

**CONAMA 2022**

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

# DIGICIRCULAR-BATT

Contenerización inteligente, análisis digital y tratamiento robotizado de baterías de vehículo eléctrico para optimizar nuevos procesos de manipulación y transporte para gestión de segunda vida y revalorización





**Autor Principal:** Andrés Lluna Arriaga – Instituto Tecnológico de la Energía (ITE)

**Otros autores:** Enrique Bayonne Sopo - Clúster de la Energía de la Comunidad Valenciana (CECV); Isabel Ferrer Galiana (ITE); Manuel Campillo Sánchez (ITE); José Luis Girón Vázquez – Enusa Industria Avanzadas (ENUSA); Javier Ariza Zapero (ENUSA); Adrián Ripoll Moncho – Nuevas Técnicas de Automatización (NUTAI); Enrique Vacas Chilet (NUTAI); Alberto Rodríguez Galnares - Ingeniería y Desarrollos Renovables (INDEREN); Ricardo Romaguera Faura (INDEREN);

## ÍNDICE

1. Introducción y contextualización del proyecto
2. Sistema DIGICIRCULAR-BATT
3. Resultados obtenidos
4. Agradecimientos
5. Bibliografía

## INTRODUCCIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROYECTO

### Contexto actual

De un tiempo a esta parte, las evidencias climáticas y económicas [1-3] que definen la realidad actual vienen a demostrar que el modelo energético y productivo vigente en el panorama internacional, constituye un sistema obsoleto y alejado de las necesidades futuras a corto, medio y largo plazo, ya que basa su crecimiento en procesos lineales de producción, consumo y desecho de residuos.

Las consecuencias del Cambio Climático [4] obligan a realizar una transición hacia sistemas no emisores de Gases de Efecto Invernadero (GEIs), siendo más necesario el cambio en los sectores eléctrico y de transporte por su nivel de influencia en estos [5].

En primer lugar, la integración de las Energías Renovables en el mix de generación eléctrica nacional e internacional constituye tanto una solución como un reto tanto desde la perspectiva tecnológica y de gestión; Por otra parte, la movilidad eléctrica se percibe como principal alternativa a los clásicos motores de combustión interna bajo el empleo de baterías de ion litio como sistema de propulsión.

A mayores, la gestión de los residuos debe adoptar la filosofía de la Economía Circular y considerarlos materias primas para nuevos procesos, aportándoles valor y reintroduciéndolos en el sistema económico y productivo.

La suma de retos tecnológicos y la necesidad de evitar pérdidas de oportunidad por la mala gestión de los residuos, ha obligado a la Unión Europea y a sus Estados Miembros a realizar un ejercicio de autodiagnóstico y proponer, en consecuencia, planes estratégicos que afiancen la posición de competitividad de Europa en el futuro más próximo.

De entre los planes propuestos, sin ser exhaustivos, los más destacables son el "Plan Estratégico en Tecnologías Energéticas (SET Plan)" [6], los Mecanismos de Recuperación y Resiliencia (MRR) [7] y el recientemente aprobado REPowerEU [8] en el plano internacional, y el Plan Nacional

Integrado de Energía y Clima (PNIEC) [9] y Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) [10] a nivel nacional, así como la Estrategia Valenciana de Cambio Climático y Energía [11] en particular.

La totalidad de los planes coinciden en que el nuevo proceso productivo ha de basarse en sistemas sostenibles y digitales, donde la Economía Circular y las herramientas facilitadoras asistan a la adaptación de los mercados actuales, y a la creación de nuevos productos, servicios y modelos de negocio.

En este contexto, la investigación industrial y la I+D en general ayudan a generar ventajas competitivas, que basadas en herramientas digitales, pueden reportar soluciones integradoras y beneficios transversales a distintos sectores, siendo éste el motivo de desarrollo del presente proyecto.

## Objetivos del proyecto

En este contexto, el proyecto DIGICIRCULAR-BATT tiene como objetivo la investigación industrial en materia de gestión de baterías de vehículo eléctrico para la definición de un proceso que integre estos residuos en otros usos energéticos, minimizando su envío a vertedero y dotando de circularidad a estos productos, combinando así dos aspectos de máxima actualidad en el sector energético como son la gestión energética inteligente y el uso eficiente de recursos. La iniciativa se enmarca en la convocatoria del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo destinada a Agrupaciones Empresariales Innovadoras con el objetivo de mejorar la competitividad de las pymes en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, número de expediente AEI-010500-2021b-205. Participando en cooperación:

- El Clúster de Energía de la Comunidad Valenciana (CECV) que se ha encargado de la coordinación y gestión del proyecto.
- Ingeniería y Desarrollos Renovables (Inderen), en colaboración con Enusa, ha investigado y sintetizado todos los requisitos necesarios, según normativa nacional e internacional, para el almacenaje y transporte seguro e inteligente de baterías de vehículo eléctrico.
- Enusa Industrias Avanzadas (Enusa) ha sido responsable de la identificación de los agentes clave en el mercado de gestión y de la propuesta para la configuración del nuevo mercado de gestión.
- El Instituto Tecnológico de la Energía (ITE) que se ha centrado en la investigación y diseño de un método automatizado de diagnóstico de módulos de baterías prismáticas, para la determinación óptima de uso y reutilización sobre un conjunto de segundas vidas posibles.
- Nuevas Técnicas de Automatización (Nutai) que ha participado en la concepción y diseño de un proceso automatizado y digitalizado de tratamiento de baterías usadas de vehículo eléctrico, así como en su industrialización, considerando los desarrollos del resto de socios.

En conjunto, el nuevo proceso industrial buscado pretende conseguir la óptima recogida, manipulación, gestión, análisis, cribado y reacondicionamiento de baterías de VE usadas para su

composición viable como activos energéticos de almacenamiento de segundo uso. Y respecto a esta conceptualización de proceso se diseñan e integran sistemas automáticos, robóticos y digitales. De este modo, se presenta una solución integral y coordinada, con carácter de proceso industrial manufacturero y altas connotaciones en cuanto a su digitalización y robotización.

Esta investigación industrial está alineada directamente con estrategias tan importantes como el almacenamiento energético, las energías renovables, la economía circular, la transición energética, la movilidad sostenible, así como el ahorro y eficiencia energética, una eficiencia que también ayudará a maximizar la competitividad de las empresas.

El proyecto se inició en octubre de 2021 y finalizó en agosto de 2022.

