran paso en la consecución de este cambio. Acorde a todas las previsiones y análisis crecen los planes impulsados por organizaciones gubernamentales, tanto de países como de regiones en particular. Ejemplo de ellos son los planes de movilidad sostenible de la Comunidad Valenciana (LEY 6/2011, de 1 de abril, de la Generalitat, de Movilidad de la Comunidad Valenciana) entre muchos otros.

Las previsiones son alentadoras, la primera generación de vehículos eléctricos fue puesta en el mercado en 2009, casi todos apostando por una tecnología híbrida y no eléctrica 100%. Pero desde luego, van a surgir grandes cantidades de baterías que se van a poder reutilizar.

Al tratarse de una tecnología novedosa y que requiere de un cambio en las condiciones del mercado y del empleo por parte de los usuarios, los datos, proyectos y líneas de investigación son escasas y altamente innovadoras. Existen pocos proyectos en funcionamiento que realicen estas prácticas. En general son proyectos piloto y en fase de investigación, por lo que esta práctica hoy en día está enmarcada dentro de un ámbito de innovación. Esto es muy positivo en cuanto a posible posicionamiento debido al futuro mercado que se abrirá, pero también negativo ya que los datos, al ser recientes los proyectos de investigación, no son definitivos y sencillos de encontrar. A continuación, se aporta una panorámica sobre algunos proyectos y compañías que están desarrollando e impulsando este tipo de tecnologías y líneas de investigación.

Destacan algunos proyectos como el impulsado por Seat y Endesa (Noya, 2016). **“Sunbatt”** es un proyecto impulsado por ambas empresas (movilidad y gran eléctrica) que pretende dotar de una segunda vida a las baterías dedicadas a la automoción. Pretenden desarrollar aplicaciones con carácter estacionario que puedan dotar de almacenamiento de energía a electrolineras, instalaciones de autoconsumo, regulación de área o compensación de déficits infraestructurales. El rango en el que estiman alargar la vida de estas baterías es muy amplio e inconcreto, de 6 a 30 años. Cabe destacar que esto parece un poco indeterminado, pero según la aplicación de almacenamiento para la cual se reutilicen las baterías el incremento en la vida útil variará.



Figura2. Proyecto Sunbatt, baterías reutilizadas acopladas a micro red. Fuente: Diario renovables.com.

Tienen un proyecto piloto en marcha, en el que cuatro baterías empleadas previamente en vehículos eléctricos forman parte de una micro red acoplada a una instalación fotovoltaica y cargadores eléctricos. Mediante un software inteligente se decide cómo se cargan los vehículos eléctricos si a través de la instalación fotovoltaica, de la red de distribución o de las baterías objeto de estudio.

Por destacar algún proyecto internacional, Nissan cuenta también con una iniciativa que pretende estudiar la viabilidad de la reutilización de baterías de electromovilidad (Álvarez, 2019). Emplean las baterías de su Nissan Leaf. Como solución comercial, cuentan ya hoy con una solución en iluminación mediante una placa solar y una batería reutilizada, pero existe división en tres estrategias diferentes para el estudio de la reutilización.

- Cómo almacenamiento estacionario en viviendas. Cómo “back up” para una instalación de autoconsumo. Esta solución ha adquirido importancia en países como Japón, que a causa de los frecuentes terremotos que sufren es importante que dispongan de sistemas de “back up” robustos.
- Cómo estación de carga para móviles en lugares no conectados a la red. Esta solución está pensada para lugares en los que aún hay regiones con baja electrificación. Cómo fuente de energía para la iluminación en parques. Esta medida se basa sobre todo en mejorar la seguridad en aquellos lugares poco iluminados.



Figura 3. Baterías reutilizadas del vehículo Nissan Leaf que dan soporte de red al estadio Ámsterdam arena. Fuente: El diario.es.

Otro proyecto internacional, en este caso ubicado en el continente europeo, es la solución propuesta por la marca Volkswagen (V.W en adelante). Esta empresa alemana ha impulsado un proyecto para reciclar las baterías de su modelo ID.3 mediante el cual se pretende analizar las baterías retiradas de su uso en movilidad. El objetivo es analizarlas y poder tomar una decisión de si pueden ser utilizadas para un segundo uso o directamente deben ser recicladas (Callejo, 2019). Se alude durante este Trabajo de Fin de Grado a la falta de reciclado adecuado de las baterías, y este proyecto que impulsa V.W va destinado a ello. Han comenzado a construir una planta piloto para el reciclaje de baterías y los elementos que las componen. Con este piloto se pretende lograr el reciclaje de 3.000 baterías anualmente y conseguir reciclar el 97% de los materiales de los vehículos (Callejo, 2019).

2 Objetivos

Este trabajo de fin de grado surge con el objetivo de dar solución a través de la reutilización de baterías y acumuladores a los residuos que la electromovilidad va a generar en un futuro y a la necesidad de incrementar la penetración de energía renovable. Surge durante las prácticas de empresa en la compañía **Barrio La Pinada** (Valencia, España), a raíz de la necesidad de generar una investigación que defina el marco teórico de este tipo de tecnologías. El objetivo de esta empresa es la edificación de un barrio sostenible en Paterna, mediante un proceso de co-creación abierto con los futuros vecinos. Para lograr validar algunas hipótesis la idea es desarrollar una serie de proyectos piloto con el que realizar una prueba de concepto. De este modo el trabajo de fin de grado no se queda en una investigación teórica sino que el objetivo es la materialización de proyectos piloto necesarios para validar el concepto. Los primeros proyectos piloto estarán ubicados en la oficina “The Nest Foundation” coworking en el que se diseña el futuro barrio La Pinada y en pisos ya existentes con ubicación en la avenida del puerto en Valencia. Se trata de testar si existe una posibilidad de escalabilidad del proyecto y un mercado suficiente a largo plazo que permita:

- una gestión más eficiente de las baterías
- un impulso para la penetración de energía renovable
- un incremento en la vida útil de las baterías
- y la incorporación de la economía circular en el mercado de las baterías y acumuladores energéticos.

En el diseño del barrio sostenible de La Pinada se persigue la consecución de las directrices fijadas por la Unión Europea en materia de desarrollo sostenible y salud ambiental (O.D.S). Entre las iniciativas que nos fijamos, destacan áreas clave como energía (incorporando conceptos como el autoconsumo colectivo, acumulación, etc.), gestión de residuos, gestión hídrica, biodiversidad, inclusión social y movilidad compartida, entre muchos otros. El proyecto, a la vanguardia de la tecnología tiene retos ambiciosos de demostración del objetivo que abarca ser más eficientes con los recursos empleados, acompasar un cambio en los hábitos de vida de los futuros vecinos y ser capaces de enmarcarse en el contexto de la innovación y desarrollo de tecnologías que permitan alcanzar los objetivos deseados.

Así pues, el objetivo principal de este trabajo de fin de grado es realizar un estudio de la reutilización de baterías de vehículos eléctricos en sistemas de almacenamiento estacionario para mejorar la penetración de energía renovable en España, que establezca la base para ser testado.

Los objetivos secundarios son:

- Aportar soluciones para la gestión de residuos futuros del sector de la “electromovilidad”.
- Analizar la influencia del sistema de baterías estacionario sobre el almacenamiento como soporte de red y el aplanamiento de la curva de demanda energética.
- Demostrar a nivel teórico cómo los sistemas de almacenamiento estacionario contribuyen a solucionar los desequilibrios de la generación y consumo energético producido por las horas valle.

- Aplicar el principio de economía circular en la industria de la automoción proponiendo una forma de alargar la vida útil de las baterías de los vehículos eléctricos.

3 Cadena de valor actual frente a cadena de valor propuesta

Con este trabajo de fin de grado se pretende incidir en extender la cadena de valor actual de las baterías empleadas en movilidad eléctrica, aportando una vida útil de las baterías más larga y duradera, optimizando los recursos de una manera más eficiente y consciente con el entorno.

En este apartado se describe la propuesta de una nueva cadena de valor de las baterías de vehículo eléctricos frente a la cadena actual. La cadena de valor actual incluye las siguientes etapas: fabricación de baterías, primera vida en vehículos eléctricos, recogida de baterías, reciclaje y disposición final. En la figura 4 se comparan ambas cadenas de valor.

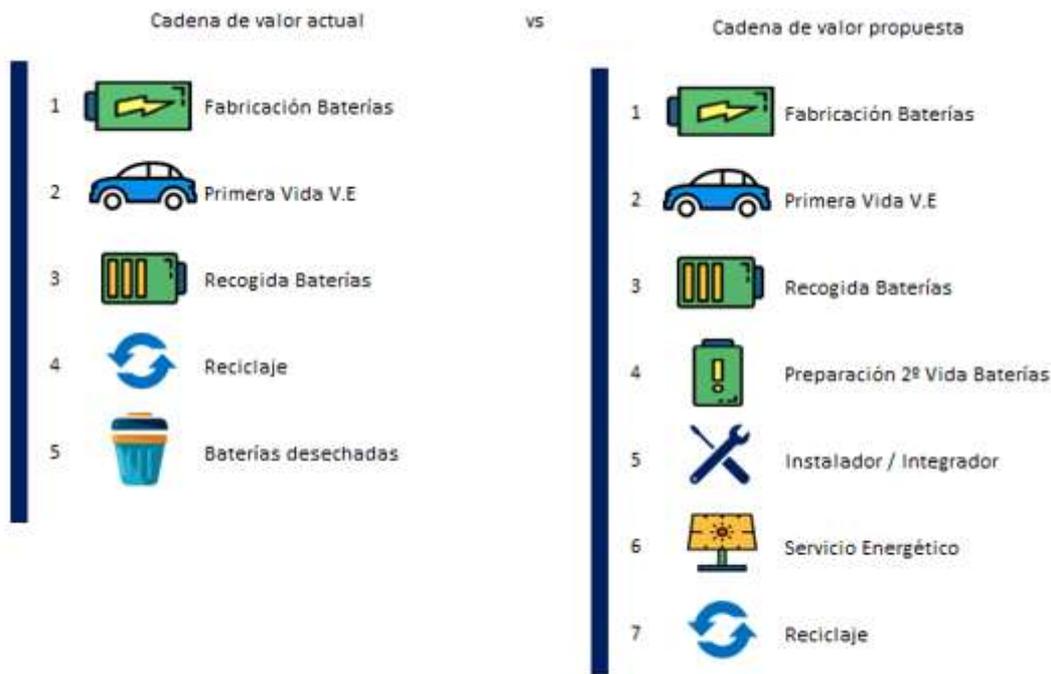


Figura 4. Cadena de valor actual frente a cadena de valor propuesta. Elaboración: propia.

Tal y como se observa en la figura 4 la cadena de valor propuesta incluye las siguientes etapas extra: preparación para la segunda vida de baterías, integración de la batería en el *battery pack*, incorporación de un servicio energético y reciclaje, previamente a disposición final.

A continuación, se describe con mayor detalle las etapas de la cadena de valor y las mejoras introducidas en la cadena propuesta con el fin de reducir el impacto ambiental de la cadena de valor vigente.

El primer paso de la cadena de valor es la fabricación de baterías. Cabe destacar que el incremento del número de vehículos eléctricos tiene varias implicaciones. Por un lado, la demanda energética y la fabricación de baterías aumentarían significativamente, según el informe de Bloomberg *“New Energy Finance”* (Bloomberg NEO, 2018). Se prevé que las ventas de vehículos eléctricos lleguen a 41 millones en 2040. Por otro lado, habrá un aumento de la extracción de recursos minerales y materias primas como grafito, litio, cobalto, níquel y manganeso en los países en vías de desarrollo, donde se encuentran ubicados dichos recursos naturales.

Aunque los precios de las baterías se espera que bajen de 250 €/kWh en 2019 a 70 €/kWh en 2030, (Bloomberg NEO, 2018), la extracción de sus componentes principales, en las denominadas tierras raras (principalmente en La República Democrática del Congo, para el cobalto, y Sudamérica en el caso del litio) suponen **problemas a nivel social y medioambiental para las regiones implicadas** (Fornillo & Gamba, 2019). Desde la falta de derechos humanos en la extracción y explotación infantil, a los impactos sobre el medio ambiente. Por ejemplo, en zonas del norte de Chile, el uso de agua para la extracción y producción del mineral supone un riesgo para la sostenibilidad de la zona y de los habitantes. En la siguiente figura se muestra la extracción de litio en toneladas métricas por países.

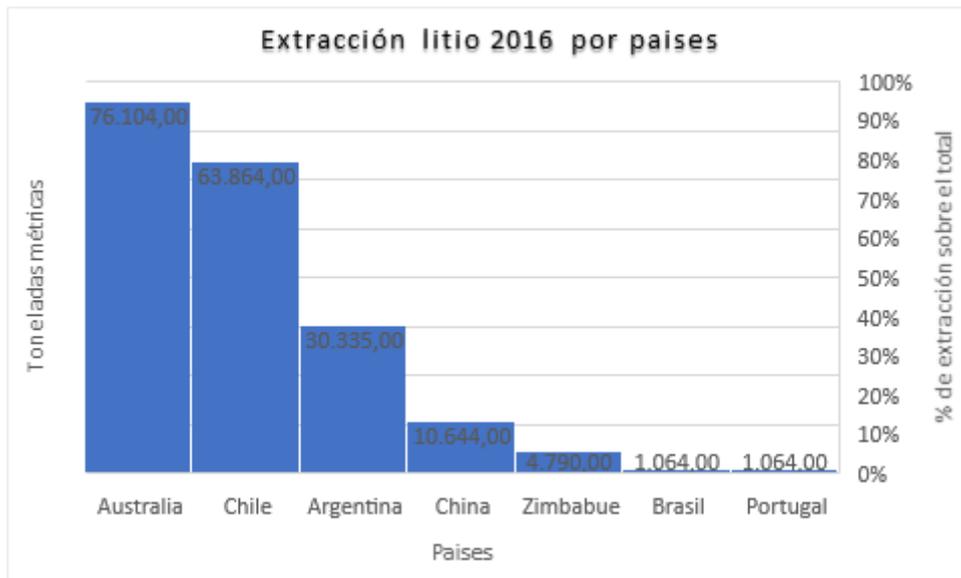


Figura 5. Extracción litio según países, año 2016 Datos extraídos del Informe especial sobre mercado de litio elaborado por la Dirección de Economía Minera de Argentina. Elaboración: Propia.

