



Rol de las tecnologías de almacenamiento en la transición energética

Autor

Nicolás García Bernal
Email: ngarcia@bcn.cl
Tel.: (56) 22 270 1778

Resumen

Bajo los desafíos de la actual crisis climática, el sistema energético a nivel global se enfrenta a un proceso de cambio estructural, denominado transición energética. Esta implica el “reducir la dependencia de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y por otra parte, potenciar el uso de energías renovables (eólica, solar, entre otras), incrementando su eficiencia y su integración” (Naturgy, 2021).

La senda de transición hacia la denominada “neutralidad climática” – en base a energías limpias de origen renovable - implica una profunda transformación del sistema energético, hacia un modelo descentralizado y flexible. La variabilidad de las energías renovables exige la inserción de soluciones tecnológicas gestionables que aporten flexibilidad y respaldo al sistema, y estén disponibles en cualquier momento para generar y/o inyectar electricidad, y con ello garantizar la seguridad, calidad y economía del suministro.

Las principales alternativas para afrontar estos desafíos son la denominada gestión de la demanda, flexibilidad por parte la generación convencional o flexibilidad mediante los sistemas de almacenamiento energético (SAE). Particularmente los SAE, impulsados por los grandes avances tecnológicos y disminución de costos para su desarrollo, destacan como contribuyentes a la sostenibilidad medioambiental, y tal como señala SPEC & ISCI (2021) y el BID (2020), serían “tecnologías habilitantes” clave para lograr las metas de descarbonización del sistema energético al aportar flexibilidad en la producción de energía procedente de fuentes renovables y garantizar su integración al sistema eléctrico.

En términos generales, el BID (2020) destacó que, de acuerdo a cifras de Bloomberg NEF (2020), los costos de los sistemas de almacenamiento energético, particularmente los correspondiente a baterías de iones de litio, han bajado significativamente en la última década, desde los US\$1.100 por kilovatio-hora en 2010 hasta 137 US\$/kWh en 2020. Las proyecciones apuntan a que dicha tendencia continúe, alcanzando un valor promedio de 100 US\$/kWh para 2023 y 53 US\$/kWh para 2030 (BNEF, 2020). En consecuencia, se las ha transformado en la tecnología dominante en las aplicaciones de almacenamiento de energía estacionarias a escala de red.

En el marco del proyecto de ley, iniciado en Mensaje Presidencial, que promueve el almacenamiento de energía (Boletín N° 14731-08), el presente informe aborda el rol de las tecnologías de almacenamiento en la transición energética. Para esto, en la primera sección se analiza precisamente el rol de estas, mientras que en una segunda sección se especifica el modelo económico que subyace en la integración de sistemas de almacenamiento, además de las perspectivas económicas referidas a los costos de los sistemas de almacenamiento.

N° SUP: 133160

I. El rol de las tecnologías de almacenamiento en la transición energética

La preocupación y compromiso por el cuidado del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos se ha manifestado en distintos acuerdos de carácter global, siendo el Acuerdo de París (2015) el más significativo de los últimos años¹. En dicho marco, y bajo los desafíos de la actual crisis climática, el sistema energético a nivel global se enfrenta a un proceso de cambio estructural, denominado transición energética.

La transición energética se focaliza en “reducir la dependencia de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y por otra parte, potenciar el uso de energías renovables (eólica, solar, entre otras), incrementando su eficiencia y su integración” (Naturgy, 2021). Esto implica llevar a cabo el necesario proceso de descarbonización de la operación del sistema eléctrico, traducido en la prescindencia de centrales que utilicen combustible fósil de cualquier tipo² (ACERA, 2021).

La senda de transición hacia la denominada “neutralidad climática”³ – en base a energías limpias de origen renovable - implica una profunda transformación del sistema energético⁴, hacia un modelo descentralizado y flexible. La variabilidad de las energías renovables (principalmente por la dependencia del clima y recursos como el sol o viento), las hace intrínsecamente intermitentes y menos predecibles en el largo y mediano plazo⁵, lo que exige la inserción de soluciones tecnológicas gestionables que aporten flexibilidad⁶ y respaldo⁷ al sistema, y estén disponibles en cualquier momento para generar y/o inyectar electricidad, y con ello garantizar la seguridad, calidad y economía del suministro.

