

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL
VALPARAÍSO - CHILE



Análisis del marco regulatorio ambiental para proyectos de
almacenamiento de energía en Chile

KAORI MIMURA MONTERO

Memoria para optar al título de
Ingeniera Civil Ambiental

Profesor Guía: Pamela Bonert

Profesor correferente: Daniel Ramírez

Enero 2025

Resumen ejecutivo

El presente estudio examina el marco regulatorio ambiental para proyectos de almacenamiento de energía, especialmente BESS, en Chile, a modo de contrastarlo con la normativa aplicable en el estado de California (EE.UU.) y Victoria (Australia), con énfasis en las diferencias en sus procesos de evaluación ambiental y el rigor de las aprobaciones ambientales. La investigación considera la legislación principal de cada región estudiada en materia ambiental: el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) en Chile, la Ley de Calidad Ambiental de California (CEQA) y el marco regulatorio de Planificación y Medio Ambiente de Victoria.

En Chile, el SEIA establece que los proyectos de almacenamiento de energía no son considerados centrales generadoras de energía eléctrica, por lo que no requieren ingresar obligatoriamente a evaluación en forma previa a su ejecución. No obstante, es responsabilidad del titular revisar la aplicabilidad de otras tipologías asociadas a este tipo de proyectos, los cuales suelen interactuar de forma complementaria a proyectos de generación de energía, lo que comúnmente implica estudios de impacto ambiental más exhaustivos dependiendo de ciertos umbrales específicos, como la capacidad de almacenamiento o el área de influencia definida. En California, la CEQA exige que todos los proyectos con posibles impactos significativos al medio ambiente presenten un Informe de Impacto Ambiental (EIR), a menos que sean elegibles para una exención de evaluación. En general, California se caracteriza por contar con una estructura de evaluación mucho más rigurosa, incluyendo instrumentos de gestión de mayor avance. En Victoria, por su parte, sólo los proyectos con impactos potencialmente significativos son sometidos a análisis más detallados. Al igual que en California, sus políticas de fomento en la implementación de sistemas de almacenamiento de energía facilitan las exenciones de evaluación.

Comparativamente, California y Victoria presentan marcos más adaptados al desarrollo de estas tecnologías, con alcances mucho más específicos, mientras que el marco regulatorio chileno presenta oportunidades de mejora al encontrarse en una etapa aún temprana del despliegue de estos proyectos, como por ejemplo, la gestión de riesgos de incendios, el alcance del proceso de participación ciudadana o la posibilidad de exenciones de evaluación que no comprometan la sostenibilidad.

Índice

1.	Introducción	5
1.2.	Objetivos.....	7
1.2.1.	Objetivo general	7
1.2.2.	Objetivos específicos.....	8
2.	Metodología.....	9
3.	Marco teórico	11
3.2.	Matriz eléctrica en Chile.....	11
3.2.1.	Vertimiento eléctrico	13
3.3.	Sistemas de almacenamiento de energía	15
3.3.1.	Tecnologías de almacenamiento.....	16
3.4.	Sistemas de almacenamiento en Chile.....	27
3.4.1.	Impacto Ambiental BESS ion-litio.....	28
3.4.2.	Marco regulatorio	30
3.4.3.	Criterio de evaluación de SEIA para sistemas de almacenamiento.....	32
3.5.	Proyectos de almacenamiento de energía en Chile 2022-2023	34
3.6.	Normativa ambiental estadounidense: Estado de California.....	45
3.7.	Normativa ambiental australiana: Estado de Victoria	53
4.	Análisis y discusión.....	58
4.2.	Procedimientos de evaluación ambiental	59
4.3.	Requisitos específicos para sistemas de almacenamiento de energía.....	61
4.4.	Participación ciudadana.....	64
4.5.	Plazos de aprobación	66
4.6.	Exenciones.....	66

4.7.	Conclusiones por análisis comparativo	68
5.	Conclusión	71
6.	Recomendaciones	72
Referencias		73

1. Introducción

La crisis climática ha ido cobrando cada vez más protagonismo y agudizando sus efectos en los ecosistemas, sociedad y economía, a medida que la demanda energética mundial también se acentúa en conjunto con el desarrollo económico y demográfico. El último informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) anunció que las políticas climáticas actuales llevarían al planeta a sobrepasar el límite de 1,5°C de calentamiento global, aumentando el riesgo de cambios permanentes o irreversibles para la Tierra (IPCC, 2023). Esta realidad ha forzado a que los compromisos y acciones en torno a la adaptación y mitigación de esta emergencia climática se vigoricen, con especial énfasis en los procesos productivos directamente asociados a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), como el sector energético (Comisión Nacional de Energía, 2023). En este contexto, la activación de medidas ha conducido a que una serie de países opten por diversificar sus matrices eléctricas con el fin de reducir los impactos ambientales que una matriz carbonizada puede implicar.

El amplio potencial de Chile para el desarrollo de energías renovables lo ha impulsado a adoptar compromisos climáticos que enmarcan una meta de descarbonización para lograr un país carbono neutral al año 2050, lo que responde a la Ley 21.455 sobre Marco de Cambio Climático. De esta manera, la transición energética correspondería a una de las principales estrategias para alcanzar el objetivo mencionado, en donde el aumento significativo de la generación de energía a partir de fuentes renovables, el cierre gradual de las centrales a carbón y la implementación de incentivos y políticas que favorezcan la inversión y desarrollo de proyectos de energías renovables serían algunas de las disposiciones consideradas dentro del plan establecido (Ministerio de Energía, 2022).

Durante los últimos años, la participación de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en la matriz energética se ha consolidado como la más abundante alcanzando un 46,3% de la capacidad instalada actualmente, superando a las fuentes térmicas e hidráulicas convencionales. De esta cifra, un 28,6% corresponde a la energía solar fotovoltaica, mientras que un 13,4% a la energía eólica (ACERA, 2024). Dicho aumento de ERNC en la matriz eléctrica ha producido una sobregeneración de electricidad por parte de las centrales, sobrepasando las necesidades de consumo de la zona en la que se ubican y la capacidad de

transporte de las líneas de transmisión eléctrica. También llamado vertimiento energético, este fenómeno representa una pérdida de recursos y una ineficiencia en la gestión de la energía al desaprovechar la energía eléctrica generada, “virtiéndose” sin ser consumida. Los vertimientos de energías renovables generalmente responden al exceso de energía en determinadas horas donde existe menor demanda (Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, 2023). Además, la mayor demanda se localiza en la zona central del país, mientras que el desarrollo de centrales fotovoltaicas se concentra en la zona norte. Dicha potencia generada debe fluir de norte a sur, saturando el sistema de transmisión y obligando a las centrales a reducir su potencia para evitar dañar a las líneas eléctricas (Alomar, 2021).

El inquietante aumento de cifras en desacoples, cercano a los 2.376 GWh anuales y equivalente al consumo de 990.000 hogares en Chile en el transcurso de un año, ha conducido a la necesidad de adoptar soluciones frente a este inconveniente. Entre las propuestas más prometedoras se encuentra el almacenamiento de energía, el cual como su nombre lo indica, permite guardar y suministrar energía posibilitando disminuir los vertimientos (Parisi, 2024).

Robustecer la capacidad de transmisión sería otra solución muy necesaria, pero que debe ser considerada a largo plazo. Los sistemas de almacenamiento representan una medida más inmediata como respuesta al problema, aprovechando los recursos naturales al máximo (Villavicencio, 2023). Dentro de las tecnologías más utilizadas, se encuentra el almacenamiento en base a baterías o BESS (Battery Energy Storage System) por sus siglas en inglés, cuya contribución en la capacidad instalada hasta abril del presente año corresponde a un 0,148% del total (ACERA, 2024). Si bien, dicho porcentaje aún supone una cuota ínfima, en 2023 se registró un despegue para los proyectos renovables con almacenamiento. Hacia fines del mismo año, de los 93 proyectos de generación solar y eólica que fueron admitidos a trámite en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), 68 contaban con tecnologías de almacenamiento de energía también, principalmente BESS (Ministerio de Energía, 2023).

Los antecedentes dan cuenta del explosivo auge de estos sistemas en Chile, como también en el resto del mundo. Países como China, Estados Unidos y Australia se posicionan como líderes en almacenamiento de energía por baterías, acompañando sus vastos desarrollos en energía solar y eólica. En 2023, China instaló 34,5 GW de almacenamiento seguido de

Estados Unidos con 16 GW de capacidad total, incluyendo proyectos en operación y planificación. Australia, por su parte, se ha convertido en uno de los mercados más atractivos para el almacenamiento de energía a escala de red y es líder en términos de capacidad planificada, contando con 40 GW en proyecto a mediados del año pasado, superando incluso a China (Kennedy, 2024).

Almacenar energía es, entonces, una tendencia emergente y es de esperar que continúe progresando a medida que el desarrollo de ERNC conduzca a una descarbonización total. Sin embargo, Chile aún enfrenta barreras regulatorias en materia ambiental aplicable a estas instalaciones, contando con un escaso marco normativo necesario para gestionar la variabilidad de la producción renovable. En la actualidad, los proyectos de almacenamiento no corresponden a lo definido como una central generadora de energía eléctrica en el Decreto Supremo N°40, por lo que su ingreso al SEIA no es de carácter obligatorio bajo esta tipificación de forma previa a la ejecución de estos. En esta línea, la revisión de la aplicabilidad de las distintas tipologías de ingreso establecidas es responsabilidad de los titulares respectivos (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

El análisis de cómo la exclusión de los proyectos de almacenamiento de energía del SEIA puede impactar en términos de protección ambiental permitiría tomar en consideración un marco regulatorio efectivo para estas tecnologías, complementando las bases del desarrollo sostenible al que aluden. Estudiar la normativa internacional de países avanzados en este tipo de proyectos, como Estados Unidos y Australia, para identificar las brechas y desafíos que Chile tendría que abordar, favorecerá el reconocimiento de aspiraciones regulatorias, facilitando la evolución de los sistemas de almacenamiento en legislación ambiental y, por lo tanto, acercando la carbono neutralidad a la realidad nacional.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar el actual marco regulatorio ambiental aplicable para proyectos de almacenamiento de energía en Chile para contrastarlo con la legislación ambiental internacional de países más avanzados en el área.

1.2.2. Objetivos específicos

- Enumerar las tecnologías de almacenamiento de energía existentes, describiendo las más utilizadas en Chile.
- Analizar los proyectos de almacenamiento de energía en Chile de los últimos dos años (período 2022-2023) y determinar sus criterios de evaluación, como sus respectivas tipologías de ingreso al SEIA.
- Analizar el marco regulatorio ambiental chileno para proyectos de almacenamiento de energía para identificar complejidades.
- Analizar el marco regulatorio ambiental aplicable del estado de California en Estados Unidos y el estado de Victoria en Australia para proyectos de almacenamiento de energía.
- Contrastar el marco regulatorio ambiental chileno con el internacional para identificar posibles puntos de mejora en la normativa nacional.

2. Metodología

La presente investigación se desarrolla con el objetivo de realizar un análisis comparativo entre el marco regulatorio ambiental chileno asociado a proyectos de almacenamiento de energía y el de países más avanzados en esta materia, como Estados Unidos y Australia, a través de la revisión de la normativa ambiental en los casos mencionados para conocer el estado de avance de Chile respecto a la evaluación ambiental de sistemas de almacenamiento de energía. Por consiguiente, el estudio empleará un enfoque cualitativo y comparativo basado en la recopilación y análisis de información documental.

La metodología propuesta se estructura en las siguientes etapas principales:

- I. Selección de fuentes de información
- II. Definición de criterios de análisis comparativo
- III. Método de análisis

El detalle de cada etapa se describirá en los siguientes apartados.

- I. Selección de fuentes de información

Este proceso fue diseñado para garantizar la pertinencia, actualidad y confiabilidad de la información utilizada en el análisis comparativo a desarrollar. Antes de recopilar dicha información, se establecerán criterios de selección que filtrarán el alcance de las fuentes. Se priorizarán documentos publicados entre los años 2015 y 2024 debido a los avances significativos en la implementación de tecnologías de almacenamiento de energía y en los marcos regulatorios asociados durante este período. Por otra parte, se seleccionarán fuentes provenientes de organismos gubernamentales, publicaciones científicas y medios de comunicación de fiabilidad, consultando exclusivamente versiones oficiales publicadas en portales institucionales en el caso de normativas y regulaciones. Estas fuentes serán accesibles de forma legal a través de diversas plataformas de acceso abierto, garantizando una recopilación amplia y representativa.

La estrategia de búsqueda de información incluye la definición de palabras claves para abarcar las diferentes regiones y contextos regulatorios, tales como: “evaluación de impacto ambiental de proyectos de almacenamiento de energía Chile”, “normativa ambiental proyectos de almacenamiento de energía”, “*environmental impact assessment energy*

storage” y “*energy storage standards and permits*”. Una vez seleccionadas las fuentes, se clasificarán y organizarán según su temática utilizando una plantilla Excel, estructurando los datos y facilitando su revisión y comparación posterior, entre las cuales destacan las normativas y regulaciones, las directrices y reportes técnicos de casos específicos.

II. Definición de criterios de análisis comparativo

El análisis estará estructurado en torno a los siguientes criterios claves:

- Cobertura regulatoria: ¿qué tipos de proyectos de almacenamiento de energía están regulados en cada región? ¿existen umbrales de capacidad para que un proyecto requiera evaluación ambiental?
- Requisitos de evaluación ambiental: hace referencia a la comparación entre los sistemas de evaluación de impacto ambiental de cada región. Algunos aspectos incluyen el tipo de permiso ambiental, las autoridades involucradas, los plazos promedios en la obtención de permisos y complejidad administrativa.
- Criterios técnicos ambientales: se analizará la gestión de riesgos específicos del almacenamiento para cada estado.
- Participación pública: se analizará el nivel de involucramiento de las comunidades para cada proceso de aprobación, así como sus mecanismos de consulta pública y su obligatoriedad.
- Incentivos regulatorios: permitirá observar si existen beneficios o exenciones para promover proyectos de almacenamiento de energía o programas que faciliten su implementación.

III. Método de análisis

El enfoque cualitativo del análisis busca identificar similitudes, diferencias, vacíos y buenas prácticas en los distintos marcos regulatorios permitiendo identificar posibles puntos de mejora en la optimización de la regulación chilena. Este primer análisis revisará, interpretará, clasificará y comparará los datos regulatorios recopilados para luego, proceder a realizar un análisis comparativo en donde se examinarán los aspectos de cada legislación, identificando patrones comunes y características distintivas. Este enfoque se complementará con la

construcción de una matriz comparativa que facilitará el contraste estructurado entre los elementos de cada marco normativo.

Una vez organizada la información bajo los criterios seleccionados en el apartado anterior, se interpretarán los datos de la contrastación atendiendo a las siguientes interrogantes: ¿qué características son comunes entre los tres marcos regulatorios? y ¿existe algún aspecto del marco chileno que sea posible mejorar para alinearse con las prácticas internacionales?

El análisis crítico de este estudio evaluará la efectividad de cada marco regulatorio en términos de protección ambiental y la promoción de tecnologías de almacenamiento de energía, considerando una comparación cruzada y análisis contextual.

3. Marco teórico

3.2. Matriz eléctrica en Chile

La matriz eléctrica chilena ha experimentado una notable evolución en las últimas décadas, demostrando un sólido compromiso con la diversificación de las fuentes de energía y la promoción de la sostenibilidad. Esta transformación responde, entre una serie de factores, a la creciente demanda de energía, la necesidad de garantizar la seguridad del suministro y la urgencia de mitigar los impactos ambientales asociados a la generación de energía en el marco de las metas de carbono neutralidad que el país ha adoptado.

Actualmente, la composición de la matriz eléctrica se configura en un 46,3% de fuentes renovables alcanzando el primer lugar de participación, seguido de un 34,9% en fuentes térmicas. Lo anterior se puede observar en la Figura 1, junto con el resto de contribuciones de cada fuente de energía registradas hasta abril del presente año, integrando una capacidad instalada de 36.486 MW (ACERA, 2024).