En el eje Y se aportan las toneladas métricas de litio extraído y su porcentaje sobre el total, y en el eje X la división por países. Mediante la reutilización de baterías propuesta en el proyecto *“Second Life Battery Farm”*, se pretende dar una solución al impacto asociado a:

- Los niveles de CO₂ emitidos durante la extracción, fabricación, producción y transporte de las baterías hasta que se ensamblan en el vehículo.
- Reducir la extracción de recursos minerales como el cobalto, litio o níquel entre otros minerales de países con falta de derechos humanos y laborales.

En segundo lugar, dentro de la cadena de valor, se emplean las baterías en la primera vida de los vehículos eléctricos. La duración de una batería en el vehículo previamente a ser cambiada varía en función de diferentes parámetros, principalmente: la profundidad de descarga, la temperatura, el tiempo y la ratio de pérdidas que sufren. Dependiendo del fabricante, la capacidad de la batería varía, con ello, el coche será capaz de recorrer un número de kilómetros fijados por los ciclos de homologación. La falta de estandarización en la fabricación y ensamblaje hace que las baterías sean muy heterogéneas en función de quién es el fabricante. Esto complica el proceso de desensamblaje y reensamblaje una vez la vida útil en el vehículo ha finalizado (Bobba, et al 2019).

Según la agencia AEDIVE (Asociación Empresarial para el Desarrollo e Impulso del Vehículo Eléctrico), en los próximos años la cantidad de coches eléctricos en activo va a aumentar de manera exponencial. Aunque puede parecer que medioambientalmente los vehículos eléctricos son más beneficiosos, la gestión de las baterías como residuos es complicada y tediosa debido a los materiales con los que se fabrican por lo que se debe poner foco en la segunda vida de éstas. Además, las baterías de los vehículos eléctricos deben tener siempre un rendimiento muy alto, por lo que con la tecnología que se prevé utilizar en los próximos años (*LiFePo*), las baterías son cambiadas cuando éstas aún tienen una capacidad de almacenamiento del 70-80%, utilizable en aplicaciones de almacenamiento estacionario.

Es por ello, por lo que el proyecto genera un impacto positivo en la reducción del número de baterías de una sola vida, alargando la vida útil de los materiales incorporados en las baterías e incidiendo en la economía circular de los acumuladores.

En tercer lugar, dentro de la cadena de valor se da la recogida de las baterías. Una vez la capacidad de la batería baja del 80%, se considera que la batería de un vehículo eléctrico no rinde a la capacidad necesaria, por lo que se debe cambiar, quedando todavía entre un 70 y un 80% de capacidad empleable en segundos usos, previamente a ser reciclada.

Según la Directiva Europea (UE) 2018/849 del Parlamento Europeo y del consejo por la que se modifica la directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores, los productores de las baterías de vehículos eléctricos deben correr con los gastos de recogida, gestión y reciclaje. Según la agencia FOE Europa, el porcentaje de baterías recicladas en Europa es muy bajo, superando por poco el 5% (Castells, 2018). A falta de un sistema de reciclaje más eficiente, debido entre otros motivos a la falta de estandarización, alargar la vida y la capacidad residual de las baterías es clave a nivel medio ambiental.

Se produce de este modo una “simbiosis industrial” en la que los flujos de residuos de una industria (en este caso la industria de la automoción y las baterías que hay que cambiar) son empleados por otra industria o empresa como recursos, generando un producto útil y que incorpora la economía circular. Se añade de este modo un paso intermedio entre el primer uso y el reciclaje, suponiendo un impacto positivo al incorporar la reutilización de un producto que de otra manera sólo podría ser reciclado en el mejor de los casos.

El cuarto paso de la cadena de valor propuesta es la adecuación y preparación de las baterías extraídas de los vehículos eléctricos. Para asegurar el correcto funcionamiento

de las baterías de segunda vida, es necesario estudiar la condición en las que vienen las baterías de primer uso a través de un test de capacidad y preparación de los módulos de las baterías para el empleo en sistemas estacionarios. Para determinar si la batería es apta o no para ser reutilizada en una nueva función, es preciso que supere una serie de pruebas que den garantías de un estado de salud correcto con el fin de certificar la viabilidad en su nuevo uso. Se deben testar las baterías a nivel técnico mediante un test de capacidad y otro de pulsos de potencia. Con el test de capacidad se determina cuánta electricidad pueden almacenar durante la carga y devolver durante la descarga a diferentes temperaturas y en ratios de descarga distintos. Con la prueba de impulso, se determina la resistencia interna de la batería y las pérdidas de prestaciones de potencia máxima. Posteriormente se detallan los pasos a realizar en el testeo en un apartado específico. Una vez validadas es necesario integrarlas en un conjunto destinado para el almacenamiento estacionario, adecuando las conexiones y el envoltorio que las contendrá. Esta integración requerirá del desarrollo del *Battery Management System (BMS)* adecuado para su monitorización/operación dentro del “*battery pack*”, el cual supervisará el estado de cada elemento, así como el correcto funcionamiento del conjunto de baterías. Para poder dar servicio a este conjunto de baterías será necesaria la utilización de un cargador/Inversor que dé al sistema la funcionalidad deseada, dependiendo de los requerimientos de la instalación donde se integre.

Como propuesta de desarrollo y para entender de manera precisa los distintos condicionantes, se plantea realizar estos trabajos para cada uno de los tipos de sistemas planteados, para un conjunto de celdas procedentes de coche eléctrico, moto y patinete eléctricos. Cada uno de estos conjuntos tendrá sus propios desarrollos y ensayos, para obtener tres tipos de conjuntos finales.

Para cada una de las celdas a validar es necesario llevar a cabo el ensayo a corriente de carga y descarga controlada, por lo que se plantean ensayos repetitivos de ciclado de las baterías para determinar el estado de vida. En primer lugar, a corrientes bajas y posteriormente a corrientes superiores para determinar la capacidad de entrega de potencia. Las corrientes de ensayo dependerán en cada caso de las características eléctricas de la celda a ensayar y de las limitaciones propias de los equipos de ensayo y validación. Con estos ensayos se obtienen los valores de capacidades con los que se puede determinar la viabilidad o no de integrar esa celda dentro del conjunto a desarrollar. Estos ensayos deben ser realizados a todas y cada una de las celdas que conforman el pack de baterías.

Para el desarrollo del BMS que monitorice el sistema es necesario el modelado de comportamiento del tipo de celda, el cual supone someter a cada modelo de celda a ensayos a diferentes corrientes de carga y descarga a diferentes temperaturas de utilización, para de esta forma, obtener el modelo matemático que caracteriza ese tipo de batería. En esta fase se debería realizar los ensayos para una celda de coche eléctrico, una celda de moto eléctrica, que son los dos tipos de baterías que disponemos. El diseño del BMS que monitorizará el estado de las celdas se desarrolla modularmente de tal forma que permita ampliar el número de celdas que conforman el sistema y por tanto siendo válido el diseño hardware tanto para el sistema de baterías procedente de la moto eléctrica y ampliable hasta el de coche eléctrico con sólo integrar en el montaje final más elementos de control BMS. Este BMS tendrá capacidad de medida de la tensión de cada celda y del total de batería, podrá monitorizar la temperatura del pack y generar alarmas según parámetros definidos como sub-tensión de celda, sobretensión de celda o temperatura excesiva. La comunicación de este

sistema de BMS se desarrolla mediante comunicación CAN, de manera que es posible consultar el estado de cada una de las celdas que conforman el sistema y el estado del conjunto. Por último, se seleccionará el cargador / inversor capaz de ser integrado en la solución obtenida del conjunto de baterías, apropiado a los requerimientos de la instalación y especificaciones eléctricas del pack obtenido.

El cuarto paso en la cadena de valor propuesta es la integración de las baterías en el battery pack. Junto a las celdas ya testadas, para la formación del nuevo *battery pack* también se integrará el inversor/cargador y los elementos de control necesarios para su nueva aplicación.

El sistema se integrará en un envoltorio que permite alojar el conjunto de baterías que conforman el paquete desarrollado con su BMS. Según si la batería proviniese de vehículo eléctrico, o moto eléctrica, cuando se desarrolle el proyecto piloto una vez el trabajo de fin de grado sea entregado, se elegirán dos envoltorios comerciales diferentes, uno para cada aplicación de pack de baterías en cada uno de los pilotos en los que se va a probar esta aplicación.

Para la finalización de este paso, la nueva batería se integrará en la plataforma de gestión y monitorización inteligente.

En quinto lugar, se pretende ofrecer un servicio energético, aplicando el concepto de *Energy as a Service (EaaS)*. Los sistemas de almacenamiento posibilitan a nivel de generación suavizar los huecos de tensión y frecuencia que se producen por la variabilidad en la generación de energía renovable, principalmente con la tecnología eólica y fotovoltaica. El sistema de almacenamiento de energía suaviza la salida y controla la velocidad de rampa (MW/min) para eliminar los rápidos cambios de voltaje y potencia en la red, lo que permite una mayor estabilidad de la red eléctrica.

A nivel de transporte y distribución favorecen al control de “*peak shaving*” (el afeitado de picos es similar a la nivelación de la carga, pero puede ser con el propósito de reducir la demanda máxima en lugar de la economía de operación). A su vez, la reutilización de las baterías para acumular energía permite la conservación de la energía generada sobrante(excedente) para liberación posterior posibilitando:

- el aplanamiento de la curva de demanda
- ayuda a la consecución de autosuficiencia energética
- facilita la integración de energías renovables
- aumenta la eficiencia y seguridad del sistema eléctrico.

Por otro lado, el sistema de almacenamiento estacionario repercute en el incremento de la cuota de autarquía (autonomía de la red eléctrica) de las instalaciones de autogeneración (autoconsumo) energético. A nivel hogar, la curva de demanda durante el día es menor que durante las horas nocturnas, por lo que permite la posibilidad de aprovechamiento de la energía generada en las instalaciones de autoconsumo durante esos periodos de tiempo (desplazamiento de cargas).

El recientemente aprobado Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, introduce dos nuevos actores dentro del sector eléctrico que influyen de manera positiva en la cadena de valor actual. Por un lado, los agregadores y por otro la

planta virtual de generación (Virtual Power Plant o VPP). El almacenamiento jugará un papel clave para dar funcionalidad plena a estos nuevos actores.

Los agregadores, se establecen dentro de la nueva cadena de valor propuesta como un agente nuevo dentro del servicio energético, estos pueden ser de oferta y de demanda, llevando a cabo acciones de agregación de la energía producida por los propios consumidores. Los agregadores de demanda funcionan como comercializadores de carga de consumo flexible y los agregadores de oferta, los cuales serían necesarios en un sistema eléctrico en el que hubiera generación distribuida, añadirían pequeños recursos de generación. De esta manera podrían aportar grandes paquetes de potencia generada en edificios con distinta tipología (residenciales, comerciales o industriales) que puedan ser admisibles dentro de una VPP para que ésta pudiera comercializar con ellos en el mercado y verterlos a la red.

Por su parte, las VPP, integran pequeños generadores distribuidos, de manera que proporcionan potencia a la misma como un generador de mayor capacidad, e interaccionan de esta manera con el mercado, aportando mayor flexibilidad.

El esquema propuesto quedaría de la siguiente manera:

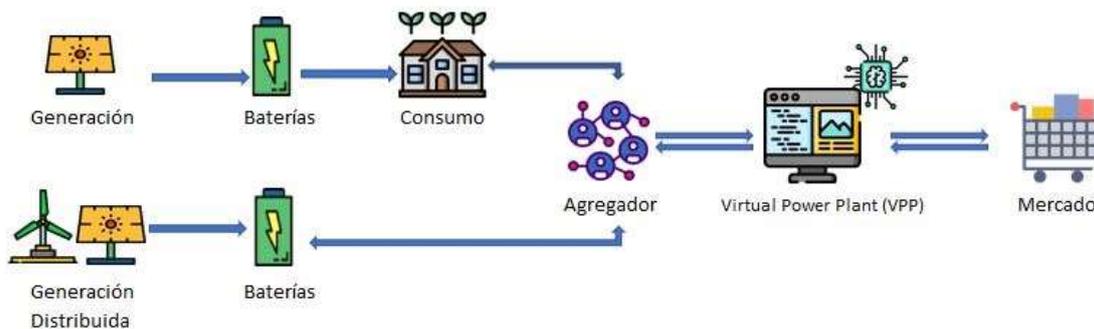


Figura 6. Esquema propuesto de la ampliación del servicio, nuevos roles y agentes en el servicio energético, derivado de la ampliación de la cadena de valor de las baterías. Fuente: elaboración propia.

En sexto lugar, una vez hemos aumentado la vida de las baterías en la solución propuesta, el paso necesario es el reciclaje de los componentes de las baterías. Comienza con el completo desmontaje de la batería y el reciclado de todos los componentes estructurales. Siguiendo procesos hidrometalúrgicos los gestores de residuos son capaces de recuperar diferentes metales como el cobre, cobalto, níquel, e incluso el litio también puede ser recuperado. La recuperación del litio actualmente supone un coste elevado y por ello, al ser el componente mayoritario de las celdas en la actualidad la tasa de reciclaje de baterías no es muy elevado.

Lo que se plantea en este TFG es no sólo aumentar la vida útil de las baterías sino también de los elementos químicos que las componen. Es por ello, por lo que este último paso de reciclado de los componentes debe ser asegurado con el objetivo de reintroducirlos en el proceso de fabricación de baterías. El proyecto aporta un atractivo añadido para la cadena de valor, ya que este paso no es el realizado posteriormente al desensamblaje de la batería del vehículo, sino que sería realizado como último recurso una vez se haya alargado la vida útil de la batería en el sistema de almacenamiento estacionario el máximo tiempo posible.

Con las instalaciones de almacenamiento energético estacionario el reciclaje ya no es la primera opción. Después del desmantelamiento de la batería del vehículo, se cumple el paso de recuperación de los materiales una vez los componentes internos que componen la batería han tenido dos usos.