El informe preliminar de la Planificación Energética de Largo Plazo 2023-2027, elaborado por el Ministerio de Energía (2021), proyecta requerimientos de energías gestionables y/o almacenamiento, cercanos a un 30% del total de energía generada por fuentes de energía renovable variable (ERV)⁸, tales como eólica y solar.

Un estudio reciente encargado por ACERA a la consultora SPEC, denominado “Ruta de Referencia para Alcanzar Cero Emisiones en el Sector de Generación de Energía Eléctrica en Chile”, plantea que en un escenario sin centrales termoeléctricas a carbón al 2025, el funcionamiento de un sistema eléctrico de

¹ El año 2015, un total de 195 países sellaron el compromiso de mantener el incremento de la temperatura mundial por debajo de 2 °C, junto con reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 40% para 2030 en comparación con los niveles de 1990.

² Chile ha definido que la ruta para alcanzar las cero emisiones requiere en primer lugar eliminar el carbón al 2040, para lo cual ha establecido un acuerdo público-privado.

³ La neutralidad climática hace referencia al punto de equilibrio entre las emisiones y la absorción de CO₂, lo cual ocasiona que el balance de emisiones a la atmósfera sea cero.

⁴ Naturgy (2021) destaca que, en dicho escenario, los países deben enfrentar dos tendencias: la introducción masiva de renovable en el sistema eléctrico por el lado de la oferta, y por otro, la progresiva electrificación del consumo energético por el lado de la demanda.

⁵ El problema de la estabilidad y dependencia es más relevante en el caso de la tecnología solar fotovoltaica, debido a que toda la potencia entra a producir a la vez durante las horas en las que hay sol, pudiendo provocar un exceso de generación en dichas horas (vertimientos), a la vez que existe la necesidad de que otras tecnologías estén disponibles para generar electricidad durante la noche.

⁶ Se debe entender por tecnologías flexibles aquellas que son capaces de ponerse a funcionar y generar electricidad en un corto intervalo de tiempo para compensar la intermitencia de la producción renovable, especialmente con la tecnología solar.

⁷ Implica que las tecnologías puedan entrar a cubrir un *peak* de demanda en el caso de que fuera necesaria.

⁸ La Hoja de Ruta 2050, elaborada por el Ministerio de Energía (2015), proyectaba que al 2050 al menos un 70% de la matriz eléctrica al 2050 debería provenir de fuentes renovables, con énfasis en energía solar y eólica. Y ante eso, ya se planteaba la importancia del almacenamiento de energía y la gestión de la demanda para permitir una penetración aún mayor de generación renovable variable.

forma segura y económicamente requeriría incorporar 17.000 MW de potencia con nuevas centrales de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y 1.000 MW desde sistemas de almacenamiento⁹ (ACERA, 2021).

En cualquier caso, tanto bajo la estrategia de un retiro acelerado de centrales a carbón (2025), o con fecha posterior, existe consenso técnico en la necesidad de incentivar la incorporación de almacenamiento y, tal como destaca ACERA (2021), con ello aplacar parte del alza de los costos marginales en horas no solares, reducir la congestión y limitar la necesidad de despachar intensivamente centrales de respaldo diésel en eventos de baja extrema de generación solar-eólica. En la misma dirección, el Ministerio de Energía (2021), en el informe preliminar de la PELP 2023 - 2027, hace presente que el desafío de alcanzar un desarrollo energético sustentable requiere priorizar la habilitación de “*señales de inversión para incorporar almacenamiento de energía en el sector eléctrico mediante acciones regulatorias, incluyendo la posibilidad de incorporarlo en los sistemas de distribución*” (Energía, 2021)¹⁰.