## SISTEMA DIGICIRCULAR-BATT

En el proyecto DIGICIRCULAR-BATT se plantea la investigación y el diseño de un sistema global de gestión y revalorización de baterías usadas de vehículo eléctrico desgranado en varios procesos principales:

### Revalorización de baterías de vehículo eléctrico. Agentes intervinientes, responsabilidades y puntos tecnológicos de mejora

La primera parte de la investigación industrial llevada a cabo consiste en la identificación del mercado actual de gestión de baterías de vehículo eléctrico. Para ello, el equipo investigador propuso las siguientes tareas a desarrollar:

- Identificar los tratamientos y el nivel de gestión que se realiza a estos residuos hoy en día.
- Identificar los agentes clave y establecer las relaciones que desarrollan entre los mismos.
- Detectar las ineficiencias del sistema proponiendo nuevas figuras y relaciones que aporten valor añadido para la recuperación de equipos.

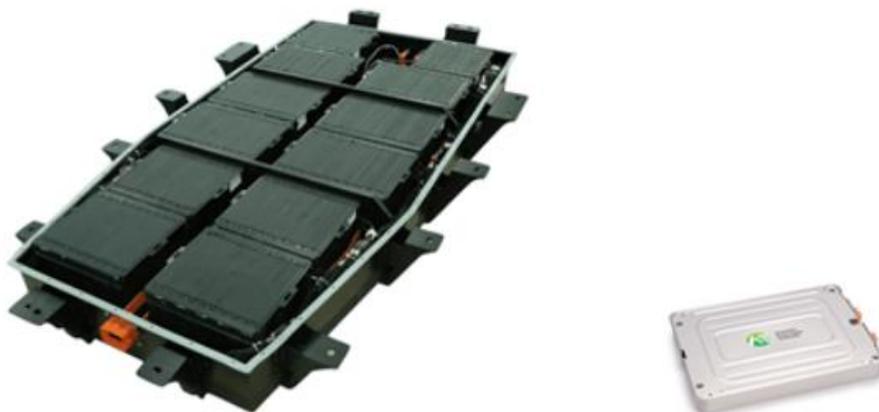
Para la completitud de estas tareas, el equipo de trabajo ha diseñado una metodología adecuada para el éxito técnico de los objetivos propuestos, que comprenden la revisión detallada del marco regulador asociado a la gestión de residuos de pilas y acumuladores, la revisión de los registros de productores y cifras de mercado, la inspección de las principales técnicas de caracterización (automatizada o manual), y la celebración de reuniones de contacto y consultas de interés para conocer, de la mano de agentes intervinientes, las circunstancias que caracterizan el mercado de gestión actual.

Por la naturaleza de esta sección, el resto de los procesos de investigación considerados en este proyecto beben de los resultados obtenidos en esta tarea, retroalimentando los resultados posteriores para ajustar las propuestas a las necesidades reales del futuro mercado de gestión.

## Proceso de contenerización segura e inteligente

La evaluación de la legislación vigente se centra en definir los parámetros seguros de transporte y almacenaje de estos tipos de residuos / productos como son las baterías del vehículo eléctrico. Así, independientemente de si están aparentemente deteriorados o no, su transporte seguro en cajas homologadas solo se garantiza en casos de pruebas electrónicas de degradación en laboratorio o con equipos certificados y personal técnico acreditado con un protocolo establecido.

Otro factor a tener en cuenta es el tipo de batería que es necesario transportar y su situación respecto al producto que la equipa. Por lo que a la hora de dar un servicio real para los talleres que reciben un coche eléctrico siniestrado y que desmontan una batería para enviarla a un centro de caracterización, nos debemos centrar en el supuesto más restrictivo de seguridad y es que el pack de batería o el módulo de batería puede arder en su almacenaje o transporte.



**Figura 1.** Pack de baterías de vehículo eléctrico 72V 100Ah LiFePO4 y módulo de batería de modelo Nissan Leaf. Fuentes: Fabricante baterías VE (izquierda), Nissan (derecha)

Por ello, en el marco del proyecto, se ha realizado un estudio de la situación actual en la gestión de transporte de baterías, se han identificado factores excluyentes y se obtiene un conocimiento que se sintetiza en la investigación y diseño de un embalaje seguro e innovador para el transporte y almacenaje de packs y módulos de batería de vehículos eléctricos que pueda ser empleado dentro de un marco normativo nacional e internacional para el transporte y almacenamiento con la mayor seguridad posible de estos bienes energéticos ya utilizados. Y que, además, integre ciertas funcionalidades de percepción de cumplimiento de los niveles de seguridad requeridos a través de la implementación de tecnologías de automatización del sensorizado de parámetros de importancia y sus comunicaciones.

## Proceso de diagnóstico de módulos de baterías de VE

Para alcanzar una correcta reutilización de las baterías del vehículo eléctrico usadas se ha de avanzar en los métodos, y su eficiencia, de testeo y análisis de las mismas. Por ello, en el

proyecto, se ha profundizado en la investigación, diseño y caracterización de una sistemática de triaje de baterías usadas de vehículo eléctrico con el cual determinar su estado de salud y enlazarlo con la creación de nuevos activos energéticos de almacenamiento revalorizados para su segundo uso. Para ello se ha diseñado y caracterizado un método multi etapa de alta eficacia que permite testear módulos de baterías de unos rangos funcionales determinados con el que puede analizarse si son óptimos para una serie de segundas vidas predeterminadas como de interés.

Para ello se ha tenido en cuenta, en un primer momento, un aspecto considerado como crítico que es el tipo de baterías y módulos a analizar según diferentes criterios, como, por ejemplo: su composición química de componentes, tipología de baterías (cilíndrica, pouch, prismática), sus configuraciones y diferentes operativas y prestaciones. Según esta tipología, y un rango de funcionamiento específico, se define el sistema de diagnóstico para estimar correctamente su estado de salud y contar con el equipamiento específico para trabajar con ellas, y hacer este procedimiento viable en recursos.

Además, para la selección de la de la tipología, se ha procedido a recopilar la información sobre los modelos presentes en el mercado y el formato de celda que usa cada uno, puesto que una mayor presencia en el mercado actual supone una mayor cantidad de baterías para retirar en los próximos años.