En la propuesta de la nueva cadena de valor, se incluyen tres pasos más que justifican el alargamiento de la vida útil de las baterías. Mientras que la cadena de valor actual propone el reciclado directo una vez la batería se desensambla del vehículo. El aprovechamiento de los recursos minerales incorporados en las baterías y durante los procesos de producción son empleados durante mayor tiempo y de manera más eficiente, aportando un mejor uso y generando un menor impacto ambiental.

4 Aplicaciones del almacenamiento energético

4.1 Introducción

En los últimos años, el coste de generar electricidad renovable ha bajado aún más que el coste de las baterías. Desde los años 80, el coste de generación eólica ha disminuido en un 90% y la generación fotovoltaica ha visto su coste reducido casi en un 99%. Es decir, que en dos décadas generar electricidad renovable cuesta en torno a un 95% menos (Bloomberg NEO, 2018). En la siguiente gráfica se muestra la reducción de precios de los *battery packs* desde 2010 a 2018, elaborada por Bloomberg en su informe NEO 2018.

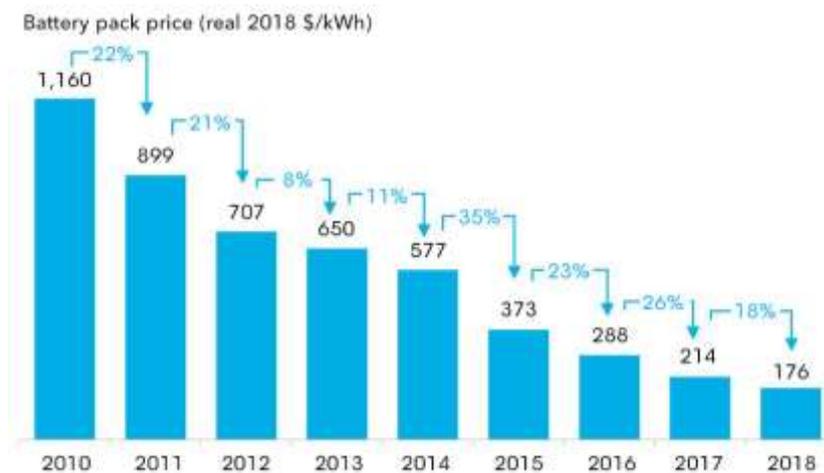


Gráfico 1. Coste decreciente en \$/kWh de las baterías Ion-Litio. En el eje Y se representa el precio real del pack de baterías y en el eje X el tiempo en años. Mostrando el porcentaje de reducción de precio desde 2010 a 2018. Fuente: Bloomberg New Energy Finance 2018.

De la misma manera que en la gráfica anterior, en esta se observa la bajada de precios de los módulos fotovoltaicos desde 1976 a 2018, elaborado nuevamente por Bloomberg e incluido en su informe NEO 2018.

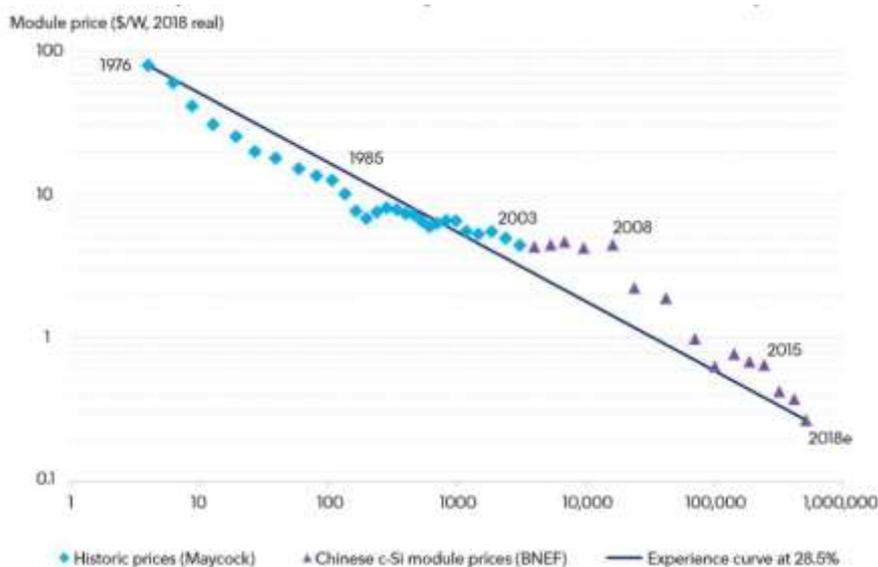


Gráfico 2. Coste decreciente en \$/W de los módulos fotovoltaicos (E. solar). En el eje Y se muestra el precio en dólares de los módulos y en el eje X se muestran los Watios. Fuente Bloomberg New Energy Finance NEO2018.

Si se combinan la disminución de los costes de almacenamiento y generación de electricidad renovable se obtienen dos preguntas respecto al sector del transporte. ¿Qué cantidad de inversión en I+D restante se necesita para electrificar por completo y sustituir los vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos? Respecto a la red (Grid), ¿podemos combinar esta electricidad renovable de bajo costo y almacenamiento a bajo costo y competir en precio con electricidad convencional (combustibles fósiles)?

En la siguiente gráfica se muestran las ventas de vehículos eléctricos desde 2011 a 2019, elaborado por Bloomberg en su informe NEO 2018.

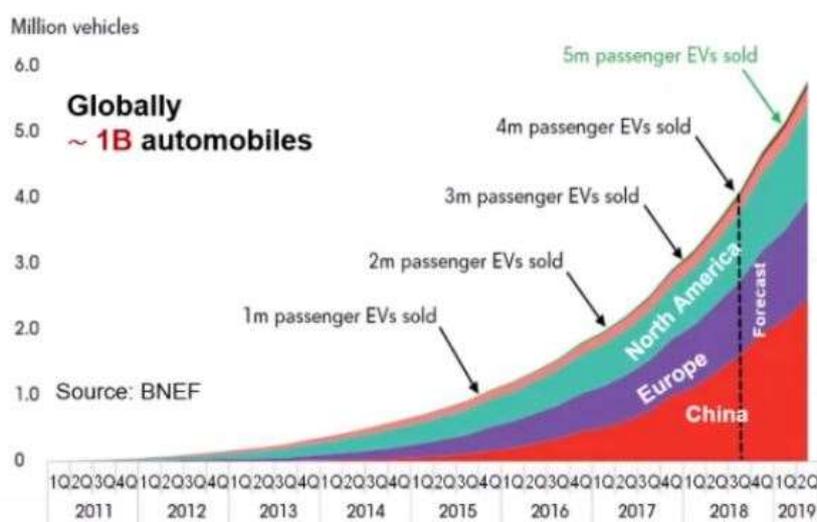


Gráfico 3. Crecimiento del mercado de vehículos eléctricos desde 2011 a 2019. En el eje Y se muestra el número de vehículos eléctricos en el mercado y en el eje X el tiempo en años y divididos en cuatrimestres. Fuente Bloomberg New Energy Finance NEO,2018.

Esta gráfica trata de mostrar los millones de vehículos eléctricos vendidos en los 8 años pasados, entre 2011 y 2019. Se observa, que el primer millón de vehículos eléctricos

se vendió en 2015. Actualmente se venden más de 6 millones de vehículos eléctricos por año (Bloomberg NEO 2018).

Estos números son y parecen grandes, pero a la vez son muy pequeños en comparación con la industria global de mil millones de vehículos. En la siguiente gráfica se muestra la comparativa entre las tipologías de vehículos eléctricos y los vehículos de combustión interna.

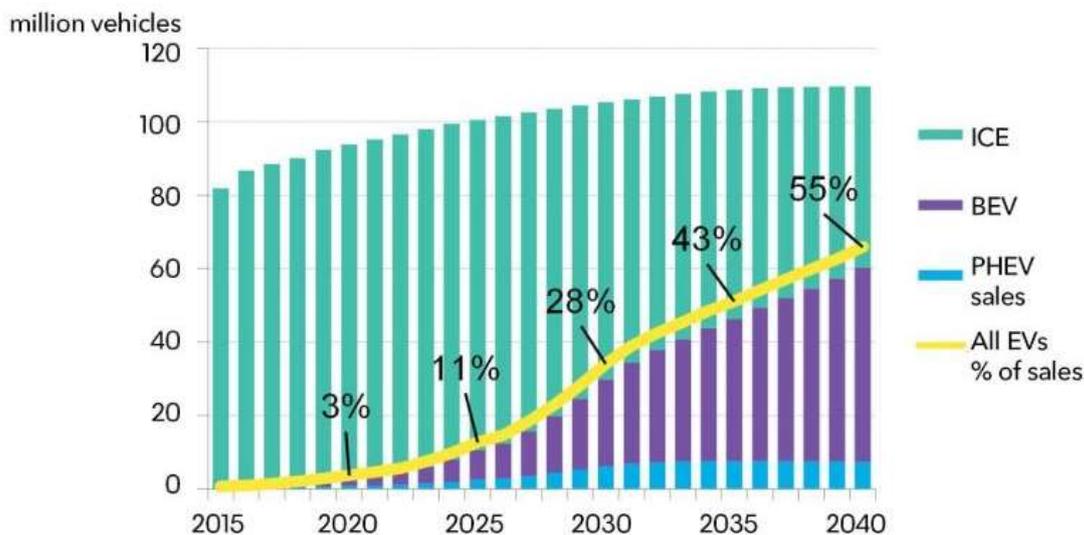


Gráfico 4. Ventas anuales de vehículos ligeros globales. En el eje Y se muestra el número de vehículos ligeros vendidos y en el eje X la evolución temporal en años y con previsión hasta 2040. Fuente: Bloomberg New Energy Finance (BNEF), 2017.

Estos datos muestran las oportunidades que se van a abrir ahora en adelante en términos de conseguir la electrificación completa en el sector del transporte. En 2040, se espera por tanto que anualmente la mitad de los vehículos ligeros matriculados sean de tipo eléctrico. Por lo que la ventana de oportunidad para afrontar un nuevo modelo de negocio se está abriendo. Esto a su vez tiene consecuencias directas en la demanda energética, ya que va a verse incrementada para cubrir las nuevas necesidades de la electromovilidad y a su vez, debe presentar una alerta ante el cambio necesario de modelo energético, con el fin de lograr una transición energética hacia formas de generación de energía renovable, segura, eficiente y sostenible.

Las baterías, por tanto, juegan un papel clave para la consecución de la electrificación completa en el sector transporte. Del mismo modo pueden nutrir o dar oportunidades a la red y a los usuarios para lograr una integración de energía renovable variable de bajo costo.

Como se observa, los datos permiten apreciar el crecimiento de los vehículos eléctricos, pero lo importante (o el problema más complejo de ver) es cómo el almacenamiento de energía está afectando a la red eléctrica. ¿En qué aplicaciones pueden las baterías regular y ayudar a la penetración de energía renovable en la red eléctrica? ¿Puede ayudar a controlar inestabilidades? ¿Qué o cómo puede ofrecer a los “prosumers¹”?

¹ Prosumer: acrónimo formado por la fusión original de las palabras productor, también profesional o proveedor, según el contexto y consumidor. En energía (nuevo agente del sistema energético que engloba a una persona con autoconsumo que también puede vender cuando tiene exceso o no puede consumir la energía generada en su instalación).

En el siguiente gráfico, se muestra la capacidad instalada de energía renovables variables (solar y eólica) en GW.



Gráfico 5. Una red eléctrica cambiante, En el eje Y se muestra la capacidad de generación renovable (solar [amarillo] y eólica [verde]) instalada en GW y en el eje X se representa la variación temporal.
Fuente: GWEP, 2018, IEA Picture on Creative commons.

Como se menciona previamente, la capacidad de generación renovable variable (solar y eólica) ha aumentado de manera exponencial en los últimos 18 años, tanto en el mundo como en España. Aproximando la capacidad instalada entrono a 1 TW, tal y como se observa en la gráfica.

Estos recursos son variables en función del momento del día o las condiciones climáticas. Son recursos no disponibles todo el tiempo. La solución ideal para que sea eficiente la energía generada y la capacidad instalada es acoplar esta generación variable de electricidad con la demanda. Por tanto, el almacenamiento energético es fundamental. A nivel de red, distinguimos dos tipologías de almacenamiento, almacenamiento a escala "Utility" y almacenamiento a nivel distribuido. Utilidad (Utility) significa energía muy concentrada, es decir plantas de almacenamiento de energía para generaciones grandes de electricidad. Por otro lado, la energía distribuida está basada en el hogar, espacio de trabajo, negocio con almacenamiento de energía, etc.

Ese crecimiento se debe a una razón: Una manera fácil de lidiar con la generación variable de electricidad es poder amortiguarlo con tecnología de almacenamiento (baterías u otras formas). En la siguiente gráfica se muestra una previsión de la capacidad de almacenamiento instalada de 2017 a 2040 (Bloomberg NEO 2018).

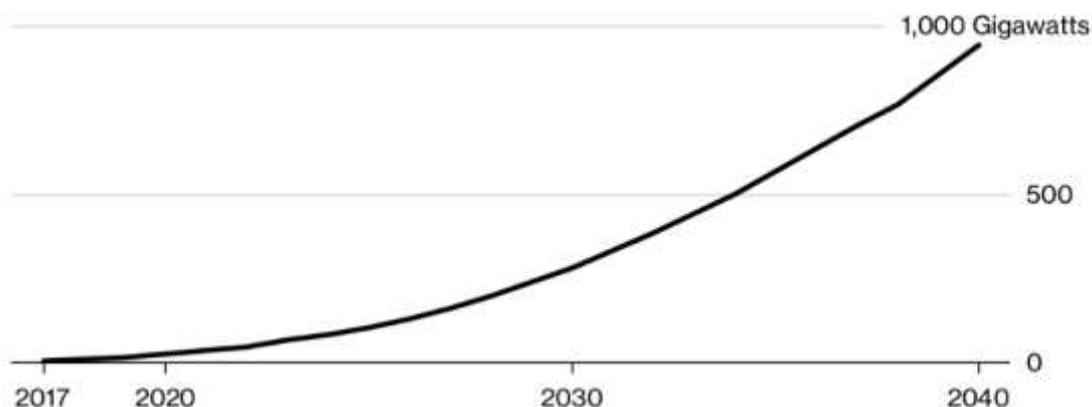


Gráfico 6. Crecimiento de la capacidad instalada de almacenamiento de energía, estimación BNEF. En el eje Y se muestra la capacidad instalada en GW y en el eje X la evolución temporal prevista hasta 2040. Fuente Bloomberg New Energy Finance report.