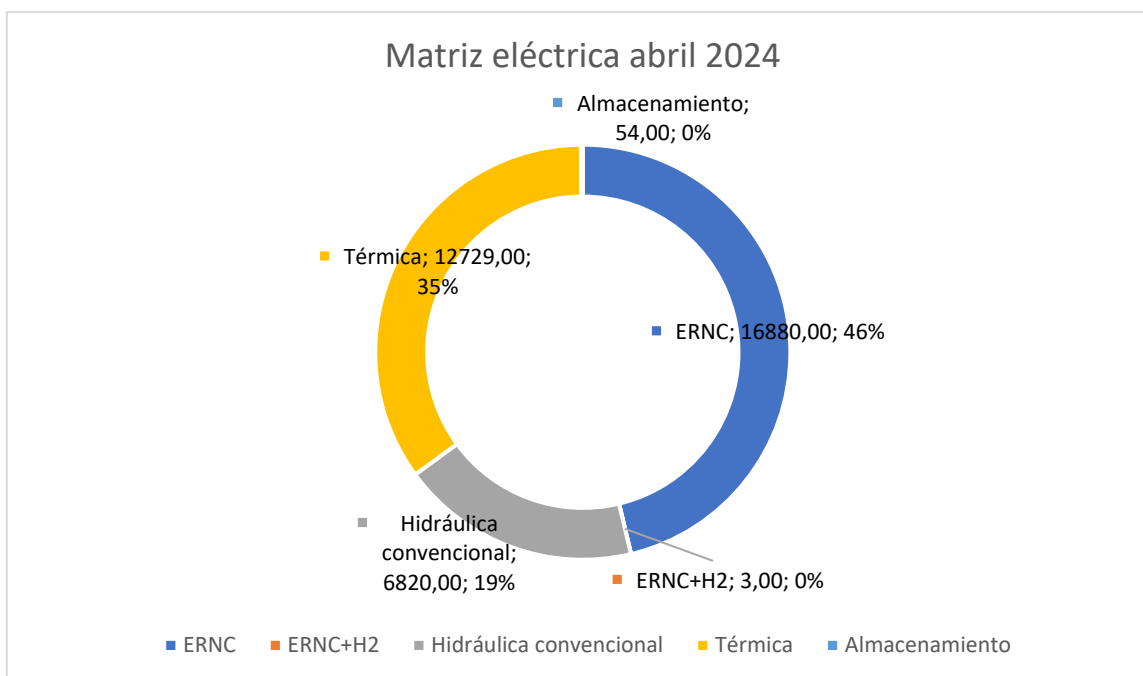


Figura 1: Contribución de las fuentes energéticas en la matriz eléctrica hasta abril del 2024

Fuente: Estadísticas del sector energético (ACERA, 2024)

Por otro lado, la Tabla 1 muestra la potencia neta por fuente utilizada dentro del espectro de ERNC hasta abril del presente año.

Tabla 1. Potencia neta de tecnologías ERNC hasta abril del 2024

Fuente	Potencia Neta (MW)	Potencia Neta (%)
Biogás	60	0.2
Biomasa	632	1.7
Eólica	4.903	13.4
Geotérmica	83	0.2
Mini Hidráulica Pasada	662	1.8
Solar fotovoltaica	10.431	28.6
Termosolar	108	0.3

Fuente: Estadísticas del sector energético (ACERA, 2024)

A partir de las cifras indicadas, es posible observar que la energía solar y eólica lideran la composición de la matriz conforme a las fuentes renovables. De acuerdo con el Informe de Novedades del Coordinador Eléctrico Nacional (CEN), la generación acumulada en base a

ERNC creció un 4% respecto del primer trimestre de 2023, con un alza del 13% en generación solar y 7% en eólica. Paralelamente, la participación del carbón bajó en un 5,32% durante marzo, mientras que el gas natural disminuyó en un 31% (Coordinador Eléctrico Nacional, 2024).

A nivel regional, Valparaíso y Antofagasta encabezan los proyectos solares en construcción, mientras que la Región de Los Ríos lidera la instalación de energía eólica con un 94%. Por su parte, la región de Los Lagos registra el mayor componente hidroeléctrico con un 67% (Generadoras de Chile, 2023). Esta distribución de proyectos ERNC se basa en la abundante diversidad geográfica y climática de Chile, en donde las diferentes zonas han permitido el desarrollo de recursos naturales específicos. La Figura 2 ilustra la predominancia de centrales fotovoltaicas en la zona norte-centro del país, justificando el alto potencial solar de la región, así como la expansión de proyectos eólicos en la zona sur.

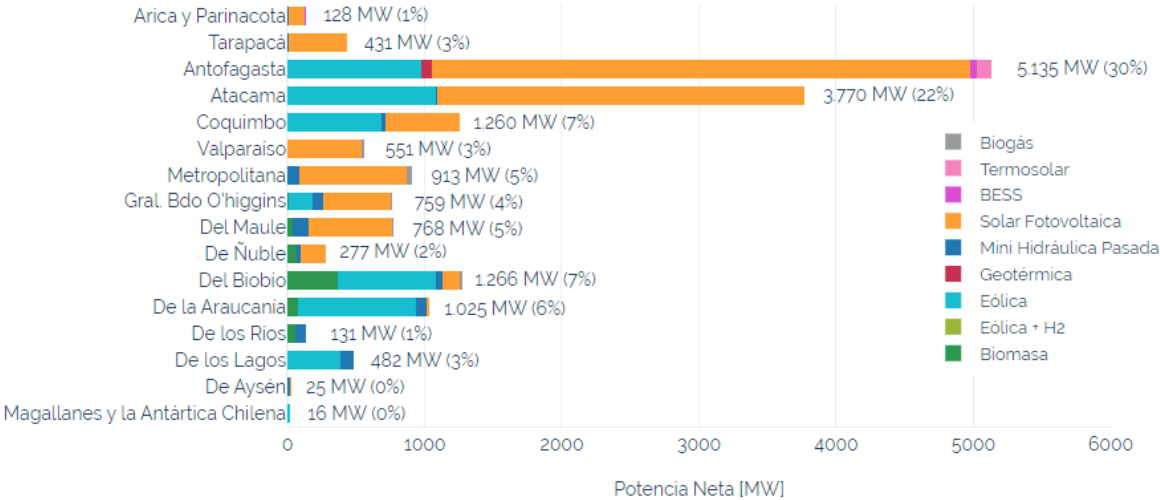


Figura 2: Capacidad instalada de las fuentes energéticas por región hasta abril del 2024

Fuente: Estadísticas del sector energético (ACERA, 2024)

3.2.1. Vertimiento eléctrico

La realidad estadística da cuenta de la tendencia hacia la transición energética que Chile se encuentra atravesando de forma exponencial, especialmente en generación a partir de energía solar y eólica. Sin embargo, la sobreproducción de electricidad ha originado otro tipo de inconvenientes operativos, obligando a los generadores a reducir su producción y desencadenando importantes pérdidas energéticas y económicas para los proyectos (Bocaz,

2024). En el caso de las fuentes solares, su integración en los sistemas de transmisión eléctrica se ve limitada por su producción intermitente, produciendo un problema que le impide al usuario utilizar la energía en cualquier momento que desee, mientras que se desperdician excedentes de energía solar por falta de un mecanismo de gestión (Orellana, 2020).

Estos excesos de energía eléctrica generada que no logran ser utilizados, también llamados desacoples o vertimientos eléctricos, alcanzaron 967,3 GWh de potencia acumulada durante 2023. Esta cifra significó un incremento del 90% en comparación con 2022, año durante el cual la energía solar experimentó un alza del 123,4% y la eólica de un 45,4% (Generadoras de Chile, 2023). Además, el exceso de generación eléctrica provoca una reducción en el costo marginal en determinadas horas del día (principalmente entre las 11:00 y 14:00 horas), alcanzando en ocasiones precios de 0 USD/kWh. En 2022, se vertieron 774 GWh de energía renovable de producción variable, equivalente a 69 millones de USD (Bocaz, 2024).

Ciertamente, la incapacidad del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) de transportar la energía generada a los usuarios representa un problema de transmisión, considerando que la mayor demanda energética se concentra en la zona central del país y la mayoría de plantas fotovoltaicas se ubica en la región de Atacama, lo cual conduce a la saturación del sistema al hacer fluir la energía de norte a sur (Alomar, 2021). No obstante, contar con la infraestructura necesaria capaz de transportar los bloques de energía desde las plantas hasta los centros de consumo supone un desafío más abordable al largo plazo, al dimensionar el preocupante escenario que enfrenta la industria en la actualidad.

En esta línea, las soluciones planteadas para los vertimientos incluyen: aumentar la capacidad de transmisión eléctrica, desarrollar Sistemas Energéticos Integrados o almacenar energía. Esta última alternativa se encuentra dentro de las medidas de solución a mediano-corto plazo más atractivas para atender la cantidad de energía que requiere ser gestionada y, como se observó en la Figura 1, actualmente el almacenamiento de energía forma parte de la matriz eléctrica en menor proporción con una capacidad instalada de 54 MW. En este estudio, se presentarán las características generales de cada tecnología diseñada con particular enfoque en las baterías de ion-litio, o también BESS ion-litio, que corresponden a las más utilizadas para este propósito dentro del panorama nacional.

3.3. Sistemas de almacenamiento de energía

Los sistemas de almacenamiento de energía corresponden a un conjunto de dispositivos que transforman la energía de una clase a otra, permitiendo su almacenamiento para su uso posterior o alternativo (Nuñez, 2020). En otros términos, retiran energía desde el sistema eléctrico o desde un proyecto de generación de energía para convertirla en otro tipo (química, potencial, térmica, entre otras), luego almacenarla y, por último, reinyectarla nuevamente al sistema eléctrico o al usuario final cuando se requiera su consumo. Es importante destacar que estos equipos no suministran energía eléctrica adicional a la red, sino que permiten una gestión temporal de la energía al almacenarla (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

La configuración general de estos sistemas comprende principalmente dos subcomponentes: una unidad de almacenamiento propiamente tal y un sistema de conversión de potencia. Estos elementos se complementan con un sistema de monitoreo y control que son esenciales para mantener la seguridad, como también para controlar parámetros técnicos de los equipos. Adicionalmente, cuentan con un transformador de poder que varía el nivel de tensión para conectar el sistema a la red eléctrica (Sandia National Laboratories, 2015). La Figura 3 muestra una representación esquemática de un sistema completo de almacenamiento de energía con un dispositivo de almacenamiento genérico, como una batería, por ejemplo.

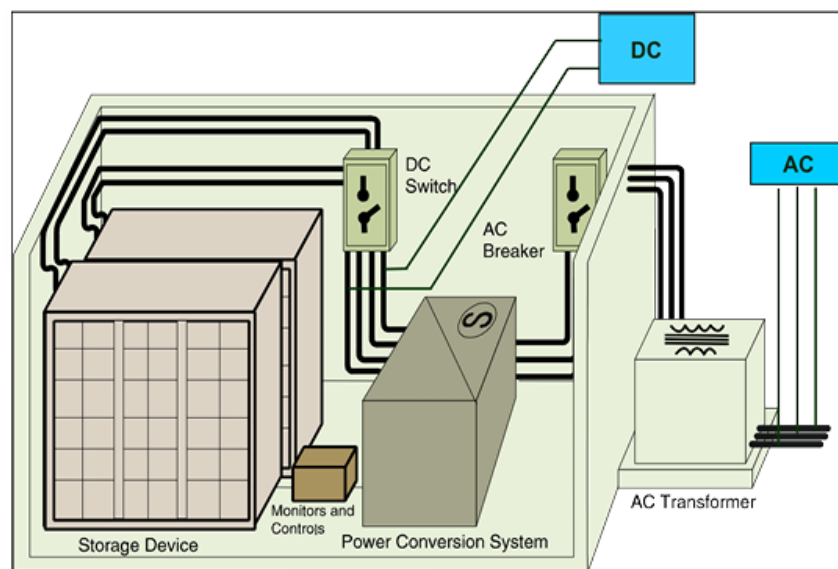


Figura 3: Composición general de un sistema de almacenamiento por baterías

Fuente: (Sandia National Laboratories, 2015)

3.3.1. Tecnologías de almacenamiento

Entre los múltiples métodos para categorizar las diversas tecnologías de almacenamiento, se pueden mencionar algunos en función de la forma de la energía almacenada, tiempos de respuesta, duración del almacenamiento, entre otros. Uno de los criterios más utilizados se basa en el tipo de energía almacenada en el sistema, en el cual se encuentran los tipos electroquímico, químico, mecánico y térmico. En la Tabla 2 se especifican las categorías como también algunas de las diferentes tecnologías asociadas.

Tabla 2. Tecnologías asociadas según tipo de almacenamiento de energía

Tipo de almacenamiento	Tecnologías
Electroquímico	• Baterías convencionales • Baterías de flujo • Supercondensadores
Químico	• Hidrógeno y amoníaco • Metanol • Combustibles sintéticos
Mecánico	• Bombeo hidráulico • Aire comprimido • Volantes de inercia
Térmico	• Sales fundidas • Almacenamiento criogénico

Fuente: Elaboración propia con datos SEA (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

A continuación, se describen las principales características de algunas tecnologías mencionadas.

I. Baterías

Las baterías o BESS son uno de los sistemas de almacenamiento más utilizados en la industria y en la vida cotidiana debido a su amplio espectro de aplicación, como en la gestión de la energía, calidad de la energía, potencia de paso y sistemas de transporte (Luo et al., 2014). Estos dispositivos convierten la energía eléctrica en energía

química y viceversa, almacenándola en celdas. La denominación de batería vendría dada por la unión de dos o más celdas conectadas en serie o en paralelo en un módulo, con el objetivo de alcanzar la capacidad y tensión deseada. El conjunto de módulos se designa como *pack*, los cuales se disponen en un contenedor (Carnegie et al., 2013).

Las baterías de mayor desarrollo comercial en la actualidad se dividen en dos categorías: baterías convencionales y baterías de flujo. Sus principios y tipos de baterías asociadas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de baterías

Categoría	Principio de funcionamiento	Tipos de baterías
Convencional	Almacenan y liberan energía a través de reacciones electroquímicas que ocurren entre dos electrodos (un cátodo y un ánodo) mediante un electrolito.	• Baterías de plomo-ácido • Baterías de ion-litio
De flujo	Consiste en dos tanques que almacenan electrolitos líquidos separados por una membrana, los cuales fluyen a través de una celda de conversión de energía.	• Baterías de redox-vanadio • Baterías de zinc-bromuro

Fuente: Elaboración propia (Luo et al., 2014)

Las baterías de flujo se diferencian de las convencionales en la construcción de la celda, en donde el material electrolítico se almacena en tanques externos a los electrodos (Carnegie et al., 2013). Adicionalmente, las baterías convencionales son más utilizadas como sistemas de almacenamiento a corto plazo, mientras que las de flujo suelen tener una vida útil más larga. Ambos tipos de baterías se presentan y describen a continuación.

- **Baterías de plomo-ácido**

Las baterías de plomo-ácido son consideradas una de las tecnologías de almacenamiento más aceptadas y, por ende, más utilizadas, dado su bajo costo y aplicaciones en mejoras de calidad de potencia y de sistema de alimentación ininterrumpida (UPS, por sus siglas en inglés, Uninterruptible Power Supply). En este tipo de baterías, los dos electrodos están hechos de plomo y el electrolito es una solución de agua destilada y ácido sulfúrico. Cuando la batería se encuentra cargada, el ánodo tiene un depósito de dióxido de plomo y el cátodo de plomo. Durante la descarga, se produce la disociación del ácido sulfúrico de manera que tanto el dióxido de plomo y el plomo se transforman gradualmente en sulfato de plomo. En consecuencia, el electrolito pierde gran parte del ácido disuelto y forma principalmente agua, con lo cual se disminuye su densidad (Comisión Nacional de Medio Ambiente & GTZ, 2008). Al descargarse continuamente, las placas de plomo se vuelven químicamente parecidas, debilitando el ácido y disminuyendo la tensión. Con el tiempo se pierde la capacidad de suministro de voltaje útil, sin embargo, la batería puede recargarse alimentándola con corriente eléctrica. De esta forma, las baterías de plomo-ácido fueron las primeras baterías que podían recargarse al hacer pasar una corriente en el sentido inverso a través de ellas (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

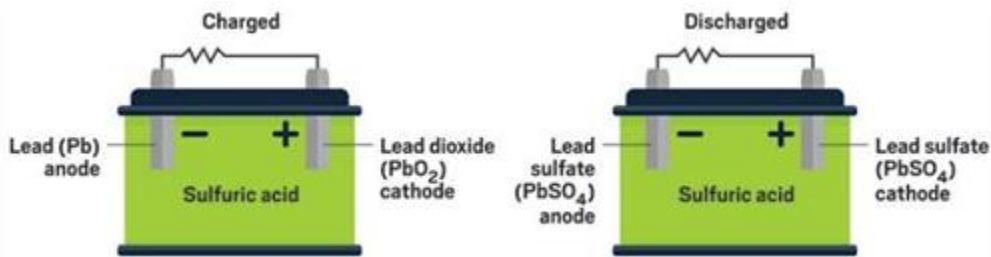


Figura 4: Operación y componentes de las baterías convencionales de plomo ácido.

