

10

NOTA TÉCNICA
JULIO DE 2025

olade

ORGANIZACIÓN
LATINOAMERICANA
DE ENERGÍA

LATIN AMERICAN
ENERGY
ORGANIZATION

ORGANIZAÇÃO
LATINO-AMERICANA
DE ENERGIA

ORGANISATION
LATINO-AMERICAINE
D'ENERGIE



NOTA TÉCNICA N° 10

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Estado Actual, Desafíos y Recomendaciones Estratégicas



Nos une la energía

Este documento fue preparado bajo la dirección de
**Organización Latinoamericana de Energía
(OLADE)**

Andrés Rebolledo Smitmans
Secretario Ejecutivo

Elaborado por
Medardo Cadena
ASESOR DEL SECRETARIO EJECUTIVO

Quito, Ecuador
Julio de 2025

Contenido

Tabla de Figuras.....	4
Índice de Tablas	4
Almacenamiento de Energía en América Latina y El Caribe	5
1. Introducción.....	5
2. El almacenamiento de energía frente a la variabilidad de las renovables.....	6
2.1. Naturaleza del desafío	6
2.2. Rol del almacenamiento.....	7
3. Tecnologías de Almacenamiento de Energía.....	8
3.1. Almacenamiento electroquímico (baterías)	8
3.2. Almacenamiento mecánico	11
3.2.1. Almacenamiento por bombeo hidráulico (PSH)	11
3.2.2. Almacenamiento por volantes de inercia.....	14
3.2.3. Almacenamiento gravitacional.....	15
3.3. Almacenamiento térmico.....	17
3.4. Almacenamiento químico (hidrógeno, amoníaco verde).....	19
3.5. Comparación de tecnologías de almacenamiento	21
3.6. Costo nivelado de almacenamiento (LCOS)	22
4. Situación del almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe	24
4.1. Avances tecnológicos y primeras implementaciones.....	24
4.2. Limitaciones actuales.....	25
4.3. Oportunidades estratégicas	25
4.4. Capacidad instalada y proyectos en operación	26
4.5. Tendencias comunes en la región	28
4.6. Desafíos regulatorios persistentes	28
4.7. Inversión y financiamiento en el sector.....	29
4.7.1. Panorama actual de inversión	29
4.7.2. Fuentes de financiamiento más utilizadas	30
4.7.3. Barreras para atraer inversión	30
4.8. Tendencias futuras en la integración renovable.....	31
4.9. Almacenamiento distribuido y microrredes.....	32
4.9.1. Almacenamiento distribuido y microrredes.....	32
4.9.2. Beneficios estratégicos.....	33
4.9.3. Retos para su expansión.....	33
4.10. La innovación tecnológica en el almacenamiento	34
4.11. Iniciativas de investigación y desarrollo.....	34

4.11.1.	Ámbitos prioritarios de investigación en la región	34
4.11.2.	Barreras para el fortalecimiento del I+D regional.....	35
4.12.	Diversificación de tecnologías de almacenamiento	35
4.12.1.	Ventajas de una cartera diversificada de tecnologías	36
4.12.2.	Criterios para una adopción tecnológica estratégica	36
5.	Recomendaciones y Estrategias para el Futuro	37
5.1.	Desarrollo de políticas y regulaciones claras	37
5.2.	Incentivos económicos y financieros	38
5.3.	Inversión en investigación y desarrollo.....	39
5.4.	Expansión de infraestructura y modernización de la red	39
5.5.	Capacitación y formación de talento humano.....	40
5.6.	Promoción de alianzas público-privadas	41
5.7.	Fomento del almacenamiento distribuido y microrredes.....	42
6.	Conclusiones.....	43
7.	Referencias.....	44

Tabla de Figuras

Figura 1 Planta de almacenamiento BESS	10
Figura 2 Sistema de bombeo hidráulico de circuito abierto.....	12
Figura 3 Sistema de bombeo hidráulico de circuito cerrado.....	12
Figura 4 Volantes de inercia de almacenamiento de energía de S4 Energy (Holanda)	15
Figura 5 Prototipo de almacenamiento gravitacional de 5MW de Energy Vault (Suiza)	17
Figura 6 Sistema de almacenamiento térmico Cerro Dominador - Chile.....	18
Figura 7 Planta de Hidrógeno Verde - Iberdrola.....	19
Figura 8 Planta de amoníaco y fertilizantes verdes - Suecia.....	20
Figura 9 Comparación de las tecnologías de almacenamiento.....	21
Figura 10 Comparación de las tecnologías de almacenamiento incluyendo al hidrógeno verde	22

