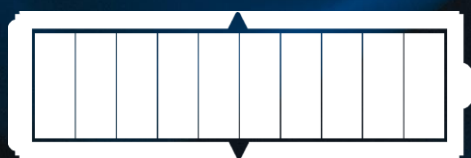


VISIÓN 2050 DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN ESPAÑA

V 2023



BATTERYPLAT

VISIÓN 2050 DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN ESPAÑA V 2023

Preámbulo

Durante el año 2023, y manteniendo la tendencia observada en 2022, se han estado produciendo acontecimientos que suponen retos geopolíticos con alto impacto. Es oportuno reflexionar sobre cuál va a ser la influencia de esos retos en la visión a 2050 del almacenamiento energético.

En esta edición de 2023 del documento de visión del almacenamiento de energía en España se han considerado los siguientes desafíos en el contexto internacional:

- 1. A la necesidad de la Unión Europea de aumentar su independencia energética como consecuencia del conflicto con Rusia, se une en 2023 la voluntad política de reducir su dependencia de China en lo que se refiere al suministro de materias primas estratégicas y de tecnologías para la transición energética.*
- 2. Se mantienen las tendencias detectadas en 2022:*
 - El riesgo de la concentración de la fabricación de semiconductores en Taiwan y Corea del Sur ha ralentizado el despliegue de tecnologías y se producirá una relocalización de la fabricación*
 - China está arrastrando al mundo a cierta desglobalización por las incertidumbres en la cadena de suministro*
 - La desglobalización también se traducirá en la búsqueda de independencia tecnológica*
 - Escenarios de mayor inflación perjudicarán las inversiones en nueva capacidad*
 - El cambio \$/€ debilita la capacidad inversora de las economías europeas*

Los componentes del Grupo Rector de BatteryPlat confiamos en que las reflexiones incluidas en esta edición del documento de visión sirvan a toda la comunidad de nuestra Plataforma para afrontar las oportunidades de desarrollo tecnológico del almacenamiento de energía en España.

1. Resumen ejecutivo

Este documento recoge la visión del almacenamiento de energía en 2050 desde la perspectiva de la Plataforma tecnológica española de almacenamiento, BatteryPlat. Esta visión utiliza como referencia los compromisos del *Acuerdo de París*¹; la *Visión Estratégica Europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra*²; su *traslación a España a través de la Estrategia a largo plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050*³. Recientemente, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha publicado la *"Estrategia de almacenamiento energético"*⁴ que también es una referencia esencial para esta visión.

La visión de la Plataforma es que en 2050 se dispondrá de un conjunto de tecnologías de acumulación de energía a diversas escalas de potencia y tiempo que proporcionarán fiabilidad y flexibilidad a un sistema energético con generación eléctrica 100% renovable, permitirán una amplia electrificación del transporte y facilitarán la reducción de emisiones de CO₂ en la edificación y la industria. Estos servicios se remunerarán de forma justa a través un mercado rentable, competitivo, transparente, flexible y no discriminatorio en el que participarán empresas españolas altamente competitivas gracias a colaboración y la transferencia de tecnología desde el sistema español de investigación e innovación.

Esta visión se desarrolla de forma más específica para los sectores intensivos en energía en los que el almacenamiento puede tener mayor impacto, en concreto, los sectores de energía, transporte, edificación e industria.

El documento identifica y describe los principales retos que será necesario afrontar y resolver para alcanzar el escenario previsto en 2050. Estos retos afectan a las tecnologías, a cuestiones regulatorias y de mercado, así como a aspectos sociales y medioambientales.

Por último, se han evaluado las herramientas permitirán abordar dichos retos para que se alcancen las metas de la visión 2050. Entre esas herramientas están las tecnologías habilitadoras, como la electrónica de potencia y las tecnologías de la información y la comunicación, las infraestructuras para la investigación y el desarrollo de las tecnologías de almacenamiento y la capacitación de profesionales especializados en dichas tecnologías.

-
1. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>
 2. COM (2018) 773 final. Comisión Europea, Bruselas, 28.11.2018
 3. Estrategia de descarbonización a largo plazo 2050. MITECO, Madrid, noviembre 2020
 4. Estrategia de Almacenamiento Energético. MITERD, Madrid, febrero 2021. ISBN: 978-84-18508-43-1

2. Introducción

Para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París es necesaria una transición hacia un sistema energético descarbonizado y sostenible. Esto exige un despliegue generalizado de tecnologías sostenibles para la generación de energía, el transporte, la edificación y la industria. En todos estos sectores, el almacenamiento de energía constituye una tecnología clave para proporcionar flexibilidad, seguridad y fiabilidad.

Sin embargo, ni las tecnologías de almacenamiento de energía están plenamente desarrolladas, ni los mercados de almacenamiento están maduros, ni se dispone una regulación y una normativa claras. Por tanto, hay que resolver muchos retos para que el almacenamiento de energía alcance la madurez necesaria para proporcionar los servicios esperados en los distintos sectores.