Fuente: (Kitaronka, 2022)

- **Baterías de ion-litio**

Las baterías de ion-litio son un tipo de batería recargable cuyas primeras aplicaciones en los dispositivos electrónicos portátiles promovieron su penetración en el mercado, dando cuenta de su alta densidad energética y prolongado tiempo de vida. En comparación con las baterías de plomo-ácido, la densidad de energía en estas baterías puede triplicarse y pueden alcanzar una gran cantidad de ciclos de operación. En la actualidad, son la tecnología de elección para vehículos eléctricos (Xie & Lu, 2020). Su principio de funcionamiento se basa en el movimiento de iones de litio entre el ánodo y el cátodo durante los ciclos de carga y descarga. El proceso involucra un cátodo de óxido de metal con litio y un ánodo de grafito, mientras que el electrolito está hecho de sales de litio disueltas en carbonatos orgánicos (Rodríguez et al., 2020). Durante el proceso de carga, los átomos de litio del cátodo se transforman en iones que migran a través del electrolito hacia el ánodo en el que se combinan con los electrones externos, depositándose entre las capas del grafito en forma de átomos de litio. Este proceso se revierte durante la descarga (Orellana, 2020).

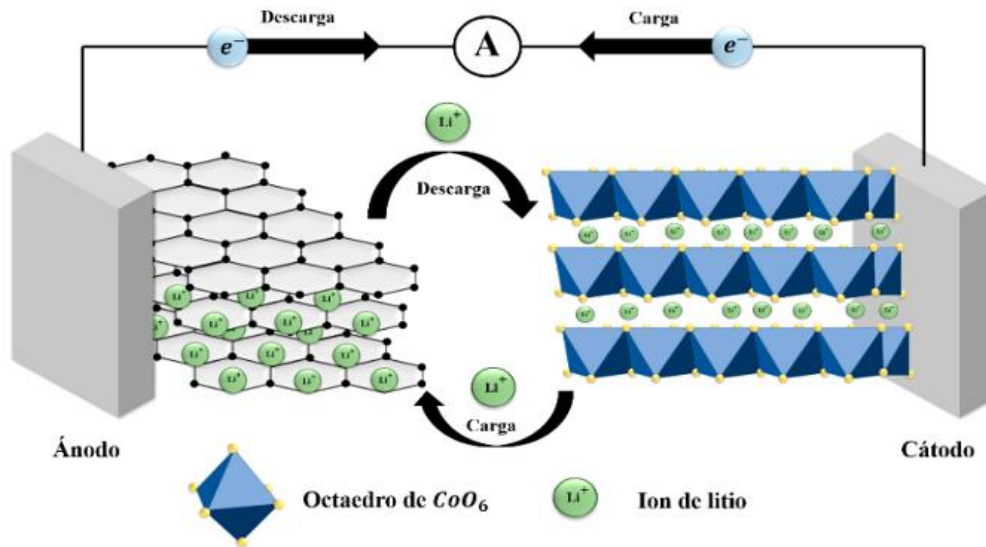


Figura 5: Esquema de funcionamiento de una batería de ion-litio.

Fuente: (Rodríguez, Ortiz, & Thomas, 2020)

No obstante, la popularidad de este tipo de baterías se ha propagado, no sólo por su eficiencia energética, sino porque también pueden presentar diversos problemas que

pueden comprometer la seguridad del proceso de aplicación de no ser manejadas adecuadamente. Las tres problemáticas más comunes, que pueden causar cortocircuitos y explosiones de estas, son la sobrecarga, la fuga térmica y el crecimiento de dendritas de litio. Por otra parte, su reciclaje representa otro desafío en cuanto a las barreras técnicas, económicas y de infraestructura existentes en algunos casos (Quintero et al., 2021).

- **Baterías de redox-vanadio**

Las baterías de redox-vanadio, también conocidas como de flujo puro, son las más avanzadas dentro de la categoría de baterías de flujo y utilizan vanadio en diversos estados de oxidación para almacenar y liberar energía. La capacidad del vanadio de estar en cuatro estados de oxidación diferentes permite tener un único material activo en la batería (Moreno, 2020). En estos dispositivos, la energía se acumula en forma de especies activas disueltas en los electrolitos líquidos (positivo y negativo) contenidos en dos depósitos independientes. Durante las fases de carga y descarga se intercambian iones H^+ entre estos dos últimos, a través de una membrana de polímero permeable a este tipo de iones, donde ocurren los distintos procesos electroquímicos, tras lo cual los electrolitos retornan a sus tanques de origen. En comparación con las tecnologías descritas anteriormente, este tipo de baterías presenta una mayor vida útil como número de ciclos, ofrece una escalabilidad independiente de la potencia y mayor seguridad en la operación (Popa et al., 2022).

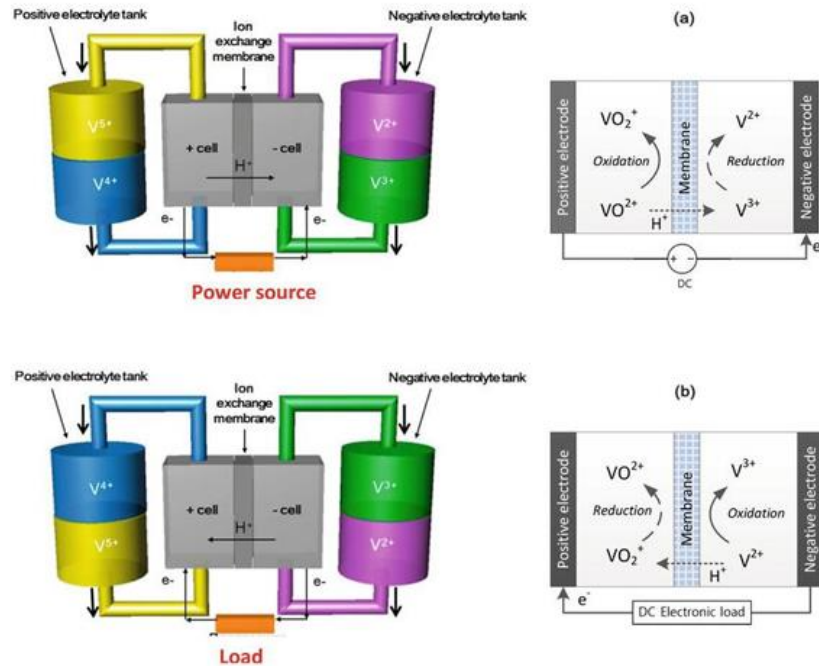


Figura 6: Proceso de carga y descarga de una batería de redox vanadio. (a) carga; (b) descarga

Fuente: (Moreno, 2020)

- **Baterías de zinc-bromuro**

La batería de flujo zinc-bromuro es una batería redox híbrida en la que tanto el cátodo como el ánodo son almacenados en depósitos externos y son bombeados al interior de la celda electroquímica y separados por una membrana polimérica microporosa. En el proceso de carga, el electrolito es bombeado al interior de la celda en la que se forma bromo líquido en la parte catódica por la oxidación del bromuro, mientras que en la parte anódica el ion zinc se reduce a zinc metálico y es depositado en la superficie del electrodo. Durante la descarga, por su parte, el zinc y bromuro se combinan para formar bromuro de zinc, lo cual provoca una caída de potencial y, por tanto, aumenta los iones en los depósitos. En este sistema, la capacidad total de almacenamiento de energía depende tanto del tamaño de la batería (área efectiva del electrodo) como del tamaño de los depósitos de almacenamiento del electrolito. Por lo anterior, en este tipo de baterías la capacidad y la potencia no se encuentran desacopladas (Blasco, 2022).

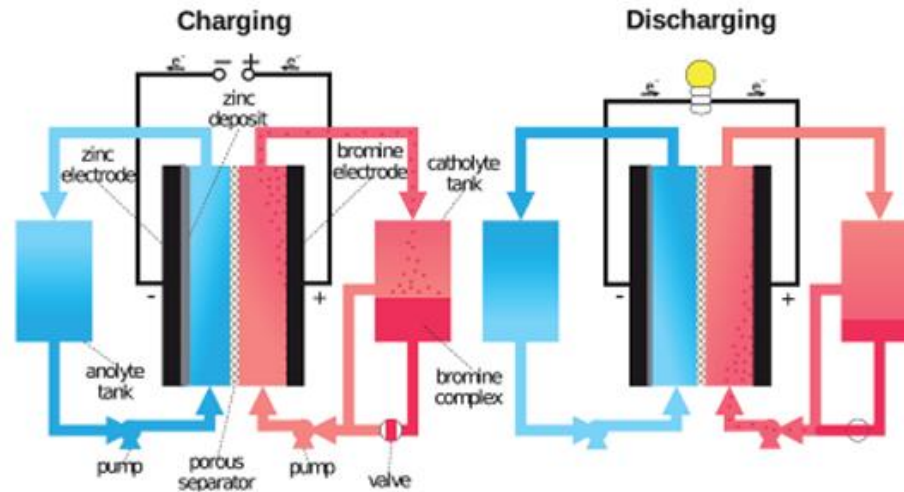


Figura 7: Funcionamiento de una batería de zinc-bromuro durante el proceso de carga y descarga.

Fuente: (Blasco, 2022)

II. Supercondensadores

Un supercondensador, o también llamado ultracapacitor, es un dispositivo de almacenamiento de energía que ha adquirido interés en los sectores energéticos debido a que muestra una alta eficiencia al utilizar fuerzas electrostáticas para suministrar energía eléctrica y proveer alimentación a diversos sistemas. Su principio de funcionamiento consiste en dos electrodos sumergidos en un electrolito separados por un material semipermeable. Al someterse a una diferencia de potencial, se genera una diferencia de densidad de carga entre sus placas y los iones migran hacia la superficie de los electrodos absorbiéndose en la interfaz (Javier et al., 2024).

En general, esta tecnología se compone de carbón activado como electrodos y además contiene una solución electrolítica que es la que forma una distribución de carga a lo largo de la superficie de contacto entre el carbón y el electrolito (Liu et al., 2020). Este mecanismo electrostático dista de la reacción química que tiene lugar en el caso de las baterías y, a comparación de estas, presenta una mayor velocidad de carga y descarga, por lo que también permite más ciclos de vida, así como también una vida útil más larga. De esta forma, un supercondensador puede entregar una alta potencia en menos tiempo, sin embargo, su cantidad de energía almacenada es baja. En consecuencia, este dispositivo no está diseñado para reemplazar a las baterías, sino a

complementarlas en la gestión de sus desventajas (Moreno, 2020). Adicionalmente, se pueden dividir en tres categorías según sus principios de almacenamiento de carga: supercondensadores de doble capa electroquímica (EDLCs), pseudocapacitores (Ps) y supercondensadores híbridos. Lo anterior, permitiría realizar la selección adecuada conforme a las necesidades de los sistemas que se deben alimentar (Javier et al., 2024).

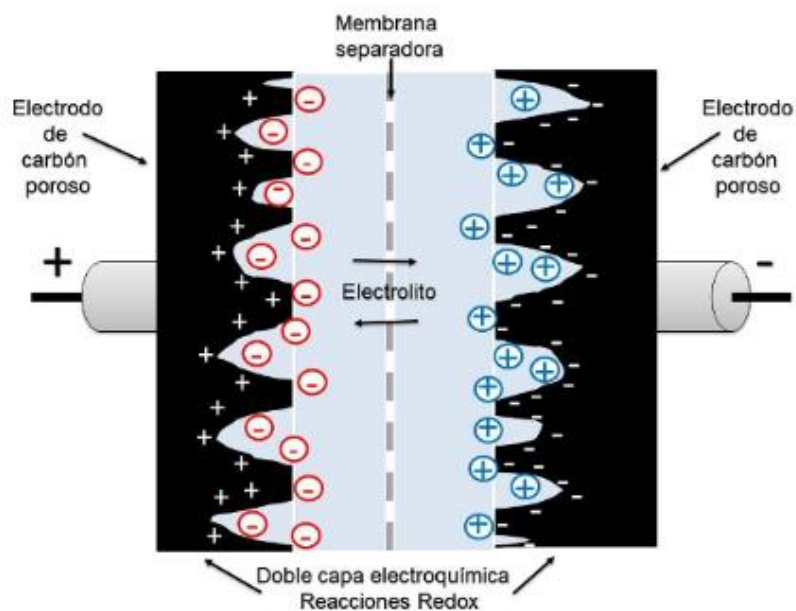


Figura 8: Comportamiento interno de un supercondensador.

Fuente: (Javier et al., 2024)

III. Bombeo hidráulico

El almacenamiento por bombeo hidráulico PHS (Pumped Hydroelectric Storage) ha sido una de las opciones más económicas para almacenar energía a gran escala con una alta eficiencia y por un largo período de tiempo. Su principio de funcionamiento consiste en un sistema de dos embalses o cuerpos de agua a diferentes alturas, en donde durante la carga, la bomba ubicada en el reservorio inferior transportaría el agua hasta el reservorio superior, es decir, almacena energía eléctrica en forma de energía potencial gravitatoria. Asimismo, durante el proceso de descarga o fase de generación, se libera el agua almacenada en el reservorio superior hacia el inferior,

haciendo mover una turbina, transformando la energía potencial a energía mecánica y, finalmente, a energía eléctrica (Molina, 2017). Esta operación es similar a la de una central hidroeléctrica tradicional.

Por la naturaleza de su operación, su rango de eficiencia debe considerar la eficiencia de bombeo durante la carga y la eficiencia de la turbina y generador durante la descarga, esto entregaría un rango total de 70% a 80% (García, 2020).

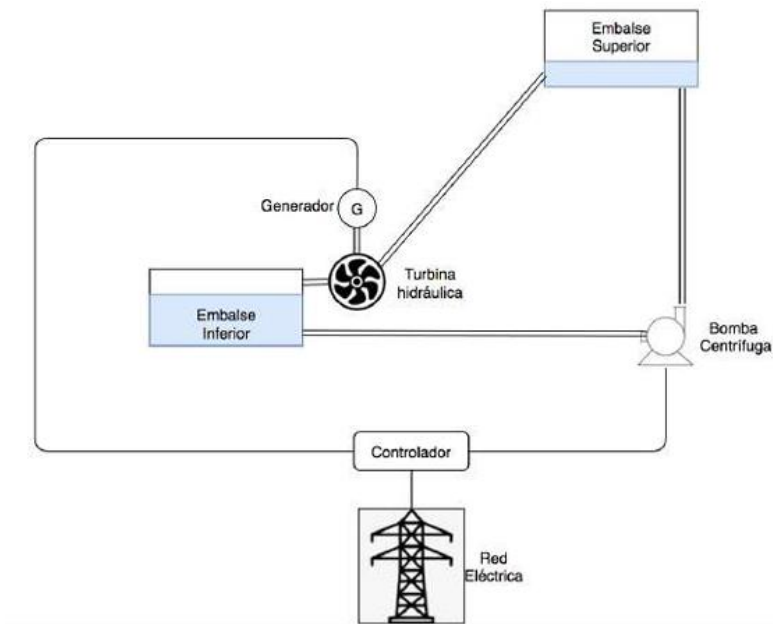


Figura 9: Esquema simplificado de central PHS.

Fuente: (García, 2020)

IV. Aire comprimido

Esta tecnología permite almacenar energía en depósitos subterráneos mediante la compresión de aire para, posteriormente, generar electricidad a través de una turbina en donde el aire se expande para accionarla. Debido a la necesidad de utilizar energía para accionar los compresores que comprimen el aire, en primera instancia, es común consumirla durante los períodos en los que existen excedentes de energía, como es el caso de las energías renovables normalmente. El aire se almacena en depósitos bajo tierra que pueden ser tanto naturales como artificiales, como cavernas de sal o tanques a presión. Luego, la generación posterior de energía se produce a demanda, lo cual añade interés para el mercado eléctrico. Su configuración se dispone en 4

subsistemas: (1) compresión del aire, (2) almacenamiento de energía térmica del aire comprimido, (3) el almacenamiento de aire comprimido y, (4) la generación de energía a partir de la liberación de aire comprimido.

Entre sus desventajas como alternativa de almacenamiento, presenta una eficiencia limitada en comparación con otras tecnologías como las baterías y requiere una infraestructura específica que puede ser costosa y más desafiante geográficamente (Prado, 2023).