En consecuencia, la introducción masiva de energías renovables en la generación eléctrica, sumada a la electrificación de la demanda energética, plantea una serie de retos en la operación del sistema eléctrico. Desde el punto de vista técnico, en el **cuadro 1** se detallan tres aspectos fundamentales que deben ser garantizados en este contexto.

Cuadro 1. Aspectos que deben ser garantizados tras la incorporación de energía renovable variable

(a) Garantizar la firmeza¹¹ y disponibilidad del sistema en el medio y largo plazo
El sistema debe asegurar la capacidad de generación de energía eléctrica para cubrir la demanda máxima del sistema (demanda punta), con una probabilidad muy alta y acondicionada para entrar en operación en el parque de generación.
(b) Dotar al sistema de flexibilidad a tiempo real
Que el sistema eléctrico disponga de tecnologías flexibles que hagan posible la programación y arranque de las unidades de producción para acompañar a la generación y la demanda a corto plazo, permitiéndole así compensar la intermitencia de la producción renovable.
(c) Conferir mayor relevancia a los servicios de ajuste
Los servicios de ajuste permiten mantener el equilibrio demanda-provisión del sistema, es decir que la generación se iguale exactamente a la demanda en todo momento con niveles óptimos de seguridad y calidad de suministro adecuado.

Fuente: Naturgy, 2021.

⁹ La adaptación del sistema eléctrico al 2025 requeriría una inversión significativamente superior al de una fecha posterior (2030), siendo del orden de 9.000 MUSD.

¹⁰ Particularmente, la PELP (2021) considera soluciones tecnológicas de almacenamiento tal como las baterías tipo BESS, soluciones de aire comprimido, reconversión de centrales a carbón y centrales de bombeo hidráulica.

¹¹ La firmeza es una característica propia de las tecnologías gestionables como la nuclear o el gas, pero no de las tecnologías renovables, y en especial la eólica y la fotovoltaica, ya que estas dependen plenamente de la disponibilidad de recurso y no se puede anticipar con seguridad a medio plazo la generación eléctrica que van a poder aportar al sistema en un momento concreto.

Actualmente, según destaca Naturgy (2021), las principales alternativas para afrontar estos desafíos son la denominada **gestión de la demanda, flexibilidad por parte la generación convencional o flexibilidad mediante los sistemas de almacenamiento energético (SAE)**. Particularmente los SAE, impulsados por los grandes avances tecnológicos y disminución de costos para su desarrollo, destacan como contribuyentes a la sostenibilidad medioambiental, y tal como señala SPEC & ISCI (2021) y el BID (2020), serían “tecnologías habilitantes” clave para lograr las metas de descarbonización del sistema energético al aportar flexibilidad en la producción de energía procedente de fuentes renovables y garantizar su integración al sistema eléctrico.

A causa de lo anterior, el informe preliminar de la PELP 2023 - 2027, prevé que -entre mediados y fines de esta década- en la medida que se retiren generadoras a carbón e ingresen más energías renovables variables (ERV)¹², el almacenamiento y la energía gestionable pasen a ser una pieza fundamental en el crecimiento de la matriz renovable¹³. Así, por ejemplo, en un escenario de Transición Acelerada, que implicaría un retiro total del carbón al 2030 y una participación de ERNC superior al 50%, se requerirían cerca de 2.000 MW desde sistemas de almacenamiento (tipo BESS, CAES, Carnot, entre otros), además de unos 3.000 MW de energía renovable gestionable, tal como energía termosolar de concentración (CSP, por sus siglas en inglés)¹⁴.

II. Perspectivas económicas asociadas a los sistemas de almacenamiento de energía

Como se indicó, la introducción de almacenamiento aporta valor al sistema eléctrico por su contribución a la transición energética y, particularmente, por ser fuente de respaldo del sistema al garantizar la integración de renovables de forma eficiente y, por sobre todo, garantizar la seguridad en el suministro, al operar de forma rápida y modulable, junto la adaptabilidad de su producción para equilibrar la generación y demanda (Naturgy, 2021).

