

ENERGY PARTNERSHIP  
CHILE-ALEMANIA



Fomentado por:



Ministerio Federal  
de Economía  
y Protección del Clima

en virtud de una decisión  
del Bundestag alemán

# Análisis del rol del almacenamiento en el proceso de transición energética de Chile y los factores que influyen en su desarrollo

*Resumen ejecutivo*



## IMPRINT

Este estudio fue llevado a cabo por el Centro de Energía de la Universidad de Chile y Fraunhofer Chile en el marco de la Energy Partnership Chile-Alemania.

Los cooperantes principales son el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK) y el Ministerio de Energía de Chile, junto con numerosas instituciones afiliadas. La GIZ es el cuerpo ejecutor de la alianza.

### Comisionado y publicado por:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Con sedes en Bonn y Eschborn, Alemania

### Proyecto:

Energy Partnership Chile-Alemania


### Contacto:

Energy Partnership Chile - Alemania

c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Marchant Pereira 150, 7500523 Santiago de Chile

 [energyclde@giz.de](mailto:energyclde@giz.de)

 +56 22 30 68 600

### Jefa de proyecto:

Daina Neddemeyer  
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

### Autores:

Carlos Benavides, Marco Vacarezza, Mathias Vetter, Ignacio Ñancupil, Carlos Felbol, Álvaro Henríquez, Thomas Lindsay, Martín Fritz, Rodrigo Palma.

### Coordinación:

Energypartnership Chile - Alemania, GIZ Chile

### Publicado en:

Santiago de Chile, pdf por Energy Partnership Chile-Alemania

**Diseño:** Energy Partnership Chile-Alemania

### Fotografía e ilustraciones:

© Petr Malinak / Shutterstock.com

### Versión:

1ra edición, Berlín y Santiago de Chile, Octubre 2023

GIZ es responsable por el contenido de esta publicación.

En representación del Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK).

Registro de Propiedad Intelectual Inscripción, ISBN: 978-956-8066-57-4. Primera edición digital: octubre 2023

### Cita:

Título: Análisis de Análisis del rol del almacenamiento en el proceso de transición energética de Chile y los factores que influyen en su desarrollo

Autores: Centro de Energía de la Universidad de Chile: Carlos Benavides, Marco Vacarezza, Mathias Vetter, Ignacio Ñancupil, Carlos Felbol, Álvaro Henríquez, Thomas Lindsay, Martín Fritz, Rodrigo Palma.

Revisión y Modificación: Daina Neddemeyer, Patricio Bastias Ortiz, Bárbara Neira Espinoza, Michael Schmidt.

Edición: Patricio Bastias Ortiz, Bárbara Neira Espinoza.

Santiago de Chile, 2023.

200 páginas

Resumen: Análisis de estructura de costos, fuentes de riesgo, servicios de red provistos y medidas de incentivo para las siguientes tecnologías de almacenamiento: baterías, aire comprimido, hidrogeno verde, concentración solar de potencia y batería de Carnot.

## 1 Resumen ejecutivo

El objetivo general de este proyecto es proveer de un análisis de las estructuras de costos, fuentes de riesgo, mecanismos de incentivo y servicios posibles de proveer por los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. Los sistemas de almacenamiento se pueden clasificar en sistemas químicos, eléctricos, mecánicos, electromecánicos, térmicos y biológicos. Este estudio se focaliza en los sistemas de almacenamiento tipo BESS, centrales CSP, baterías de Carnot, CAES y sistemas de almacenamiento para hidrógeno. En la Actividad 1 se analizó la estructura de costos de los distintos tipos de sistemas de almacenamiento. Por ejemplo, considerando distintas fuentes de información, se muestra que las baterías representan entre un 40% y 60% de los costos de un sistema BESS, mientras que el inversor representa como máximo hasta un 20%.

En la Actividad 2 se analizan las fuentes de riesgos asociadas al suministro de sistemas de almacenamiento y se realizan proyecciones de costos de inversión. Las proyecciones de costos realizadas por referencias internacionales muestran que existen escenarios donde los costos de almacenamiento en baterías y centrales CSP seguirán bajando. Para el caso de los sistemas BESS, los principales factores de esta disminución se describen a continuación: 1) Crecimiento de la industria de baterías en general tales como transporte, servicios eléctricos y dispositivos electrónicos; 2) Avances en la química de baterías; 3) Crecimiento del mercado; 4) Mayor diversidad de productos químicos; 5) Innovación continua con importantes investigaciones corporativas y públicas sobre baterías.

En la Actividad 3 se presentan una serie de políticas que se podrían implementar en Chile para asegurar o mitigar los riesgos de suministro de los sistemas de almacenamiento. La propuesta de acciones se realiza considerando 2 modelos de desarrollo. El primero supone que en el futuro Chile se puede convertir en un desarrollador de tecnologías de almacenamiento, como lo que se propone en la Estrategia Nacional del Litio, mientras que el segundo supone que Chile sigue siendo un importador de tecnologías. Asimismo, en el futuro se podría dar una combinación de ambos tipos de desarrollo. Como desarrollador de tecnología se proponen las siguientes acciones: desarrollo de industria local, desarrollo de estrategias nacionales de materiales críticos, fomento al I+D, búsqueda de colaboración regional en cadenas de valor, crédito para inversiones mineras en el extranjero, firma de acuerdos internacionales, entre otras medidas. Como importador de tecnologías, se propone la diversificación de proveedores, la compra conjunta, incentivos a la atracción de empresas extranjeras, políticas de economía circular, entre otras medidas.