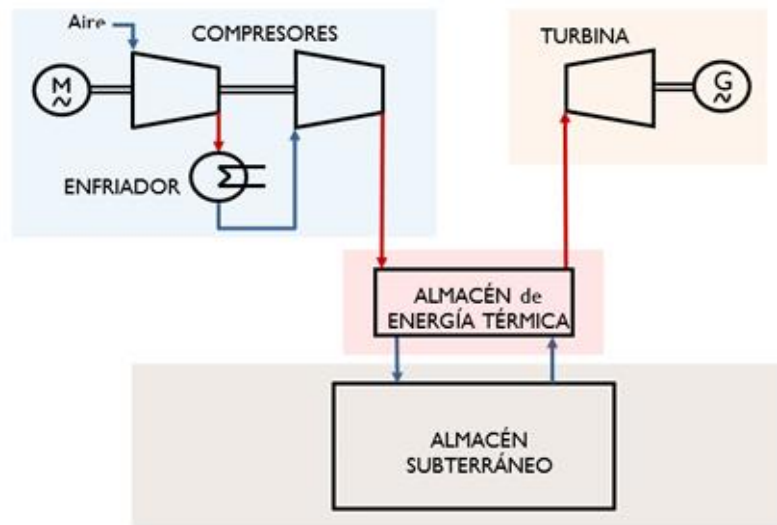


Figura 9: Esquema de funcionamiento de un sistema de almacenamiento por aire comprimido.

Fuente: (Prado, 2023)

V. Volantes de inercia

Los volantes de inercia FES (Flywheel Energy Storage) son dispositivos que almacenan energía mediante la aceleración de un rotor (volante) a una alta velocidad, manteniendo la energía en el sistema aprovechando el principio de inercia. El sistema consta de un volante que consiste en un disco o cilindro que se hace girar a través un motor eléctrico, convirtiendo la energía eléctrica en energía cinética, la cual es almacenada. Para la generación, el volante reduce su velocidad convirtiendo la energía cinética en energía eléctrica nuevamente (Moreno, 2020).

En la actualidad, el volante de inercia se sitúa dentro de un contenedor al vacío para eliminar la pérdida por fricción causada por el aire. Además, la energía cinética se

transfiere dentro y fuera del volante, lo cual permite que funcione como motor o generador, dependiente del ángulo de carga. Por último, es necesario contar con una electrónica de potencia adicional para controlar la entrada y salida de potencia, la velocidad, la frecuencia, entre otros (Remache, 2020).

La cantidad de energía almacenada es proporcional a la velocidad de rotación, la cual fluctúa entre 20.000 a más de 100.000 rpm en recintos al vacío, obteniendo eficiencias de hasta 90% (Moreno, 2020). Aunque estos dispositivos son capaces de proporcionar hasta una hora de energía almacenada, en general, se consideran tecnologías de corta duración (Carnegie et al., 2013).

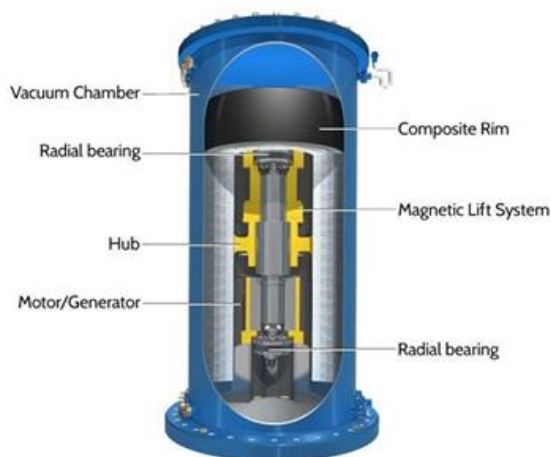


Figura 10: Configuración de un volante de inercia.

Fuente: (Moreno, 2020)

VI. Sales fundidas

El almacenamiento por sales fundidas es una tecnología utilizada principalmente en plantas de energía solar concentrada (CSP) y corresponde a un tipo de almacenamiento de energía térmica. Estas sales son, comúnmente, una mezcla de nitratos de sodio y potasio, y son calentadas en un sistema que utiliza un receptor para reflejar la luz solar en una cámara de calentamiento, donde alcanzan altas temperaturas y eventualmente se funden. Luego, debido a la alta capacidad calorífica de las sales, se almacenan hasta que sea necesario convertir el calor en electricidad (Carnegie et al., 2013). Este último proceso es posible mediante la transferencia de calor por parte de las sales a un fluido de trabajo, generalmente agua, convirtiendo el

agua en vapor. Por su parte, el vapor es utilizado para mover una turbina de vapor que permite la generación eléctrica. Después de enfriarse, las sales son almacenadas en un tanque de sales frías para ser recalentadas posteriormente y continuar el ciclo (Bhatnagar et al., 2022).

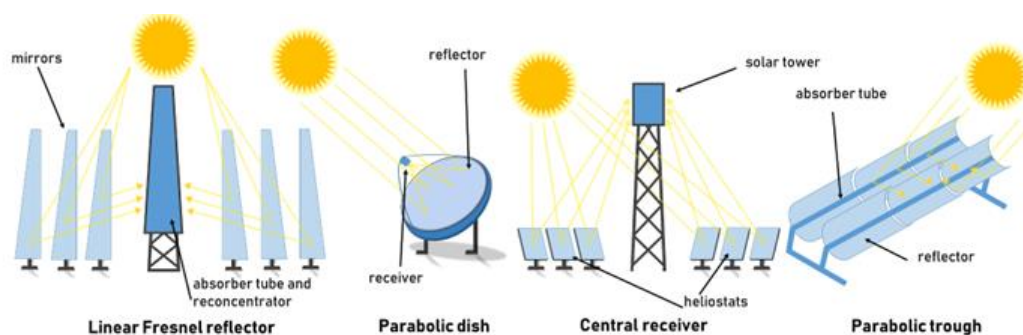


Figura 11: Posibles configuraciones de un sistema de almacenamiento con CSP.

Fuente: (Skrbek et al., 2022)

3.4. Sistemas de almacenamiento en Chile

Los primeros proyectos de almacenamiento de energía en baterías de Chile se pusieron en marcha en 2006 y todas, menos dos de sus 16 regiones administrativas, tienen instalaciones en funcionamiento, en construcción o en fase de planificación (Bartlett, 2024). Desde entonces, el rol del almacenamiento en la transición energética ha adquirido cada vez más relevancia, especialmente en el marco de la Política Energética 2050, la cual estableció metas de descarbonización y cuyo plan incluye la promoción de tecnologías de almacenamiento para compensar las fluctuaciones en la generación de energías renovables.

Como se mencionó anteriormente, la contribución de estas tecnologías a la matriz actual registra 54 MW de capacidad instalada total, sin embargo, las cifras reportan una capacidad de almacenamiento que supera los 400 MWh. A su vez, hacia fines de 2024, se espera contar con una capacidad instalada de 1.113 MW con una duración en torno a 3,88 horas. Los escenarios de planificación de la generación eléctrica de la Comisión Nacional de Energía (CNE), basados en la Planificación Estratégica de Largo Plazo del Ministerio de Energía, por su parte, proyectan que se necesitarán entre 1.200 a 2.550 MW adicionales en sistemas de almacenamiento para el año 2027 (Comisión Nacional de Energía, 2024). Por consiguiente,

el incremento en estas cifras se mantendría en la medida en que la capacidad de energía renovable también continúe evolucionando.

Los proyectos más grandes se encuentran en el norte del país, asociados esencialmente al desarrollo de plantas solares y, entre las tecnologías predominantes se encuentran las baterías de ion-litio, el bombeo hidráulico y las sales fundidas. En esta línea, a mediados de abril del presente año, se inauguró el parque de almacenamiento en base a baterías de ion-litio más grande de Latinoamérica en la comuna de María Elena, Antofagasta, bajo el nombre de “BESS Coya”. El centro es propiedad de la empresa Engie y tiene una capacidad de almacenamiento de 638 MWh, lo que permite suministrar energía por 5 horas (Peña, 2024). Junto con este auge de soluciones de almacenamiento, el Ministerio de Bienes Nacionales y el Ministerio de Energía anunciaron el “Plan Nacional Para Impulsar Proyectos de Sistemas de Almacenamiento en Terrenos Fiscales” a comienzos de 2023. Esta iniciativa busca fomentar estos sistemas mediante la asignación de terrenos fiscales estratégicos en las regiones del Norte Grande, con conexión a subestaciones del SEN (Ministerio de Bienes Nacionales, 2024).

En general, la promoción y los avances en materia de almacenamiento en Chile responden a la necesidad de facilitar la integración de energías renovables en la red y la variabilidad en la generación, brindando resiliencia al sistema eléctrico.

3.4.1. Impacto Ambiental BESS ion-litio

En la actualidad, los sistemas BESS de ion-litio corresponden a la principal tecnología de elección para el almacenamiento de energía en Chile, ubicados principalmente en la región de Antofagasta, Atacama, Región Metropolitana, Maule y La Araucanía (Comisión Nacional de Energía, 2024). Paralelamente, se estima que la proyección de la demanda mundial de baterías aumentará un 25% anual hasta alcanzar aproximadamente 2.600 GWh al año 2030. Su predominancia dentro de las alternativas de almacenamiento, así como su creciente desarrollo y aplicación, les otorgan un rol fundamental en los sectores energéticos (Olabi et al., 2021).

En los últimos años, las baterías han sido relacionadas con la evolución de las energías renovables, vehículos eléctricos y otras aplicaciones que han contribuido a la mitigación de

impactos ambientales asociados. Sin embargo, diversos estudios indican que, considerando el ciclo de vida de una batería, estas no están exentas de desventajas ambientales. Por mencionar algunos ejemplos, se ha demostrado que las fábricas de baterías de plomo-ácido pueden causar contaminación por la presencia de metales pesados en los ecosistemas agrícolas circundantes. A su vez, la gestión inadecuada de una batería como residuo puede llevarlas a terminar en un vertedero en donde sus productos químicos pueden penetrar el suelo a medida que se corroen, contaminando las aguas subterráneas y superficiales (Hannan et al., 2021).

En vista de que el uso de baterías de ion-litio lidera las alternativas de almacenamiento en Chile, resulta necesario considerar qué desafíos ambientales y de sostenibilidad invocan dentro del marco de una transición energética, de modo que su desarrollo exponencial se vea acompañado de una protección ambiental imperativa.

Las etapas del ciclo de vida de una batería de ion-litio, desde su manufactura hasta su disposición, contemplan diferentes impactos ambientales de diversas categorías y alcances. Junto con la demanda actual de este tipo de tecnologías, por consiguiente, también ha aumentado la demanda de materiales requeridos para la producción de baterías de ion-litio (Olabi et al., 2021). La fabricación de los materiales del cátodo requiere la obtención de materias primas, en este caso minerales, desde sus respectivos yacimientos, siendo el litio, cobalto, níquel y manganeso los más comunes. Los procesos claves utilizados para convertir el metal y los componentes a la forma precisa del material comprenden su extracción, el procesamiento de minerales, la fundición, lixiviación y refinación. Debido a lo anterior, los efectos ambientales asociados a esta etapa están sujetos a la minería llevada a cabo, la cual puede involucrar la degradación de ecosistemas, el agotamiento de recursos hídricos y la contaminación de suelos y aguas (Arshad et al., 2022).

Al ser el componente característico de este tipo de batería, la extracción de litio tiene un papel fundamental en toda su cadena de valor. Actualmente, Chile es el principal productor de litio en el mundo a partir de fuentes salares como el Salar de Atacama, contando con una producción acumulada total de 266.156 toneladas en los últimos 36 años (Cabello, 2022). El método más común de recuperación, y que conlleva un menor costo de producción, consiste en la evaporación solar de salmueras, lo cual implica la perforación de pozos y la disposición

de piscinas o estanques de evaporación de gran tamaño. Algunos de los impactos en los salares, producto de este proceso, se han visto reflejados en la destrucción de hábitats, pérdida de biodiversidad genética y de las reservas de agua en zonas extremadamente áridas (Restrepo, 2023).

La gestión de baterías una vez finalizada su vida útil, por su parte, corresponde a otro objeto de interés en materia ambiental. La falta de estándares adecuados o planes nacionales de recolección y reciclaje de baterías ineficientes o inexistentes conducen a que muchos tipos de baterías sean descartadas incorrectamente, terminando en vertederos o siendo incineradas. Como resultado, la salud humana y la calidad ambiental se ven comprometidas debido a que estas acciones pueden desencadenar la liberación de contaminantes como metales pesados o ácido fluorhídrico (HF). En esta línea, los incidentes de incendios y explosiones son los eventos más comunes a partir de estas prácticas, junto con otras vías de contaminación como la lixiviación. Entre los peligros identificados se encuentran los vapores y gases, nanoóxidos metálicos, productos de degradación del electrolito y posibles trazas de aditivos. Estos contaminantes pueden liberarse al suelo, agua subterránea o al aire, según el método de disposición. Los estudios sobre ecotoxicidad de los nanomateriales catódicos afirman que las baterías de ion-litio pueden representar una amenaza para los organismos vivos y salud humana (Mrozik et al., 2021). En Chile, el manejo actual de baterías es limitado ya que no existe una infraestructura de reciclaje a gran escala ni regulaciones específicas que impulsen su gestión, sin embargo, diversas iniciativas que buscan abordar estos desafíos se encuentran en desarrollo, entre ellas la Ley 20.920 de Fomento al Reciclaje de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que obliga a las empresas productoras (fabricantes e importadoras) a hacerse cargo de sus productos una vez terminada su vida útil.

3.4.2. Marco regulatorio

Desde el punto de vista normativo, la integración de los sistemas de almacenamiento en Chile ha tenido que transitar barreras por la ausencia de regulaciones asociadas a su desarrollo y operación. El expediente de avances en esta materia se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Antecedentes de regulaciones relacionadas al almacenamiento de energía en Chile

Ley 20.936 (2016)	Define a los sistemas de almacenamiento de energía
DS 128/2016	Regula a las centrales de bombeo sin variabilidad hidrológica
DS 125/2019	- Regula inyecciones y retiros del sistema de almacenamiento de energía - Establece que un sistema de almacenamiento de energía puede participar en mercado de energía, servicios complementarios y transmisión
DS 113/2019	- Regula los servicios complementarios - Habilita posibilidad de crear nuevos servicios complementarios
DS 37/2021	- Establece condiciones para participación de Sistemas de Almacenamiento de Energía en planificación de la transmisión - Regula ciertos aspectos de operación y remuneración de los sistemas en la transmisión
Ley 21.505 (2022)	Habilita participación de sistemas de almacenamiento de energía en el mercado de potencia

Fuente: Reporte de Energía Abierta Ciudadana: Almacenamiento (Comisión Nacional de Energía, 2024)

A partir de la cronología expuesta, se destaca la Ley 21.505 que promueve el desarrollo de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica y fomenta la electromovilidad, la cual introduce una serie de modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos, incentivando

la introducción de estas tecnologías en el sistema eléctrico chileno regulando algunas materias como: (1) participación de sistemas de almacenamiento en el mercado eléctrico, (2) reconocimiento legal de sistemas de generación-consumo e, (3) incentivos a la electromovilidad (Ministerio de Energía, 2022). No obstante, a pesar de haber disminuido ciertas brechas regulatorias, es relevante mencionar que, al momento de la promulgación de esta ley, aún no existían certezas técnicas y jurídicas referentes a los procesos de evaluación de impacto ambiental a los cuales tendrían que someterse los proyectos, y si es que resultaría atingente. Desde esta perspectiva, surge la necesidad de analizar la pertinencia de ingreso al SEIA de estos proyectos en consideración con los costos y tiempos que una evaluación ambiental puede implicar al decidir implementar un sistema de almacenamiento. Como respuesta a esta incertidumbre, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) elaboró una guía con criterios de evaluación denominada “Criterios de Evaluación en el SEIA: Introducción a proyectos de almacenamiento de energía”.

3.4.3. Criterio de evaluación de SEIA para sistemas de almacenamiento

En el año 2023, dada la creciente aplicación de sistemas BESS en proyectos de generación de energía en el país y la ausencia de certezas técnicas y jurídicas en relación con los procesos de evaluación de impacto ambiental que les concierne, el SEA elaboró el documento “Criterio de evaluación en el SEIA: Introducción a proyectos de almacenamiento de energía” con el objetivo de establecer el criterio para el análisis de ingreso al SEIA de los proyectos de almacenamiento de energía que utilizan la tecnología de baterías. Los criterios de evaluación en el SEIA son documentos que entregan lineamientos técnicos para la elaboración de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) previo al ingreso de proyectos al SEIA (Servicio de Evaluación Ambiental, 2024).

En concreto, la estructura del documento contempla los tipos de almacenamiento de energía existentes en Chile, así como aquellos con potencial de implementación, la descripción de las tecnologías asociadas, la Ley REP y su relación con este tipo de proyectos y, por último, las consideraciones para analizar el ingreso de estas iniciativas al SEIA.