En la gráfica, se muestra como la estimación realizada por Bloomberg, prevé un crecimiento rápido de la capacidad de almacenamiento instalada en dos décadas, ascendiendo aproximadamente a un 1TW instalado. Hay que destacar que las baterías no son la única forma de almacenamiento de energía, existen numerosas tecnologías, algunas de ellas son: *Almacenamiento de energía mecánico, almacenamiento de energía químico, almacenamiento de energía electroquímico, almacenamiento de energía mediante superconductores, almacenamiento de energía magnético, almacenamiento de energía térmico, entre otras.*

Por antecedentes, al igual que el autoconsumo, la política es el único catalizador para aumentar esta capacidad de almacenamiento y generación renovable, el gráfico 14, muestra la capacidad instalada de almacenamiento y la previsión para 2040. En 2010 la capacidad instalada era casi nula, pero debido a que el precio del litio (componente de las baterías) se ha reducido, se observa como ese costo decreciente ha provocado que aumente la capacidad de almacenamiento instalada. Otro factor clave es la creciente demanda y producción de vehículos eléctricos, así como de los planes de electrificación del sector transporte para 2050.

Es un gran comienzo, pero todavía estamos muy lejos de emparejar la capacidad de almacenamiento instalada con la capacidad de generación de TW. Este es el desafío por enfrentar. Además, cabe destacar que esta capacidad de almacenamiento cuando se trata de baterías, hasta la fecha, se ha incorporado material nuevo, es decir baterías que no son reutilizadas, mientras la propuesta de este trabajo consta de incorporar baterías ya empleadas en otro uso.

4.2 Panorámica de las aplicaciones del almacenamiento de energía en la red:

En este apartado se muestra una panorámica de la escala temporal del almacenamiento energético y las necesidades en función de las distintas aplicaciones, apoyado en la siguiente gráfica:

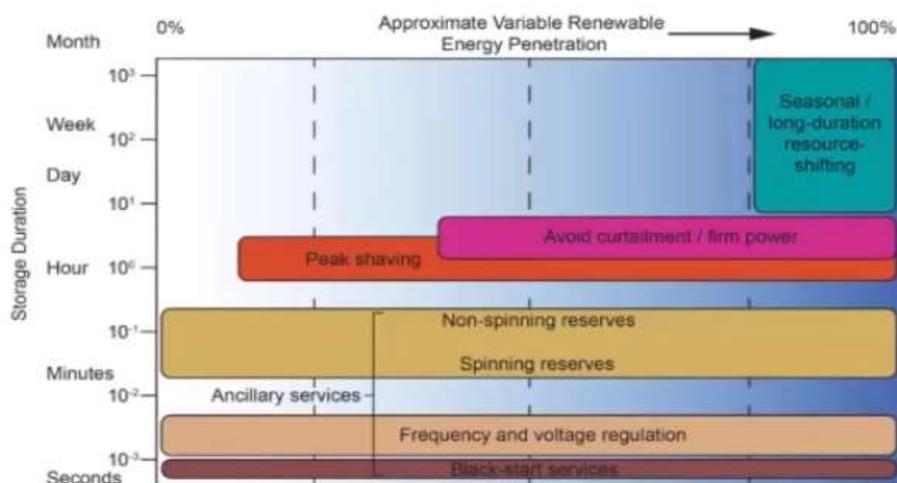


Gráfico 7. Aplicaciones del almacenamiento energético. En el eje Y se representa la duración del almacenamiento (storage duration) y en el eje X el porcentaje de penetración Fuente: Chueh, 2018.

La gráfica divide las diferentes aplicaciones del almacenamiento energético, en función de la capacidad de almacenamiento en el tiempo y posterior vertido a la red.

Posteriormente se detalla de manera más profunda cada una de estas aplicaciones. A modo de fotografía la gráfica nos muestra las aplicaciones del almacenamiento de energía en la red eléctrica:

En el nivel de segundos:

- **Inicio de red (*Back-Start services, en la gráfica*)**. Esta aplicación es necesaria cuando la red esta baja, colapsa o se debe reiniciar, por lo que aquí se debe proporcionar energía inicial. El almacenamiento puede ayudar a reducir las caídas y se tenga un reinicio mucho más rápido.
- **Regulación de frecuencia (*Frequency and voltaje regulation, en la gráfica*)**, si nos fijamos en la “*energy output*” se ve que es muy estable, pero eso solo pasa realmente cuando la demanda y el suministro de electricidad se combinan perfectamente. Esto no suele ocurrir como posteriormente se mostrará. Por tanto, deben tener cierta capacidad de almacenamiento, para que la electricidad salga con el voltaje correcto en la frecuencia correcta.

En el nivel de minutos:

- **“Reservas” (*Spinning and non-spinning reserves, en la gráfica*)**, para acomodar las variaciones en la red, debes tener electricidad que puedas proporcionar sobre una base de reserva en el orden de minutos.

En el nivel de horas:

- **Afeitado de picos (*“Peak shaving”, en la gráfica*)**: esto corresponde con el hecho de que existen demandas de electricidad alta y baja en el día y cuando las demandas de electricidad suben demasiado esto produce mucho estrés al sistema, es decir a la red. Esto hace que la generación renovable no pueda aprovechar toda la capacidad instalada para generar, lo que supone un problema para la penetración de estas tecnologías además de producir desequilibrios en la red, actualmente subsanados con generación mediante energía convencional.
- En la caja púrpura se habla de **recorte (*“curtailment” en la gráfica*)**. Aquí es donde se genera mucha generación renovable que no se puede emplear en su totalidad. Las dos opciones actuales son desaprovechar la electricidad producida o reducir la generación. Ambas parecen malas ideas. Ya que es una pérdida significativa de ingresos para la electricidad y las compañías generadoras de electricidad renovable.

En el nivel de días, semanas y meses:

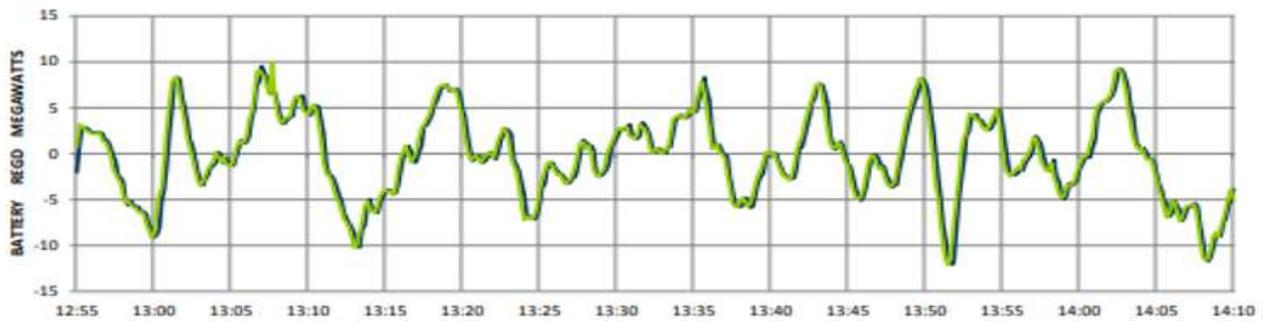
- **Transferencia de recursos (*“Seasonal shifting” en la gráfica*)**. Los rendimientos de generación varían estacionalmente, el ejemplo más claro es la tecnología de generación solar. Tenemos altos rendimientos solares en verano y menores en invierno, pero la demanda es en realidad es bastante uniforme durante todo el año. Tener la capacidad de cambiar la electricidad entre las temporadas también sería muy interesante y otra fuente importante de ingresos.

Al ser la generación renovable muy variable para conseguir una integración real de las energías renovables se debe pensar en planteamientos de almacenamiento. De esta manera la electrificación de la red tendrá una mayor penetración. “Si por el contrario nos parece bien una penetración menor (en torno al 10%) sobra con llegar hasta el “*peak shaving*””*Chueh 2018* .

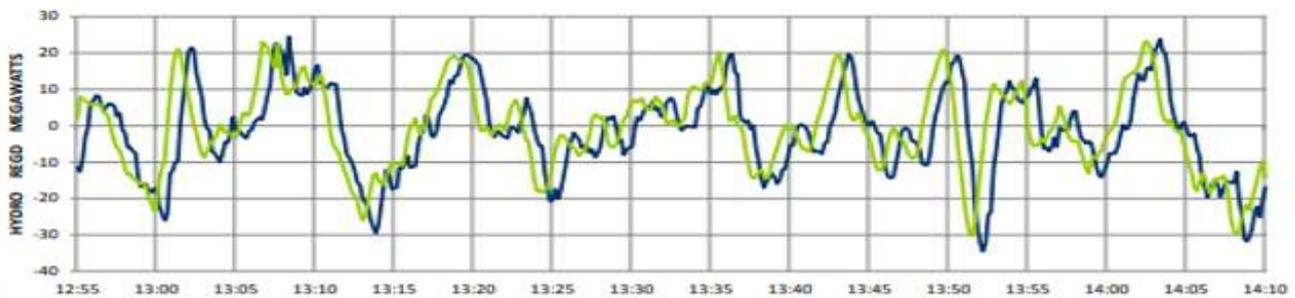
4.3 Aplicaciones del almacenamiento de energía en detalle

4.3.1 Control de Frecuencia

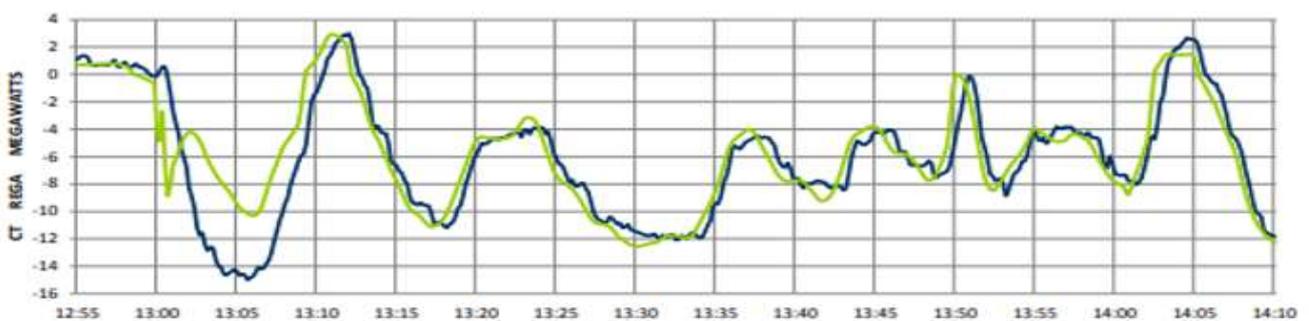
En los siguiente gráficos se muestra la frecuencia variable de la red en un periodo de tiempo y comparando tres tecnologías diferentes, baterías, hidrológica de bombeo y centrales de ciclo combinado.



Battery
REGD
97.7%



Hydro
REGD
74.7%



CT
REGA
90.6%

Gráfico 8. Aplicación: Regulación de frecuencia y comparación entre baterías, hidroeléctrica de bombeo y CT (Central ciclo combinado). Ajuste y acople del control de frecuencia y la evolución temporal diaria.
Fuente: Berner 2015.

Como se muestra en la gráfica, la regulación de la frecuencia ocurre en una escala de tiempo muy rápida (segundos). Las baterías se muestran mucho más competentes a la hora de hacer coincidir la frecuencia de la electricidad con la demanda y la oferta. Por tanto, las baterías permiten ser más rápidos a la hora de amortiguar la electricidad. Esto genera ingresos para la red eléctrica directamente al ser capaz de aprovechar la generación de energía y a su vez hacer que haya mayor penetración de energía renovable.

En la siguiente gráfica se muestra las tecnologías y combustibles empleados en el control de frecuencia de red de Australia, mostrando el porcentaje de suministro y dividiéndolo por tecnologías y combustibles empleados.

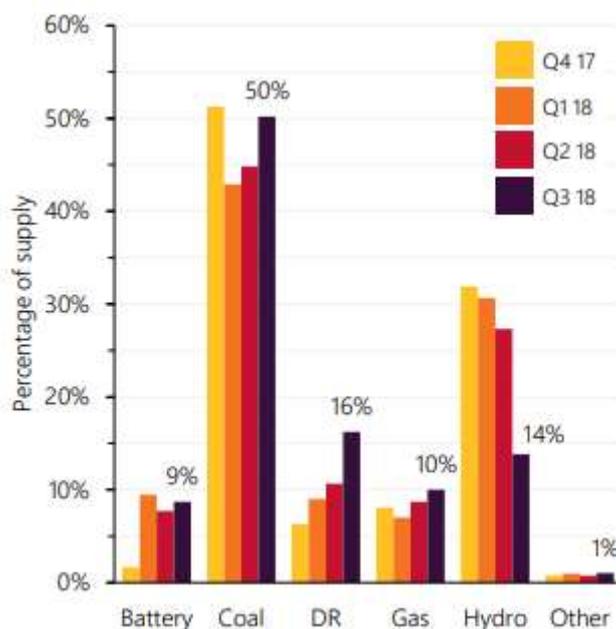


Gráfico 9. Aumento del suministro de FCAS por tipo de combustible, En el eje Y se muestra el porcentaje de suministro y en el eje X el tipo de tecnología dividida cada una en cuatrimestres. Fuente: AEMO 2018.

Este es un ejemplo de la instalación de 100 MW en Australia, instalada por la compañía Tesla en el año 2017. La aplicación principal de esta instalación (baterías Ion-Litio), es proporcionar un control de frecuencia más eficiente y menor dependiente de fuentes de generación convencionales. Lo que significa que se emplea para amortiguar la electricidad, es decir, para que la frecuencia se mantenga constante en la red.