Sin embargo, tal como plantea el estudio elaborado por SPEC & ISCI (2021), la adopción de tecnologías de almacenamiento “no será espontánea y, gran parte, deberá ser guiada por los cambios a realizarse en el diseño del mercado y su regulación”.

a. Modelo económico de funcionamiento de los sistemas de almacenamiento

Dado que la instalación masiva de tecnologías de almacenamiento requiere que sean viables económicamente, según Naturgy (2021), en el caso de las baterías del tipo *utility-scale*¹⁵, se implementa un modelo económico sustentado en la obtención de ingresos a través de distintas fuentes, siendo las 3 principales las siguientes:

¹² De acuerdo con el BID (2020), estas tecnologías variables exigen mayor flexibilidad en los sistemas eléctricos para mantener el balance continuo entre la generación y la demanda.

¹³ La PELP 2023 -2027 indica que sobre los 7.000 MW de energía solar fotovoltaica, se necesitan fuentes de almacenamiento o consumo en horas de sol para seguir creciendo, permitiendo alcanzar los límites impuestos por la demanda máxima instantánea, y la capacidad máxima de gestión de dicha tecnología en la operación.

¹⁴ En Chile destaca el complejo solar Cerro Dominador que posee 110 MW de capacidad combinando una planta fotovoltaica más una termosolar de 110 MW.

¹⁵ Estos se pueden configurar en dos posibles modelos de negocio. Por un lado, aquellos denominados “*stand-alone*”, es decir que operan solas en el mercado, son a gran escala conectados directamente a la red eléctrica que operan de forma aislada, mientras que por otro, los sistemas ligados a renovables se instalan principalmente junto a grandes instalaciones solares fotovoltaicas para reducir los vertidos de energía renovable.

- i. Arbitraje de precios que permite obtener un margen al adquirir la electricidad cuando es más barata y vendiéndose cuando el precio es elevado¹⁶.
- ii. Participación en servicios de ajuste, ayudando a adecuar generación y demanda.
- iii. Otros ingresos regulados, como pagos por garantizar el respaldo, las subvenciones o la retribución regulada que estén definidos en cada sistema eléctrico¹⁷.

De estos tres, típicamente se destaca el arbitraje de precios. Esto debido a que contribuye a poner energía a disposición de los consumidores cuando los precios son más elevados y existe una menor oferta renovable. En consecuencia, se lograría “aplanar” los precios de la electricidad y, así también, mejorar la recuperación de los costes de las renovables. Sin embargo, al no generar un marco retributivo suficiente para que los proyectos sean rentables¹⁸, se requiere complementar con las fuentes señaladas en el punto (ii) y en (iii).

Al respecto, SPEC (2021) considera que es necesario que en Chile se profundice el diseño de mercado de servicios complementarios¹⁹, que sea funcional y remunere todas las tecnologías adecuadamente. Esto implicaría “avanzar en mercados de contratos que reconozcan la multiplicidad de facetas (confiabilidad, flexibilidad, resiliencia)”, y así incentivar inversiones en tecnologías necesarias para la transición energética, tal como las de almacenamiento.

b. Costos de las tecnologías de almacenamiento

En términos generales, el BID (2020) destacó que, de acuerdo a cifras de Bloomberg NEF (2020), los costos de los sistemas de almacenamiento energético (SAE), particularmente los correspondiente a baterías de iones de litio, han bajado significativamente en la última década, desde los US\$1.100 por kilovatio-hora en 2010 hasta 137 US\$/kWh en 2020. Las proyecciones apuntan a que dicha tendencia continúe, alcanzando un valor promedio de 100 US\$/kWh para 2023 y 53 US\$/kWh para 2030 (BNEF, 2020)²⁰. En consecuencia, se las ha transformado en la tecnología dominante en las aplicaciones de almacenamiento de energía estacionarias a escala de red.