Cabe destacar que la tipología de ingreso en virtud de la cual se ha efectuado el análisis es aquella contenida en el artículo 10 letra c) de la Ley N°19.300, sobre Bases Generales del

Medio Ambiente (LBGMA), esto es, la de “Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW”. Según lo establecido en la normativa sectorial, se entiende como “unidad generadora” al conjunto de componentes que transforman las distintas fuentes de energía primaria (eólica, hidráulica, solar, biomasa, geotérmica y térmica) u otras, en energía eléctrica. En este contexto, una central generadora de energía eléctrica está compuesta por una o varias unidades generadoras (Comisión Nacional de Energía, 2021). Sin embargo, la Subsecretaría de Energía mediante el Of. Ord. N°756, de 30 de mayo de 2023, señaló a requerimiento del SEA, que un sistema de almacenamiento no puede asimilarse al concepto de central generadora debido a que éste no aporta energía neta al sistema eléctrico, sino que sólo permite gestionar la energía que ha sido previamente generada. En consecuencia, los sistemas de almacenamiento no configurarían la tipología del literal c) considerando que no se asemejan al concepto de centrales generadoras de energía (Martorell, 2023).

El documento evalúa, entonces, que si un proyecto que considere como parte y obra asociada un sistema de almacenamiento de energía, contempla el retiro de energía desde la red (previamente producida por una central generadora a partir de una fuente primaria de energía) con el objetivo de almacenarla para, posteriormente, inyectarla nuevamente al sistema eléctrico mediante una transformación inversa, entonces no corresponde a lo definido como una central generadora de energía eléctrica y, por consiguiente, no requiere ingresar obligatoriamente al SEIA en forma previa a su ejecución.

Pese a lo anterior, el ingreso de estos proyectos no se encuentra descartado en otros contextos, estableciendo como responsabilidad de los titulares revisar la aplicabilidad de las distintas tipologías establecidas en el artículo 10 de la Ley N°19.300, complementado por el artículo 3° del Reglamento del SEIA (RSEIA) y que tienen relación con el desarrollo de proyectos de almacenamiento de energía eléctrica. Por ejemplo, aquellos proyectos que estén ubicados en un área colocada bajo protección oficial o próximos a humedales urbanos, o bien, que aumente la generación de residuos peligrosos que podría suponer su construcción, operación y cierre. Asimismo, en el caso de que el proyecto o actividad pretenda intervenir o complementarse con un sistema de almacenamiento, alterando la extensión, magnitud o duración de los impactos ambientales.

Entre las consideraciones generales sobre economía circular y almacenamiento a través de baterías, se plantea que los titulares de estos proyectos serán eventualmente generadores de residuos en cuanto se descarten los dispositivos una vez terminada su vida útil, por lo que el documento establece las obligaciones generales aplicables a la gestión de residuos considerando que las baterías son uno de los productos prioritarios según lo dispuesto en la Ley N°20.920 denominada “Ley marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje” (Ley REP). En concordancia con lo anterior, todo gestor debe dar cumplimiento a la normativa específica a través del manejo y disposición final correspondientes de los residuos, como también la declaración mediante el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes y, por último, la identificación de residuos peligrosos junto con la formulación de un plan de manejo, conforme a la regulación pertinente (Servicio de Evaluación Ambiental, 2023).

3.5. Proyectos de almacenamiento de energía en Chile 2022-2023

Los proyectos asociados a almacenamiento de energía admitidos a tramitación en el portal SEIA durante el período 2022-2023 fueron ingresados bajo dos modalidades: (1) como proyecto integrado directamente a una planta generadora de energía (*co-located*) o; (2) como proyecto independiente (*stand-alone*).

A partir de la revisión de proyectos ingresados como parte de un proyecto de generación renovable, se contabilizaron 68 proyectos en total en el año 2023 en estado de calificación, como también aprobados.

A continuación, se presentan los proyectos registrados en los Reportes de Proyectos en Construcción e Inversión en el Sector Energía del Ministerio de Energía.

Tabla 5. Proyectos de almacenamiento de energía (co-located) admitidos a tramitación en el SEIA en 2022

Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
Proyecto de almacenamiento criogénico de energía ENSICOM	Atacama	DIA	LAES	50,0	c)

Fuente: Elaboración propia (Ministerio de Energía, 2023)

Tabla 6. Proyectos de almacenamiento de energía (co-located) admitidos a tramitación en el SEIA en 2023

Nº	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
1	PMGD Montenegro I	Metropolitana	DIA	Solar/BESS	6	c)
2	Parque Fotovoltaico El Cachudito	Ñuble	DIA	Solar/BESS	Sin información (11 contenedores/66 unidades)	c)
3	Porvenir Solar	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	10	c) b.1) b.2)
4	Parque Solar Fotovoltaico San Ramón	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	9	c)
5	Parque Fotovoltaico Cristales	Antofagasta	DIA	Solar/BESS	542	c) b.1) b.2)

N°	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
6	Parque Fotovoltaico Chirihue	Coquimbo	DIA	Solar/BESS	Sin información (11 contenedores/66 unidades)	c)
7	Parque Fotovoltaico Gavilán	Maule	DIA	Solar/BESS	Sin información (11 contenedores/66 unidades)	c)
8	Parque Solar fotovoltaico Ceibo	Atacama	EIA	Solar/BESS	Sin información (18 contenedores)	c) b.1) b.2) p.)
9	Parque Fotovoltaico Chirigues	Maule	DIA	Solar/BESS	60	c) b.1) b.2)
10	Parque Solar Rio Bueno	Los Ríos	DIA	Solar/BESS	9	c)
11	Parque Fotovoltaico Cigueña	Maule	DIA	Solar/BESS	Sin información (11 contenedores/66 unidades)	c)
12	San Francisco Solar	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	2064 MWh	c)
13	Parque Fotovoltaico Pequén	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	Sin información (11 contenedores/66 unidades)	c)

N°	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
14	Proyecto Fotovoltaico Don Davo	Biobío	DIA	Solar/BESS	9	c)
15	Parque Solar Burgos	Los Ríos	DIA	Solar/BESS	9	c)
16	Parque Solar Mautz	Los Ríos	DIA	Solar/BESS	9	c)
17	Solar Ray 1	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	24	c) b.1)
18	PFV Juan Gonzalo Solar	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	Sin información	c)
19	Parque Solar Fotovoltaico Chimango	Maule	DIA	Solar/BESS	Sin información	c)
20	Parque Fotovoltaico El Capitán	Metropolitana	DIA	Solar/BESS	140 MWh	c)
21	Parque Solar San Javier	Maule	DIA	Solar/BESS	80	c)
22	PFV José Solar	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	Sin información	c)
23	Parque Solar	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	9	c)

N°	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
	Fotovoltaico Los Quilos					
24	Parque Solar Talinom	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	9	c)
25	Parque Eólico El Rosal	Biobío	EIA	Eólica/BESS	Sin información	c) b.1)
26	Parque Fotovoltaico Los Arrayanes	Los Ríos	DIA	Solar/BESS	2752 kWh	c)
27	Parque Fotovoltaico Amuleto	Metropolitana	DIA	Solar/BESS	2064,24 kW	c)
28	PMGD Falúa	Los Lagos	DIA	Eólica/BESS	9	c)
29	Energía Esmeralda	Valparaíso	DIA	Solar/Batería Fosfato de Hierro Litio	9	c)
30	Parque Solar fotovoltaico Los Bronces	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	9	c)
31	Parque fotovoltaico Llanos de Rungue	Coquimbo	DIA	Solar/BESS	480 MWh	c) b.1)

N°	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
32	Parque fotovoltaico Yaquil	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	4,8 MWh	c)
33	Parque fotovoltaico Solar Wing	Atacama	EIA	Solar/BESS	226,900 kWh	c) b.1) b.2)
34	PMGD Dalca	Los Lagos	DIA	Eólica/BESS	9	c)
35	Parque fotovoltaico Sol de Panquehue	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	44 MWh	c)
36	PMGD Coloane	Los Lagos	DIA	Eólica/BESS	9	c)
37	Sol de León	Maule	DIA	Solar/BESS	Sin información	c) b.1) b.2)
38	Parque Solar Parral	Maule	DIA	Solar/BESS	650 MWh	c)
39	Parque fotovoltaico Los Tambores	Los Ríos	DIA	Solar/BESS	9	c)
40	Parque fotovoltaico Planchón	Maule	DIA	Solar/BESS	30	c)

N°	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
41	Parque fotovoltaico Cabildo Solar	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	Sin información (32 contenedores)	c) b.1) b.2)
42	Parque Eólico Loma Verde	Los Lagos	EIA	Eólica/BESS	Sin información	c) b.1) p.)
43	Parque Fotovoltaico Andino Los Maitenes	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	Sin información	c) b.1) b.2)
44	Parque Fotovoltaico Polpaico Solar	Metropolitana	DIA	Solar/BESS	9000 kWh	c)
45	Parque Solar Fotovoltaico Ceibo	Atacama	EIA	Solar/BESS	Sin información	c) b.1) b.2) p.)
46	Parque Fotovoltaico Ritoque Solar	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	89 MWh	c) b.2)
47	Porvenir Solar	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	10 MW	c) b.1) b.2)
48	Parque Eólico Wayra	Antofagasta	EIA	Eólica/BESS	750 MWh	c) b.1) b.2)

N°	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
49	Parque Eólico Carica	Coquimbo	EIA	Eólica/BESS	400 MWh	c) b.1) b.2)
50	Casas Viejas Solar	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	Sin información	c) b.1) b.2)
51	Parque Fotovoltaico Triqueta	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	80	c) b.1) b.2)
52	La Mocha Solar	Ñuble	DIA	Solar/BESS	40	c) b.1) b.2)
53	Parque Fotovoltaico Lucía Solar	Metropolitana	DIA	Solar/BESS	42	c) b.1) b.2)
54	Parque Fotovoltaico Syrah Solar	Atacama	DIA	Solar/BESS	16 MWh (potencia)	c)
55	Proyecto Solar Fotovoltaico Lampa	Metropolitana	DIA	Solar/BESS	14	c) s.)
56	Parque Solar Pampa Alegre	Los Ríos	DIA	Solar/BESS	9	c)
57	Planta Fotovoltaica	O'Higgins	DIA	Solar/BESS	9	c)

N°	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
	Punta de Cortés					
58	Parque Fotovoltaico Don Carlos	Atacama	EIA	Solar/BESS	64 (potencia)	c) b.1) b.2)
59	Parque Eólico Los Portones	Los Lagos	EIA	Eólica/BESS	Sin información	c) b.1)
60	Parque Eólico Fénix	Biobío-Araucanía	EIA	Eólica/BESS	150 MWh	c) b.1) b.2)
61	Parque Fotovoltaico Corinto Solar	Atacama	EIA	Solar/BESS	210-462 MWh (capacidad instalada en dos lotes)	c) b.1) b.2)
62	Parque Fotovoltaico Leonera Solar	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	Sin información (14 contenedores)	c)
63	Parque Fotovoltaico El Almud	Los Lagos	DIA	Solar/BESS	2752 kWh (por batería)	c)
64	Parque Fotovoltaico Las Mentas	Los Lagos	DIA	Solar/BESS	2752 kWh (por batería)	c)
65	Parque Solar Cañal Bajo	Los Lagos	DIA	Solar/BESS	9 MW	c)

N°	Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
66	Parque Fotovoltaico Pichirropulli	Los Ríos	DIA	Solar/BESS	2752 kWh (por batería)	c)
67	Parque Fotovoltaico Cronos Solar	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	1016 kWh (capacidad nominal por contenedor)	c)
68	Planta Solar La Esmeralda	Valparaíso	DIA	Solar/BESS	2752 kWh (por batería)	c)

Fuente: Elaboración propia (Ministerio de Energía, 2023)

Las regiones de Tarapacá y Atacama concentran la mayor parte de la inversión, capacidad (MW) y energía almacenada de los sistemas de almacenamiento *stand alone* en evaluación ambiental en el SEIA. Al 29 de diciembre de 2023 existían 14 proyectos de sistemas de almacenamiento de energía *stand alone* a nivel nacional, en evaluación ambiental en el SEIA equivalentes a 1.177 MW de capacidad instalada de almacenamiento, 6.159 MWh en energía almacenada y una inversión de USD 1.887 millones. Los proyectos aprobados y en calificación se presentan en la Tabla 7.

Nombre	Región	Tipo	Tecnología	Capacidad MW Almacenamiento	Tipología
Línea de transmisión y Central BESS Halcon 3	Atacama	DIA	BESS	345,8 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcon 10	Atacama	DIA	BESS	288,2 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcón 6	Valparaíso	DIA	BESS	136,8 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcón 13	Coquimbo	DIA	BESS	273,5 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcón 4	Atacama	DIA	BESS	533 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcón 14	Arica y Parinacota	DIA	BESS	158,4 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcón 7	Arica y Parinacota	DIA	BESS	93,67 MWh	b.1) b.2)

Línea de transmisión y Central BESS Halcón 15	Coquimbo	DIA	BESS	64,8 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcón 20	Tarapacá	DIA	BESS	1590 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcón 9	Coquimbo	DIA	BESS	367,1 MWh	b.1) b.2)
Línea de transmisión y Central BESS Halcón 2	Tarapacá	DIA	BESS	302,67 MWh	b.1) b.2)
Arena BESS	Antofagasta	DIA	BESS	270	b.1) b.2)

3.6. Normativa ambiental estadounidense: Estado de California

A finales del año 2018, 29 estados de Estados Unidos y Washington DC adoptaron políticas RPS (Renewable Portfolio Standards, por sus siglas en inglés), las cuales establecen que un porcentaje específico de la generación eléctrica provenga de fuentes renovables, en el marco de una necesaria transición energética que responda ante el cambio climático. En California, el objetivo sería alcanzar un 60% hacia el año 2030 y un 100% para 2045. Por tal motivo y desde entonces, la instalación de fuentes de generación renovable ha experimentado un despliegue, aumentando también, la utilización de sistemas de almacenamiento de energía para abastecer los períodos de mayor demanda (Headley & Copp, 2020).

En la actualidad, California genera la mayor cantidad de energía solar en Estados Unidos, lo cual rápidamente lo ha convertido en el mayor propulsor de tecnologías de almacenamiento, especialmente BESS, en los esfuerzos de suministrar un flujo estable de energía. Desde 2020, ha instalado más baterías a escala de servicios públicos que en cualquier otro lugar del mundo con una capacidad de almacenamiento total actual de 13.391 MW (California Energy Commission, 2024). Este desarrollo responde al alza de inversión en el sector de vehículos eléctricos, así como también al respaldo por subsidios gubernamentales y otros incentivos financieros (Bradstock, 2024).

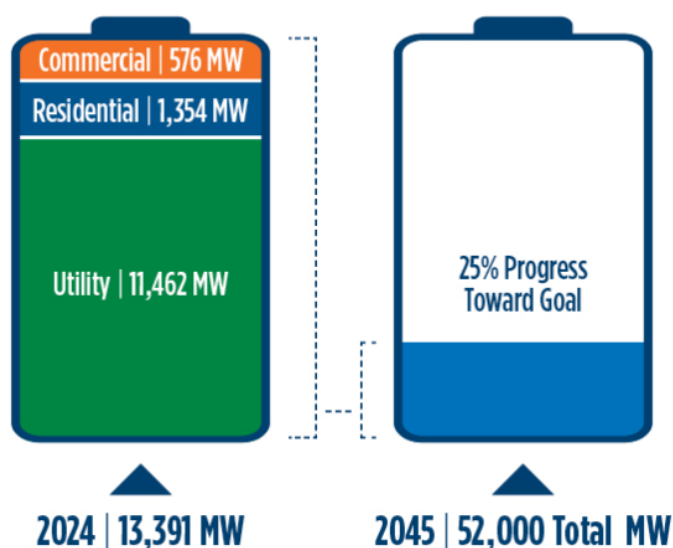


Figura 12: Almacenamiento de energía por tipo en California hasta octubre 2024.

Fuente: (California Energy Commission, 2024)

A diferencia de Chile, Estados Unidos se encuentra ampliamente más avanzado con respecto a la participación de los sistemas de almacenamiento en el mercado mayorista de energía debido a diversas regulaciones impulsadas por la Comisión Federal Reguladora de Energía (FERC, por sus siglas en inglés), como la Orden 841, que ordena a los operadores del sistema habilitar baterías a escala de servicios públicos para que puedan participar en los mercados mayoristas de energía, capacidad y servicios auxiliares, con el objetivo de remover las barreras de acceso y establecer un reglamento para que estos sistemas puedan ofrecer servicios de balance de carga, estabilización de frecuencia y una respuesta más rápida a la demanda (Federal Energy Regulatory Commission, 2018).