Este documento pretende mostrar y justificar la visión de la plataforma tecnológica española de almacenamiento, BatteryPlat, acerca de cómo será el almacenamiento de energía en 2050, qué debería aportar al sistema energético y cómo se pueden alcanzar esas metas.

Para 2050 se habrán generado nuevos mercados y también habrán aparecido nuevas aplicaciones para algunas tecnologías de almacenamiento que harán necesario el desarrollo de nuevas tecnologías con comportamientos marcadamente mejores que los actuales, donde conceptos como la gestión inteligente y la digitalización tendrán un marcado protagonismo.

El almacenamiento de energía puede proporcionar soluciones medio ambientales y económicas en muchos sectores que incluyen el suministro de energía, la movilidad y el transporte, la edificación o la industria. El desarrollo y el fortalecimiento del sistema de I+D permitirá que las nuevas tecnologías de almacenamiento lleguen de forma eficiente a estos sectores cumpliendo con los retos de mejorar el desempeño y reducir el coste.

Pero, aunque los mayores esfuerzos se centren en la mejora del desempeño, la seguridad de algunas tecnologías de almacenamiento se convierte en un aspecto clave para favorecer el despliegue de la movilidad eléctrica y del almacenamiento de energía eléctrica en la sociedad. Los aspectos de seguridad se tendrán en cuenta desde la perspectiva de la cadena de valor completa de algunas tecnologías de almacenamiento. Así, conceptos como las baterías de estado sólido o los procesos de fabricación acuosos que eviten el uso de electrolitos inflamables serán la tendencia predominante, así como las estrategias de auto-curado o la tecnología avanzada de sensores que eviten procesos peligrosos de degradación.

Contexto mundial

El contexto mundial está determinado por el objetivo del Acuerdo de París de reducir considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático, para lo que será necesario mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, preferiblemente limitándolo a un aumento de 1,5 °C. Para alcanzar

este objetivo de temperatura a largo plazo, los países se proponen eliminar al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero lo antes posible para lograr un planeta con clima neutro para mediados de siglo XXI.

Contexto europeo

La visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra asume que, para limitar el aumento de la temperatura a 1,5 °C, tiene que conseguirse que en 2050 haya cero emisiones netas de CO₂ a nivel mundial, así como un balance neutro de los demás gases de efecto invernadero algo más avanzado el siglo. Eso exige que la UE alcance un balance neutro de emisiones de gases de efecto invernadero de aquí a 2050.

La transición hacia una economía de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero otorga un papel central a la energía, pues esta es hoy en día responsable de más del 75 % de esas emisiones. El futuro sistema energético integrará los sistemas y mercados de electricidad, gas, movilidad, calor y frío, con redes inteligentes que pondrán a los ciudadanos en el centro de atención.

Las nuevas realidades geopolíticas y del mercado energético durante 2022 y 2023 nos obligan a acelerar drásticamente nuestra transición energética limpia y a **augmentar la independencia energética de Europa frente a proveedores poco fiables**. REPowerEU es el plan de la Comisión Europea para independizar a Europa de los combustibles fósiles rusos antes de 2030, a la luz de la invasión rusa de Ucrania. El 85% de los europeos cree que la UE debe reducir su dependencia del gas y el petróleo rusos lo antes posible para apoyar a Ucrania. Actuando como Unión, Europa puede conseguirlo más rápidamente. El plan REPowerEU establece una serie de medidas para reducir rápidamente la dependencia de los combustibles fósiles rusos y acelerar la transición ecológica, aumentando al mismo tiempo la resistencia del sistema energético de toda la UE.

Por otro lado, **la cadena de valor mundial de los semiconductores se caracteriza por los puntos de estrangulamiento y las dependencias críticas**, de los chips más avanzados de Taiwán y Corea del Sur, la propiedad intelectual de EE.UU. en la automatización del diseño de chips, las obleas japonesas y el ensamblaje de chips chinos. Europa tiene una gran capacidad de investigación y fabricación de equipos, además de cierta capacidad de producción de chips (menos avanzados) chips con transistores más grandes, a menudo destinados al sector del automóvil, así como de insumos (químicos).

El 8 de febrero de 2022, la Comisión Europea hizo pública su propuesta de ley europea de chips para mejorar la "soberanía digital" de Europa y "hacer frente a la escasez de semiconductores y reforzar el liderazgo tecnológico de Europa". La propuesta de reglamento seguirá el procedimiento legislativo ordinario y ha sido asignada a la Comisión de Industria, Investigación y Energía (ITRE) para que prepare las enmiendas del Parlamento Europeo. El objetivo estratégico del paquete de medidas sobre chips es "garantizar la seguridad del suministro, la resistencia y el liderazgo tecnológico de la UE en tecnologías y aplicaciones de los semiconductores" y "lograr un sector de semiconductores próspero desde la investigación hasta la producción". La Comisión espera que el plan movilice 43.000 millones de euros en inversiones públicas y privadas. Esta cantidad ha sido un tema de debate en el seno de la ITRE. Las inversiones servirían para duplicar la actual cuota de mercado de semiconductores de la UE del 10 al 20 por ciento para 2030, lo que según las proyecciones de crecimiento requerirá al menos cuadruplicar la producción.