En la gráfica se muestra como esta instalación de 100 MW instalados, aun no siendo un número muy grande, es capaz, sin embargo, de tener un impacto sustancial en el tipo de almacenamiento empleado para la regulación de frecuencia. Pasando de apenas emplear para el control de frecuencia un 1% de energía procedente de almacenamiento con baterías en el primer cuatrimestre de 2017 a un 9% al final el segundo cuatrimestre cuando la instalación ya está en marcha (AEMO, 2018).

La primera barra muestra el cuatro trimestre de 2017 (cuando aún no estaba en funcionamiento el parque de almacenamiento) y el porcentaje de uso de baterías en control de frecuencia era muy pequeño, alimentado básicamente por carbón e hidráulica. Pero el siguiente trimestre (cuando ya se ha instalado el parque de almacenamiento) el porcentaje aumenta de casi 0 a 10%, por lo que una instalación pequeña tiene un impacto significativo para la regulación de frecuencia, reduciendo el empleo de energías convencionales. Durante los dos últimos cuatrimestres, se observa que el carbón empleado para la regulación de frecuencia aumenta. Esto, por aclararlo, es debido a una reducción de la posibilidad de empleo de energía procedente de la tecnología “hidroeléctrica de bombeo”. Australia es un país en el que no hay una división clara entre las cuatro estaciones, por lo que para simplificar se divide en periodo lluvioso y periodo de sequía. Esta por tanto es la justificación por la que en los dos últimos cuatrimestres el carbón empleado para el control de frecuencia aumenta. Pero las baterías muestran en los dos primeros cuatrimestres como se puede reducir la dependencia de las energías no renovables en el mix energético.

4.3.2 Peak Shaving Application (Afeitado de picos)

En el siguiente gráfico, se muestra cómo las baterías ayudan a afeitar picos de demanda (*peak shaving*) a lo largo de un día tipo.

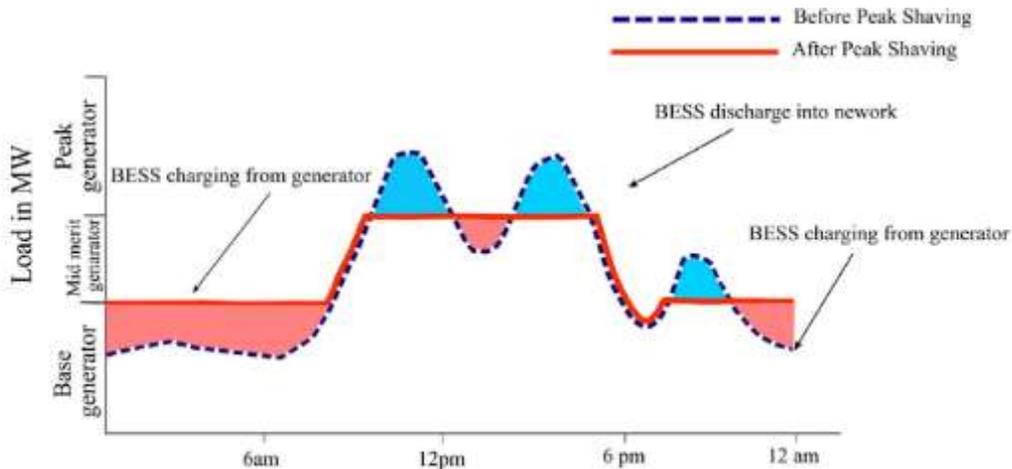


Gráfico 10. Aplicación de afeitado (rasurado) de picos de demanda “Application Peak Shaving”. En el eje Y se muestra la carga (load) de la red en MW y en el eje X el tiempo (1 día o 24 horas). Fuente: Uddin 2018.

Esta gráfica, refleja el desajuste entre el consumo de electricidad y la generación de electricidad. Debido a que la generación de fuentes renovables es variable tenemos que amortiguar las diferencias entre ese consumo (demanda) y generación. Por lo general, existe un pico de demanda entorno a las seis de la tarde (vuelta a casa del trabajo en el que se emplea o demanda mayor cantidad de electricidad (encendido o uso de TV, aire acondicionado, cocina, etc.) y por la noche la demanda decrece a partir de las diez aproximadamente. Por lo que una idea es generar exceso de electricidad cuando la demanda sea baja. Y volcarla 12 horas después cuando tengas una mayor demanda, así cargas la batería durante la noche (eólica) o día (FV) y la vuelcas en los periodos de mayor demanda. La consecuencia directa es la disminución de la demanda de eléctrica de los hogares en horas pico. Por lo tanto, la capacidad de afeitar ese pico de demanda puede estabilizar la red y la hace más eficiente de operar (Uddin, 2018).

¿Qué consecuencia tiene en la red? Una posible solución al incorporar mayor generación renovable con almacenamiento es, apagar la generación de electricidad no

renovable durante el día y encenderla sobre las 4-5 de la tarde cuando el sol comienza a ponerse. De esta manera se evita emitir GEI durante horas de mayor incidencia solar.

Un ejemplo claro de esta aplicación se observa en la siguiente gráfica, hace referencia a la sobre generación de energía y el desajuste en la demanda energética, en este caso del estado de California en Estados Unidos. La denominada “duke curve”.

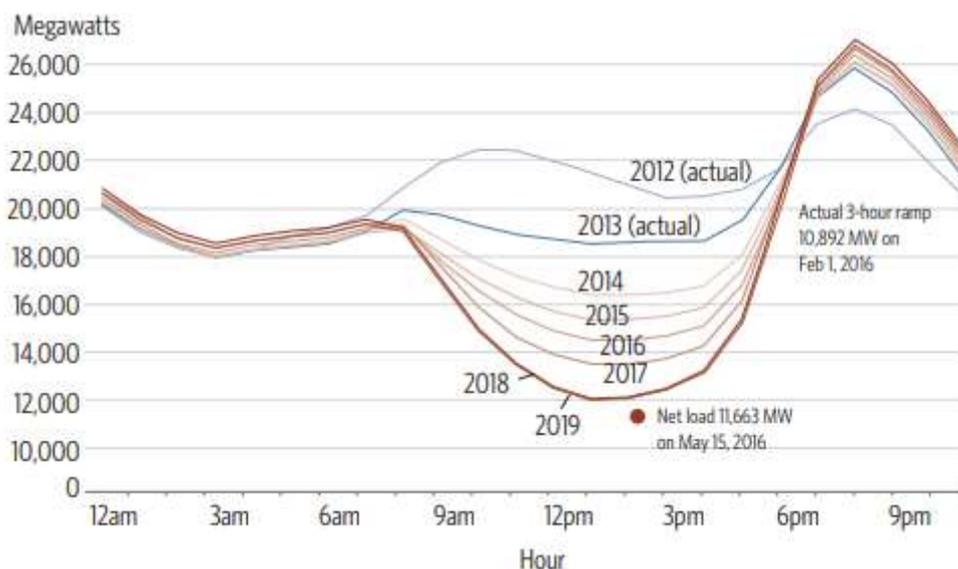


Gráfico 11. California Duke Curve. Aplicación de las baterías para hacer frente a la sobre-generación durante la “Duke Curve” de California. En el eje Y se muestra la demanda en MW y en el eje X la variación de la carga vs demanda a lo largo de un día tipo. Fuente: Energy Government of California 2017.

Tal y como se observa en la gráfica de la curva de demanda de California, debido al crecimiento de producción solar más baterías en el “Grid” de California, el operador de red es capaz de responder al desajuste de rampa y a la sobre generación de energía. En apenas 5-6 años, se muestra como el ajuste a la demanda de dicho estado es cada vez mayor, gracias a los sistemas de almacenamiento energético (CAISO, 2016).

4.3.3 Curtailment Application (Recorte)

En la aplicación de recorte, las centrales de generación fotovoltaica deben apagar los recursos de generación para no sobre cargar la red de distribución. Estas son apagadas en detrimento de las centrales de ciclo combinado. En la siguiente gráfica se muestra cómo el recorte hace que la potencia de generación fotovoltaica instalada no sea lo eficiente que podría llegar a ser.

Application: Curtailment

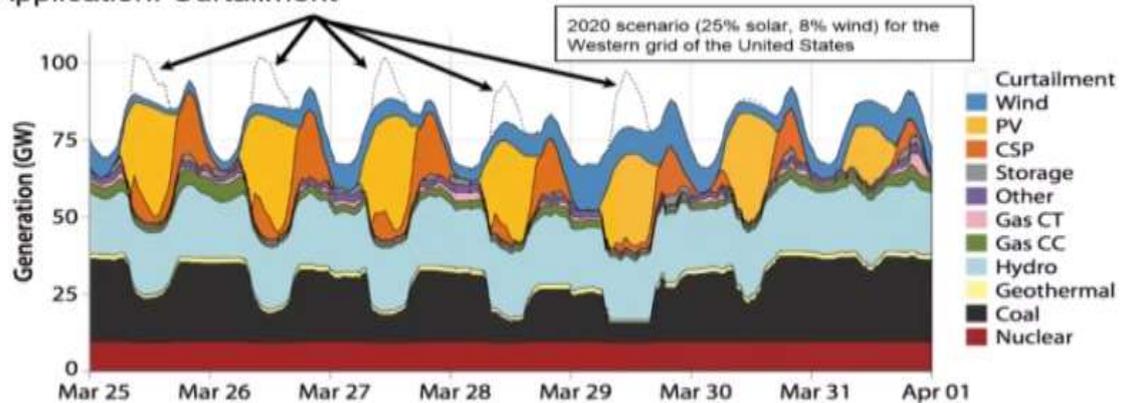


Gráfico 12. Aplicación recorte. En el eje Y se muestra la generación de energía en GW por las diferentes tecnologías que integran el mix y en el eje X el tiempo, concretamente de finales de marzo a principios de abril del 2013 Fuente: Chueh 2018.

El recorte (*curtailment*) depende de la penetración de energía renovable variable, así como de la flexibilidad. Esta gráfica muestra la proyección para 2020 para la red occidental en EEUU. Muestra varias formas de generación de electricidad y la complejidad del mix energético.

Como se observa, la energía nuclear es constante. La generación de energía mediante carbón es alta, pero durante las horas del día se observa cómo se apagan las centrales térmicas. Principalmente por la huella de carbono y en segundo lugar debido a que entra en juego la energía solar fotovoltaica. Durante esas horas de generación renovable es donde aparece el recorte "*Curtilment*". Para lidiar con este desajuste, la red eléctrica paga a los generadores de energía renovable para que no aprovechen los recursos que tienen (es decir para que no generen la energía que podrían sus instalaciones). Esto se debe a que la energía que se generaría no puede ser aprovechada.

Con instalaciones de almacenamiento estacionario, ese recorte podría ser subsanado, generando energía que potencialmente debido a la capacidad instalada puede ser producida y almacenar el exceso para volcarla en horas de mayor demanda energética. A su vez repercute en la reducción del uso de energía convencional no renovable de una manera más significativa.

4.3.4 Aplicación de la transferencia de recursos (Resource shifting application).

Esta aplicación pretende tomar recursos de energía generados en los meses de verano donde la generación es mayor que la demanda y volcarlos posteriormente en los meses de invierno, donde la demanda supera a la generación renovable. En la siguiente gráfica se observa la variación anual de la demanda y la generación renovable variable (solar y eólica).

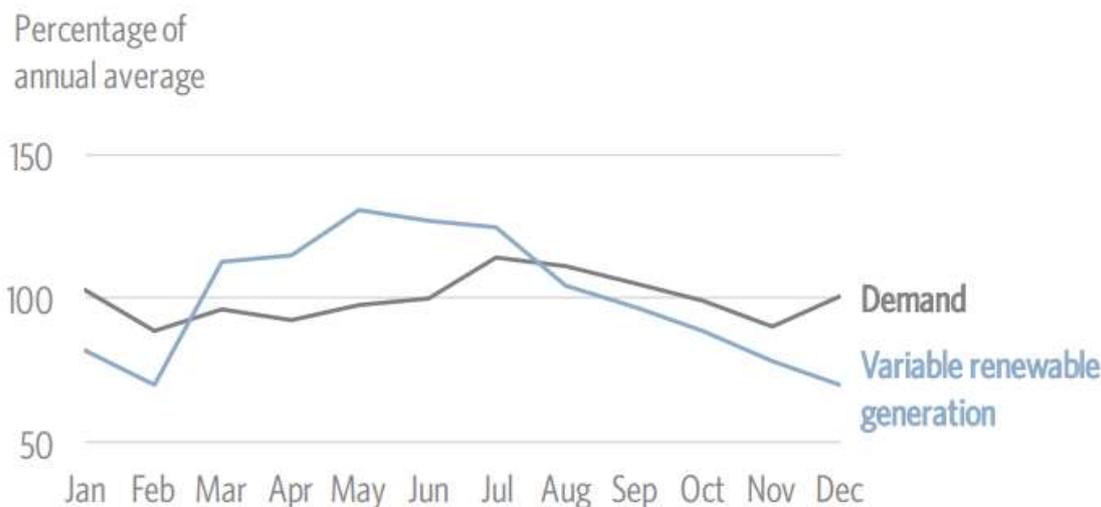


Gráfico 13. Perfil de recursos y demanda de California. Fuente Pierpont, 2017.

En general, los cambios estacionales en la demanda no se alinean con los de generación, además, la variación estacional del aporte de energía según avanza la penetración de renovables surge como una oportunidad a futuro.

Esta gráfica muestra el recurso y el perfil de demanda en California. Se ve como la demanda sigue un perfil casi lineal. Esta demanda prácticamente plana no se ajusta a la generación de energía renovable variable. Es interesante observar el desajuste significativo mostrando una mayor generación renovable durante los meses de verano frente a una menor generación durante los meses de invierno.

¿Qué oportunidad genera esto? ¿Es posible alinear nuestros recursos de generación con nuestra demanda cambiando la electricidad alrededor de las estaciones? Dicho de otra manera ¿Podemos almacenar algo de la electricidad generada en el mes de mayo a agosto y volcarla durante la demanda de invierno?