Complementariamente, la **figura 1** muestra la curva de precios a 2030 con y sin baterías. En la figura se puede ver cómo este tipo de tecnologías contribuye, a través del arbitraje, a aplanar los precios en todos los bloques horarios. Adicionalmente, en el escenario con baterías, a medida que aumenta la

¹⁶ El arbitraje de precios adquiere relevancia en escenario con gran capacidad instalada de solar fotovoltaica, pues genera grandes diferencias de precios entre las horas del día en las que entra a generar y las horas en las que no. Este efecto se produce con menor medida en el caso de la eólica, dado que esta es capaz de funcionar a cualquier hora del día, siempre que exista viento.

¹⁷ En este caso se destaca la existencia de un mecanismo de capacidad que retribuya la potencia de respaldo disponible y que permita la concurrencia de distintas tecnologías, entre las que se encuentre el almacenamiento.

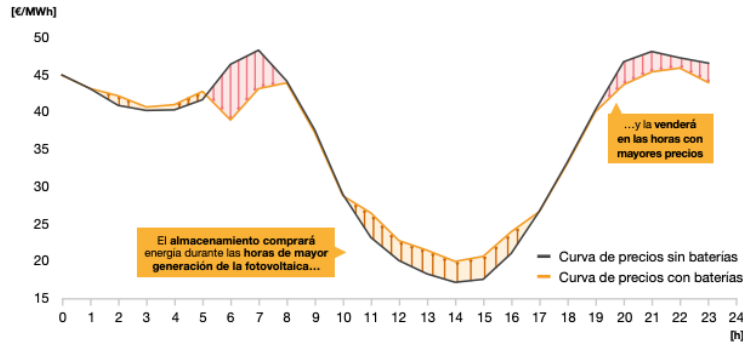
¹⁸ El margen depende significativamente de la producción y demanda diaria, sumado a que en el futuro este se iría reduciendo con el aplanamiento de la curva de precios por la mayor entrada de capacidad solar y baterías.

¹⁹ Tecnologías que prestan servicios asociados a la flexibilidad, resiliencia y a la seguridad del sistema.

²⁰ De acuerdo a IRENA (2017), la disminución entre 50-60% aproximadamente al 2030 sería impulsada por la optimización de las instalaciones de fabricación, mejores combinaciones y menor uso de material.

capacidad instalada de almacenamiento, se produce un aumento de rentabilidad de las plantas fotovoltaicas, lo que incentivaría su instalación.

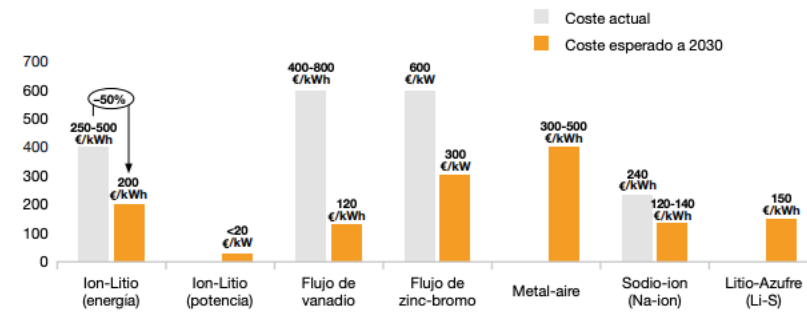
Figura 1. Curva de precios ilustrativos a 2030 con y sin baterías.



Fuente: PwC (2021)

En la misma dirección, el siguiente **gráfico 1** da cuenta del coste promedio actual y el proyectado al 2030 de las distintas tecnologías de baterías para conexión a red (*utility scale*).

Gráfico 1. Costo actual promedio y costo esperado a 2030 de tecnologías de baterías para conexión a red.