La dependencia de la UE con respecto a China es importante en el caso de ciertas materias primas raras (cruciales para la transición energética), como el manganeso o el escandio, así como en componentes electrónicos -tanto finales como intermedios- como las lámparas LED o los imanes permanentes. En todos estos productos, China tiene una cuota de mercado mundial superior al 50%, representando hasta el 90% de la producción mundial en algunos casos. La aspiración de China de convertirse en una potencia económica, militar y geopolítica mundial ha generado tensiones puntuales con los países occidentales desde principios de la década de 2000. Estas tensiones culminaron en una fuerte escalada de restricciones comerciales con EE.UU. a partir de 2018 y en un proceso de desvinculación entre ambas potencias. El estallido de la pandemia en 2020 y, más recientemente, la guerra en Ucrania, han acelerado esta tendencia de desvinculación, a la que Europa parece haberse sumado también, aunque de forma algo tímida por ahora.

En el discurso político aparecen nuevos términos, como "autonomía estratégica", "reshoring" y "nearshoring", en un intento de aumentar la resiliencia de la cadena de suministro y garantizar la seguridad en el consumo de productos esenciales frente a los choques de suministro, ya sean provocados por tensiones en el ámbito sanitario, climático o geopolítico.

Pero además de la dependencia y la autonomía energética y de suministro de materiales, los cambios geopolíticos también acentúan la **necesidad de autonomía estratégica en tecnologías críticas**. La autonomía tecnológica es compatible con las economías abiertas y la colaboración global. Puede lograrse a través de múltiples opciones de abastecimiento global independiente, así como un posicionamiento fuerte de las principales empresas del mundo en Europa que también requerirá la creación de capacidades por parte de las empresas europeas. Los países europeos han sido líderes en la sostenibilidad y la inclusión. Ahora se preocupan por la seguridad de las cadenas de suministro, la energía, los alimentos y la defensa. ¿No debería preocupar también a la región la brecha tecnológica que está poniendo en peligro el crecimiento futuro y la autonomía estratégica?

El impulso de la acción común desencadenada por la guerra en Ucrania ha generado en 2023 políticas de protección de la tecnología europea: la European Critical Raw Materials Act (ECRMA) y la Net Zero Industry Act (NZIA). La ECRMA tiene como objetivo general que el suministro de cualquier materia prima estratégica proveniente de un país extracomunitario no supere el 65% del suministro total. Este límite se desglosará en límites específicos para las fases de extracción, procesamiento y reciclado. El 7 de setiembre de 2023 el Comité de Industria, Investigación y Energía del Parlamento Europeo (ITRE) aprobó su informe sobre la ECRMA. El informe ITRE trata de poner más énfasis en la innovación y la sustitución de equipos. Así, las enmiendas pretenden permitir que los proyectos que sustituyan directamente materias primas estratégicas o críticas en las cadenas de valor sean reconocidos como Proyectos Estratégicos, otorgándoles una serie de beneficios. Además, la posición de la ITRE se centra en los programas nacionales que pueden crearse y reforzarse para fomentar la innovación en todas las fases de la cadena de valor, en particular los planes de reciclaje y la economía circular. Tras la aprobación en el pleno del Parlamento, se espera que el acuerdo final sea adoptado en diciembre de 2023.

Por otro lado, el 16 de marzo de 2023, la Comisión Europea propuso la Net Zero Industry Act (NZIA). La NZIA contribuirá a reforzar la capacidad europea de fabricación de tecnologías de balance cero y a superar los obstáculos al aumento de la capacidad de fabricación en Europa. Las medidas del Reglamento aumentarán la competitividad de la base industrial de tecnología neta cero y mejorarán la resistencia energética de la UE. Esta propuesta muestra el compromiso de Europa de desempeñar un papel de liderazgo en la transición a la tecnología neta cero y de contribuir a la consecución de los objetivos Fit-for-55 y REPowerEU. Sin embargo, la tramitación de esta iniciativa no está siendo tan ágil como la de la ECRMA pues entre las distintas partes interesadas surgen

puntos de desacuerdo en cuanto a:

- la amplitud de las tecnologías objeto de protección y la intensidad de la ayuda
- los mayores costes de las tecnologías europeas
- el esfuerzo administrativo que deberán realizar los estados miembros para la aplicación de la NZIA