**Cuadro 1.** Principales modelos de vehículo eléctrico vendidos en España en el período 2011-2020 y tipo de celdas que incluyen

Marca	Unidades vendidas	% Ventas 2011-2020	% Ventas acumulado	Tipo celdas
Renault	9224	20,6%	20,6%	Prismáticas
Nissan	7217	16,1%	36,6%	Pouch
Smart	5132	11,4%	48,1%	Prismáticas
Volkswagen	3681	8,2%	56,3%	Prismáticas
Hyundai	3364	7,5%	63,8%	Pouch
BMW	3315	7,4%	71,1%	Prismáticas
Tesla	3718	8,3%	79,4%	Cilíndricas
Peugeot	2171	4,8%	84,3%	Prismáticas
KIA	1171	2,6%	86,9%	Pouch
Citroën	982	2,2%	89,1%	Prismáticas
Seat	883	2,0%	91,0%	Prismáticas

Fuente: Instituto Tecnológico de la Energía (ITE). DIGICIRCULAR-BATT

Otros aspectos de importancia en los que se ha investigado son los modelos de salud, métodos e indicadores de estado actuales y de análisis post – mortem, así como exhaustivamente las diferentes aplicaciones de segunda vida que se les puede dar a las baterías, sus configuraciones y rangos de funcionamiento.

Fruto de esta investigación, desarrollo y experimentación se ha obtenido un método óptimo de diagnóstico con criterio empleados, que cada uno de ellos definen una serie de procedimientos de testeo a implementar, y en su conjunto conforman la metodología propia y original planteada que contiene las siguientes etapas:

- Criba por integridad estructural.
- Criba por descarga profunda.
- Criba por uso en automoción.
- Criba por configuración mínima de aplicación.
- Criba por aplicación de segundo uso óptima.
- Criba por Índice de Modelo de Salud.

El método de diagnóstico también incluye un método de verificación y mejora de análisis post mortem de algunas de los módulos de baterías que hayan resultado no aptas. Para una profunda comprensión del proceso de envejecimiento de una batería, es importante diseñar un procedimiento específico que incluya la apertura, el desmontaje, el procesamiento de muestras y el análisis de la celda para evitar daños, contaminación y modificación de los componentes de la celda durante el desensamble y así producir datos interpretables. Este análisis que implica la apertura y estudio de los fenómenos que ocurren en cada uno de sus componentes recibe el nombre de análisis post-mortem.

En este sentido, se ha trabajado ampliamente en cada uno de los principales fallos que puede tener una batería y en las tecnologías de análisis a nivel post – mortem, algunas de estas técnicas pueden verse recopiladas en algunos estudios actuales [17]. Haciendo una revisión del estado de la tecnología aplicable para definir un caso de uso que pueda emplearse como una etapa última, de verificación y mejora del método de diagnóstico propuesto.

También se ha trabajado en la contribución de integración de este conocimiento en mecánicas de sistemas de gestión y control automático e información digitales de procesos industriales. Así como en la posibilidad de aplicación de técnicas de control inteligente y tratamiento de datos para mejorar los procedimientos de analítica.

## Proceso de robotización y digitalización

Considerando la gestión y transporte y método de diagnóstico concebidos previamente, y teniendo en cuenta la casuística e información actuales de las condiciones de desgaste de las baterías de vehículo eléctrico, se ha planteado un proceso automatizado de tratamiento de baterías.

Esta investigación industrial ha consistido en un primer enfoque basado en la recopilación de información técnica y científica acerca de los procesos de degradación de baterías, así como en el llamado pasaporte de baterías, que pretende enlazar la prioridad europea de digitalización con el creciente uso de las baterías de vehículo eléctrico, resultando en un estándar de información asociado a cada batería. La información más relevante para el proceso industrial se ha incluido dentro de una codificación que permitirá añadir a las baterías y módulos procesados dicha información.

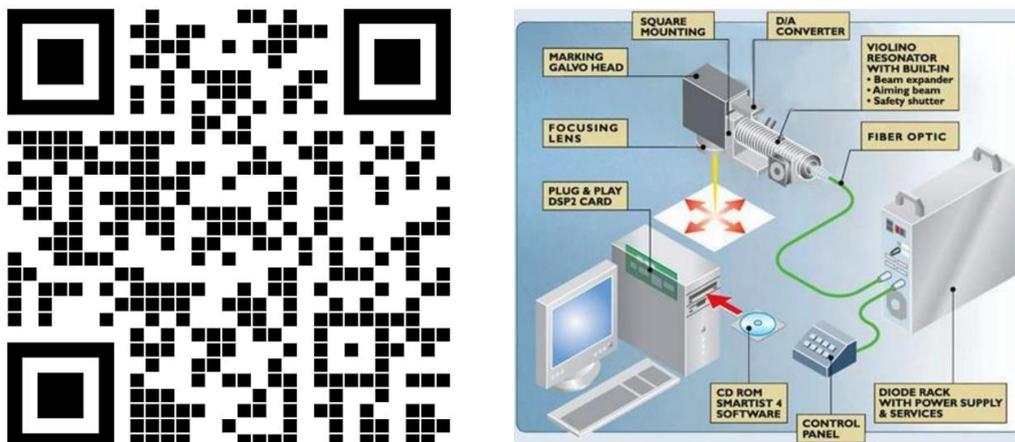


Figura 2. Codificación propuesta y sistema de trazabilidad. Fuente: NUTAI. DIGICIRCULAR-BATT

Además, ha resultado necesario concebir un layout preliminar que supone una estimación en materia de espacio de los procesos más relevantes. Los manipuladores y robots colaborativos seleccionados para el correcto tratamiento de las baterías, así como las zonas de almacenamiento, han sido dimensionados de acuerdo a los diseños de contenedores de la fase previa del proyecto, pero también se investiga sobre la flexibilidad de los diseños para dar cabida a instalaciones con mayor o menor capacidad de procesamiento de baterías.

En cuanto a los procesos de caracterización, se han seleccionado fuentes de corriente regenerativas y sistemas de control capaces de realizar ensayos eléctricos a las baterías tratadas, con lo que se estima su grado de desgaste. Además, estos mismos ensayos se aplican a los módulos, permitiendo así una criba para clasificar los mismos según su segunda vida óptima, ya que según su aplicación se requiere una mayor o menos exigencia.

Se ha diseñado además un sistema completo de trazabilidad en planta, con puntos de marcado y lectura, que permiten tener un seguimiento riguroso y digitalizado de las materias que se van produciendo a lo largo del proceso, según se caracteriza y desensambla la batería.

Por último, ha resultado de interés investigar acerca del carácter temporal de las operaciones del proceso en su conjunto. De este modo, se identifican cuellos de botella en el proceso y se puede dimensionar la flota de AGV utilizada para el transporte intra logístico en planta del proceso.

## RESULTADOS OBTENIDOS

El equipo de trabajo ha desarrollado el proyecto con el objetivo de adquirir capacidades para el desarrollo de futuros proyectos demostrativos, ampliando sus conocimientos del mercado y del estado del arte, e investigando para la mejora en la gestión y el aumento en el valor añadido de los residuos.