Esto es algo que todavía no es posible, pero es un reto y una oportunidad para conseguir una penetración de renovables al 100%. Por tanto, la conclusión observable es que no es necesario aumentar de manera descontrolada las plantas de generación renovable (que también se deben aumentar), pero junto a estas plantas se debe aumentar la capacidad de almacenamiento.

5 Impacto derivado de la propuesta (Second life battery storage)

5.1 Justificación del impacto del proyecto

Durante el transcurso de este TFG se han dado razones ambientales y sociales que justifican la necesidad de implantación de mayor capacidad de almacenamiento. Una de las razones que llevan al planteamiento de este TFG es el objetivo común que las personas relacionadas con la consecución de una sociedad más justa, sostenible y respetuosa tenemos con el entorno.

Las “GreenTech” se están posicionando como catalizadores e integradores de nuevos modelos de servicios y negocios que permitan lograr el deseado desarrollo sostenible. Todas ellas, por definición, están destinadas al aporte de avances para la sociedad a

nivel tecnológico y ambiental. Las baterías de vehículos eléctricos pueden ser consideradas como una “*Green Tech*”.

Esto es algo muy positivo, ya que el nivel de desarrollo industrial y humano está en constante evolución. Actualmente, el planeta va superando cifras récord de población humana, situándonos cerca de los ocho mil millones de personas (Worldometers, 2018). A su vez, por desgracia, la huella ecológica aumenta en los países desarrollados de manera incontrolada y poco ética, mientras los países en vías de desarrollo sufren las penurias de una economía feroz que no ofrece sitio para ellos.

Por tanto, si bien es cierto que las “GreenTech” son catalizadores de cambio tecnológico hacia soluciones que engloben al medio ambiente, es muy importante que se analice correctamente todo su ciclo de vida.

El transporte, es la causa principal del aumento de contaminación y emisiones de CO₂ a la atmósfera. Engloba muchos medios, desde transporte de usuarios individuales a transporte de grandes masas o mercancías por vía aérea y marítima. Parafraseando a Tony Seba autor de “*Clean Disruption of Energy and Transportation*”, aquel que domine el transporte y la energía tendrá posición ventajosa para determinar el futuro de la sostenibilidad del planeta.

Como solución a estas emisiones incontroladas y sin precedentes de GEI a causa del transporte, la apuesta tecnológica dominante en el mundo entero está siendo los vehículos eléctricos, y con ellos el desarrollo de almacenadores de energía con gran capacidad y rendimiento. Estos vehículos tienen ventajas ambientales durante su uso, reduciendo la huella ecológica en comparación con los vehículos de combustión interna (tanto de Gasolina como Diesel). Pero no así durante la fase de producción, en especial de las baterías que llevan incorporadas. Desde la extracción de materiales y recursos naturales, al CO₂ emitido durante su fabricación. A esto se debe añadir el costo ambiental de la corta vida de estas en los vehículos, apenas 8 años (en torno a 3000-4000 ciclos de carga/descarga). Lo que supone un verdadero riesgo ambiental y social. Estas baterías que deben ser gestionadas correctamente se postulan como una salvación, siendo esta afirmación cierta tan solo en una parte.

Por ello, alargar la vida útil de las baterías añadiendo más pasos a la cadena de valor actual puede aportarnos beneficios a nivel energético como aumento en la penetración de energías renovables, entre muchos otros, pero también a nivel social y económico. Sobre todo, a los países en vías de desarrollo y en especial de aquellos donde se encuentran los recursos necesarios para su fabricación (Chile, República Democrática del Congo, etc).

Realmente, el aumento de los vehículos eléctricos y en general el objetivo de electrificación del sistema de transporte deben ser detonantes para la consecución de la meta “Carbon Neutral” para 2050. El número de baterías a gestionar es un dato en parte negativo, pero a su vez, permitirá la instalación de mayor capacidad de acumulación de energía lo que repercutirá en una mayor penetración de energía renovable.

5.2 Justificación del encaje del proyecto en la estrategia RIS3CV

RIS3-CV, es la Estrategia de Especialización Inteligente en Investigación e Innovación lanzada por la Comunidad Valenciana. Destinada a la focalización

productiva/empresarial de una región (en este caso la Comunidad Valenciana) en ámbitos competitivos y generadores de desarrollo. Caracterizada por:

- concentrar el apoyo político y las inversiones regionales en prioridades clave, retos y necesidades para el desarrollo basado en el conocimiento,
- apoyar tanto la innovación tecnológica como la innovación centrada en la práctica,
- involucrar a todos los grupos de interés,
- estimular la innovación y la experimentación.

Es por ello, que sobre los objetivos que esta estrategia engloba para el desarrollo económico de la Comunidad Valenciana, esta propuesta incluida en el TFG aporta un elevado valor como producto/servicio innovador, actuando como agente catalizador de procesos que buscan una mayor eficiencia, sostenibilidad y competitividad.

A su vez, dentro del eje 2, que sigue haciendo referencia a producto innovador, el TFG propone una modernización en el proceso de adecuación y preparación de baterías para segundos usos, aportando una proyección de sostenibilidad al proceso, reduciendo los recursos y materiales a extraer para la fabricación de las baterías, este logro es observable en los puntos específicos 2.2.2. y 2.2.1 del objetivo general L: *“Desarrollar materiales, productos y procesos avanzados, de bajo impacto ambiental, con nuevas aplicaciones de valor añadido, de forma sostenible y ecoeficiente, cuyos beneficios redunden en el usuario”* del documento citado anteriormente.

Por otra parte, desde el LAB de SmartGrid del RIS3-CV se quiere impulsar la innovación e investigación en el desarrollo de las redes inteligentes (concepto de *“Smart Grid”*) para la adecuación del futuro modelo energético que va encaminado hacia una transición energética. Promueve:

- Realizar una gestión sostenible del sistema energético
- asegurar el suministro de energía
- Proporcionar estabilidad de unos precios más competitivos y asequibles para el usuario.

A su vez, esto se logra, debido a que los sistemas de almacenamiento estacionario propuestos pretenden lograr:

- promover la generación distribuida de energía eléctrica y autoconsumo
- emplear energías renovables e integrarlas en la red de baja tensión
- ajustar entre la producción y la demanda de energía
- almacenar excedentes de generación eléctrica como pilar fundamental

De la misma manera, este trabajo de fin de grado puede acceder a la generación de impacto y verse justificado en relación con el plan estratégico de despliegue del vehículo eléctrico en la Comunidad Valenciana, el cual integra entre otros objetivos para 2030 el de instalación de 270 puntos de recarga rápida, 2100 puntos de recarga semi rápida y 260.000 vehículos eléctricos.

Esto indica, que el número de baterías usadas aumentará en los próximos años también en la Comunidad Valenciana, con el problema de gestión de residuos que ello genera. Dotarlos de una segunda vida será esencial para mejorar su huella de carbono y generar mayor sostenibilidad.

5.3 Justificación del encaje del proyecto en el Plan de Energía sostenible de la Comunidad Valenciana

Este trabajo de fin de grado, liga completamente con los objetivos fijados en el plan de energía sostenible de la Comunidad Valenciana. Los sistemas de almacenamiento estacionario nacen derivados de la necesidad de cubrir la variabilidad de la generación renovable. Estas penetran de una manera menor por dicho motivo, generando ineficiencias y desacoplamientos entre la oferta y la demanda.

Por ello el proyecto, es capaz de aportar valor y profundidad de realización al plan de energía sostenible de la Comunidad Valenciana. Aportando soluciones en función de la aplicación a cubrir. Estos sistemas de almacenamiento conducen a un equilibrio entre la energía producida mediante autogeneración y la demanda de los usuarios. También contribuyen a que haya una reducción del empleo de combustibles fósiles en el mix energético, generando a su vez mayor tasa de autarquía por parte de los usuarios.

Incluye líneas de I+D+I relacionadas con el almacenamiento de energía, comulgando de nuevo con los objetivos del plan de energía sostenible de la Comunidad Valenciana:

- Almacenamiento de energía eléctrica en baterías de vehículo eléctrico
- Almacenamiento de energía eléctrica en baterías de litio.
- Recarga de vehículo eléctrico a partir de energías renovables
- Sistemas de gestión de la demanda energética
- Sistemas de almacenamiento de energía para periodos punta

Otro aspecto que cubre es la agregación de nuevos roles y actores en el sistema energético. Figuras ya explicadas como los agregadores y las Virtual Power Plants o VPP, permiten llegar a un paso superior en el que posicionarse dentro del mercado energético.

Esto puede ayudar de cierta manera (entendiendo las limitaciones de este sistema) a ganar independencia de la red eléctrica y a crear un sistema energético más justo, equitativo, con variaciones menores en el precio de la factura y por tanto mucho más sostenible, social y ambientalmente.

Los objetivos del plan de energía sostenible de la Comunidad Valencia para el 2020 son incorporar el 16% de participación de las energías renovables sobre el consumo final bruto de energía, el 50% de la potencia eléctrica en servicio de origen renovable y lograr alcanzar el 26% de participación de energías renovables sobre la producción total de energía eléctrica.

Estos objetivos, si se aplican las medidas correctoras adecuadas y emparadas bajo el paraguas del Real Decreto 244/2019, del 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica, son posibles de ser alcanzados. Incluyendo estas baterías a gestionar y aumentando la capacidad de almacenamiento, es factible lograr alcanzar los objetivos propuestos por dicho plan.

5.4 Justificación del impacto favorable relevante para la economía circular, simbiosis industrial, reducción de residuos, eficiencia energética y minimización del consumo de recursos naturales que presenta la propuesta

Ambientalmente, las baterías suponen quebraderos de cabeza cuando su fase es la inicial (producción) y la final (residuo a gestionar). A su vez, suponen un alivio para las emisiones atmosféricas durante su ciclo de vida útil. Como se postula previamente, este tipo de “*GreenTech*” ofrecen la posibilidad de solucionar y dar respuesta a problemáticas que son imprescindibles y generan simbiosis industriales, de la misma manera que facilitan el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible a nivel regional, nacional y global.

A nivel regional posibilitan la consecución de planes estratégicos de desarrollo mencionados previamente en esta justificación, de la misma manera que a nivel global. Sumando el esfuerzo y la visión de impacto positivo sobre el entorno de pequeños proyectos, la transición energética se podrá alcanzar de una manera más eficiente y efectiva.

Desde su inicio, este proyecto fomenta la economía circular al dotar de un segundo uso a las baterías empleadas en movilidad, las cuales son retiradas de esta aplicación cuando aún queda un gran potencial aprovechable en otras aplicaciones. Por tanto, la economía circular tiene un peso grande en la inspiración de este trabajo de fin de grado.

A su vez, tal y como se ha mencionado previamente, incorpora el concepto de simbiosis industrial. Donde los residuos de una industria (en este caso la industria de la automoción, concretamente la automoción eléctrica) son aprovechados en segundos usos a través de la creación de un producto o un servicio completamente diferente para el que en un principio había sido diseñado.

En este TFG, se fomenta que los recursos se mantengan dentro de la cadena económica de valor, cuando un producto, en este caso las baterías, han llegado al final de su vida útil. De este modo se pueden volver a emplear de forma productiva y contribuir a la creación de valor añadido. Por otro lado, la renovación (reutilización de baterías) puede ser especialmente beneficioso para reducir la explotación de recursos naturales.

El acuerdo “*From E-Mobility to recycling: the virtuous loop of the electric vehicle*” promovido por la Unión Europea ha sido firmado recientemente, con el objetivo de explorar hasta qué punto el marco regulador contiene barreras innecesarias. Al tratarse de una solución innovadora, la barrera más grande a sortear es la ausencia de una definición clara y la consideración de reorientar de nuevo los textos legislativos.

Siguiendo con el impacto que el proyecto produce, cabe destacar que se minimiza el consumo de recursos naturales escasos (litio y cobalto) y que, además, no garantizan una cadena de suministro ética y sostenible al encontrarse mayoritariamente en países en vías de desarrollo y con falta de derechos humanos.

Por otra parte, mediante este proyecto se favorece la inclusión de las energías renovables a nivel distribuido y en red de baja tensión, al igual que los fenómenos de “*peak shaving*”, eliminando las puntas de demanda de energía a red a lo largo del día.

5.5 Justificación del impacto social del proyecto, valorando la incidencia en aspectos de salud, calidad de vida, creación relevante de empleo y atención a colectivos desfavorecidos.

La contaminación atmosférica derivada del empleo de vehículos con motores de combustión interna ha provocado un aumento en el número de emisiones de CO₂ a la atmósfera. Con el incremento de la población las ciudades cada vez son más grandes, ocupando un vasto territorio. Los desplazamientos motorizados, urbanos e interurbanos, cada día son más numerosos. Esto tiene consecuencias en la salud humana por afectar al aparato respiratorio de las personas. A su vez, el número de emisiones sigue en aumento, lo que afecta a los ecosistemas, provoca un incremento en la velocidad a la que sucede el cambio climático; generando en las zonas circundantes fenómenos como lluvia ácida, desertización o pérdidas de biodiversidad entre muchos otros.

Ante estas preocupaciones, la industria de la automoción ha tomado cartas en el asunto, creando baterías potentes y con suficiente capacidad como para sustituir a los motores de combustión interna. Emitiendo de esta manera un número menor de gramos de CO₂ por kilómetro recorrido. Atendiendo a nuestra preocupación, basada en la gestión ineficiente de los residuos que esta alternativa deja en el entorno (baterías), la solución de emplear en segundos usos ofrece grandes beneficios para la salud, no solo humana sino del medio ambiente.

El empleo del almacenamiento con baterías reutilizadas en el mix energético favorece, por tanto, creación de entornos más sostenibles, ya que provoca un incremento en la penetración de energías renovables en el sistema eléctrico actual. Desplazando por tanto a la generación energética mediante combustibles convencionales. La utilización de estas tecnologías favorece la disminución de las emisiones de CO₂ emitidas por la actividad humana en la atmósfera, disminuyendo así la contaminación y mejorando la salud de los ciudadanos.