Por último, **la inflación ha experimentado un aumento considerable en 2021 y 2022**. En la última década, la tasa de inflación fue, por término medio, igual al 1,2% en los países de la zona del euro y al 1,6% en los países de la Unión Europea. Desde el inicio de la pandemia ha habido una importante volatilidad en la trayectoria de la inflación. Las medidas para contener la propagación del coronavirus (COVID-19) inicialmente deprimieron la inflación al reducir la actividad económica: en 2020 la tasa de inflación fue del 0,3% en países de la zona del euro y del 0,7% en los países de la UE. La situación cambió radicalmente en 2021: la tasa de inflación anual de la zona del euro aumentó hasta el 5,0% en diciembre de 2021, la más alta registrada, mientras que la tasa de inflación anual fue de menos 0,3% en diciembre de 2020. Análogamente, la inflación anual de la UE aumentó al 5,3% en diciembre de 2021, mientras que la tasa era del 0,3% en diciembre de 2020. En 2022, el reciente aumento de la inflación se debe principalmente al incremento de los costes energéticos y a las de la cadena de suministro, que están haciendo subir los precios en muchos sectores. **La exposición al riesgo de inflación desempeñará un papel relevante en las decisiones de inversión, especialmente para los activos que se mantienen con un horizonte a largo plazo como es el caso de las infraestructuras energéticas.**

Contexto español

El marco de referencia español a largo plazo es la *Estrategia a Largo Plazo para una economía española moderna, competitiva y climáticamente neutra en 2050*, publicada en noviembre 2020, que establece la hoja de ruta para avanzar hacia la neutralidad climática en España en el horizonte 2050. El objetivo global de esta Estrategia a Largo Plazo (ELP) es dar una respuesta integrada frente al cambio climático, que aproveche las oportunidades para modernizar la economía española y hacerla más competitiva, justa e inclusiva.

En cuanto al almacenamiento de energía en España, el documento de referencia es la *Estrategia de almacenamiento energético*, donde se establecen las necesidades de almacenamiento, se analizan las distintas alternativas tecnológicas, se identifican los retos actuales del almacenamiento energético, las líneas de acción para asegurar el despliegue efectivo del almacenamiento, entendido como elemento habilitador de la transición energética hacia la neutralidad climática.

3. Visión 2050

La Estrategia a Largo Plazo (ELP) impulsará un ahorro significativo de energía primaria y una mejora sustancial de la eficiencia energética. Concretamente se estima que el consumo de energía primaria se reducirá en torno a un 50% desde el año 2020 hasta el año 2050. Este objetivo supone una gran transformación de sistema energético nacional. En este escenario, el almacenamiento de energía juega un papel trascendental como herramienta facilitadora de la transformación del sistema energético. Por ello, las necesidades mínimas de almacenamiento para España, cuantificadas en la *Estrategia de almacenamiento energético* aprobada en febrero de 2021, exigen pasar de los 8,3 GW de potencia de almacenamiento total disponibles en 2020 a unos 20 GW en 2030 y a unos 30 GW en 2050. Posteriormente, en junio de 2023 ha sido sometido a información pública el borrador de la actualización 2023-2030 del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) que supera las previsiones de la Estrategia alcanzando los 22 GW en 2030. La composición y funcionamiento precisos se desarrollarán en función de la evolución y disponibilidad tecnológicas, así como de las necesidades concretas de la red en términos de características técnicas requeridas para su operación. Se prevé el desarrollo de tecnologías tanto stand-alone o autónomas, como híbridadas con generación renovable.

La visión de BatteryPlat, sobre el almacenamiento de energía en 2050 se resumen en el cuadro siguiente:

En 2050 se dispondrá de un conjunto de tecnologías de acumulación de energía a diversas escalas de potencia y tiempo que proporcionarán fiabilidad y flexibilidad a un sistema energético con generación eléctrica 100% renovable, permitirán una amplia electrificación del transporte y facilitarán la reducción de emisiones de CO2 en la edificación y la industria. Estos servicios se remunerarán de forma justa a través un mercado rentable, competitivo, transparente, flexible y no discriminatorio en el que participarán empresas españolas altamente competitivas gracias a colaboración y la transferencia de tecnología desde el sistema español de investigación e innovación.

A continuación, se desarrollan algunos aspectos específicos de la visión para los sectores intensivos en energía en los que el almacenamiento puede tener mayor impacto.

3.1. Energía

Para 2050 se espera que la generación de energía eléctrica alcance un 100% de penetración renovable. Esta situación puede acarrear, como efecto colateral, la aparición de ciertos riesgos en la seguridad de suministro de energía eléctrica, provocados principalmente por la variabilidad e intermitencia de la generación inherente a este tipo de instalaciones. El despliegue de soluciones de almacenamiento de energía acopladas a la red eléctrica aportará importantes beneficios a la gestión de un sistema eléctrico caracterizado por esas variabilidad e intermitencia.

Entre las principales funcionalidades del almacenamiento de energía se espera que a través del incremento en las capacidades de control y gestión de los sistemas sean posibles acciones de

inyección/ extracción rápida de energía que contribuyan en gran medida a la seguridad del suministro eléctrico, la calidad de la energía y la minimización de los costos directos y ambientales. En el futuro sistema eléctrico con muy alta penetración de las fuentes renovables es de vital importancia que los sistemas de almacenamiento sean muy rápidos para actuar como capacidad de respaldo. Por tanto, a largo plazo, el comportamiento dinámico del almacenamiento es incluso más importante que su capacidad.