En la Actividad 4 se describen y analizan los distintos tipos de servicios de red que los distintos tipos de sistemas de almacenamiento podrían prestar en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Considerando la regulación del mercado eléctrico nacional, se analiza como los distintos tipos de almacenamiento pueden proveer los siguientes servicios:

- Servicios de energía o generación eléctrica
- Servicios de potencia de suficiencia
- Servicios complementarios
- Servicios transmisión
- Servicios distribución
- Servicios gestión energética de cliente

Se analiza el impacto en las remuneraciones que reciben los sistemas de almacenamiento debido a la provisión de los distintos servicios que estos pueden entregar, tales como ingresos por venta de energía, potencia de suficiencia y servicios complementarios. Para este análisis, se estima el LCOE para distintos tipos de tecnologías y se determina el porcentaje del LCOE que podría ser cubiertos por los ingresos por potencia de suficiencia y los ingresos por energía. Por ejemplo, para un BESS aislado de 4 horas, los ingresos por potencia de suficiencia podrían cubrir entre un 24% a 40% de los costos totales dependiendo de los supuestos de costos de inversión y vida útil, mientras que los ingresos por ventas deberían estar dentro del rango de 71 US\$/MWh y 154 US\$/MWh para cubrir los costos totales. Para una central CSP se estima que los ingresos por venta de energía deberían ser del orden de 54 US\$/MWh para los supuestos de costos de inversión considerados, mientras que para central de bombeo los ingresos deberían estar entre 52 US\$/MWh y 60 US\$/MWh. Con respecto a los ingresos por Servicios Complementarios, dependiendo del tipo materialización del servicio (licitación, subasta, instrucción directa), el costo de inversión de la infraestructura de almacenamiento se puede cubrir total o parcialmente por la provisión de estos servicios.

Finalmente, en Actividad 5 se proponen distintos instrumentos y herramientas de incentivo y fomento posibles de implementar para acelerar la penetración de los sistemas de almacenamiento en la matriz energética chilena. Se proponen 20 acciones, algunas de las cuales se describen a continuación:

- Completar marco regulatorio actual bajo el cual operan los sistemas de almacenamiento: definir procedimiento que utilizará el Coordinador Eléctrico para realizar el despacho de los sistemas de almacenamiento, metodología de cálculo de los costos marginales operando con sistemas de almacenamiento y metodología para definir reconocimiento de potencia de suficiencia para los distintos tipos de sistemas de almacenamiento.
- El análisis de la estructura de costos para sistemas de almacenamiento tipo BESS muestra que los costos de inversión en plantas híbridas se podrían reducir en hasta un 45% en comparación con los sistemas aislados. Debido a los elevados costos medios de desarrollo de los sistemas tipo BESS, se recomienda levantar las barreras regulatorias asociadas a la instalación de sistemas de almacenamiento en plantas híbridas, de manera de aumentar la flexibilidad y reducir los costos medio de desarrollo.
- Con respecto a las licitaciones de clientes regulados, se recomienda definir la fecha de entrada en vigencia de nuevos contratos teniendo en cuenta los tiempos de construcción de nuevas centrales con sistemas de almacenamiento (ejemplo, centrales bombeo, plantas CSP, etc.); incluir criterios de selección adicionales al precio de la energía de manera de considerar los efectos sistémicos; en la medida que se tenga la certeza de la necesidades de almacenamiento se podría agregar en forma explícita en la licitación de suministro de los clientes regulados.
- Se recomienda la aplicación de instrumentos de difusión para el levantamiento de barreras asociadas a la desconfianza en una o más tecnologías específicas de almacenamiento, por ejemplo, las barreras asociadas a las centrales CSP.

- También se realizan recomendaciones relacionadas con los ejercicios de planificación. Se recomienda realizar sensibilidades con respecto a las estimaciones de costos y parámetros de modelación de las distintas tecnologías de almacenamiento. Por ejemplo, existe poca información para caracterizar los costos de inversión en Chile de centrales de bombeo, CAES, etc.; existe incertidumbre sobre el potencial de desarrollo de CAES; existe incertidumbre en la cantidad de ciclajes que pueden durar los distintos tipos de baterías, etc. A partir de lo anterior, se recomienda ampliar el número de escenarios evaluados en los ejercicios de planificación.
- Las plantas virtuales permiten la agregación de recursos distribuidos para que clientes regulados y libres puedan participar del mercado mayorista de la energía, servicios complementarios y potencia. Por recursos distribuidos se entiende a las centrales de generación, sistema de almacenamiento, la gestión de la demanda, entre otros. Se recomienda habilitar la participación de las plantas virtuales en los mercados de energías, servicios complementarios y potencia de suficiencia
- Definir el marco regulatorio asociado a las medidas de adaptación del sector energía frente al cambio climático. El desarrollo de micro redes y sistemas de almacenamiento se podría incentivar a través del desarrollo de política de adaptación y resiliencia del sector energía ante el cambio climático.