Índice de Tablas

Tabla 1 Componentes básicos de un BESS	10
Tabla 2 LCOS por tecnología de Almacenamiento (2024).....	23
Tabla 3 Capacidad Instalada estimada 2025 (MW).....	27

Almacenamiento de Energía en América Latina y El Caribe

1. Introducción

América Latina y el Caribe se encuentran en una posición privilegiada para enfrentar la transición energética, gracias a su abundante potencial en fuentes renovables como la solar, la eólica, la hidroeléctrica y también la geotérmica. Sin embargo, el aprovechamiento eficiente y sostenible de estos recursos depende en gran medida del desarrollo e incorporación de alternativas tecnológicas que le permitan garantizar con eficiencia técnica y económica, un suministro continuo y de calidad en todos los sectores de la sociedad.

En este entorno, el almacenamiento de energía surge como una alternativa que permite acumular la electricidad producida en momentos de baja demanda para utilizarla cuando el sistema eléctrico lo requiera, sea por falta de generación o por incrementos en la demanda. Esta función resulta fundamental para gestionar la variabilidad de fuentes como el sol y el viento, cuya disponibilidad varía a lo largo del día y de las estaciones. En una región con gran potencial renovable y alta variabilidad climática, como América Latina y el Caribe, esta capacidad de regulación es esencial para asegurar la confiabilidad del sistema eléctrico.

Adicionalmente, el almacenamiento ofrece una oportunidad estratégica para electrificar zonas rurales, aisladas o insulares, en donde extender las redes de distribución resulta costoso o inviable. Mediante soluciones descentralizadas basadas en sistemas híbridos (solar + baterías, por ejemplo), es posible llevar energía limpia, segura y continua a comunidades históricamente excluidas del acceso energético, mejorando su calidad de vida y creando oportunidades de desarrollo.

Desde el punto de vista económico, el almacenamiento permite reducir la dependencia de combustibles fósiles -en muchos casos importados-, estabilizar los costos de la energía, optimizar el uso de la infraestructura eléctrica existente y postergar inversiones costosas en generación o transmisión. También abre la puerta a nuevos modelos de negocio, como las microrredes, la generación distribuida o el uso del almacenamiento como prestador de servicios auxiliares en mercados eléctricos más desarrollados.

En términos ambientales, el almacenamiento contribuye directamente a la descarbonización de la matriz energética al evitar el uso de plantas térmicas de respaldo y facilitar la penetración de fuentes limpias. Esto lo convierte en un aliado fundamental para que los países de la región cumplan sus compromisos climáticos bajo el Acuerdo de París y avancen hacia un desarrollo bajo en emisiones.

Finalmente, en un contexto regional marcado por vulnerabilidades ante desastres naturales, crisis energéticas y desigualdades estructurales, el almacenamiento energético contribuye a incrementar la resiliencia de los sistemas eléctricos, permitiendo una respuesta más rápida y eficiente ante emergencias, cortes o fluctuaciones del suministro.

2. El almacenamiento de energía frente a la variabilidad de las renovables

2.1. Naturaleza del desafío

La integración de fuentes de energía renovable en los sistemas eléctricos de América Latina y el Caribe ha traído consigo beneficios significativos en términos de sostenibilidad, reducción de emisiones y diversificación de la matriz energética. Sin embargo, si la naturaleza variable de estas fuentes no es enfrentada de manera adecuada y oportuna, se producen pérdidas económicas y se mantiene la necesidad de contar con plantas fósiles de respaldo, en una clara contradicción con los objetivos de descarbonización.

Entre los principales aspectos que caracterizan esta problemática se encuentran:

- **Variabilidad temporal:** La generación solar está restringida a las horas de luz diurna y se ve afectada por factores climáticos como la nubosidad, la latitud y la estación del año. Por su parte, la generación eólica presenta una variabilidad aún mayor, ya que la intensidad del viento puede cambiar de forma repentina incluso en cuestión de minutos. Esta naturaleza variable dificulta la programación y el control continuo de la generación energética.
- **Desfase entre oferta y demanda:** En numerosos casos, la generación renovable no coincide con los picos de consumo energético. Por ejemplo, la producción solar alcanza su punto máximo al mediodía, mientras que los mayores niveles de demanda suelen registrarse en las primeras horas de la mañana y durante la noche, cuando no hay disponibilidad solar. Esta desincronización genera la necesidad de contar con mecanismos que permitan almacenar el excedente y liberarlo cuando sea requerido.
- **Dificultades en la planificación y despacho eléctrico:** La creciente participación de fuentes renovables intermitentes reduce la capacidad de predicción del sistema eléctrico, lo que complica el despacho económico de generación. Esta incertidumbre obliga a mantener reservas operativas constantes o a recurrir a plantas térmicas como respaldo, afectando la eficiencia general del sistema.
- **Sobregeneración y vertimiento de energía:** En determinados contextos, especialmente durante períodos de alta producción renovable y baja demanda, si no existen alternativas como la exportación a países vecinos, el sistema eléctrico no puede absorber todo el excedente energético. Esto conduce al fenómeno conocido como *vertimiento*, en el cual se desaprovecha energía limpia debido a la falta de infraestructura que permita conservarla y utilizarla en momentos de mayor requerimiento.