A su vez, cabe destacar, las necesidades hídricas que se precisan para procesar los recursos naturales que contienen las baterías. La extracción y procesado de litio, manganeso, zinc, hierro o cobalto requieren de grandes cantidades de agua. En Chile, por ejemplo, uno de los países donde mayor cantidad de litio se extrae anualmente, es a su vez uno de los países con mayor tasa de desertización y salinización de sus acuíferos. Este tipo de minería provoca problemas en la salud y bienestar de las personas de la zona, tanto en un corto periodo de tiempo como a largo plazo. Medioambientalmente los efectos pueden ser medidos más fácilmente que a nivel de salud humana, pero lo que sí es cierto es que este proyecto planteado ayuda en cierta manera a reducir la presión sobre estos ecosistemas, sus poblaciones y los ciudadanos que viven en ellos.

Como se ha comentado durante la explicación de la ampliación de la cadena de valor, para el correcto funcionamiento de las baterías, es preciso realizar una serie de test/análisis de viabilidad que permitan incorporarlas de una manera válida, segura y garantizando su correcto funcionamiento. Para la realización de dichos análisis o test, y para llevar a cabo este proyecto se deberá contar con institutos tecnológicos o universidades que cuenten con los medios para el correcto análisis y reintegración en el nuevo *battery pack*. En este caso, al utilizar como almacenamiento baterías de litio de segundo uso se favorece también a la creación de empleo local, al llevar a cabo el testeo y adecuación de las células de litio de éstas, planteando dichas necesidades en áreas locales.

Por último, la reutilización de este recurso provoca una disminución en la extracción de recursos naturales escasos, como el cobalto o el litio. Estos materiales están asociados a prácticas que violan los derechos humanos, como la explotación infantil en minas de extracción en la República Democrática del Congo, donde se encuentra la principal reserva del cobalto del planeta (Chang-Cardona, 2018).

Por ello, socialmente, también existe un impacto positivo asociado a la idea de este TFG. Como en la introducción realizada de este capítulo, ambientalmente las “*GreenTech*” están dando muchas soluciones parciales a problemas de gran calibre. El problema es avanzar en ciertos aspectos y descuidar otros. Socialmente como cualquier recurso la extracción de los materiales para su uso generalmente afecta a países en vías de desarrollo, con un nivel adquisitivo bajo que permite el expolio sin más de las reservas que esos países tengan. Lo que se traduce en impactos sociales graves con el consecuente aumento de la desigualdad.

Con este proyecto, por tanto, se pretende en la medida de su alcance, ayudar a minimizar dichos conflictos, tratando de limitar la extracción de materiales y por supuesto condenando la falta de derechos humanos y laborales de las sociedades desfavorecidas por la diferencia económica abismal entre los países.

6 Procedimiento para implantar baterías de vehículos eléctricos en sistemas de almacenamiento estacionario

6.1 Introducción

Con el objetivo de reutilizar las baterías procedentes de electromovilidad en sistemas de almacenamiento estacionario y poder aportar una segunda vida a dichos recursos, no basta con desensamblar las baterías de los vehículos y montarlas sin más. Para que el proceso sea efectivo y el “*battery pack*” ofrezca el rendimiento adecuado para las aplicaciones que va a tener, es preciso realizar previamente unos análisis con el objetivo de determinar la capacidad restante después del uso primario, la salud de los componentes internos y una clasificación para posteriormente ser ensamblada y reutilizada. Este análisis o test, se debe realizar para todas y cada una de las celdas que componen el interior de la batería.

Previamente a la explicación de los test a realizar, quisiera justificar el mercado de baterías empleadas con dos previsiones respecto al crecimiento de baterías que van a ser desechadas por los vehículos eléctricos en 2025, y una previsión de la capacidad

de almacenamiento prevista para 2040.

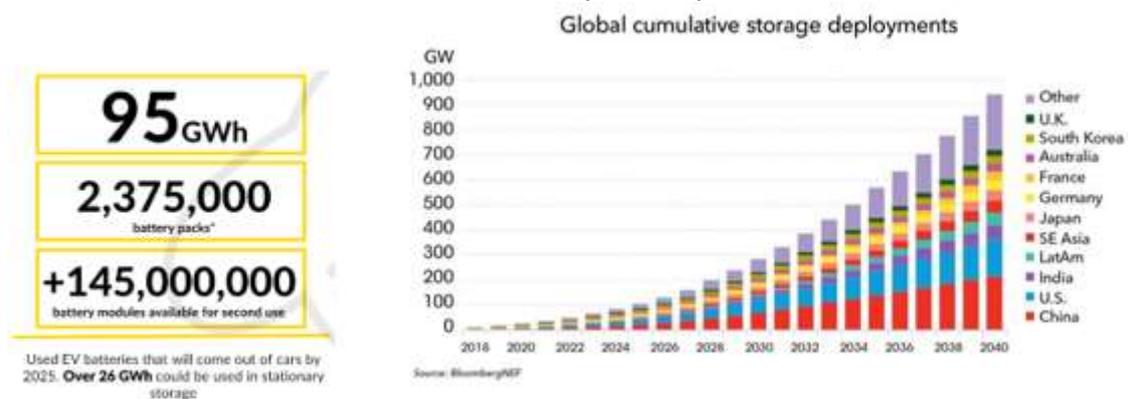


Gráfico 14. Previsión de baterías VE usadas para 2025 (izquierda). Fuente: BNEF, 2017. Capacidad de almacenamiento en GW instalada por países prevista para 2040 (derecha), Fuente: BNEF, 2017.

En este apartado se explican los pasos a realizar para validar la reutilización de las baterías en sistemas de almacenamiento estacionario.

6.2 Test de análisis del estado de salud de las baterías

Las baterías deberán ser llevadas a un laboratorio tecnológico con el objetivo de realizar una revisión, tanto general como de cada celda a reutilizar. Los test, además de obviamente, un control o inspección visual, consisten en un test de capacidad y otro de pulsos de potencia. Estos test a realizar están basados en un acuerdo entre los fabricantes más importante de baterías de vehículos eléctricos (BMW, Vattenfall, etc). Este test, está estandarizado por la normativa USABC para verificar el SOH (estado de salud de la batería) y poder certificar que son aptas para volver a ser empleadas para una nueva función (Mora Martín, 2015).

Para cada una de las celdas a validar es “necesario llevar a cabo el ensayo a corriente de carga y descarga controlada, por lo que se plantean ensayos repetitivos de ciclado de las baterías para determinar el estado de vida” (Mora Martín, 2015). En primer lugar, a corrientes bajas y posteriormente a corrientes superiores para determinar la capacidad de entrega de potencia. Las corrientes de ensayo dependerán en cada caso de las características eléctricas de la celda a ensayar y de las limitaciones propias de los equipos de ensayo y validación. Con estos ensayos se obtienen los valores de capacidades residuales en Amperios hora (Ah) con los que se puede determinar la viabilidad o no de integrar esa celda dentro del conjunto a desarrollar. Estos ensayos deben ser realizados a todas y cada una de las celdas que conforman el pack de baterías (Mora Martín, 2015).

6.3 Test de capacidad: pasos a realizar

Se testean las baterías a nivel técnico mediante un test de capacidad y otro de pulsos de potencia. Con el test de capacidad se determina cuánta electricidad pueden almacenar durante la carga y devolver durante la descarga a diferentes temperaturas y en ratios de descarga distintos. A continuación en la tabla se muestran los pasos a realizar en el test de capacidad.

Tabla 2. Pasos por realizar en el test de capacidad. Fuente Mora Martín, 2015, elaboración propia.

Nº Paso	Paso	Temperatura	Nº Paso	Paso	Temperatura
1	Carga estándar C/3	-25°C	23	Carga estándar C/3	Temp. Amb
2	Aclimatación	-25°C	24	Descarga 20C	Temp. Amb
3	Descarga a 1 C	-25°C	25	Carga estándar C/3	Temp. Amb
4	Carga estándar C/3	-25°C	26	Descarga 20C	Temp. Amb
5	Descarga a 1 C	-25°C	27	Carga estándar C/3	Temp. Amb
6	Carga estándar C/3	-25°C	28	Aclimatación	40°C
7	Descarga a 1 C	-25°C	29	Descarga 1C	40°C
8	Carga estándar C/3	-25°C	30	Carga estándar C/3	40°C
9	Descarga a 20 C	-25°C	31	Descarga 1C	40°C
10	Carga estándar C/3	-25°C	32	Carga estándar C/3	40°C
11	Descarga a 20 C	-25°C	33	Descarga 1C	40°C
12	Carga estándar C/3	-25°C	34	Carga estándar C/3	40°C
13	Descarga a 20 C	-25°C	35	Descarga a 20 C	40°C
14	Aclimatación	Temp. Amb	36	Carga estándar C/3	40°C
15	Carga estándar C/3	Temp. Amb	37	Descarga a 20 C	40°C
16	Descarga a 1 C	Temp. Amb	38	Carga estándar C/3	40°C
17	Carga estándar C/3	Temp. Amb	39	Descarga 20C	40°C
18	Descarga a 1 C	Temp. Amb	40	Aclimatación	Tem. Amb
19	Carga estándar C/3	Temp. Amb	41	Carga estándar C/3	Tem. Amb
20	Descarga a 1 C	Temp. Amb			
21	Carga estándar C/3	Temp. Amb			
22	Descarga 20 C	Temp. Amb			

6.4 Test de pulsos: pasos a realizar

Con la prueba de impulso, se determina la resistencia interna de la batería y las pérdidas de prestaciones de potencia máxima. A continuación en la tabla se muestran los pasos a realizar en el test de pulsos de potencia.

Tabla 3. Pasos para realizar en el test de Pulso. Fuente, Mora Martín, 2015, elaboración propia.

Nº Paso	Paso	Temperatura
1	Aclimatación	Tem. Amb
2	Ciclo estándar	Tem. Amb
3	Caracterización del pulso de carga + carga estándar	Tem. Amb
4	Aclimatación	40°C
5	Ciclo estándar	40°C
6	Caracterización del pulso de carga + carga estándar	40°C
7	Aclimatación	0°C
8	Ciclo estándar	0°C
9	Caracterización del pulso de carga + carga estándar	0°C
10	Aclimatación	-10°C
11	Ciclo estándar	-10°C
12	Caracterización del pulso de carga + carga estándar	-10°C
13	Aclimatación	Tem. Amb
14	Ciclo estándar	Tem. Amb
15	Caracterización del pulso de carga + carga estándar	Tem. Amb

Una vez realizadas ambas pruebas, las baterías serán identificadas como aptas o no aptas para su posterior reutilización. En caso de no ser aptas, estas deberán ser gestionadas como residuos según la normativa que aplique, en este caso la directiva 2006/66/EC.

Si, por el contrario, estas son aptas y muestran un comportamiento adecuado, serán integradas y ensambladas en el nuevo “*battery pack*” listas para ofrecer el servicio de almacenamiento deseado.

7 Barreras

En este apartado se van a definir una serie de limitaciones, obstáculos o barreras frente a la aplicación de baterías reutilizadas.

7.1 Barreras legislativas

De acuerdo con las directivas europeas (Directiva 2000/53 / CE sobre vehículos al final de su vida útil y Directiva 2006/66 / EC sobre baterías), cualquier batería desensamblada de un vehículo eléctrico, híbrido o híbrido enchufable deben recogerse y reciclarse. Sin embargo, al contar con capacidad residual entorno a un 70% de la capacidad inicial estas podrían emplearse en otras aplicaciones previamente a ser recicladas.

Actualmente la terminología “segundo uso” no está definida actualmente en la directiva sobre baterías y gestión de estos residuos. Es decir, tampoco está incluido en ninguna de las directivas sobre residuos, pero encaja con la jerarquización de la pirámide de residuos que alienta a prevenir, reutilizar, reciclar y recuperar, previamente a la eliminación. Esto es lo definido en la Directiva Marco de Residuos 2008/98/CE (UE,2008) y el Plan de Acción de Economía Circular de 2015 de la Comisión Europea (CE,2015). Este reto de dar un valor añadido a productos o materiales durante el mayor tiempo posible minimizando la disposición en vertedero.

La definición por tanto de estas limitaciones y vacíos en la legalidad será clave para alcanzar los objetivos derivados de las aplicaciones de las baterías en apoyo/soporte a la red y como aliado clave a la penetración de energía renovable.

Desde la Comisión Europea, a través del centro común de investigación *Joint Resercher center* (JRC) solicitaron en 2016 el proyecto denominado SASLAB. El propósito de este proyecto es la evaluación de la sostenibilidad de la aplicación de la segunda vida de baterías provenientes de electromovilidad. El informe final desarrollado y puesto en manos de la Comisión Europea a mediados de 2018 (*Sustainability Assessment of Second Life Application of Automotive Batteries, 2018*), muestra como estas baterías, si pasan las pruebas indicadas y se comprueba su viabilidad y seguridad, pueden aportar soluciones diversas y ser funcionales en diferentes aplicaciones. Como se ha comentado, desde nivel *“utility”* a nivel distribuido. Según en qué aplicación vayan destinadas el final de vida tendrá una escala temporal variable (Bobba et al, 2018)

Por tanto, a nivel legislativo, debe reducirse o eliminarse la incertidumbre regulatoria, incluyendo en las respectivas directivas unas directrices claras que fomenten la inclusión de la economía circular para las baterías y los procesos de implantación de baterías de segundo uso en otras aplicaciones. A su vez, dicha limitación viene provocada por una falta de acuerdo político sobre el *“mix”* energético y la transición hacia un modelo energético más eficiente, social y con un grado de dependencia menor de los combustibles fósiles.

7.2 Barreras sociales

Socialmente existen barreras relacionadas, en cierta manera, al desconocimiento sobre el sistema eléctrico y lo que supone una red diferente a la actual, en la que los usuarios tengan mayor poder de decisión y menor dependencia de la red eléctrica. Como ejemplo, destacaría que, la mayoría de los usuarios desconocen la variación horaria del coste de la energía, por tanto tampoco son conscientes de cuando se producen dichas variaciones (máximos y mínimos) y cómo se puede ahorrar en la factura de electricidad (Fernandez, 2018).