Fuente: Naturgy (2021)

En base a lo anterior, Naturgy (2021) resalta que las baterías son la tecnología de almacenamiento con mayor expectativa de desarrollo a 2030 y cuyos costes se van a reducir de manera más acusada, permitiendo así su uso a gran escala y cubrir gran parte de los retos de la transición a la que se enfrentan los países. En consecuencia, se espera que la capacidad instalada de baterías a nivel mundial crezca desde 11 GWh en 2017 a 100 - 167 GWh para 2030, incluyendo tanto las baterías *“utility-scale”* como las residenciales.

Referencias

- **ACERA, 2021.** “Los retos para Chile en su camino hacia la descarbonización”. Disponible en: <https://acera.cl/los-retos-para-chile-en-su-camino-hacia-la-descarbonizacion/> (consultado el 17 de noviembre de 2021)
- **Naturgy, 2021.** El papel del almacenamiento en la Transición Energética. Disponible en: <https://static.smartgridsinfo.es/media/2021/05/almacenamiento-transicion-energetica-espana-baterias-informe-naturgy.pdf> (consultado el 15 de noviembre de 2021)
- **Instituto Sistemas complejos de ingeniería (ISCI), 2021.** “Urgencia renovable. Disponible en: <https://isci.cl/urgencia-renovable/>
- **ACERA, 2021.** Análisis y propuesta de una ruta de referencia para alcanzar cero emisiones netas en el sector de generación de energía eléctrica en Chile. Disponible en: <https://acera.cl/wp-content/uploads/2021/09/Resumen-Ejecutivo-Estudio-ACERA-2021.pdf>
- **Ministerio de Energía, 2021.** Planificación Energética de Largo Plazo (PELP) - Informe preliminar. Disponible en: https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/pelp2023-2027_informe_preliminar.pdf
- **Ministerio de Energía, 2019.** Carbono Neutralidad en el sector energía: Proyección de consumo energético nacional 2020. Disponible en: https://energia.gob.cl/sites/default/files/pagina-basica/informe_resumen_cn_2019_v07.pdf
- **Ministerio de Energía, 2015.** Hoja de Ruta 2050. Disponible en: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/hoja_de_ruta_cc_e2050.pdf
- **SPEC & ISCI, 2021.** Cambios al mercado y a la regulación eléctrica para una descarbonización profunda. Disponible en: https://www.spec.cl/SPEC-ISCI-Descarbonizacion_web.pdf
- **BID, 2020.** Sistemas de almacenamiento de energía. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/sistemas-de-almacenamiento-de-energia-descarbonizacion/>
- **BloombergNEF (2020).** BloombergNEF’s annual battery price survey. Disponible en: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>
- **Wartsila, 2021.** “Un nuevo estudio sobre el sistema energético de Chile revela el camino hacia la descarbonización”. Disponible en: <https://www.wartsila.com/latinamer/es/sala-de-prensa/local/29-07-2021-un-nuevo-estudio-sobre-el-sistema-energetico-de-chile-revela-el-camino-rapido-hacia-la-descarbonizacion>
- **IRENA, 2017.** Electricity Storage and Renewables: Costs and Markets to 2030, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Disponible en: <https://www.irena.org/publications/2017/oct/electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>
- **IEA, 2021.** World Energy Outlook 2021. Disponible en: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/888004cf-1a38-4716-9e0c-3b0e3fdbf609/WorldEnergyOutlook2021.pdf>
- **Cámara de Diputados y Diputadas, 2021.** Proyecto de Ley que promueve el almacenamiento de energía eléctrica y la electromovilidad. Disponible en: <https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/tramitacion.aspx?prmID=15219&prmBOLETIN=14731-08>

Nota Aclaratoria

Asesoría Técnica Parlamentaria está enfocada en apoyar preferentemente el trabajo de las Comisiones Legislativas de ambas Cámaras, con especial atención al seguimiento de los proyectos de ley. Con lo cual se pretende contribuir a la certeza legislativa y a disminuir la brecha de disponibilidad de información y análisis entre Legislativo y Ejecutivo.



Creative Commons Atribución 3.0
(CC BY 3.0 CL)