Estos elementos evidencian la necesidad de contar con soluciones viables, entre las cuales surge el almacenamiento de energía como herramienta clave para mitigar los efectos de la variabilidad de las fuentes no convencionales de energía (ERNC), garantizar la continuidad del suministro y optimizar el aprovechamiento de los recursos renovables en la región.

2.2. Rol del almacenamiento

Frente a la situación antes descrita, el almacenamiento de energía desempeña un rol crucial al permitir:

- Almacenar excedentes y liberarlos durante picos de demanda (ej. baterías, aire comprimido, sales fundidas, hidrógeno).
- Suavizar curvas de generación (*peak shaving*), reduciendo la necesidad de plantas de respaldo fósil.
- Aumentar la capacidad de penetración renovable, permitiendo que más proyectos solares o eólicos se conecten sin desestabilizar la red.

Desde el punto de vista operativo, el almacenamiento constituye un recurso de enorme utilidad para los operadores y los sistemas eléctricos por su contribución con:

- La gestión de la intermitencia: El almacenamiento permite suavizar las variaciones horarias y estacionales de la generación solar y eólica, garantizando una oferta más constante.
- El desplazamiento de carga (*load shifting*): La energía generada durante los picos de producción puede almacenarse para su uso en horas de mayor demanda, reduciendo la dependencia de fuentes fósiles.
- La prestación de servicios a la red: los modernos BESS incorporan funcionalidades *grid-forming* que permiten el arranque en negro y contribuyen además a la regulación de frecuencia y control de voltaje, manteniendo la estabilidad del sistema ante variaciones súbitas.
- El respaldo y continuidad del suministro: En sistemas aislados o rurales, el almacenamiento contribuye a la autonomía energética, mejorando la calidad y continuidad del servicio.
- La optimización del despacho: En redes interconectadas, el almacenamiento mejora la eficiencia operativa del sistema al reducir la necesidad de mantener reservas giratorias y generación de respaldo.

Por lo señalado, el almacenamiento de energía no debe ser considerado tan solo un complemento técnico para las energías renovables. Se trata de una herramienta estratégica que permite reducir la dependencia de combustibles fósiles y transformar los sistemas eléctricos en estructuras más sólidas, sostenibles y resilientes.

Su desarrollo e integración deben ser una prioridad en la agenda energética de América Latina y El Caribe si se desea avanzar hacia una transición energética justa y efectiva, con mayor velocidad y eficacia.

3. Tecnologías de Almacenamiento de Energía

Existen diversas tecnologías para el almacenamiento de energía, desde baterías de ion-litio hasta soluciones más avanzadas como almacenamiento térmico, gravitacional o de hidrógeno, que están revolucionando la forma en que se produce y se consume la energía. En este contexto, resulta esencial conocer sus principios de funcionamiento, ventajas, limitaciones y aplicaciones para entender su impacto en el futuro energético global.

3.1. Almacenamiento electroquímico (baterías)

Las baterías de iones de litio son la tecnología más utilizada debido a su alta eficiencia y densidad energética. Otras opciones incluyen baterías de flujo y de sodio-azufre, que están siendo investigadas para su implementación en sistemas de almacenamiento a gran escala.

Sistemas de Almacenamiento de Energía con Baterías (BESS)

Los sistemas de almacenamiento de energía con baterías (BESS, por sus siglas en inglés) han ganado protagonismo en América Latina y El Caribe debido a su desarrollo tecnológico y reducción de precios. Estos sistemas permiten, en su concepción básica, almacenar energía para liberarla cuando sea requerida, sea por razones de carácter técnico o económico.