Por su parte, el marco legal para evaluar el impacto ambiental de un proyecto varía según estado, siendo algunos más restrictivos que otros. En California, la aprobación ambiental de un proyecto de cualquier categoría se rige por la Ley de calidad ambiental de California (CEQA, por sus siglas en inglés), la cual exige que las agencias gubernamentales estatales y locales informen a los tomadores de decisiones y al público sobre los potenciales impactos ambientales de los proyectos propuestos y, a su vez, que reduzcan significativamente o implementen medidas de mitigación de dichos impactos (California Environmental Quality Act, 2024).

En términos generales, la Tabla 8 describe el proceso de evaluación ambiental al que debe someterse un proyecto en el estado de California bajo el marco legal de la CEQA.

Tabla 8. Procedimiento de revisión ambiental de proyectos en California, EE.UU.

1. Determinación de un ente responsable de revisión	La primera etapa consiste en la designación de una Agencia Líder, que será responsable de supervisar el proceso CEQA cuando un proyecto sea llevado a cabo por más de una agencia pública, como una ciudad o condado.
2. Revisión preliminar de proyectos y elaboración del estudio inicial	• La Agencia Líder evalúa si el proyecto está sujeto a CEQA o se encuentra exento. De no estar exento, se lleva a cabo un estudio inicial para identificar impactos ambientales potenciales. • Una actividad no está sujeta a CEQA si: (1) la actividad no implica el ejercicio de poderes discrecionales por parte de una agencia pública, (2) la actividad no resultará en un cambio físico directo o indirecto previsible en el medio ambiente o (3) la actividad no es un proyecto según lo definido por CEQA. • Un estudio inicial deberá contener en forma breve: (1) una descripción del proyecto incluyendo la ubicación del proyecto, (2) una identificación del entorno ambiental, (3) una identificación de los

efectos ambientales mediante el uso de una lista de verificación, matriz u otro método, debidamente explicadas a través de una narrativa o una referencia a otra fuente de información, como un mapa adjunto, fotografías o un EIR o ND existentes, (4) una discusión sobre las formas de mitigar los efectos significativos identificados, si los hubiese, (5) una examinación de si el proyecto sería consistente con la zonificación existente, los planes y otros controles de uso de tierra aplicables y, por último, (6) el nombre de la persona o personas que participaron en el estudio inicial. Los sistemas de almacenamiento suelen analizarse en función de su impacto en áreas específicas como el uso de suelo, el ruido, la calidad del aire, el riesgo de incendios y la seguridad.

- A partir del estudio inicial, la Agencia Líder debe determinar qué tipo de documento ambiental se requiere para continuar con el proceso de evaluación: una Declaración Negativa (ND) o una Declaración Negativa Mitigada (MND) en casos de bajo impacto o un Informe de Impacto Ambiental (EIR) en casos en donde se anticipa que el proyecto tendrá impactos ambientales significativos.

3. Determinación del nivel de evaluación

- **Declaración Negativa (ND):** se emite cuando se concluye que un proyecto no tendrá un efecto significativo en el medio ambiente.
 - **Declaración Negativa Mitigada (MND):** se emite cuando el proyecto tiene efectos potencialmente significativos, pero pueden reducirse a niveles
-

	insignificantes mediante la implementación de medidas de mitigación. • Informe de Impacto Ambiental (EIR): se debe realizar cuando el proyecto tendrá impactos ambientales significativos e inevitables. El propósito de este documento es identificar medidas de mitigación y alternativas para evitar efectos potencialmente significativos. No obstante, un EIR puede concluir que un proyecto tendría uno o más impactos que no pueden reducirse a un nivel insignificante. Su análisis incluye información sobre efectos potenciales sobre plantas, animales y hábitats raros o en peligro de extinción, como los humedales, los efectos del ruido, la contaminación del aire, el riesgo de incendios forestales, entre otros.
4. Participación Pública	Las Declaraciones Negativas y los EIR cuentan con un período de participación ciudadana donde las partes interesadas, como la comunidad, pueden revisar y comentar el documento. La CEQA reconoce la importancia de la consulta temprana y, por tanto, plantea varias instancias de participación (generalmente cuatro instancias a lo largo del proceso). En el caso de un EIR, este período se extiende desde 30 a 45 días. Durante este período, el público puede revisar lo que sería el EIR borrador mediante la asistencia a reuniones o audiencias públicas y presentar comentarios por escrito sobre el análisis ambiental propuesto.
5. Revisión, evaluación y respuesta a comentarios	Una vez transcurrido el período de participación ciudadana, la Agencia Líder publica un EIR final que incluye cualquier comentario presentado sobre el proyecto junto con las

		respectivas respuestas formuladas y cualquier modificación en las medidas de mitigación. Por último, este documento final se presenta al organismo que toma las decisiones para su certificación.
6. Certificación y Aprobación	y	Al certificar un EIR, la Agencia Líder declara que, luego de revisar y considerar la información contenida en el informe, este refleja el juicio y análisis independiente de la Agencia, incluso si el documento fue elaborado por un consultor. Posteriormente, las autoridades competentes toman una decisión sobre la aprobación del proyecto. Cuando se decide aprobar un proyecto que produciría impactos significativos que no pueden mitigarse a un menor nivel, deben adoptar una declaración de consideraciones primordiales que establezca los aspectos sociales, económicos, legales o beneficios técnicos o de otro tipo que justifiquen la decisión de seguir adelante con el proyecto a pesar de los efectos ambientales inevitables.
7. Monitoreo y cumplimiento	y	Una vez que un proyecto es aprobado, para garantizar que se cumplan las condiciones establecidas en el EIR o ND y que se implementen las medidas de mitigación enunciadas, la agencia pública deberá adoptar un programa de seguimiento o reporte sobre las revisiones que el proyecto haya requerido.
8. Permisos		Por último, adicionalmente a la etapa de monitoreo y seguimiento, se continúa con el proceso de permisos. Dependiendo del tipo de proyecto, se pueden necesitar permisos adicionales, como de construcción o de agua.

Fuente: Elaboración propia (California Environmental Quality Act, 2024).

El proceso de evaluación ambiental expuesto denota el establecimiento de un marco extenso y detallado que responde a la necesidad de un análisis exhaustivo de los proyectos sujetos a

la CEQA, con el propósito de ser aprobados para su operación. Entre las particularidades de esta ley, destacan las siguientes:

- Se introdujo un requerimiento donde todos los instrumentos de planificación pública y privada atraviesen un proceso de evaluación y se establezcan umbrales detallados para determinar la relevancia de los impactos.
- Se estableció la necesidad de estudiar los impactos acumulativos de los proyectos, los cuales no eran considerados por la NEPA (en inglés, National Environmental Policy Act) al momento de ser promulgada.
- Se enfatiza la necesidad de participación ciudadana, reconociendo a la consulta temprana (también denominada “*scoping*” en inglés) como una solución a problemas potenciales que podrían desarrollarse en el futuro del proceso de revisión de un proyecto (Vivanco Fontt, 2018).

En función de lo dispuesto por la CEQA, cualquier proyecto que pueda tener un impacto significativo en el medio ambiente y que implique una acción discrecional requiere someterse a una evaluación ambiental. En esta línea, los sistemas de almacenamiento de energía generalmente se ajustan a estas condiciones e ingresan al proceso de evaluación a través de un análisis basado en su potencial impacto ambiental y no por una lista de tipologías específicas como es el caso de Chile. De esta forma, cuando una instalación BESS se adhiere a un proyecto de generación solar o eólica en una revisión ambiental, ésta quedaría incluida dentro del alcance de ese proceso de revisión, lo que requeriría comúnmente una MND o EIR. Cuando se ingresa una instalación BESS del tipo *stand-alone*, es decir, como sistema independiente, o se adhiere después de la aprobación de un proyecto solar o eólico relacionado, existe una oportunidad de exclusión o exención categórica para estos proyectos debido al tamaño relativamente pequeño y al carácter cerrado de las instalaciones. Sin embargo, las exenciones no eliminan la posibilidad de revisión si el proyecto considera un impacto negativo no previsto o si está ubicado en áreas ecológicamente sensibles, pese a cumplir con los criterios de exclusión.

Si bien las exenciones categóricas aplicables son específicas de la agencia correspondiente, generalmente se encuentran dentro de las categorías para instalaciones existentes, reemplazo o reconstrucción de estructuras existentes o accesorias. Para las instalaciones BESS adheridas

posteriormente, la jurisdicción de la Oficina de Gestión de Tierras (en inglés, Bureau of Land Management) ha utilizado una Determinación de Adecuación NEPA (ADN) que determina que BESS está dentro del alcance de la revisión ambiental más amplia para el proyecto solar o eólico ya analizado.

Dada la huella de carbono relativamente baja de los proyectos BESS y su ubicación más cercana a los centros de carga urbanos o a las instalaciones de generación existentes en California, los problemas ambientales que surgen hasta la fecha tienden a centrarse en impactos específicos de la tecnología, como el riesgo de incendio, los impactos del ruido y el transporte, uso y eliminación de materiales peligrosos (Lazerwitz & Sobczynski, 2020).

Otro punto importante por considerar es la Ley de Empleo y Mejora Económica a través del Liderazgo Ambiental de 2021 (Ley de liderazgo) la cual fue diseñada para acelerar el proceso de revisión ambiental de determinados proyectos mediante una revisión judicial más expedita con enfoque en ciertos proyectos denominados “proyectos de liderazgo ambiental”. Para calificar con lo anterior, estos proyectos deben cumplir con criterios específicos de sostenibilidad, como la reducción de gases de efecto invernadero (GEI) y el cumplimiento de estándares laborales. Complementariamente, la SB 149 (Senate Bill No. 149) busca reducir los retrasos causados por litigios relacionados con CEQA para proyectos de infraestructura de gran envergadura, incluidos los sistemas de almacenamiento de energía. En concreto, esta ley amplía la vigencia de la revisión rápida hasta 2034 y permite la certificación de los proyectos hasta 2032. Además, introduce la preparación electrónica del registro administrativo de CEQA, lo que agiliza aún más los tiempos y costos de preparación del expediente. En este caso, los criterios de calificación incluyen el cumplimiento de un umbral mínimo de inversión de capital, estándares de emisiones y compromisos de cubrir los costos de litigio. En general, los tipos de proyectos elegibles asociados a tecnologías de almacenamiento comprenden lo siguiente:

- Proyectos de instalaciones de transmisión eléctrica que facilitan el suministro de electricidad procedente de fuentes de energía renovable, incluidos los recursos sin emisiones de carbono o de proyectos de almacenamiento de energía.
- Sistemas de almacenamiento de energía de 20 MW o más que sean capaces de descargar durante al menos dos horas (incluida una instalación hidroeléctrica de

bombeo sólo si es menor o equivalente a 500 MW y ha sido financiada directamente por el estado antes de 2023).

- Proyectos con inversión de capital de al menos \$250,000,000 USD realizados durante un período de cinco años: (1) la fabricación, producción o montaje de un sistema de almacenamiento de energía o fabricación de componentes y, (2) la fabricación, producción o montaje de productos especializados, componentes o sistemas que son parte integral de las tecnologías de almacenamiento de energía.

En resumen, ambas leyes buscan atraer inversiones y fomentar el desarrollo de empleos en el sector energético renovable, facilitando la implementación de estos proyectos y, adicionalmente, contribuir a las metas ambientales del estado (Legislatura del Estado de California, 2024).

3.7. Normativa ambiental australiana: Estado de Victoria

A nivel global, Australia se ha posicionado como un referente en generación eléctrica renovable y políticas ambientales. En 2023, su principal red eléctrica, la Red Nacional de Electricidad (NEM), alcanzó una participación de fuentes renovables que supera el 70%, impulsada principalmente por su abundante recurso solar y eólico (Roca, 2024). Su compromiso con la transición energética ha llevado al país a desempeñar un rol destacado en la implementación de tecnologías de almacenamiento de energía en el escenario internacional, en particular BESS.

El estado de Victoria es un caso de interés en materia de almacenamiento debido a sus múltiples iniciativas por fortalecer la red eléctrica para avanzar hacia sus objetivos climáticos, entre los cuales destaca una generación eléctrica de emisiones netas cero para 2045. Este liderazgo responde, en parte, a su conexión con la NEM, la cual requiere capacidad de almacenamiento para solucionar los problemas de intermitencia que la generación renovable ha inducido. Actualmente, cuenta con 335 MW de dicha capacidad y 1600 MW en construcción. Entre las políticas específicas de incentivo de estas tecnologías, el gobierno de Victoria estableció dos metas de capacidad: 2.6 GW para 2030 y 6.3 GW para 2035, sustentadas en los Objetivos de Energía Renovable de Victoria (VRET, por sus siglas en inglés) legislados en la Ley de Energía Renovable (Empleos e Inversión) de 2017 (The State of Victoria Department of Energy, Environmental and Climate Action, 2024).

El avance de esta tecnología está respaldado por su integración en el mercado mayorista de energía como Participante Integrado de Recursos de Energía (IRP, por sus siglas en inglés), una categoría implementada por el Operador del Mercado de Energía Australiano (AEMO, por sus siglas en inglés) para simplificar la participación de los sistemas de almacenamiento en el NEM mediante un registro que los tipifique adecuadamente, dado que anteriormente debían registrarse tanto como Generador como Consumidor (Australian Government, 2024).

Al igual que en Estados Unidos, el marco legal australiano varía según estado. A nivel general, la Ley de Efectos Ambientales de 1978 en Victoria exige una evaluación de los posibles impactos ambientales de un proyecto propuesto a través de una Declaración de Efectos Ambientales (EES, por sus siglas en inglés). Este documento suele tener:

- Una descripción del proyecto propuesto.
- Un resumen de las consultas públicas y de partes interesadas, realizadas durante el análisis.
- Una descripción del entorno existente que puede verse afectado.
- Predicciones de efectos ambientales significativos de la propuesta y alternativas relevantes.
- Medidas propuestas para evitar, minimizar o gestionar los efectos ambientales adversos.
- Una propuesta de programa para monitorear y gestionar los efectos ambientales durante la implementación del proyecto.

A continuación, la Tabla 9 presenta el proceso detallado de evaluación de los efectos ambientales al que están sujetos los proyectos antes de aprobar su operación en el estado de Victoria.

Tabla 9. Procedimiento de revisión ambiental de proyectos en Victoria, Australia.

1. Determinación de la necesidad de EES (<i>Referral</i>)	La primera etapa consiste en determinar si el proyecto requiere o no una EES, mediante la identificación anticipada de impactos ambientales significativos. Esto implica el envío de una “remisión” (<i>referral</i>) al ministro de planificación, el cual analiza y decide la necesidad de
---	--

evaluación. Para este efecto, la autoridad ambiental dispone un listado de criterios que justifican la remisión de un proyecto y la información que deberá contener dicha remisión. Entre los contenidos asociados al medio ambiente se deberá proporcionar: entorno existente, efectos potenciales, medidas de mitigación y efectos acumulativos potenciales.

Cabe destacar que la identificación de posibles efectos significativos y el requisito de remisión no garantizan que una evaluación será necesaria.

2. Decisión del ministro El ministro toma una decisión normalmente dentro de los 20 días hábiles posteriores a la recepción de una remisión, cuyas posibles respuestas incluyen:

- Se requiere EES: las decisiones de aprobación quedan en espera hasta que se complete el proceso de EES.
- No se requiere EES: los tomadores de decisión pueden seguir adelante con el proceso de aprobación.
- No se requiere EES pero se deben cumplir condiciones: las condiciones pueden estar relacionadas con la ubicación o las dimensiones del proyecto, medidas de mitigación o requisitos para estudios o consultas adicionales.

En algunos casos, en lugar de una EES, el ministro puede establecer condiciones que deben cumplirse y requieran evaluación a través de un informe ambiental, el cual corresponde a un documento menos detallado para proyectos de menor envergadura y, por ende, con un menor potencial en impactos ambientales significativos.