El almacenamiento de energía también puede reducir la necesidad de importantes inversiones en mejoras de la red de transmisión, así como aumentar el rendimiento de los activos de transmisión y distribución existentes. La ampliación de la capacidad de la red de transmisión, por ejemplo, colocando previamente el almacenamiento en el lado de la carga de los puntos de restricción de la transmisión, hace que la red sea más segura, confiable y receptiva. Además, el almacenamiento distribuido puede reducir la congestión fuera de las horas pico, lo que reduce la necesidad de generación durante las horas pico. Al reducir la carga máxima (y la sobrecarga) de las líneas de transmisión y distribución, el almacenamiento puede extender la vida útil y la capacidad de la infraestructura existente.

Los sistemas de almacenamiento acoplados con plantas de generación solar o eólica facilitarán su gestionabilidad y darán mayor firmeza a su producción, reduciendo los vertidos. Igualmente, el almacenamiento de energía facilitará el despliegue de microrredes eléctricas e impulsará el autoconsumo a partir de energía solar. De esta manera, se dará un importante protagonismo a los consumidores, que adoptarán un papel más activo, al igual que los nuevos agregadores independientes, las futuras comunidades de energías renovables y los operadores de las redes de distribución.

Dado el papel que desempeñan las instalaciones de generación convencional en la garantía de la seguridad del suministro del sistema eléctrico nacional, aportando la firmeza que las tecnologías renovables más maduras, por su propia naturaleza, no pueden ofrecer, la salida del parque de generación de la mayor parte de las instalaciones de generación convencional no sería asumible en ningún caso sin poner en peligro la seguridad de suministro. Resulta imprescindible dotar al sistema eléctrico peninsular español de un mecanismo de capacidad, complementario a los mercados de producción mayoristas, que aporte la necesaria firmeza al sistema eléctrico, en línea con el enfoque dado por otros Estados miembro de la Unión Europea.

A la fecha de elaboración de la presente edición de este Documento de Visión, existe un proyecto de Orden por la que se crea un mercado de capacidad en el Sistema Eléctrico Español. En ese documento se establece que, con carácter previo al proceso de selección de proveedores de capacidad, se fijarán las condiciones técnicas para la participación en esos procesos de selección competitivos, y en todo caso se debe salvaguardar el principio de neutralidad tecnológica, estando abiertos a la participación de todos los recursos que estén en disposición de proporcionar el rendimiento técnico exigido, incluida la gestión de la demanda y el almacenamiento de energía.

Entre las características técnicas de los sistemas que aportan capacidad está la Potencia firme, definida como la capacidad máxima, en MW, que una instalación de generación, almacenamiento o demanda puede aportar para la cobertura de la demanda de energía eléctrica, en función de las características intrínsecas de disponibilidad y fiabilidad asociadas a cada tecnología. Para cada tecnología de referencia, la potencia firme se obtendrá como la potencia nominal reducida de acuerdo con la correspondiente ratio de firmeza.

La ratio de firmeza es el porcentaje, respecto de la potencia nominal asociada a la instalación de generación, almacenamiento o demanda, que mide el grado de cada tecnología para aportar potencia firme al sistema eléctrico peninsular. La ratio de firmeza tendrá en cuenta los elementos intrínsecos y extrínsecos de cada tecnología, considerando las necesidades de cobertura y flexibilidad del sistema eléctrico peninsular e incorporando la capacidad de cada tecnología para satisfacerlas.

Por lo tanto, es necesario disponer de una metodología para el cálculo de las ratios de firmeza de cada tecnología de almacenamiento de energía que permita compararlas desde ese punto de vista.

Batteryplat asume el reto de trasladar a la comunidad científica y tecnológica del almacenamiento de energía en España la necesidad de implantar el concepto de ratio de firmeza *by design*. Esto significa que en el proceso de desarrollo tecnológico se tenga en cuenta desde el principio la ratio de firmeza como un parámetro técnico más. Incluso se podría hablar de una escala FRL (*Firmness Readiness Level*) que midiera el nivel de firmeza que es capaz de asegurar una tecnología de almacenamiento a lo largo de su proceso de maduración.

3.2. Transporte

En el sector del transporte y la movilidad se espera una fuerte contribución de fuentes de energía de origen renovable, ya sea a través de la electrificación del transporte o con la progresiva sustitución de combustibles fósiles por combustibles sostenibles. En el primer caso a través del almacenamiento de energía en baterías o con hidrógeno verde, y en el segundo caso por medio del almacenamiento químico en combustibles obtenidos por conversión de CO₂ con procesos de tipo Power-to-X (P2X).