Los BESS funcionan mediante el almacenamiento de energía eléctrica en baterías recargables. Su funcionamiento se basa en los siguientes principios:

1. **Carga:** Durante los períodos de baja demanda o cuando la producción de energía renovable es abundante (como en horas de sol o fuertes vientos), el sistema BESS absorbe y almacena la energía en baterías.
2. **Almacenamiento:** La energía almacenada se mantiene en las celdas electroquímicas de las baterías, listas para ser liberadas cuando sea necesario.
3. **Descarga:** Cuando la demanda eléctrica es alta o cuando hay una reducción en la generación renovable, el sistema BESS libera la energía almacenada a la red eléctrica o a instalaciones específicas.
4. **Gestión inteligente:** Los sistemas modernos de almacenamiento con baterías están integrados con software de gestión de energía que optimiza la carga y descarga para maximizar la eficiencia y minimizar costos.

Avances en la tecnología de los BESS

- **Baterías de ion-litio de última generación:** Mejoras en la densidad energética y tiempos de carga más rápidos.
- **Baterías de estado sólido:** Mayor seguridad, vida útil extendida y menor riesgo de inflamabilidad.
- **Sistemas híbridos de almacenamiento:** Combinación de BESS con otras tecnologías como almacenamiento térmico e hidrógeno verde.

- Integración con redes inteligentes: Uso de inteligencia artificial y big data para optimizar la operación de los sistemas de almacenamiento.
- Reciclaje y segunda vida de baterías: Desarrollo de procesos para reutilizar baterías en otras aplicaciones antes de su disposición final. Las opciones viables en este sentido son:
 - Reutilización en aplicaciones de menor demanda: los módulos de baterías que han perdido parte de su capacidad en aplicaciones industriales pueden ser reasignados a usos menos exigentes, como pueden ser: respaldo en microrredes rurales o almacenamiento residencial.
 - Reacondicionamiento de componentes: la evaluación y reemplazo selectivo de celdas o módulos dentro de contenedores BESS, permitiría extender la vida del sistema sin sustituirlo por completo.
 - Reciclaje de minerales estratégicos: desmontaje de sistemas BESS para recuperar materiales como litio, cobalto, níquel, cobre y aluminio, a través de procesos especializados contribuiría a reducir la dependencia de la extracción minera.
 - Modelos de economía circular: implementación de esquemas que integren el diseño para desmontaje, contratos de servicio (Battery-as-a-Service), trazabilidad de componentes y responsabilidad extendida del fabricante.
 - Segunda vida en entornos comunitarios o educativos: los BESS retirados de operación comercial pueden ser utilizados en instalaciones educativas, laboratorios o centros comunitarios para ofrecer energía de respaldo o bien como equipos para capacitación técnica.

Beneficios de los BESS para los sistemas eléctricos

- Estabilización de la red eléctrica: Los BESS pueden absorber y liberar energía rápidamente, ayudando a mitigar fluctuaciones y mejorar la calidad del suministro eléctrico.
- Integración eficiente de energías renovables: Facilitan la incorporación de fuentes solares y eólicas, almacenando la energía generada en momentos de alta producción y liberándola en períodos de baja generación.
- Reducción de costos operativos: Almacenar energía en momentos de baja demanda y liberarla en picos de consumo ayuda a reducir el uso de plantas generadoras costosas y contaminantes.
- Mayor seguridad energética: Al actuar como respaldo, los BESS pueden suministrar energía en caso de fallas en la red, mejorando la resiliencia del sistema eléctrico.
- Participación en mercados de servicios complementarios: En algunos países, las baterías han sido clave en la prestación de servicios como regulación de frecuencia y control de voltaje.
- Optimización del uso de infraestructura existente: Permiten diferir inversiones en nuevas líneas de transmisión y distribución, mejorando la eficiencia del sistema sin requerir grandes expansiones de la red.



Figura 1 Planta de almacenamiento BESS

Componentes de un BESS:

Un BESS consta de varios componentes clave que trabajan juntos para almacenar energía y convertirla según sea necesario.

Los componentes principales son:

Tabla 1 Componentes básicos de un BESS

Componente	Funcionalidad
Celdas de batería	Almacenar energía eléctrica
Inversores	Convierten la corriente continua (DC) a corriente alterna (AC)
Sistema de Gestión de Batería (BMS)	Supervisar al comportamiento y la seguridad de las baterías.
Sistema de Gestión de Energía (EMS)	Optimizar la eficiencia y el rendimiento del sistema

Componentes adicionales:

1. El sistema de conversión de energía (PCS), también conocido como inversor bidireccional: Convierte principalmente la electricidad de CC de las celdas de la batería en electricidad de CA y viceversa. Además, el PCS desempeña un papel crucial a la hora de regular las tasas de carga y descarga de la batería en función de los requisitos de la red.
2. El transformador: Sirve para aumentar o reducir los niveles de voltaje de la electricidad. En un sistema de almacenamiento de energía con baterías, el transformador es esencial para hacer coincidir los niveles de voltaje de la corriente alterna generada con los requisitos de la red eléctrica o la carga conectada. Al hacerlo, garantiza una integración perfecta y eficiente del BESS con el sistema eléctrico.