Respecto al análisis de los agentes intervinientes, responsabilidades y puntos de mejora, el equipo de trabajo de ENUSA ha identificado que las características cuantitativas que definen la posibilidad de recuperar el residuo son, de acuerdo a la literatura[12-15], el momento de fabricación del equipo, la temperatura a la que está expuesta la batería y el estado de carga que

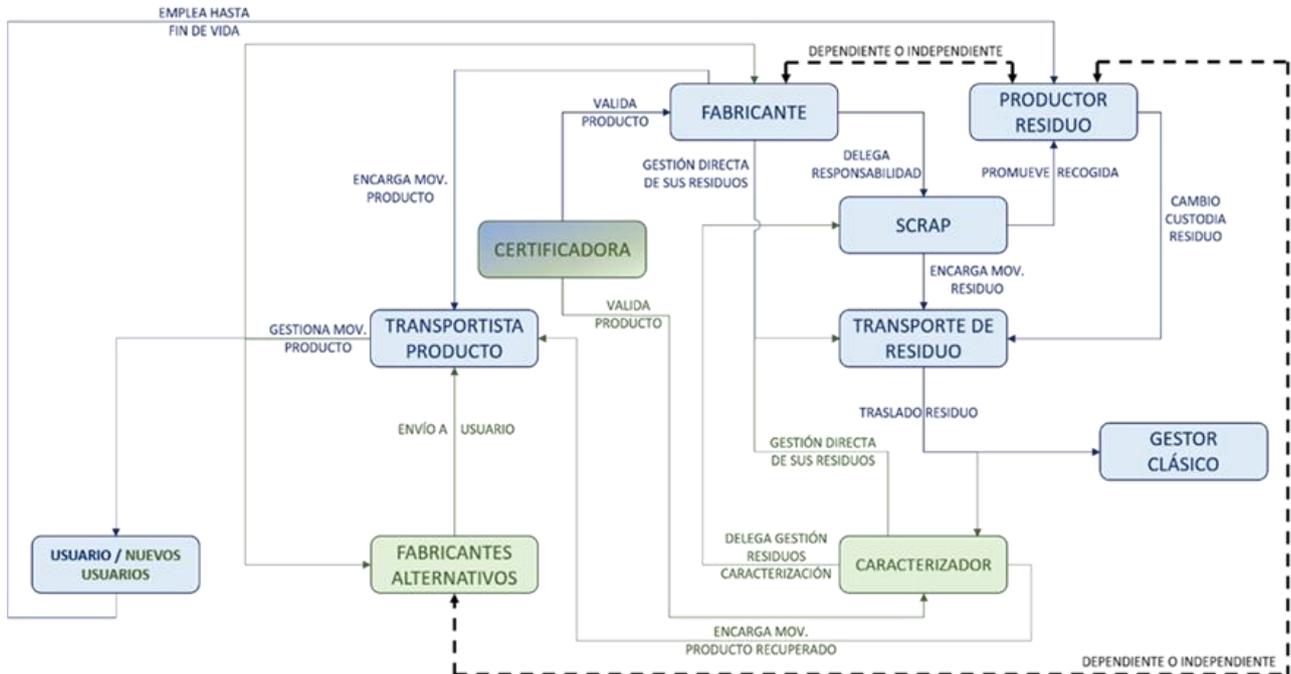
presente (variables que afectan al envejecimiento natural de la batería), y la capacidad de acumulación (Ah), la corriente entregada en funcionamiento y la variación de capacidad de carga respecto a los datos de fábrica (variables relacionadas con el envejecimiento por uso).

Habitualmente los fabricantes reemplazan las baterías de los vehículos eléctricos cuando estos reducen su capacidad nominal hasta un 80%, por lo que, en ausencia de defectos físicos o riesgos de descomposición química, el equipo cuenta con capacidades para poder recuperarse en otro tipo de usos.

En cuanto a los tratamientos a los que, a día de hoy, se someten estos residuos, la ronda de contactos realizada y la inspección de las bases de datos de gestión del Registro Nacional de pilas y acumuladores del Ministerio de Industria y Turismo [16], se identifica que el tratamiento mayoritario de los residuos es la recuperación de materiales (tratamiento R1213 Proceso de obtención de fracciones valorizables de los RAEE, destinados al reciclado o valorización). Se gestionan bajo el LER 16 06 07\*.

Sin embargo, el tratamiento de recuperación llevado a cabo en España supone una pérdida de valor para el sector, ya que el tratamiento de recuperación se debe realizar en instalaciones ubicadas en otros países de la Unión Europea ante la falta de instalaciones en territorio nacional.

En cualquier caso, el análisis del mercado muestra un crecimiento exponencial de las unidades puestas en el mercado, lo que argumenta un futuro crecimiento exponencial de la demanda de gestión de estos equipos.



**Figura 3.** Mercado actual (azul) y propuesta de gestión de baterías de vehículo eléctrico para la recuperación de baterías en segunda vida. (Enusa, proyecto DIGICIRCULAR-BATT)

En cuanto a los agentes intervinientes del mercado y las propuestas de mejora, reflejados en la Figura 3, el equipo de trabajo ha logrado identificar con éxito los perfiles de los agentes clave y las relaciones entre los mismos, siendo estas:

- **FABRICANTE:** entidad que emplaza el acumulador en el mercado. De acuerdo a la normativa vigente (Ley 7/2022), es el encargado y último responsable de la gestión de esta batería. Posee la alternativa de delegar sus funciones de responsabilidad en una asociación mayor, que en su nombre gestione este tipo de residuos
- **PRODUCTOR DEL RESIDUO:** hace referencia a aquel que extrae la batería del vehículo eléctrico, convirtiendo el equipo en un residuo (considerándose, por tanto, que ha alcanzado el final de su vida útil primaria).
- **Sociedad Colectiva de Responsabilidad Ampliada del Productor (SCRAP):** este sistema actúa en representación de los productores y ejercen las funciones de recogida y gestión de baterías (en muchas ocasiones sin entrar en el detalle técnico de la gestión, actuando como interlocutores). Certifica que se da el tratamiento adecuado a los residuos de baterías, en nombre de los productores adscritos a las mismas.
- **TRANSPORTISTA DE RESIDUO:** agente encargado del traslado de los residuos a puntos de caracterización o tratamiento. El embalaje de los residuos es fundamental conforme a la seguridad e integridad del sistema, por lo que adapta el residuo tal que su traslado se realice en las máximas condiciones de seguridad y estanqueidad.
- **GESTOR CLÁSICO:** entidad que efectúa tratamiento al residuo conforme a lo establecido en la normativa vigente. En la actualidad, como se viene avanzando en los resultados de la investigación, el tratamiento convencional es el triturado para la recuperación de materiales.
- **TRANSPORTISTA DEL PRODUCTO:** realiza una función análoga al transportista del residuo; las funciones que le competen son las del desplazamiento de los equipos de acumulación a los puntos de consumo.
- **USUARIO:** el usuario constituye la figura cuyas necesidades se cubren mediante la disposición de los equipos de acumulación.
- **CERTIFICADOR DE SEGURIDAD Y ESTANQUEIDAD:** este agente se encarga de realizar los ensayos de seguridad que requiere la normativa vigente cuando se pone un nuevo acumulador en el mercado. En base a estos ensayos se puede demostrar con trazabilidad la estabilidad de los productos recuperados, apoyando el proceso de fin de condición de residuo.
- **CARACTERIZADOR:** este nuevo agente realizará el primer proceso de recuperación de baterías de vehículo eléctrico, determinando el estado de salud de los equipos y recuperando los componentes útiles de los residuos. Hace referencia a la figura encargada de la preparación para la reutilización recogida en la Ley 7/2022 (tratamiento R14).
- **FABRICANTES ALTERNATIVOS / USUARIOS ALTERNATIVOS:** conforme el nuevo producto recuperado entra en el mercado, nuevos fabricantes y usuarios surgen para ampliar el espectro de usos de los materiales recuperados. Mediante estas figuras, el valor añadido al proceso de recuperación de componentes en baterías y acumuladores de vehículo eléctrico se transforma en valor económico.

En cuanto a la contenerización segura e inteligente, aspecto trabajado por INDEREN, como se ha introducido: encontrándonos en la necesidad de transporte de packs de batería y módulos no testados, o comprometidos, hemos visto relevante el desarrollo de un diseño de prototipo acorde a la legislación vigente y que permita su transporte y almacenaje seguro, por operarios cualificados, situándonos en este marco de referencia:

- Dentro de la normativa ADR SV376 P911 grupos de embalaje 2 y 3 de la ley.
- Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.
- Boletín Oficial del Estado número 88 de martes 13 de abril de 2021. Texto enmendado de los Anejos A y B del Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2021) con las Enmiendas adoptadas durante las sesiones 105.ª, 106.ª y 107.ª del Grupo de trabajo de transportes de mercancías peligrosas de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) --- BOE-A-2021-5779.

Por lo que transportamos una carga eléctrica, auto combustible, de unos 800kg de peso, que emite gases perjudiciales para el organismo y que es contaminante en el medio acuático. Por ello se ha estudiado y diseñado un embalaje dentro de un marco normativo nacional e internacional para su transporte y almacenamiento con la mayor seguridad posible. En este sentido, la investigación previa nos ha orientado sobre que requerimientos de diseño debemos exigir a los prototipos:

- ADR SV376 P911 grupo de embalaje 3.
- Debe contener un volumen mínimo de 3000 x 1700 x 500 mm.
- Debe soportar un peso máximo de 800 Kg.
- El peso máximo del conjunto no debe no superar los 1500 kg y debe permitir el izado por carretilla elevadora tipo fenwick.
- El interior debe ser estanco en líquidos y gases.
- El interior debe ser resistente a acido.
- No debe permitir la escapatoria de gases.
- El interior debe ser ignifugo.
- Su carga debe estar aislada a la conducción eléctrica.
- Su carga debe estar fijada en todo momento.
- NO se debe formar llama fuera del embalaje.
- Se mantenga integridad estructural del conjunto en condición de impacto.

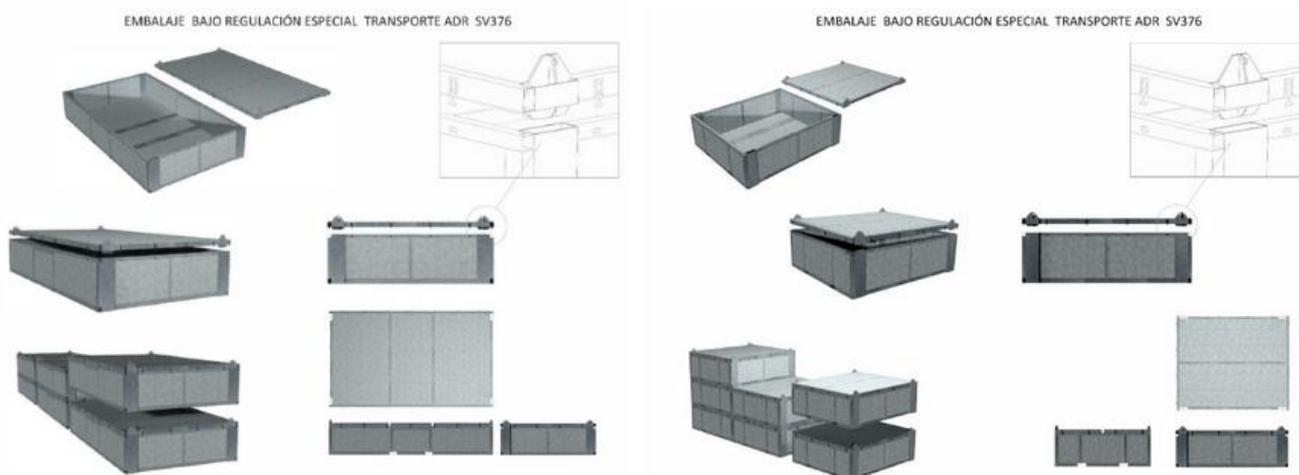
Ante todos estos factores limitantes, existen métodos y maneras de proceder que permiten contener y controlar el estado de la carga en todo momento. Por lo que buscamos un embalaje, con tapa estanca, resistente a los elementos, fuego, electricidad y acido. Debe ser resistente y auto portante para unos 1500 Kg. Así, el diseño de este tipo de producto recoge conceptos de diferentes embalajes que existen, así como la posibilidad de izado con carretilla elevadora o puente grúa, y con dimensiones para el transporte por carretera con tráiler.

Para alcanzar las garantías de fuego, aislamiento e inmovilización de la carga, usaremos un concepto de relleno perlítico, el cual está diseñado para extinguir este tipo de llama, es aislante, absorbente, y al rellenar todos los huecos entre la carga y el embalaje, inmovilizante de la misma.