3. Alcance del estudio	El conjunto de temas que deben investigarse y documentarse en una EES corresponde al alcance de ésta. Para ayudar a determinar el alcance, el proponente debe entregar una lista preliminar de temas a investigar y un borrador del programa de estudio de EES. Con este borrador, el departamento redactará los requisitos de alcance para la EES, generalmente dentro de 20 días hábiles y este nuevo borrador se presentará para comentarios públicos durante un mínimo de 15 días hábiles. Una vez concluido este período, los requisitos son aprobados por el ministro y publicados en el sitio web del departamento.
4. Elaboración de EES	El proponente debe preparar una EES de calidad, así como un programa de estudios y un plan de consultas consistentes con los requisitos de alcance. Se nombra un Grupo Técnico de Referencia (TRG) para brindar asesoramiento al departamento y al proponente durante la preparación de la EES. El TRG incluye miembros de agencias gubernamentales, gobiernos locales y autoridades estatutarias. En general, los contenidos de una EES deben incluir: alternativas para el proyecto, impactos ambientales y sus tipos (directos, indirectos y acumulativos), participación de las partes interesadas.
5. Consulta pública	Cuando se define que la EES cumple con lo solicitado, el documento se publica para iniciar el proceso de participación ciudadana, en donde se reciben los comentarios de parte de la comunidad. El ministro podría designar una investigación para evaluar los efectos del proyecto después de revisar los estudios de la EES y las acotaciones públicas. La consulta

	puede adoptar una de tres formas, dependiendo de la complejidad de los temas: • Una revisión documental de las consultas escritas. • Una conferencia de los remitentes en donde se revisen las consultas. • Una audiencia formal, donde el proponente y los remitentes puedan hablar y presentar expertos en determinadas materias.
6. Evaluación ministerial de los efectos ambientales	Como etapa final del proceso, el ministro prepara una declaración sobre la viabilidad del proyecto, considerando toda la información relevante, incluidos los documentos de la EES, las consultas públicas, la respuesta del proponente y el informe de consulta. La declaración incluye conclusiones sobre la potencial aceptabilidad de los efectos ambientales adversos del proyecto, en relación con los posibles beneficios de este, recomendaciones o medidas de gestión necesarias, y puede dictaminar que el proyecto: • tendrá un nivel aceptable de efectos ambientales; o • no tendrá un nivel aceptable de efectos ambientales; o • necesitaría modificaciones importantes y/o investigaciones adicionales para establecer que se lograrán resultados aceptables.
7. Consideración de los tomadores de decisiones	Los tomadores de decisiones consideran la evaluación del ministro para decidir si aprobar un proyecto bajo el marco legal de Victoria o autorizar obras públicas.

Fuente: Elaboración propia (The State of Victoria Department of Transport and Planning, 2023).

Luego de la aprobación de esta integral y detallada evaluación, los proyectos continúan con el proceso de permisos y licencias a los que están sujetos para comenzar a operar. Sin

embargo, a medida que la necesidad de almacenamiento aumenta, Victoria ha centrado sus esfuerzos en generar un marco favorable para atraer nuevas inversiones y aumentar su portafolio. Una de las estrategias adoptadas es el compromiso por agilizar las aprobaciones de planificación y, para esto, el gobierno estatal estableció el Programa de Facilitación del Desarrollo (DFP) con el objetivo de acelerar el proceso de aprobación de permisos de planificación de proyectos que generen beneficios significativos al estado y, por tanto, sean catalogados como prioritarios, lo cual proporciona seguridad a los inversores al eliminar el riesgo de retrasos debido a apelaciones de terceros. En conjunto con lo anterior, el gobierno también estableció directrices más claras de planificación en relación con el componente de biodiversidad, lo cual se traduce en brindarle a los proponentes mejor información científica y cartográfica para que puedan tener en consideración la protección de la vida silvestre victoriana desde las primeras etapas de un proyecto, lo cual resultaría en un proceso de aprobación más eficiente y oportuno (The State of Victoria Department of Energy, Environmental and Climate Action, 2024). En ambos casos, los proyectos de almacenamiento de energía tienen una alta probabilidad de verse beneficiados por esta aceleración del proceso de evaluación debido a su relevancia en la estrategia energética de Victoria.

4. Análisis y discusión

El desarrollo e implementación de tecnologías de almacenamiento de energía varían entre las regiones estudiadas según los enfoques que adopten en la gestión de los impactos ambientales asociados a estos proyectos, influenciados por sus contextos legales, sociales y económicos. Este análisis busca identificar los puntos clave que influyen en la viabilidad técnica y ambiental de los proyectos de almacenamiento de energía en Chile, en el estado de California en Estados Unidos y en el estado de Victoria en Australia, a modo de comparar los distintos marcos regulatorios que los rigen ambientalmente. En consideración con este propósito, se definieron criterios específicos que facilitarían la comparación entre los tres sistemas, ya que contribuyen directamente a la regulación y desarrollo de los proyectos.

4.2. Procedimientos de evaluación ambiental

Tabla 10. Procedimientos de evaluación ambiental para cada caso analizado.

Aspecto	Chile	California (EE.UU.)	Victoria (Australia)
Marco normativo principal	Ley 19.300 y DS 40/2012	CEQA	Environment Effects Act 1978
Ingreso obligatorio a evaluación ambiental	No	Sí	No
Mecanismo de screening	Consulta de pertinencia (voluntaria)	Revisión preliminar (obligatoria)	<i>Referral</i> (voluntario)
Instrumentos de evaluación ambiental	DIA o EIA (Declaración de Impacto Ambiental o Estudio de Impacto Ambiental)	ND, MND, EIR o exenciones	EES
Entidad responsable del proceso de evaluación	Servicio de Evaluación Ambiental (SEA)	Agencia responsable (Lead Agency, puede ser estatal o local)	Ministro de planificación

Fuente: Elaboración propia.

- **Chile**

Los proyectos de almacenamiento de energía deben ingresar al SEIA si: 1) se enmarcan dentro de las tipologías del artículo 10 de la Ley 19.300 y el artículo 3 del DS 40/2012 y/o 2) generan impactos ambientales significativos conforme al artículo 11 de la Ley 19.300.

La consulta de pertinencia, de carácter voluntaria, resuelve si el proyecto debe ingresar al SEIA y la modalidad bajo la cual ingresa (DIA o EIA). En caso de no realizar una consulta de pertinencia, quedaría a criterio del titular del proyecto

garantizar la cobertura de los impactos mediante el procedimiento que estime pertinente.

Cabe destacar que la normativa chilena no establece umbrales específicos de capacidad (MW o MWh) para proyectos de almacenamiento de energía, para decidir si es necesaria una DIA o EIA, por lo que los impactos derivados del tamaño, ubicación o características del proyecto serían evaluados caso a caso. La ausencia de límites de capacidad como criterio de ingreso otorga flexibilidad y evita una regulación rígida que podría no ser adecuada para todos los contextos, no obstante, un umbral también permitiría predecir mejor el nivel de impacto esperado ya que los sistemas más grandes tienden a tener mayores demandas de suelo, infraestructura y generación de calor o ruido.

En la práctica, los proyectos de almacenamiento de energía suelen ingresar al SEIA a partir de una DIA bajo la recopilación de antecedentes que justifiquen la inexistencia de efectos, características o circunstancias del Art. 11 de la Ley 19.300 que puedan dar origen a la necesidad de efectuar un EIA. En contraste, proyectos de mayor envergadura o ubicados en áreas ambientalmente sensibles pueden requerir una EIA para una evaluación más exhaustiva.

- **California**

La elaboración de un estudio inicial así como la definición de una entidad reguladora (Lead Agency) permiten asegurar que el procedimiento de evaluación ambiental sea pertinente según la magnitud de los impactos.

A su vez, el proceso de exenciones permite implementar proyectos más pequeños o de menor impacto sin necesidad de evaluaciones extensas, ahorrando tiempo y costos. Una declaración negativa (ND), por ejemplo, contempla proyectos pequeños o en áreas urbanas con infraestructura existente o sistemas de almacenamiento en instalaciones previamente evaluadas ambientalmente.

El tamaño y la ubicación (áreas sensibles) de un proyecto influyen en la obligatoriedad de un EIR. En caso de prever impactos ambientales significativos, la elaboración de un EIR puede ser un proceso largo y costoso al tratarse de proyectos de mayor escala.

- **Victoria**

Si bien la remisión (*referral*) de un proyecto de almacenamiento no es de carácter obligatorio, la mayoría de los proponentes suele presentarlo de igual forma para que el ministro de planificación sea quien evalúe la necesidad de un estudio más detallado o, de lo contrario, la suficiencia de medidas de mitigación para proyectos con impactos limitados. Si un proponente decide no presentar una remisión y el proyecto genera impactos ambientales significativos, el ministerio tiene la facultad de intervenir y retrasar el proyecto, por lo cual es un mecanismo altamente recomendado. En este contexto, la discrecionalidad del proceso es eficiente para estos proyectos, pero menos predecible para otros.

Al igual que en Chile, Victoria tampoco cuenta con umbrales predefinidos en términos de capacidad (MW o MWh), no obstante, los impactos previstos en la remisión son el factor determinante.

Tabla 11. Comparación de procedimientos de evaluación ambiental según el marco chileno.

Jurisdicción	DIA o equivalente	EIA o equivalente
Chile	Proyectos sin impactos significativos.	Proyectos con impactos significativos (art. 11).
California	ND/MND: Proyectos con impactos mínimos o mitigables.	EIR: Proyectos con impactos no mitigables o significativos.
Victoria	Proyectos sin impactos significativos según remisión (<i>referral</i>).	EES: Proyectos con potencial de impactos significativos.

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Requisitos específicos para sistemas de almacenamiento de energía

Tabla 12. Factores evaluados para proyectos de almacenamiento de energía en cada región.

Aspecto	Chile	California	Victoria
Ingreso a evaluación ambiental	Por tipología	Por impactos significativos, salvo exenciones	Sujeto a cada caso según criterios de evaluación

Factores claves en proyectos de almacenamiento de energía	• Áreas sensibles • Emisiones de gases • Ruido • Manejo de residuos • Riesgos: incendios o fugas térmicas en baterías	• Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) • Seguridad y riesgos relacionados con incendios • Impacto en el uso del suelo y recursos naturales • Evaluación de la eficiencia energética	• Seguridad de baterías, riesgos de incendios y liberación de sustancias peligrosas • Gestión de residuos peligrosos asociados a las baterías • Cumplimiento con estándares de emisiones, ruido y manejo de residuos
Gestión de riesgos de incendios	• Prevención y mitigación	• Senate Bill 38 • Código de Incendios	• Protocolos y planes de acción y respuesta específicos para BESS
Gestión de residuos peligrosos	Ley N°20.920 (Ley REP)	Ley de Recuperación y Conservación de Recursos (RCRA)	Ley de Protección Ambiental 1970

Fuente: Elaboración propia.

- **Chile**

En general, los proyectos de almacenamiento de energía suelen incluir obras asociadas como líneas de transmisión, subestaciones eléctricas o intervenciones significativas en el entorno, en donde el ingreso al SEIA es requerido.

La Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) tiene un enfoque específico para el tratamiento de baterías, considerando su clasificación como un producto prioritario debido a su impacto ambiental y su naturaleza como residuo peligroso. En este contexto, la ley exige a los productores de baterías hacerse cargo de la gestión de estos productos al final de su vida útil, incluyendo la recolección, reciclaje y disposición adecuada de las baterías usadas, fomentando la reutilización y reciclaje de estas para disminuir la generación de residuos.

- **California**

California otorga un énfasis destacado en cambio climático en la evaluación ambiental de los proyectos, integrando análisis exhaustivos de emisiones de GEI y tecnologías innovadoras como la captura y almacenamiento de carbono como medidas de mitigación. Por términos de seguridad, este estado cuenta con la ley Senate Bill 38, la cual exige que todas las instalaciones de almacenamiento de energía a base de baterías tengan un plan de respuesta a emergencias. Este plan incluye procedimientos para manejar fallos del equipo, garantizar la seguridad de los residentes cercanos y establecer canales de comunicación con las agencias locales de gestión de emergencias. Adicionalmente, el Código de Incendios de California establece estándares estrictos para la instalación y operación de sistemas de almacenamiento, incluyendo sistemas internos de detección y supresión de incendios.

- **Victoria**

En consideración con la evaluación de impactos asociados al tráfico y transporte, Victoria cuenta con una evaluación específica denominada Evaluación del Impacto del Tráfico (TIA, por sus siglas en inglés) el cual suele requerir un análisis detallado sobre flujos de tráfico, intersecciones y capacidad vial, centrándose únicamente en los impactos de este sector y las medidas para mitigarlos.

La experiencia en incendios asociados a las baterías de ion-litio en Victoria ha exigido contar con planes y protocolos robustos de prevención y mitigación de siniestros,

incluyendo modificaciones en el diseño de las unidades de baterías con un enfoque en la protección contra incendios que minimiza las probabilidades de propagación, dejando que el sistema se incendie solo eliminando el peligro para bomberos.

4.4. Participación ciudadana

Tabla 13. Procesos de participación ciudadana en la evaluación ambiental de proyectos en cada región estudiada.

Aspecto	Chile	California	Victoria
Consulta pública	DIA/EIA	EIR	EES
Plazos de observación	• 60 días hábiles (EIA) • 20 días hábiles con condiciones (DIA)	• 30-45 días hábiles (variable según proyecto) • 4 instancias de participación en todo el proceso • Audiencias públicas • Consultas tempranas	• Instancias flexibles • 3 formas de consulta • 20-30 días hábiles • Promoción de consultas tempranas y continuas
Inclusión de comunidades indígenas	Sí	Sí	Sí

Aspecto	Chile	California	Victoria
Nivel de involucramiento de los titulares/proponentes en el proceso de evaluación	Directo	Directo	Dependiente

Fuente: Elaboración propia.

- **Chile**

En caso de elaborar una DIA, el proceso de participación ciudadana no es de carácter obligatorio pero se puede solicitar un proceso de participación por un plazo de 20 días si lo solicitan al menos dos organizaciones ciudadanas o diez personas naturales afectadas dentro de los 10 días siguientes a la publicación del proyecto en el Diario Oficial.

- **California**

Las audiencias públicas permiten a los ciudadanos y partes interesadas, expresar sus opiniones y preocupaciones directamente ante las autoridades responsables. No obstante, las instancias múltiples de participación ciudadana como la extensión de los plazos de consulta pueden resultar en procesos más complejos en términos de tiempo y costos.

- **Victoria**

El reconocimiento de derechos indígenas y la protección del patrimonio cultural forman parte de algunas de las prioridades en los procesos de evaluación ambiental de Victoria, estableciendo un flujo de comunicación efectiva, así como una relación de confianza, con las comunidades.

Victoria enfatiza un proceso de consulta pública temprana y continua, adoptando 3 tipos de formas de participación: revisión documental, conferencia y audiencia pública formal. A su vez, los titulares deben cumplir con las directrices emitidas por el ministerio durante los procesos de consultas públicas, lo que los deja sujetos a las decisiones del ministro, limitando la capacidad del titular para controlar tiempos y costos.

4.5. Plazos de aprobación

Tabla 14. Plazos de aprobación en proyectos de almacenamiento de energía sometidos a evaluación ambiental para cada región estudiada.

Aspecto	Chile	California	Victoria
Plazo aproximado (meses)	• 6-12 (EIA) • 3-6 (DIA)	• 12-24 (EIR) • 3-6 (ND)	• 6-12 (EES) • 3-6 (Evaluaciones Simplificadas)

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Exenciones

Tabla 15. Casos de exención de evaluación ambiental en proyectos de almacenamiento de energía para cada región estudiada.

Aspecto	Chile	California	Victoria
Principales exenciones de evaluación ambiental	• Proyectos menores sin impactos significativos (según límites establecidos) • Modificación a proyectos existentes	• Exenciones categóricas • Exenciones estatutarias	• Proyectos de escala reducida • Proyectos en áreas ya urbanizadas o industriales • Proyectos relacionados a energías renovables (DFP) • Proyectos que cumplan con normativas

Aspecto	Chile	California	Victoria
			locales de zonificación sin riesgos ambientales significativos

Fuente: Elaboración propia.

- **Chile**

La posibilidad de exclusión de un proyecto depende de la interpretación de “impactos significativos” según la legislación. En el caso de proyectos BESS, por ejemplo, se considera la capacidad instalada, altura de estructuras, ubicación en zonas protegidas, entre otros.

La ubicación en terrenos públicos bajo el Plan Nacional de Fomento al Almacenamiento puede simplificar la aprobación de exclusión de evaluación de un proyecto de almacenamiento de energía.

- **California**

Los criterios de exclusión se centran principalmente en el tamaño del proyecto. Los sistemas pequeños, generalmente menor a 5 MW no requieren EIR y requiere que la instalación se encuentre en terrenos previamente desarrollados. También aplican los sistemas añadidos a una planta existente que no modifique su capacidad operativa o footprint significativamente. Asimismo, en situaciones de crisis energética, los sistemas más grandes pueden ser exentos temporalmente si se justifica su mitigación inmediata de riesgos.

En general, el criterio más aplicable es el que involucre un proyecto de almacenamiento de energía superior a 20 MW o en áreas sensibles ambientalmente, lo cual requeriría un análisis más profundo.

- **Victoria**

El Programa de Facilitación del Desarrollo del Gobierno de Victoria (DFP, por sus siglas en inglés) acelera el proceso de aprobación de permisos de planificación para grandes instalaciones de energía renovable e instalaciones de servicios públicos. Esto proporciona

seguridad a los inversores al eliminar el riesgo de retrasos debido a apelaciones de terceros.

Los proyectos en áreas prioritarias definidas en el Plan de Energía Limpia de Victoria pueden beneficiarse de procedimientos simplificados, independiente del tamaño. El criterio general para proyectos medianos (5-30 MW) es que deben encontrarse en terrenos ya desarrollados o designados para desarrollo energético para evitar evaluaciones.