3. Sistema de supresión de incendios: Garantiza un funcionamiento seguro y evita incendios eléctricos.
4. Calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC): Regula la temperatura interna para un rendimiento óptimo de la batería.

Aplicaciones de los BESS:

Las aplicaciones más comunes son:

1. Energía de respaldo: Un BESS constituye una fuente de respaldo en el caso de cortes de red o situaciones de emergencia.
2. “Afeitado” de picos (*Peak shaving*): Los BESS permiten almacenar energía durante las horas de menor consumo para utilizarla durante los períodos de alta demanda, lo que representa un beneficio para el sistema al reducir los requerimientos de generación para cubrir los picos de demanda.
3. Conexión a la red (*Grid forming*): BESS se puede utilizar para respaldar la red proporcionando servicios como arranque en negro, regulación de frecuencia, soporte de voltaje y nivelación de carga. Esto ayuda a mejorar la estabilidad de la red y reduce la necesidad de centrales eléctricas basadas en combustibles fósiles.

3.2. Almacenamiento mecánico

El almacenamiento mecánico consiste en aprovechar la energía cinética o gravitacional para almacenar y liberar electricidad de manera eficiente. En América Latina y el Caribe estas tecnologías están siendo exploradas en diversas aplicaciones.

Tipos de almacenamiento mecánico

- Almacenamiento por bombeo hidráulico: Se basa en el bombeo de agua a un embalse superior cuando hay excedentes de energía y su liberación para generar electricidad en momentos de alta demanda.
- Volantes de inercia: Sistemas que almacenan energía en un disco giratorio de alta velocidad, permitiendo la entrega rápida de energía cuando se necesita.
- Almacenamiento gravitacional: Tecnología emergente que utiliza el levantamiento y descenso de masas pesadas para almacenar y liberar energía de manera eficiente.

3.2.1. Almacenamiento por bombeo hidráulico (PSH)

El almacenamiento por bombeo hidráulico (PSH – *Pumped Storage Hydropower*) es una de las tecnologías más maduras y extendidas para el almacenamiento de energía a gran escala. Funciona mediante el bombeo de agua desde un embalse inferior a un embalse superior cuando hay excedentes de energía en la red. Posteriormente, cuando la demanda aumenta, el agua es liberada y fluye a través de turbinas generadoras, produciendo electricidad.

Se trata de una configuración de dos embalses de agua a diferentes alturas que pueden generar energía a medida que el agua desciende de uno a otro (descarga), pasando por

una turbina. El sistema también requiere energía para bombear agua de vuelta al embalse superior (recarga). Los PSH funcionan de forma similar a una batería gigante, ya que puede almacenar energía y luego liberarla cuando se necesita.

Energía hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo de circuito abierto versus circuito cerrado

Los sistemas de PSH pueden clasificarse como de circuito abierto o de circuito cerrado. Los sistemas de PSH de circuito abierto tienen una conexión hidrológica continua con un cuerpo de agua natural. En los sistemas de PSH de circuito cerrado, los embalses no están conectados a un cuerpo de agua externo.

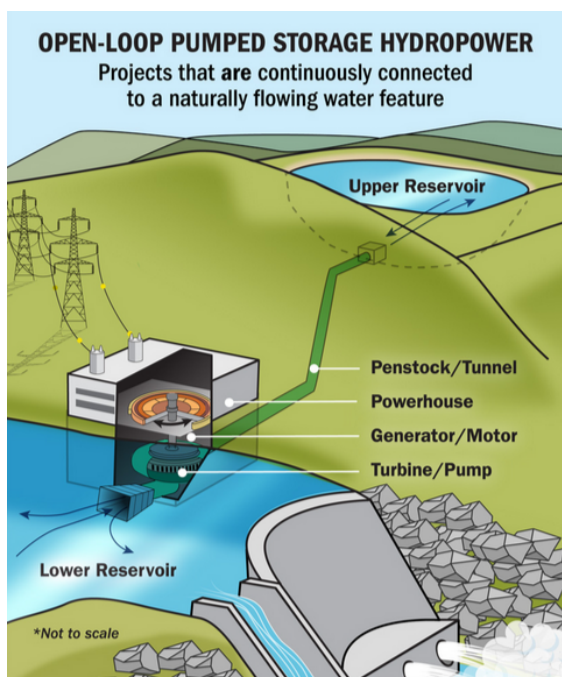


Figura 2 Sistema de bombeo hidráulico de circuito abierto. Fuente: DOE (US Department of Energy).