Es la combinación entre un embalaje pesado, robusto, autoportante pensado en su izado, y un relleno de material especial, lo que nos permite garantizar unas condiciones seguras. Llegando a las conclusiones de prestaciones y diseño de fabricación de un tipo de embalaje TIPO A para packs de batería y TIPO B para módulos de batería de vehículo eléctrico. A continuación, se aprecian detalles de ello:



**Figura 4.** Propuesta de diseño de embalaje para Módulos de baterías vehículo eléctrico. (INDEREN, proyecto DIGICIRCULAR-BATT)

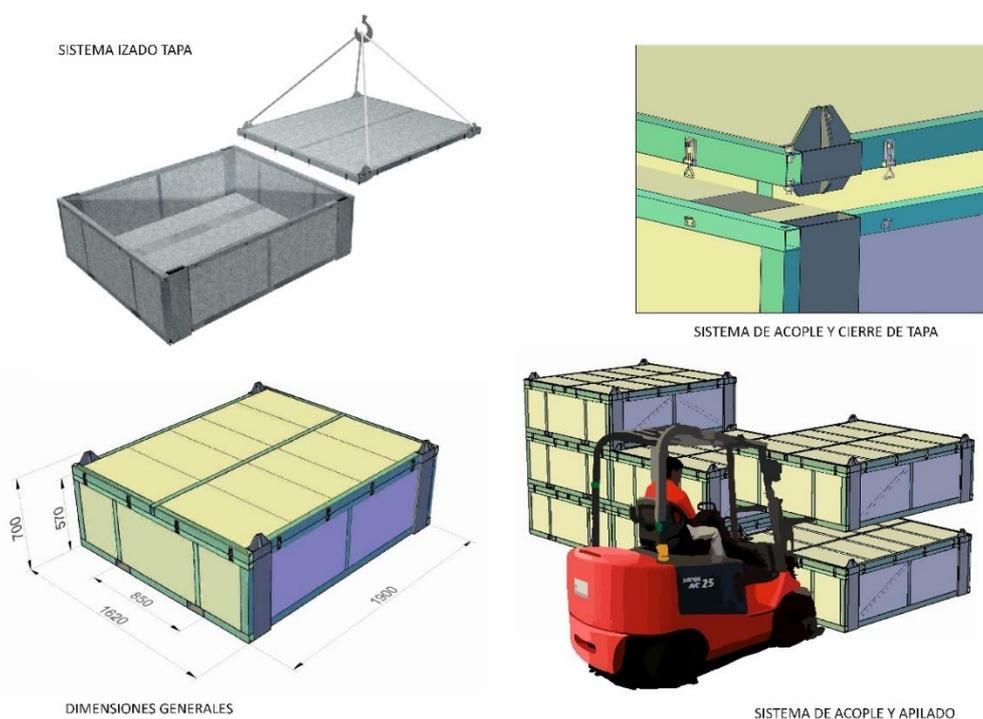


**Figura 5.** Plano de conjunto Embalaje TIPO A Pack de batería y TIPO B Módulos de batería (INDEREN, proyecto DIGICIRCULAR-BATT)

Sin embargo, no son ideales si no podemos avisar con tiempo a los operarios que manipulan la carga, que algo puede estar fallando, este tiempo es de vital importancia para llevar el camión a un sitio seguro antes de un posible inicio de accidente, si la carga se encuentra fuera de parámetros permitidos. Por ello, con el diseño realizado, se pueden detectar gases y temperaturas fuera de parámetros correctos y seguros, en ese caso podremos actuar según procedimientos adecuados.

De este modo, como hemos comentado, el producto puede tener un valor añadido en su enfoque hacia la seguridad, dotando al embalaje de los instrumentos de medida y sensores, descritos por la empresa NUTAI en su estudio de parámetros de control de la seguridad y su automatización. Permitiendo posicionar los dispositivos en las paredes del embalaje; además tendrá una caja de protección con comunicación hacia el interior, para canalizar los gases hacia los sensores.

Con todo el trabajo realizado se ha obtenido un embalaje con apariencia atractiva y plenamente funcional, con un embalaje y contenido asegurado, monitorizado y perfectamente identificado, y trazado, dentro del sistema de reutilización y caracterización diseñado.



**Figura 6.** Diseño final de embalaje, sistemas de izado y acople. (INDEREN, proyecto DIGICIRCULAR-BATT)

En cuanto al método de diagnóstico avanzado, abordado por ITE, se ha obtenido el modelo integral de testeo para módulos de baterías de una tipología y rango específico considerado como de mayor interés por diversos factores. Además del diseño a alto nivel de su automatización y digitalización, localizando, en este sentido, posibles incertidumbres de resolución tecnológica en algunos de los campos que deben abarcarse. A continuación, se muestra la estructura básica del método de diagnóstico desarrollado.



Entre los resultados más relevantes, se encuentra una propuesta de codificación data matrix ubicada en los contenedores de transporte donde se encuentra la siguiente información:

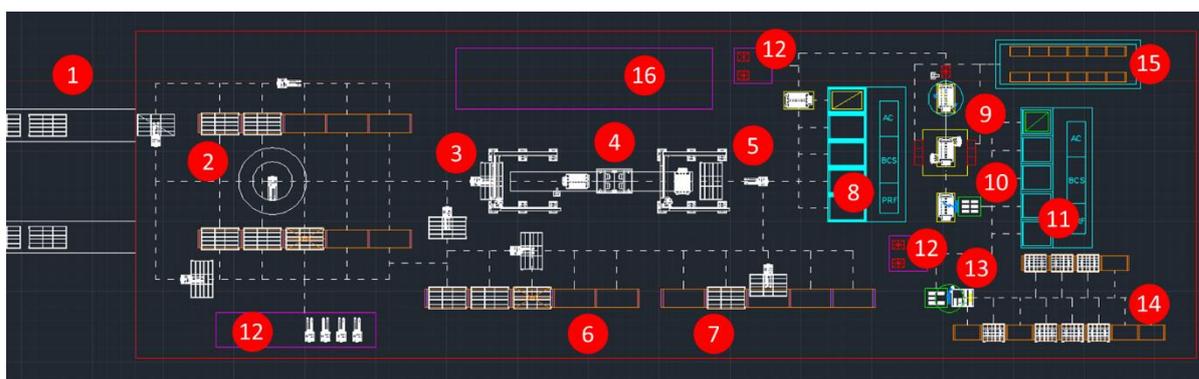
**Cuadro 2.** Información codificada en el contenedor.

Información	Longitud	Ejemplo
Estándar empleado	5 caracteres	DIGBT
Identificador del contenedor	8 caracteres	12345678
Fabricante del contenedor	9 caracteres (CIF)	B98140239 (CIF INDEREN)
Fecha de fabricación	6 números (día, mes, año)	01012022
Tipo de contenedor	2 caracteres	A1 (contenedor baterías estándar)
Identificador de batería	9 caracteres	123456789
Último gestor	9 caracteres (CIF)	B96492442 (CIF NUTAI)

Fuente: NUTAI, proyecto DIGICIRCULAR-BATT.