También por desconocimiento, los usuarios, pueden pensar que existe la posibilidad de quedarse sin suministro de energía si tienen instaladas en su casa placas fotovoltaicas, así como las posibilidades de conexión a la red si se tienen este tipo de instalaciones. Siguiendo en esta línea, la mayoría son desconocedores de la capacidad de almacenamiento residual elevada que ofrecen las baterías y las ventajas de incorporar estas en aplicaciones estacionarias, sobre todo a nivel hogar o comunidad de vecinos.

Finalmente, destacaría que a nivel social, existe una barrera por el bajo desarrollo de la cultura energética del ahorro y la relación del despilfarro energético con el problema ambiental que supone.

7.3 Barreras económicas

Las barreras económicas están ligadas completamente a las legislativas y al contexto legal. Destacaría que actualmente y sobre todo hace unos años el precio de los sistemas de almacenamiento (baterías) eran muy elevados, pero como se muestra en este Trabajo de Fin de Grado el coste de estas baterías está bajando considerablemente. Actualmente, como he justificado previamente, el coste de las baterías y acumuladores de litio actuales rondan los 250 €/kWh (BNEF, 2018). Al precio

o coste de las baterías se debe añadir el coste del resto de actuaciones a realizar. Destacando el precio del inversor/cargador, y el acople y desarrollo del BMS. Con el tiempo y con la mirada puesta en unos años, estas baterías (reutilizadas) tendrán un precio drásticamente inferior a una batería nueva por lo que las barreras económicas se diluirán paulatinamente. Aun así, es cierto que la inversión a realizar para un usuario medio que quiera instalarse todo un sistema de autogeneración de energía es elevada en un principio, por lo que se hace necesario el papel de una empresa como intermediario que actúe a modo de servicio energético (Concepto de *Energy as a Service: EaaS*).

Por su parte ambas tecnologías renovables (fotovoltaica y eólica) han demostrado ser rentables y se espera que se alcance la paridad de red en el 80% de los países del mundo en los próximos dos años, (National Bank of Abu Dhabi, 2018).

7.4 Barreras técnicas

Respecto a las barreras técnicas, las baterías a nivel tecnológico están recibiendo una elevada inversión, tanto privada como de organizaciones gubernamentales. Los mercados son conscientes de la necesidad del desarrollo de baterías y sistemas de almacenamiento que permitan hacer eficiente el uso de energías renovables (tanto a nivel distribuido como a nivel “utility”).

Para entender si las baterías son susceptibles o no de ser reutilizadas se precisa de la realización de pruebas que clarifiquen el estado de vida. Técnicamente para ello se precisa contar con un laboratorio en el que poder testarlas y clasificarlas a la vez que desarrollar los diferentes sistemas de control y manejo (BMS² y EMS³).

La idea, además de generar una simbiosis industrial, es la de aportar un valor añadido para lograr una mejor integración de las energías renovables con componente de variabilidad. Esto implica un mayor número de personas que cuenten con autogeneración (autoconsumo) lo que provocará que la red de distribución sea más compleja, pero a su vez más dinámica, justa y equitativa con los usuarios.

8 Conclusiones

El almacenamiento estacionario, por las razones y posibles aplicaciones surge como una solución a la necesidad de integrar las energías renovables de manera eficaz. La potencia de generación por fuentes no convencionales debe incrementarse, pero ese incremento no supondrá una ventaja si no se implementan tecnologías de almacenamiento, ya que los problemas de variabilidad seguirán existiendo. Como ya se ha expuesto con anterioridad, hay numerosas tecnologías de almacenamiento que junto con las baterías pueden tener aplicaciones diversas. Con estas tecnologías, encaradas fundamentalmente a escala “utility” las baterías reutilizadas no van a poder lidiar con esa capacidad de generación y almacenamiento temporal necesario. Pero a nivel distribuido y más ahora después de la salida del real decreto 244/2019 por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de autoconsumo, las baterías de litio pueden ayudar a reducir la factura de la luz de los usuarios y a integrar mejor las instalaciones de autoconsumo.

² BMS: Battery Management System (sistema de Gestión de Baterías). Es un sistema electrónico que gestiona una batería (seguimiento de su estado, el cálculo de los datos secundarios, etc.).

³ EMS: Energy Management System. El sistema de gestión de energía (EMS) controla el flujo de energía entre los paneles solares, la batería y el accesorio.

Más allá de las razones aportadas a nivel de integración de energía renovable en el mix, es clave poder alargar la vida de un producto que trae consigo problemáticas ambientales y sociales. Este incremento en la vida útil permitirá reutilizar las baterías previamente a ser recicladas y creará una simbiosis industrial clave para el futuro. Dado que la industria de la automoción es muy grande, realizar una gestión eficaz de los recursos y de la extensión de la cadena de valor es necesario. La electromovilidad ya es una realidad y el flujo de residuos para gestionar será cada vez mayor, trasladando un problema (empleo de combustibles fósiles en el sector transporte) a otro (acumulación de pilas en vertederos).

9 Bibliografía

Alvarez, J.M (2019) "El innovador proyecto de Nissan para reutilizar las baterías de sus coches eléctricos en la iluminación pública de Fukushima" en Smart.lighting.es. <https://smart-lighting.es/nissan-baterias-coches-electricos-iluminacion-fukushima/> [Consulta: 7 abril 2018].

Baronti, F., Vazquez, S., & Chow, M. Y. (2018). "Modeling, control, and integration of energy storage systems in e-transportation and smart grid. IEEE Transactions on Industrial Electronics", 65(8), 6548-6551.
<<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8329399>> [Consulta: 5 marzo 2019].

"Batteries: Ageing of Li-Ion Battery Cells in Automotive and Grid-Scale Applications" <<https://www.mdpi.com/2032-6653/9/2/24>> [Consulta: 15 abril 2019].

Berry, Gene, y Salvador M. Aceves. 2006. "La economía del hidrógeno como solución al problema de la estabilización del clima mundial". Acta Universitaria 16 (1): 5-14

Bird, Lori, Cochran, Jaquelin, and Wang, Xi. Sat. "Wind and Solar Energy Curtailment: Experience and Practices in the United States". United States. doi:10.2172/1126842. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1126842>.

Bobba, S., Podias, A., Di Persio, F., Messagie, M., Tecchio, P., Cusenza, M. A., ... & Pfrang, A. (2018). "Sustainability Assessment of Second Life Applications of Automotive Batteries (SASLAB). JRC Exploratory Research (2016-2017), Final report." <
https://www.researchgate.net/profile/Silvia_Bobba/publication/327690459_Sustainability_Assessment_of_Second_Life_Application_of_Automotive_Batteries_SASLAB_JRC_Exploratory_Research_2016-2017_Final_technical_report_August_2018/links/5b9f6a9945851574f7d1c098/Sustainability-Assessment-of-Second-Life-Application-of-Automotive-Batteries-SASLAB-JRC-Exploratory-Research-2016-2017-Final-technical-report-August-2018.pdf>

Buchal, C., Karl, H. D., & Sinn, H. W. (2019). "Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO₂-Bilanz?". ifo Schnelldienst, 72(8), 40-54.
<<http://www.cesifo-group.de/DocDL/sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25.pdf>> [Consulta: 02 Mayo 2019].

Callejo, A. (2019) "Volkswagen lanza su proyecto para reciclar las baterías de sus coches eléctricos" en forococheeléctrico. <<https://forococheelectricos.com/2019/02/volkswagen- lanza-su-proyecto-para-reciclar-las-baterias-de-sus-coches-electricos.html>> [Consulta: 03 marzo 2019].

Castells, J. (2018) "Coche eléctrico: el reciclaje de sus baterías, responsabilidad y negocio a partes iguales" en híbridosyeléctricos, ecotecnología del vehículo. <
<https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/sector/coche-electrico-reciclaje-baterias-responsabilidad-negocio-partes-iguales/20180316101814018235.html>>

Christophersen, Jon P. Mon. "Battery Test Manual For Electric Vehicles, Revision 3". United States. doi:10.2172/1186745. <https://www.osti.gov/servlets/purl/1186745>. Chang-Cardona, A. R. (2018). "Una visión

sobre las reservas estratégicas de eficiencia metalúrgica en la tecnología carbonato-amoniaca". *Minería y Geología*, 16(1), 76-82.<

<http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/1701> > [Consulta: 12 enero 2019].

Citi Group (2018). "Electric Vehicles, ready(ing) for Adoption. Citi GPS: Global perspectives and solutions" <<https://www.citivelocity.com/citigps/electric-vehicles/>>[Consulta: 25 Noviembre 2018].

Cong-Sheng Huang, Bharat Balagopal, Mo-Yuen Chow, "Estimating Battery Pack SOC Using A Cell-to-Pack Gain Updating Algorithm", *IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 1807-1812, 2018. <

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8591594/> > [Consulta: 5 marzo 2018].

Energy Government of California (2017). "Confronting the Duck Curve: How to Address Over-Generation of Solar Energy" < <https://www.energy.gov/eere/articles/confronting-duck-curve-how-address-over-generation-solar-energy>> [Consulta: 10 diciembre 2018].

European Commission (EC) (2019): "Report from the commission to the European parliament, the council, the european economic and social committee and committee of the regions, on the implementation and the impact on the environment and the functioning of the internal market of Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC"

<http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/pdf/report_implementation_batteries_directive.pdf> [Consulta: 10 abril 2019].

European Commission (EC): "Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC (Text with EEA relevance)"

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0066>.

[Consulta: 15 marzo 2018].

Fornillo, B., & Gamba, M. (2019). "Industria, ciencia y política en el Triángulo del Litio. Ciencia, Docencia y Tecnología", 30(58), 1-38. <

<http://www.pcient.uner.edu.ar/cdyt/article/view/447/456>> [Consulta: 8 marzo 2019].

Fernandez Martinez, E (2018). "Estudio de la viabilidad técnica y socio-económica de la producción de energía fotovoltaica distribuida a nivel local y el despliegue de redes inteligentes" < <https://riunet.upv.es/handle/10251/108969>> [Consulta: 11 septiembre 2018].

Lih, W. C., Yen, J. H., Shieh, F. H., & Liao, Y. M. (2012, June). "Second use of retired lithium-ion battery packs from electric vehicles: technological challenges, cost analysis and optimal business model". In *2012 International Symposium on Computer, Consumer and Control* (pp. 381-384). IEEE. <

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6228326>> [Consulta: 10 diciembre 2018]

"Las matriculaciones de vehículos eléctricos, híbridos y de gas crecen en un 46% en febrero". (2019). Confederación española de organización empresarial (CEOE).

<<https://www.ceoe.es/es/contenido/las-matriculaciones-de-vehiculos-electrificados-hibridos-y-de-gas-crecen-un-46-en-febrero>> [Consulta: 5 marzo 2019].

Manghani, R., & McCarthy, R. (2018). "Global energy storage: 2017 year in review and 2018–2022 outlook". Boston: GTM Research. https://www.solarnews.es/internacional/wp-content/uploads/sites/2/Global_Energy_Storage___2017_in_Review_and_2018_Outlook___GTM_Research.pdf

Ministerio transición ecológica: "Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica". < <https://www.boe.es/boe/dias/2019/04/06/pdfs/BOE-A-2019-5089.pdf>>

Morante, J. R. (2017). "El almacenamiento de la electricidad". Zaragoza. < <http://www.fundaciongasnaturalfenosa.org/wp-content/uploads/2017/03/1.-Joan-Ramon-Morante.pdf>> [Consulta: 3 Marzo 2019].

Mora Martín, A (marzo 2015). "Estudio para la reutilización de baterías de coches eléctricos en segunda vida para nuevas funciones". Trabajo Final de Carrera. Ingeniería Industrial. Escola Superior D'Ingenieria Industrial de Catalunya. <<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/77961>> [Consulta: 25 Noviembre 2018].

Noya, C. (2016). "SEAT presenta el Proyecto SUNBATT. Segunda vida a las baterías de los coches eléctricos" en el Diario renovables. <https://www.diariorenovables.com/2016/09/seat-presenta-el-proyecto-sunbatt.html> [Consulta: 5 Diciembre 2018].

Palomar Mayén, M.C. (2017). "Análisis de la evolución y el impacto de los vehículos eléctricos en la economía española". (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. < <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/66163>> [Consulta: 25 marzo 2019].

Podias, A., Pfrang, A., Di Persio, F., Kriston, A., Bobba, S., Mathieux, F., ... & Boon-Brett, L. (2018). "Sustainability assessment of second use applications of automotive batteries: Ageing of Li-ion battery cells in automotive and grid-scale applications". World Electric Vehicle Journal, 9(2), 24. < <https://www.mdpi.com/2032-6653/9/2/24>>

Red Eléctrica España. (2017). "Energías renovables en el sistema eléctrico español 2016". *Era solar: Energías renovables*, (200), 32-39. <https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2017.pdf> [Consulta: 12 mayo 2018].

Stoppato, A., & Benato, A. (2017). "The importance of energy storage. Energy Storage, 4, 1." <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789813208964_0001> [Consulta: 10 enero 2019].

Seba, T (2014) "Clean disruption of energy and transportation"

Uddin, M., Romlie, M. F., Abdullah, M. F., Halim, S. A., & Kwang, T. C. (2018). "A review on peak load shaving strategies". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3323-3332.<
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117314272>> [Consulta: 15 mayo 2018].

Velez, A. (2017). "Más de 700 ayuntamientos contratan electricidad 100% renovable para dar servicios a 12 millones de españoles" en el diario.es
https://www.eldiario.es/economia/ayuntamientos-espanoles-contratar-electricidad-renovable_0_601240670.html [Consulta: 10 Abril 2019].

Weinmann, O. (2015). "How To Start An Open Market For Second Life Batteries In Order To Lower The Costs Of Energy Storage Systems". Energy Storage World Forum. Vattenfall Europe Innovation GmbH."
[http://files.energystorageforum.com/ESWFRome2015Day1/Day%201%20-%20Oliver%20Weinmann,%20VATTENFALL%20GERMANY\).pdf](http://files.energystorageforum.com/ESWFRome2015Day1/Day%201%20-%20Oliver%20Weinmann,%20VATTENFALL%20GERMANY).pdf)

Willian Chueh,(2018) "The next big opportunities in energy storage" <
<https://www.youtube.com/watch?v= LAuDTNW5dw>> [Consulta: 15 diciembre 2018].