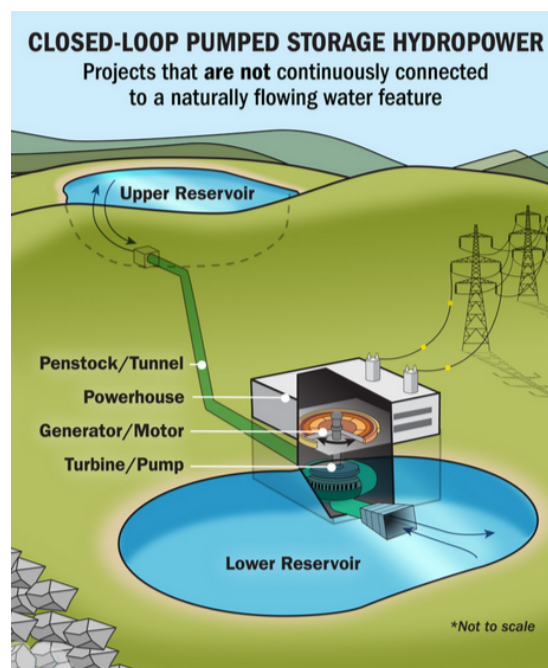


Figura 3 Sistema de bombeo hidráulico de circuito cerrado. Fuente: DOE (US Department of Energy).

Los sistemas de energía hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo de circuito abierto conectan un embalse a una fuente de agua que fluye naturalmente a través de un túnel, utilizando una turbina/bomba y un generador/motor para mover agua y crear electricidad.

Los sistemas de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo de circuito cerrado conectan dos embalses sin fuentes de agua corriente a través de un túnel, utilizando una turbina/bomba y un generador/motor para mover agua y crear electricidad.

Ventajas del almacenamiento por bombeo hidráulico

Este tipo de almacenamiento presenta múltiples ventajas técnicas, económicas y ambientales, especialmente en contextos donde existen recursos geográficos adecuados y sistemas eléctricos con alta penetración de energías renovables intermitentes. A continuación, se detallan sus principales beneficios:

- Alta capacidad de almacenamiento y larga duración

El bombeo hidráulico permite almacenar grandes cantidades de energía (en el orden de cientos o miles de MWh) por periodos prolongados, lo que lo hace ideal para cubrir demandas sostenidas, gestionar excedentes renovables o responder a emergencias energéticas. A diferencia de las baterías electroquímicas, no está limitado a ciclos diarios o cortos.

- Eficiencia y confiabilidad probadas

Las plantas de bombeo hidráulico presentan una eficiencia de ciclo (energía almacenada vs. energía recuperada) de entre 70 % y 85 %, lo que las posiciona como una de las soluciones más eficientes entre las tecnologías de almacenamiento a gran escala. Además, su vida útil supera los 40 años, con bajos niveles de degradación y alta confiabilidad operativa.

- Estabilidad y soporte al sistema eléctrico

Estos sistemas pueden proveer servicios auxiliares esenciales para la red, como regulación de frecuencia, control de voltaje, reserva rotante y arranque en negro. Su capacidad de respuesta es rápida, lo que permite estabilizar el sistema frente a fluctuaciones bruscas o fallos en otras fuentes de generación.

- Complementariedad con energías renovables

El bombeo hidráulico actúa como un almacén natural para la energía solar o eólica excedente, especialmente útil en momentos de baja demanda o saturación de la red. Esto contribuye a maximizar el aprovechamiento de fuentes limpias y reducir el vertimiento de energía renovable no utilizada.

- Bajo impacto ambiental relativo

Si bien la construcción de embalses puede tener impactos significativos, los proyectos de bombeo hidráulico que reutilizan infraestructura hidroeléctrica existente o embalses artificiales cerrados presentan un impacto ambiental relativamente bajo en comparación con nuevas represas o plantas térmicas. Además, no generan emisiones directas de gases de efecto invernadero durante su operación.

- Costos operativos reducidos

Una vez construidos, los sistemas de bombeo hidráulico tienen costos de operación y mantenimiento muy bajos en comparación con tecnologías que requieren insumos químicos o combustibles. Esto los hace económicamente atractivos a largo plazo, especialmente en sistemas interconectados con alta demanda energética.