La electrificación del transporte se considera una forma eficaz de reducir sustancialmente el uso general de hidrocarburos. Los sistemas de almacenamiento de energía son las tecnologías habilitadoras clave para las aplicaciones de transporte. En el sector del transporte, la aparición de dispositivos viables de almacenamiento de energía eléctrica a bordo, como las baterías de Litio-ión de alta potencia y alta energía, permitirá la amplia adopción de vehículos eléctricos e híbridos enchufables que también interactuarán con las redes inteligentes del futuro. Los vehículos eléctricos con capacidad de conexión contienen un elemento de almacenamiento de energía capaz de almacenar energía de la red. Si esta energía se produce utilizando fuentes de energía renovables, la reducción general en el uso de hidrocarburos es sustancial. Además de disminuir el uso de hidrocarburos para propulsar vehículos, la introducción de vehículos enchufables presenta numerosos recursos pequeños de almacenamiento de energía distribuida que pueden utilizarse para estabilizar la red localmente. Estos sistemas de V2G y V2B⁵ podrán volverse más comunes cuando se adecuen las barreras regulatorias.

Los sistemas de almacenamiento distribuido también serán una herramienta necesaria para reducir los picos de demanda y proporcionar flexibilidad en los puntos de recarga rápida de vehículos eléctricos.

En el transporte pesado la regeneración de la energía de frenado, sea eléctrica o mecánica, permitirá mejorar la eficiencia del sistema, así como en el transporte en paradas fijas en las que la energía de frenado se puede derivar al arranque de otro vehículo coordinado.

La aviación en base a motores eléctricos alimentados por combustibles no contaminantes



como hidrógeno permitirá un empuje distribuido y una mayor eficiencia aerodinámica, así como recuperar energía para las maniobras de despegue, reduciendo drásticamente la emisión de gases de efecto invernadero en las capas altas de la atmósfera.

5. V2G Vehicle to Grid / V2B Vehicle to Building

3.3. Edificación e Industria

En el sector de edificación, la renovación y modernización del parque de edificios existente debería impulsar la reducción a cero de las emisiones de CO₂ en 2050. Para alcanzar esta meta será necesario emplear distintos tipos de tecnologías de almacenamiento presentes en los edificios que favorezcan la electrificación en el abastecimiento de energía y la eficiencia energética en la gestión de los sistemas de calor y frío. Por ejemplo, a través del almacenamiento eléctrico de los excedentes de autoconsumo y con sistemas de almacenamiento de energía térmica de baja entalpía integrados en la edificación. Entre las tecnologías de almacenamiento de frío y calor puede ser relevante el uso de la inercia térmica de los edificios, acumuladores y bombas de calor acopladas, entre otras.

En el sector industrial también se espera que la descarbonización reduzca las emisiones de CO₂ en un 90% entre 2020 y 2050. En este caso, los sistemas de almacenamiento eléctrico y térmico impulsarán la descarbonización aumentando la electrificación renovable de la industria por medio del autoconsumo acoplado con almacenamiento, y mejorando la eficiencia energética en los procesos industriales que utilizan energía térmica, tanto frío como calor, mediante tecnologías de almacenamiento térmico.

La utilización de vectores alternativos para el transporte de calor o frío como, por ejemplo, el uso de agua procedente de fuentes térmicas como el mar, geotérmica, calor residual en procesos industriales o frío residual en sistemas de relicuefacción permiten mejorar la eficiencia de las bombas de calor, tanto a nivel industrial como doméstico.

4. Retos de la visión 2050

Para alcanzar las metas establecidas en la visión del almacenamiento de energía es necesario afrontar y resolver previamente una serie de retos. La Estrategia de almacenamiento energético describe hasta nueve tipos de retos para implantar y consolidar los sistemas de almacenamiento. La visión de BatteryPlat es que se pueden agrupar en los cuatro grandes conjuntos que se describen a continuación.

4.1. Regulatorios y de mercado

El mercado eléctrico actual está diseñado para un modelo de generación centralizada, con tecnologías mayoritariamente basadas en combustibles fósiles, nucleares e hidráulica, por tanto, fácilmente gestionable. Por el contrario, el mercado previsto para 2050 será un mercado de generación distribuida 100% renovable que incorporará una considerable capacidad de almacenamiento. La transición del primero al segundo requiere la adaptación del marco regulatorio por vías que, manteniendo la competitividad del mercado, reduzcan la incertidumbre, no dañen las expectativas financieras de los inversores y garanticen condiciones justas para todos los usuarios. El nuevo mercado distribuido necesitará disponer de nuevos estándares de interoperabilidad para la comunicación entre los distintos recursos de generación, almacenamiento, transmisión y distribución.

El mercado del almacenamiento en particular necesita contar con casos comerciales viables que sirvan de referencia. Para ello se necesita una remuneración justa del valor que aportan los servicios del almacenamiento, pero el contexto actual de inflación creciente perjudica las inversiones a largo plazo. El despliegue de instalaciones se verá afectado negativamente por esta situación.