4.7. Conclusiones por análisis comparativo

Tabla 16. Conclusiones generales por criterio analizado.

Sección	Conclusiones generales
4.2)	El estado de California es generalmente más conveniente en cuanto a la implementación rápida de proyectos de almacenamiento de bajo impacto, mientras que Chile y Victoria destacan en procesos detallados que priorizan la evaluación individual de cada caso. El modelo californiano resulta más atractivo para proponentes debido a su flexibilidad y enfoque en acuerdos de mitigación.
4.3)	En Chile, los elementos del medio ambiente que potencialmente podrían ser receptores de impactos en este tipo de proyectos, los cuales se suelen considerar para predecir y evaluar, son generalmente: ruido y vibraciones, calidad del aire, hidrología, hidrogeología, flora y vegetación, fauna, suelo y paisaje. Sin embargo, estas componentes pueden variar según la definición del área de influencia en cada caso. Si bien las componentes mencionadas son aplicables para las tres regiones estudiadas, tanto California como Victoria realizan un fuerte énfasis en la calidad del aire y el cambio climático para reducir emisiones de GEI. Adicionalmente, tanto California como Victoria cuentan con mecanismos de gestión para impactos específicos, como el tráfico o la alteración de vegetación, mientras que Chile, si bien los aborda dentro de sus procesos de evaluación, no cuenta con instructivos o documentos que establezcan procedimientos específicos para evaluar estas componentes. De la misma forma, los riesgos por incendios asociados a los sistemas de almacenamiento de energía se gestionan

según regulaciones exclusivas para este tipo de proyectos. Chile, por su parte, se ajusta a las regulaciones generales de prevención y mitigación de riesgos en la seguridad (Ley N°16.744).

Por último, cada región estudiada cuenta con regulaciones sólidas en torno a la gestión adecuada y segura de residuos peligrosos, específicamente generados en proyectos BESS, enfatizando el cumplimiento normativo de protección ambiental y de salud pública.

-
- 4.4) Tanto California como Victoria tienen un enfoque proactivo con énfasis en la consulta temprana, es decir, previa al ingreso de los proyectos a evaluación, en donde el involucramiento de la comunidad desde etapas iniciales permite integrar las preocupaciones y conocimientos locales en el diseño del proyecto, lo que puede resultar en una mejor adaptación al entorno y una mitigación más efectiva de los impactos ambientales. Sumado a lo anterior, la acción de abordar inquietudes desde el inicio puede prevenir problemas potenciales antes de que escalen a conflictos mayores, reduciendo retrasos, mejorando la viabilidad del proyecto y construyendo relaciones positivas con las comunidades. Adicionalmente, California y Victoria cuentan con procesos de participación ciudadana de carácter obligatorio en caso de realizar estudios con menor impacto ambiental.

Chile, por su parte, no cuenta con consultas tempranas ni obligatorias en caso de DIA, pero sí con un enfoque menos flexible, así como un mayor período de consulta, generando instancias de respuesta tanto como hacia la comunidad como hacia la autoridad ambiental.

-
- 4.5) Los plazos de aprobación para proyectos de almacenamiento de energía son similares en Chile y Victoria, mientras que California, al contar con procesos de evaluación ambiental más detallados y exhaustivos, puede requerir más tiempo dependiendo del alcance del estudio y del número de revisiones requeridas.

-
- 4.6) Las tres regiones estudiadas cuentan con posibilidades de exclusión de un proceso de evaluación ambiental exhaustivo, diferenciándose, principalmente, en los sistemas aplicables para cada caso. En Chile, no existe un sistema explícito de exenciones como en California o Victoria, puesto que las
-

exclusiones dependen de las interpretaciones sobre los impactos relevantes, presentando una probabilidad moderada de exención.

En comparación, California es el estado que presenta un mejor sistema de exenciones gracias a su fuerte apoyo a proyectos de almacenamiento, seguido de Victoria, para proyectos pequeños o medianos en terrenos ya desarrollados.

Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusión

El presente análisis del marco regulatorio chileno para sistemas de almacenamiento de energía permitió alcanzar los objetivos planteados, rescatando información valiosa para el desarrollo e implementación de estos proyectos en contraste con la normativa ambiental internacional.

Las tecnologías predominantes en Chile incluyen baterías de ion-litio y almacenamiento hidráulico por bombeo. Estas opciones reflejan tendencias globales, aunque con menor diversidad tecnológica que en California y Victoria.

El estudio reveló que los proyectos más recientes en Chile ingresan al SEIA bajo la modalidad DIA, reflejando impactos ambientales considerados moderados. Sin embargo, el proceso podría beneficiarse de criterios más específicos para clasificar impactos potenciales, mejorando la eficiencia regulatoria. En esta línea, si bien las directrices actuales resultan suficientes para fomentar la inversión de estos proyectos, aún se enfrentan complejidades relacionadas con la interpretación de umbrales para asegurar una protección ambiental de calidad.

California y Victoria, por su parte, destacan por sus marcos regulatorios adaptativos y orientados hacia objetivos climáticos, con mecanismos como exenciones categóricas en CEQA y evaluaciones adaptadas a tecnologías limpias en Victoria. Estos enfoques promueven la innovación sin comprometer la sostenibilidad.

En conclusión, Chile podría adoptar mejores prácticas en términos de simplificación de los procesos de evaluación orientados a tecnologías de almacenamiento, estableciendo incentivos regulatorios que equilibren la protección ambiental y el desarrollo económico. Una mayor alineación con estándares internacionales, como California y Victoria, potenciaría la competitividad del país en el sector de almacenamiento de energía.

6. Recomendaciones

Un área clave para el desarrollo sostenible del sector de almacenamiento de energía es abordar el destino de las baterías al término de su vida útil. Se recomienda investigar sobre las normativas específicas que incluyan planes obligatorios de reciclaje y disposición final para mitigar los impactos ambientales asociados a estos productos. Fomentar el desarrollo de tecnologías para la reutilización de baterías podría extender su vida útil, reducir costos y contribuir a una economía circular.

Por último, el análisis de casos de estudios específicos para cada región estudiada (Chile, California y Victoria) permitiría una comparación más minuciosa y aterrizada a la práctica sobre los procesos de evaluación ambiental que los rigen.

Referencias

- ACERA. (Abril de 2024). *Centro de Información: Estadísticas Capacidad Instalada*.
Obtenido de <https://www.acera.cl/centro-de-informacion/>
- Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo. (Junio de 2023). *Reporte: Análisis de caso - Energía vertida en Chile (Período 2018-2022)*. Obtenido de <https://h2in.cl/reporte-analisis-de-caso-energia-vertida-en-chile-periodo-2018-2022/>
- Alomar, J. M. (2021). *Transmisión eléctrica: clave para aprovechar el auge de la generación limpia, requiere de urgente inversión en infraestructura para evitar la pérdida de energía*. Obtenido de <https://www.paiscircular.cl/industria/transmision-electrica-clave-para-aprovechar-el-auge-de-la-generacion-limpia-requiere-de-urgente-inversion-en-infraestructura-para-evitar-la-perdida-de-energia/>
- Arshad, F., Lin, J., Manurkar, N., Fan, E., Ahmad, A., Tariq, M.-u.-N., . . . Li, L. (2022). Life Cycle Assessment of Lithium-ion Batteries: A Critical Review. *Elsevier*.
- Australian Government. (2024). *New NEM Registration: Integrated Resource Provider*. Obtenido de Energy Innovation Toolkit: <https://energyinnovationtoolkit.gov.au/article/regulatory-changes/new-nem-registration-integrated-resource-provider>
- Bartlett, J. (Agosto de 2024). *El almacenamiento de energía, un reto y una oportunidad para Chile*. Obtenido de <https://dialogue.earth/es/energia/el-almacenamiento-de-energia-un-reto-y-una-oportunidad-para-chile/>
- Bhatnagar, P., Siddiqui, S., Sreedhar, I., & Parameshwaran, R. (2022). Molten salts: Potential candidates for thermal energy storage applications. *Energy Research*.
- Blasco, U. J. (2022). *Síntesis y caracterización de agentes complejantes de bromo para baterías de flujo zinc-bromo*. Universidad de Córdoba.
- Bocaz, S. A. (2024). *Análisis de factibilidad técnica y económica de implementar planta de hidrógeno verde para recuperar los vertimientos de energía solar en la región de Antofagasta*.

- Bradstock, F. (Mayo de 2024). The U.S. battery boom is revolutionizing renewable energy. *Oil Price*.
- Cabello, J. (2022). Reservas, recursos y exploración de litio en salares del norte de Chile. *Andean Geology*.
- California Energy Commission. (Septiembre de 2024). *California Energy Storage System Survey*. Obtenido de <https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/california-electricity-data/california-energy-storage-system-survey>
- California Environmental Quality Act. (2024). *Statute & Guidelines*.
- Carnegie, R., Gotham, D., Nderitu, D., & Preckel, P. (2013). *Utility Scale Energy Storage Systems*.
- Comisión Nacional de Energía. (2021). *Norma Técnica de Coordinación y Operación*.
- Comisión Nacional de Energía. (2023). *Anuario Estadístico de Energía 2023*. Obtenido de <https://www.cne.cl/nuestros-servicios/reportes/informacion-y-estadisticas/>
- Comisión Nacional de Energía. (2024). *Reporte Energía Abierta Ciudadana: Almacenamiento*. Ministerio de Energía.
- Comisión Nacional de Medio Ambiente, & GTZ. (2008). *Guía Técnica Sobre el Manejo de Baterías de Plomo Ácido Usadas*.
- Coordinador Eléctrico Nacional. (2024). *Reporte Energético Mayo 2024*.
- Federal Energy Regulatory Commission. (2018). *Order No. 841*. Obtenido de <https://www.ferc.gov/media/order-no-841>
- García, A. B. (2020). *Análisis tecno-económico del almacenamiento mediante centrales hidráulicas de bombeo de agua marina en el sistema eléctrico de baja California sur*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Generadoras de Chile. (Agosto de 2023). *Generadoras: Vertimiento de energías renovables alcanza 967,3 GWh durante 2023*. Obtenido de <https://generadoras.cl/prensa/generadoras-vertimiento-de-energias-renovables-alcanza-9673-gwh-durante-2023>

- Hannan, M., Al-shetwi, A., Begum, R., Ker, P., Rahman, S., Mansor, M., . . . Dong, Z. (2021). Impact assessment of battery energy storage systems towards achieving sustainable development goals. *Elsevier*.
- Headley, A., & Copp, D. (2020). Energy storage sizing for grid compatibility of intermittent renewable resources: A California case study. *Elsevier*.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Ginebra, Suiza: IPCC.
- Javier, K., Méndez, P., Mirabal, A., Vázquez, L., & Olán, M. (2024). Mejoras de las Condiciones de Almacenamiento de Energía a través de Bancos de Supercapacitores: Revisión bibliográfica.
- Kennedy, C. (29 de Mayo de 2024). *Ranking the Top Four Battery Storage World Powers*. Obtenido de <https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Ranking-the-Top-Four-Battery-Storage-World-Powers.html>
- Kitaronka, S. (2022). Lead-acid battery.
- Lazerwitz, D., & Sobczynski, L. (2020). Permitting Utility-Scale Battery Energy Storage Projects: Lessons from California. *pv magazine*.
- Legislatura del Estado de California. (2024). *SB 149 California Environmental Quality Act: administrative and judicial procedures*. Obtenido de <https://leginfo.legislature.ca.gov>
- Liu, S., Wei, L., & Wang, H. (2020). Review on reliability of supercapacitors in energy storage applications. *Elsevier*.
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M., & Clarke, J. (2014). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Elsevier*.
- Martorell, A. (2023). Almacenamiento de energía y SEIA. Santiago.
- Ministerio de Bienes Nacionales. (2024). *Plan nacional para impulsar sistemas de almacenamiento de energía en terrenos fiscales*. Obtenido de <https://www.bienesnacionales.cl/46367-2/>

- Ministerio de Energía. (Noviembre de 2022). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: Ley 21.505*. Obtenido de <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1184572&idParte=10380148>
- Ministerio de Energía. (Febrero de 2022). *Transición Energética de Chile: Política Energética Nacional*. Obtenido de <https://www.chileagenda2030.gob.cl/>
- Ministerio de Energía. (Noviembre de 2023). *Reporte de proyectos en Construcción e Inversión en el Sector Energía*. Obtenido de <https://energia.gob.cl/panel/reporte-de-proyectos>
- Molina, E. M. (2017). *Análisis de Estrategias de Despacho de una Central Fotovoltaica con Almacenamiento a través de Bombeo Hidráulico con agua de mar*. Repositorio Académico de la Universidad de Chile.
- Moreno, M. (2020). *Modelado, dimensionamiento y aplicación de una batería de flujo redox de vanadio*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.
- Mrozik, W., Rajaeifar, M., Heidrich, O., & Christensen, P. (2021). Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*.
- Núñez, C. A. (2020). *Propuestas regulatorias para la incorporación de sistemas de almacenamiento en el mercado mayorista de electricidad en Chile*. Santiago, Chile.
- Olabi, A., C., O., Wilberforce, T., Ramadan, M., Abdelkareem, M., & Al-Alami, A. (2021). Critical review of energy storage systems. *Elsevier*.
- Orellana, C. T. (2020). *Estudio comparativo de baterías de ion litio y celdas de combustible regenerativas como sistemas de almacenamiento de energía eléctrica en una planta fotovoltaica del norte de Chile*.
- Parisi, M. (9 de Abril de 2024). *Sistemas de almacenamiento energético: Salvavidas de corta duración*. Obtenido de <https://www.nuevamineria.com/revista/sistemas-de-almacenamiento-energetico-salvavidas-de-corta-duracion/>

- Peña, K. (Marzo de 2024). Engie inicia operación comercial de BESS Coya, el mayor parque de baterías de almacenamiento de energía en América Latina. *Diario Financiero*.
- Popa, I., Ibáñez, Á., Pastor-Flores, P., & Barreras, F. (2022). Introducción a las baterías de flujo redox de vanadio (VBFR) y su monitorización. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*.
- Prado, L. Á. (2023). *Localización de posibles ubicaciones para almacenamiento energético con aire comprimido en minas cerradas*. Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales.
- Quintero, V., Che, O., Ching, E., Auciello, O., & de Obaldía, E. (2021). Lithium ion batteries: features and applications. *I+D Tecnológico*.
- Remache, A. (2020). FESS Technology: Systems and Materials Applied in Passenger Transport. *Revista Ingenio N°1 vol. 3*.
- Restrepo, J. C. (2023). *Análisis del uso y extracción del litio en Chile*. Universidad de Chile.
- Roca, J. A. (Marzo de 2024). La ola de calor empuja la participación de las energías renovables al 70 por ciento en la red principal australiana. *El periódico de la energía*.
- Rodríguez, A., Ortiz, M., & Thomas, J. (2020). El litio en la Argentina: visiones y aportes multidisciplinares desde la UNLP. La Plata: Universidad Nacional de La Plata.
- Sandia National Laboratories. (2015). *DOE/EPRI Electricity Storage Handbook in Collaboration with NRECA*.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2023). *Criterio de evaluación en el SEIA: introducción a proyectos de almacenamiento de energía*.
- Servicio de Evaluación Ambiental. (2024). *Criterios de Evaluación en el SEIA*. Obtenido de <https://www.sea.gob.cl/criterios-de-evaluacion-en-el-seia#:~:text=Los%20criterios%20de%20evaluaci%C3%B3n%20en,ingreso%20de%20proyectos%20al%20SEIA>.
- Skrbek, K., Bartunek, V., & Sedmidubský, D. (2022). Molten salt-based nanocomposites for thermal energy storage: Materials, preparation techniques and properties. *Elsevier*.

- The State of Victoria Department of Energy, Environmental and Climate Action. (2024). *Victoria's Investment Prospectus: Energy Storage*.
- The State of Victoria Department of Transport and Planning. (2023). *Ministerial guidelines for assessment of environmental effects under the Environment Effects Act 1978*. Victoria State Government.
- Villavicencio, J. (Octubre de 2023). *La transición energética en Chile y el almacenamiento de energía renovable*. Obtenido de <https://www.esghoy.cl/la-transicion-energetica-en-chile-y-el-almacenamiento-de-energia-renovable/>
- Vivanco Fontt, E. (2018). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de Mecanismos de Participación Ciudadana: California, Estados Unidos de Norte América (EE.UU.), Canadá, Argentina, Colombia, Perú y España: <https://www.bcn.cl>
- Xie, J., & Lu, Y.-c. (2020). A retrospective on lithium-ion. *Nature Communications*.