El almacenamiento por bombeo hidráulico representa una solución madura, eficiente y de alta capacidad para el respaldo de sistemas eléctricos con creciente penetración de energías renovables. En América Latina y el Caribe, su desarrollo ofrece importantes oportunidades para aumentar la flexibilidad del sistema eléctrico, reducir emisiones y fortalecer la seguridad energética regional, especialmente en países con infraestructura hidroeléctrica existente y condiciones geográficas favorables.

3.2.2. Almacenamiento por volantes de inercia

El almacenamiento por volantes de inercia, también conocido como almacenamiento rotacional o de energía cinética, es una tecnología que permite acumular y liberar energía eléctrica mediante la rotación de un disco o cilindro a alta velocidad. Este tipo de sistema convierte la electricidad en energía cinética a través de un motor eléctrico que acelera el volante, y luego reconvierte dicha energía en electricidad cuando el volante desacelera, mediante el mismo motor actuando como generador.

Aunque no alcanza las capacidades de almacenamiento de otras tecnologías como las baterías o el bombeo hidráulico, los volantes de inercia ofrecen altísima eficiencia, tiempos de respuesta casi instantáneos y una vida útil extensa, lo que los hace especialmente útiles en aplicaciones que requieren estabilidad y regulación de la red eléctrica a corto plazo.

Características Técnicas Principales:

- Tiempo de respuesta ultrarrápido: los volantes pueden entregar o absorber energía en milisegundos, lo que los convierte en una solución ideal para regulación de frecuencia y estabilización de voltaje en redes eléctricas.
- Alta densidad de potencia: proporcionan grandes cantidades de energía en cortos períodos, aunque su capacidad de almacenamiento en términos de duración (energía total) es limitada.
- Larga vida útil y bajo mantenimiento: al no tener reacciones químicas, los volantes tienen una vida útil superior a 20 años, sin degradación significativa con los ciclos.
- Alta eficiencia de conversión: alcanzan eficiencias entre 85 % y 95 %, gracias a la baja fricción (cuando operan en vacío o con levitación magnética) y a su diseño mecánico robusto.

Aplicaciones más comunes:

- Regulación de frecuencia en tiempo real.
- Estabilización de sistemas de transporte eléctrico (como trenes o metros).
- Sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS) para centros de datos e instalaciones críticas.
- Apoyo en microrredes o instalaciones industriales con cargas variables.

Ventajas:

- Respuesta inmediata ante fluctuaciones, ideal para reforzar la estabilidad en redes con alta penetración de renovables.
- Alta durabilidad, sin pérdida de capacidad con los ciclos de carga y descarga.
- Bajo impacto ambiental, al no utilizar sustancias químicas ni emitir gases durante su operación.

- Requiere poco espacio físico, especialmente en aplicaciones urbanas o industriales.

Limitaciones:

- Baja capacidad de almacenamiento a largo plazo, por lo que no es útil para respaldo energético extendido.
- Costo inicial elevado, especialmente en modelos con tecnologías avanzadas como levitación magnética o cámaras de vacío.
- Mayor complejidad mecánica y necesidad de sistemas de seguridad, debido a la velocidad de rotación y al riesgo asociado con fallos estructurales.

Aunque su uso en la región aún es limitado, los volantes de inercia podrían jugar un rol clave en sistemas aislados, microrredes o ciudades inteligentes, donde se requiera una regulación precisa de frecuencia o soporte a cargas críticas. Su alta confiabilidad, durabilidad y baja huella ambiental los posicionan como una solución complementaria a otras tecnologías de almacenamiento en escenarios específicos de alta exigencia técnica.



Figura 4 Volantes de inercia de almacenamiento de energía de S4 Energy (Holanda)

3.2.3. Almacenamiento gravitacional

El almacenamiento gravitacional es una tecnología emergente basada en un principio físico simple: el aprovechamiento de la energía potencial generada al elevar una masa y su posterior conversión en energía eléctrica al descenderla. Este tipo de almacenamiento convierte energía eléctrica en energía potencial gravitatoria durante los

periodos de baja demanda, elevando grandes bloques sólidos o líquidos, y luego libera esa energía cuando la masa desciende y acciona un generador.

A diferencia del almacenamiento por bombeo hidráulico —que requiere grandes volúmenes de agua y condiciones geográficas específicas—, el almacenamiento gravitacional emplea materiales sólidos (como hormigón o acero), por lo que puede instalarse en ubicaciones más diversas, incluyendo entornos urbanos, industriales o mineros.