Dicha información se basa a su vez en el llamado pasaporte de batería (Battery passport), que es un tema de investigación a nivel europeo para establecer un estándar de información común a todas las baterías, con información de los materiales, procesos y gestores de la batería. Esta codificación propuesta contendría parte de dicha información, la cual sería accesible para los usuarios a través del identificador de la batería.

El siguiente paso fue plantear una propuesta de layout, o planta industrial, en la que se realizarían todos los procesos de manipulación y caracterización de baterías:



**Figura 8.** Propuesta de layout de proceso automatizado de gestión de baterías usadas de vehículo eléctrico. (NUTAI, proyecto DIGICIRCULAR-BATT)

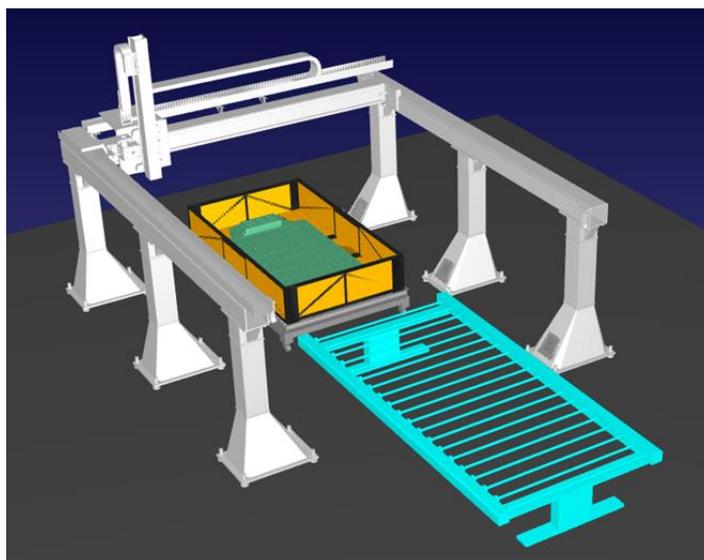
En este layout tiene cabida un lineal automatizado de manipulación, caracterización y desensamblado de baterías de vehículo eléctrico. Los procesos numerados en la imagen son los siguientes:

**Cuadro 3.** Descripción de los procesos de planta de gestión de baterías de VE

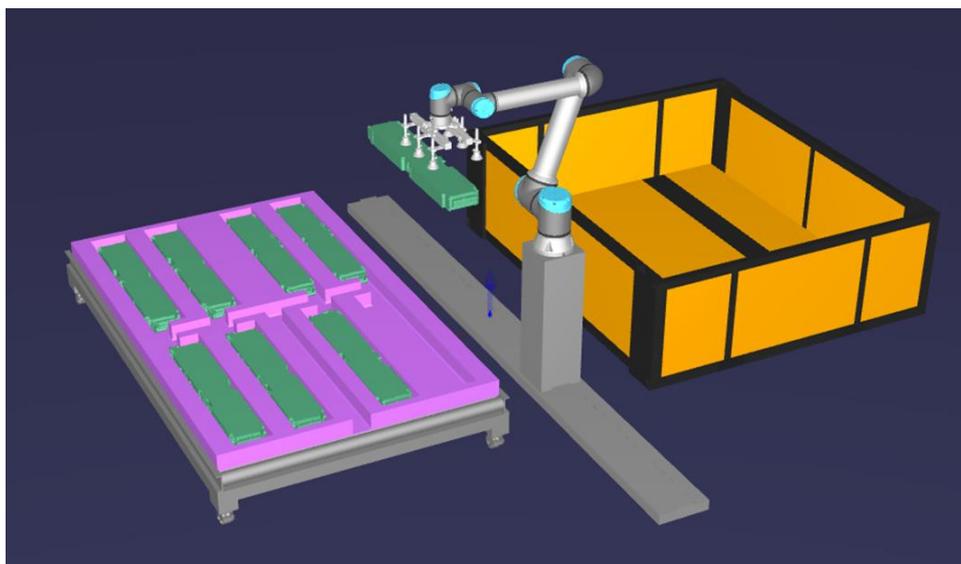
Número de Proceso	Descripción del Proceso
1	Descarga y llegada desde camiones de transporte.
2	Almacén automatizado de llegada.
3	Proceso de extracción de batería mediante robot porticado.
4	Estación de caracterización visual.
5	Proceso de recontenerización o posicionamiento en bandeja.
6	Almacenamiento de contenedores vacíos.
7	Almacenamiento de baterías sin segundo uso.
8	Zona de caracterización y manipulación eléctrica de baterías.
9	Zona de desensamblado automatizado mediante cobots.
10	Acondicionamiento y separación robotizada de módulos.
11	Zona de caracterización y manipulación eléctrica de módulos.
12	Estaciones de recarga de AGV.
13	Almacenamiento robotizado de módulos en contenedores.
14	Almacén de módulos contenerizados.
15	Almacén de material eléctrico.
16	Zona de control.

Fuente: NUTAI, proyecto DIGICIRCULAR BATT

Estos procesos robotizados de forma integrada y coordinada son resultado de la investigación llevada a cabo, y surgen tras considerar los modelos robóticos más avanzados y que presentan buenos precedentes de implementación en instalaciones reales del sector de la automoción:



**Figura 9.** Representación 3D del proceso robotizado de manipulación de baterías. (NUTAI, proyecto DIGICIRCULAR-BATT)



**Figura 10.** Representación 3D del proceso robotizado de manipulación de módulos. (NUTAI, proyecto DIGICIRCULAR-BATT)

Por último, para profundizar sobre la naturaleza de los procesos diseñados, se ha planteado una arquitectura de control integrada que gestione el avance de las baterías y módulos a lo largo del lineal automático considerado, y se ha realizado un análisis de flujo en planta, dimensionando las zonas de almacenamiento, caracterización, y número de AGV necesarios para un comportamiento fluido del sistema. El disponer de este modelo de simulación ha supuesto una investigación en un sentido temporal de los procesos y evaluar de este modo el consumo y necesidad de los recursos requeridos de cara a una industrialización.