4.2. Tecnológicos

La mayoría de las tecnologías de almacenamiento aún no están plenamente desarrolladas. Algunas presentan problemas de seguridad, otras plantean interrogantes en cuanto a su durabilidad y fiabilidad, y en muchas ocasiones los costes aún son demasiado elevados. La utilización de sistemas híbridos combinando tecnologías diferentes será una de las líneas indispensables de desarrollo para dar respuesta a demandas que superan las capacidades de las tecnologías individuales. Aunque su implantación requiera un esfuerzo mayor de desarrollo del sistema electrónico de gestión, la hibridación permite un ahorro al alargar el ciclo de vida, reducir stocks y mayor eficiencia entre otras ventajas.

Los retos afectan no sólo a las tecnologías de almacenamiento sino también a las tecnologías habilitadoras, como en el caso de la ciberseguridad. En concreto, las tecnologías de la información y comunicación deben afrontar el reto de gestionar de forma segura y fiable grandes cantidades de datos, garantizando la protección de datos personales de los usuarios y la protección de la información sensible de las empresas.

Las inversiones necesarias para completar el desarrollo de muchas de estas tecnologías no siempre pueden ser asumidas por los desarrolladores. Ante ese escenario, la colaboración público-privada parece imprescindible para crear un marco de cooperación eficiente dotado con los recursos financieros y las infraestructuras suficientes para afrontar los retos tecnológicos con garantías de éxito.

Por otro lado, las tendencias observadas en 2022 y 2023 de desglobalización y proteccionismo tecnológico afectarán a la transferencia tecnológica entre Asia y Occidente y se acentuarán los desequilibrios ya existentes.

4.3. Sociales

La aceptación social del almacenamiento de energía se enfrenta al reto de vencer la resistencia al cambio que plantean las novedades tecnológicas y los nuevos mercados. La incertidumbre que se genera en estas condiciones cambiantes y la falta de información fiable genera reticencias por una percepción exagerada de los riesgos y amenazas por parte de amplias capas de la sociedad.

Uno de los mayores cambios asociados a la transformación del sistema energético supondrá la transformación de los consumidores pasivos en productores y consumidores activos de energía y servicios energéticos. La aparición de nuevos modelos de negocio basados en la instalación y la gestión de la energía producida por el consumidor-productor permite liberalizar al consumidor de la inversión y de la gestión.

Durante 2022, el aumento de los precios de la energía se ha traducido en una aceleración del despliegue de generación fotovoltaica y de soluciones de autoconsumo. Esto podría suponer un aumento de la percepción positiva de la sociedad acerca de las tecnologías de almacenamiento, como facilitadoras de la autonomía energética de los consumidores.

4.4. Medioambientales

Algunas de las tecnologías de almacenamiento tienen considerables impactos ambientales asociados que es necesario comprender y mitigar. Estos impactos pueden afectar a los procesos de extracción y transformación de las materias primas, así como a los procesos de fabricación de los dispositivos e instalación de los sistemas. Una acción previa es reducir el uso de

materias primas clasificadas como críticas, según el listado que periódicamente publica la Comisión Europea⁶. Además, se ha de contar que los sistemas de almacenamiento se acaban convirtiendo en residuos cuando llegan al final de su vida útil. Para abordar esta problemática será necesario garantizar la sostenibilidad de todos los sistemas de almacenamiento energético mediante la aplicación de los principios de Economía Circular que contemplan, entre otros, la posibilidad de reutilizar y/o reciclar la mayor parte de los componentes. Estas operaciones han de estar igualmente orientadas a ser medioambientalmente sostenibles para no desvirtuar el objetivo último de la Economía Circular.

El futuro del almacenamiento de energía en Europa estará fuertemente marcado por un imparable aumento del número de diferentes sistemas de almacenamiento en los próximos años, donde aparecerán nuevas tecnologías con propiedades cada vez mejores, con nuevas aplicaciones que no hoy se conocen y con procesos de producción diferentes que deberán ser sostenibles y, tener desde su concepción, un enfoque para permitir una etapa final de reciclado. Este futuro requiere de forma prioritaria que, Europa y por tanto los estados miembros, cuenten con estándares internacionales para la industria. Sin embargo, las medidas proteccionistas que se desencadenarán como consecuencia de las tensiones geopolíticas observadas en 2022 y 2023 podrían suponer una ralentización de la cooperación internacional y un retraso en la adopción de estándares internacionales.

Recientemente se ha publicado la propuesta de modificación de la Directiva 2006/66/EC en la que se destacan tres objetivos:

- Fortalecer el funcionamiento del mercado interno incluyendo productos, procesos, residuos y reciclaje de sistemas de almacenamiento de energía asegurando un conjunto de reglas comunes Promocionar la Economía Circular
- Reducir el impacto medioambiental y social a lo largo de todas las etapas del ciclo de vida de los sistemas de almacenamiento de energía.

Para que la industria alcance esos objetivos se precisa una reformulación desde la etapa del diseño de los sistemas, de forma que el resto de la cadena de valor soporte menos esfuerzos medioambientales. La creciente preocupación observada en 2023 por la dependencia de las materias primas reforzará la importancia de las tecnologías de Economía Circular para obtener el máximo valor de las materias primas y residuos.

6. COM [2020] 474 - Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability

5. Herramientas habilitadoras para la visión 2050

5.1. Tecnologías habilitadoras

La electrónica de potencia tendrá un papel fundamental en la regulación de la energía intercambiada entre los sistemas de generación, los sistemas de almacenamiento y la red eléctrica o los elementos de consumo final. Los convertidores DC o AC serán imprescindibles para compensar los posibles desajustes entre la generación el almacenamiento y el consumo. Por ejemplo, la electrónica de potencia es responsable del ajuste de la tensión de operación del sistema de almacenamiento, la tensión de salida del sistema de generación y la tensión de trabajo de la red o del consumidor eléctrico. Otro ejemplo es la compensación de alteraciones en la tensión o en la potencia instantánea aportada a la red eléctrica por el sistema de almacenamiento, debidas a cambios en las condiciones ambientales o a la degradación del sistema. El diseño de los convertidores y su modo de operación están condicionados por el flujo bidireccional que se establezca entre el sistema de almacenamiento y la red eléctrica, así como por el tipo de tecnología de almacenamiento.

En un horizonte de generación 100% renovable las redes eléctricas habrán perdido buena parte de la inercia rotacional de las máquinas síncronas que permite compensar variaciones en la frecuencia de la red. En ese escenario la combinación de la electrónica de potencia y los sistemas de almacenamiento de energía serán imprescindibles para proporcionar inercia virtual y, por lo tanto, estabilidad a la red.

La aplicación intensiva de la digitalización a los sistemas energéticos permitirá avances en la recogida y análisis de grandes volúmenes de datos. Esta disponibilidad masiva de datos permitirá romper las fronteras tradicionales entre oferta y demanda, aumentar la automatización y agilidad en la toma de decisiones, lo que contribuirá a crear sistemas eléctricos más interconectados, descentralizados y competitivos. El empleo de las tecnologías de información, incluyendo inteligencia artificial y comunicación permitirá la agregación de recursos distribuidos, tales como la gestión de la demanda, el almacenamiento y el vehículo eléctrico.

La digitalización puede ayudar a integrar las energías renovables variables al permitir que las redes adapten mejor la demanda de energía a los momentos de mayor generación renovable. El aumento del almacenamiento y la respuesta a la demanda habilitada digitalmente. La digitalización puede facilitar el desarrollo de recursos energéticos distribuidos, como el almacenamiento, al crear mejores incentivos y facilitar a los productores almacenar y vender el excedente de electricidad a la red. El desarrollo de herramientas como blockchain podrían ayudar a facilitar el comercio de electricidad entre pares dentro de las comunidades energéticas locales.

5.2. Infraestructuras de innovación

España cuenta con numerosos grupos de investigación especializados en almacenamiento de energía, pero necesitará establecer modelos de colaboración entre ellos que permitan compartir el uso de los recursos experimentales disponibles y facilitar el acceso a las

infraestructuras existentes. De forma adicional sería necesario contar con un plan para ampliar dichos recursos con instalaciones experimentales singulares de acceso abierto que permitan cubrir las etapas más complejas y costosas en el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento, como son la construcción y ensayo de demostradores y proyectos piloto a una escala representativa del uso final de cada tecnología.

La explotación de estas infraestructuras habilitadoras debería utilizar el modelo de cooperación público-privada para financiar los costes de la innovación y para reducir la brecha entre las universidades y centros de investigación y la industria. Este modelo debería agilizar la transferencia de tecnología, si bien parece imprescindible contar con un plan de apoyo específico que ponga el énfasis en la creación de empresas que fortalezcan la industria española a lo largo de toda la cadena de valor.

5.3. Capacitación profesional

El despliegue generalizado de las tecnologías de almacenamiento exigirá contar con profesionales cualificados para diseñar, construir, operar y mantener las instalaciones. Así pues, se considera imprescindible contar con un plan de formación que permita la capacitación profesional en los diferentes niveles, Formación Profesional, Grados, Másteres y Doctorados.

Actualmente son pocas las universidades y centros de formación profesional que contemplan en sus planes de estudio asignaturas relacionadas con el almacenamiento de energía o incluso temas de almacenamiento en las asignaturas ya existentes. Se debe promover, y por tanto facilitar, la incorporación de asignaturas relacionadas con el almacenamiento en los diferentes niveles de enseñanza. Se debe potenciar la actualización de los planes de formación de manera coordinada desde los diferentes ministerios involucrados. También, se deben crear comisiones de expertos que determinen una hoja de ruta en este sentido y que puedan asesorar a las administraciones en general y a las instituciones educativas en particular. En este sentido, se debería incentivar la enseñanza de sistemas de almacenamiento en general.

Por otro lado, las asociaciones y colegios profesionales serán también agentes relevantes en la acreditación de la capacitación profesional necesaria para el despliegue de tecnologías de almacenamiento de energía.