## AGRADECIMIENTOS

La iniciativa se enmarca en la convocatoria del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo destinada a Agrupaciones Empresariales Innovadoras con el objetivo de mejorar la competitividad de las pymes en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, número de expediente AEI-010500-2021b-205. Participando en cooperación: el Clúster de Energía de la Comunidad Valenciana (CECV), las PYMES Ingeniería y Desarrollos Renovables (INDEREN), Nuevas Técnicas de Automatización (NUTAI) junto con Enusa Industrias Avanzadas (ENUSA) y el Instituto Tecnológico de la Energía (ITE).

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Allen, M.R., H. de Coninck, O.P. Dube, O. Hoegh-Guldberg, D. Jacob, K. Jiang, A. Revi, J. Rogelj, J. Roy, D. Shindell, W. Solecki, M. Taylor, P. Tschakert, H. Waisman, S. Abdul Halim, P. Antwi-Agyei, F. Aragón-Durand, M. Babiker, P. Bertoldi, M. Bindi, S. Brown, M. Buckeridge, I. Camilloni, A. Cartwright, W. Cramer, P. Dasgupta, A. Diedhiou, R. Djalante, W. Dong, K.L. Ebi, F. Engelbrecht, S. Fifita, J. Ford, P. Forster, S. Fuss, V. Ginzburg, J. Guiot, C. Handa, B. Hayward, Y. Hijioka, J.-C. Hourcade, S. Humphreys, M. Kainuma, J. Kala, M. Kanninen, H. Khesghi, S. Kobayashi, E. Kriegler, D. Ley, D. Liverman, N. Mahowald, R.

- Mechler, S. Mehrotra, Y. Mulugetta, L. Mundaca, P. Newman, C. Okereke, A. Payne, R. Perez, P.F. Pinho, A. Revokatova, K. Riahi, S. Schultz, R. Sférian, S.I. Seneviratne, L. Steg, A.G. Suarez Rodriguez, T. Sugiyama, A. Thomas, M.V. Vilariño, M. Wairiu, R. Warren, K. Zickfeld, y G. Zhou, 2018, resumen técnico. En: *Calentamiento global de 1,5 °C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, y T. Waterfield (eds.)]
- [2] Steffen, Will & Broadgate, Wendy & Deutsch, Lisa & Gaffney, Owen & Ludwig, Cornelia. (2015). *The Trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration*. *The Anthropocene Review*. 10.1177/2053019614564785.
- [3] Climate Lab Book: *Open climate science. Climate spirals*. Recurso web: <http://www.climatelab-book.ac.uk/spirals/>
- [4] Comisión Europea (2015) *Acuerdo de París*. Enlace web: [https://ec.europa.eu/clima/politicas/international/negotiations/paris\\_es](https://ec.europa.eu/clima/politicas/international/negotiations/paris_es)
- [5] International Energy Agency. *Data tools. CO2 emissions by sector, World 1990 - 2019*. Disponible en la web: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector> (Consultado: 13-05-2022)
- [6] European Commission, “*Integrated SET Plan*”, <https://setis.ec.europa.eu/actions-towards-implementing-integrated-set-plan>
- [7] Ministerio de Hacienda y Función Pública (10/12/2021) *Mecanismo de Recuperación y Resiliencia (MRR)*. Consultado en: <https://www.fondoseuropeos.hacienda.gob.es/sitios/dgfc/es-ES/Paginas/MRR.aspx>
- [8] Comisión Europea. *REPowerEU: Una energía asequible, segura y sostenible para Europa*. Consultado en: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe\\_es](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowerEU-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_es)
- [9] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021 - 2030*. Consultado en: [https://www.miteco.gob.es/images/es/pniecCompleto\\_tcm30-508410.pdf](https://www.miteco.gob.es/images/es/pniecCompleto_tcm30-508410.pdf)
- [10] Gobierno de España. *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*. Consultado en: <https://planderecuperacion.gob.es/>
- [11] Generalitat Valenciana. *Estrategia valenciana de cambio climático y energía 2030*. Disponible en: <https://agroambient.gva.es/es/web/cambio-climatico/2020-2030>
- [12] B.E, Lebrouhi, Y. Khattari, B. Lamrani, M. Maaroufi, Y. Zeraoui, T. Kousksou, Key

*challenges for a large-scale development of battery electric vehicles: A comprehensive review.* Journal of Energy Storage (02 - 10 - 2021)

- [13] M.S.H. Lipu, M.A. Hannan, A. Hussain, M.M. Hoque, P.J. Ker, M.H.M. Saad, A. Ayob, *A review of state of health and remaining useful life estimation methods for lithium-ion battery in electric vehicles: challenges and recommendations.* J. Clean. Prod. 205 (205)
- [14] Zifan Liu, Andrej Ivanco, Simona Onori, *Aging characterization and modeling of nickel-manganese-cobalt lithium-ion batteries for 48 V mild hybrid electric vehicle applications.* Journal of Energy Storage (25 - 12 - 2018)
- [15] Mateo Sanclemente Crespo, Marta Van Ginkel González, Laura Talens Peiró, *Prospects on end of life electric vehicle batteries through 2050 in Catalonia. Resources, Conservation and Recycling* (05 - 01 - 2022)
- [16] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. *Registro de Pilas y Acumuladores – Consultas Públicas.* Disponible en: <https://industria.gob.es/registros-industriales/pilas/Paginas/consultas.aspx>
- [17] Waldmann, T., Iturrondobeitia, A., Kasper, M., Ghanbari, N., Aguesse, F., Bekaert, E., Daniel, L., Genies, S., Jménez Gordon, I., Löble, M. W., De Vito, E., Wohlfahrt-Mehrens, M. (2016). Post-Mortem Analysis of Aged Lithium-Ion Batteries: Disassembly Methodology and Physico-Chemical Analysis Techniques. *Journal of The Electrochemical Society*, 163 (10), A2149-A2164.
- [18] LL. Canals Casals y B. Amante García (2016). *Assessing Electric Vehicles Battery Second Life Remanufacture and Management.* Universitat Politècnica de Catalunya, Spain
- [19] Real Decreto 553/2020, de 2 de junio, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.
- [20] Boletín Oficial del Estado número 88 de martes 13 de abril de 2021. Texto enmendado de los Anejos A y B del Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR 2021) con las Enmiendas adoptadas durante las sesiones 105.ª, 106.ª y 107.ª del Grupo de trabajo de transportes de mercancías peligrosas de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) --- BOE-A-2021-5779
- [21] Real Decreto 1211/1990, de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley de Ordenación de los Transportes Terrestres
- [22] PRL QUIRON PREVENCIÓN. - Coches eléctricos e híbridos: Prevención de los nuevos riesgos laborales Publicado el 21 de noviembre de 2019
- [23] Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- [24] DIN 4102.- Comportamiento al fuego de materiales y elementos de construcción.