Principio de Funcionamiento:

El sistema consiste en una plataforma o grúa que utiliza energía eléctrica para elevar un conjunto de masas pesadas hasta cierta altura. Cuando se requiere energía, las masas descienden controladamente, accionando un generador eléctrico. La energía almacenada depende de tres factores: la masa elevada, la altura del desplazamiento y la gravedad.

Ventajas del Almacenamiento Gravitacional:

- **Durabilidad y bajo mantenimiento:** Al no depender de reacciones químicas ni de fluidos presurizados, los sistemas gravitacionales pueden tener una vida útil de más de 30 años y mínimos requerimientos de mantenimiento.
- **Alto grado de reciclabilidad:** Los materiales utilizados (bloques de hormigón, acero, motores eléctricos) son altamente reciclables, lo que favorece la economía circular y la sostenibilidad ambiental.
- **Adaptabilidad geográfica:** A diferencia del almacenamiento hidroeléctrico por bombeo, este sistema no requiere cuerpos de agua ni desniveles naturales pronunciados, lo que amplía su aplicabilidad en zonas urbanas, industriales o incluso subterráneas.
- **Alta seguridad operativa:** Al no manejar sustancias inflamables ni materiales tóxicos, los riesgos ambientales y de seguridad son notablemente menores que en tecnologías como las baterías químicas.
- **Desempeño estable:** La eficiencia de los sistemas gravitacionales ronda entre el 70 % y el 85 %, y no presentan degradación significativa con el uso continuo.

Limitaciones y desafíos actuales:

- **Elevados costos iniciales:** la infraestructura requerida (grúas, estructuras de soporte, masas sólidas) implica una inversión considerable, especialmente en las primeras etapas de desarrollo.
- **Baja densidad energética:** para almacenar grandes cantidades de energía se requiere mover masas muy pesadas a grandes alturas, lo cual puede limitar la escalabilidad en ciertos entornos.
- **Tecnología en fase temprana de comercialización:** aunque existen prototipos operativos en Europa y Estados Unidos, el almacenamiento gravitacional aún no ha sido implementado a gran escala.

Ofrece una alternativa innovadora para países que buscan diversificar su matriz energética sin depender exclusivamente de baterías químicas o embalses hidráulicos. Además, el enfoque sostenible y modular de esta tecnología la hace compatible con

estrategias de transición energética justa, al generar empleo local en construcción y operación, y minimizar el impacto ambiental.

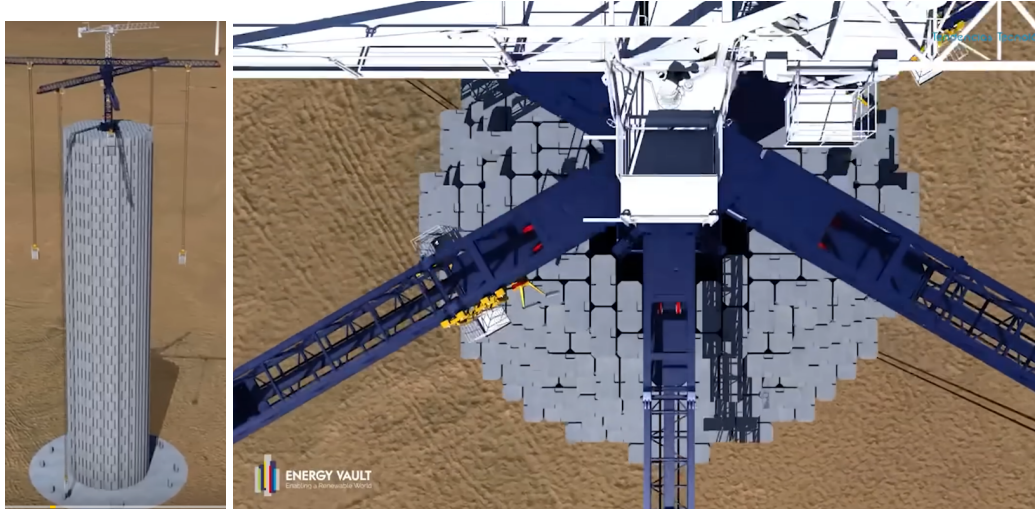


Figura 5 Prototipo de almacenamiento gravitacional de 5MW de Energy Vault (Suiza)

3.3. Almacenamiento térmico

El almacenamiento térmico consiste en la acumulación de energía en forma de calor para su posterior uso. Se utilizan materiales como sales fundidas, agua caliente y materiales de cambio de fase para almacenar energía térmica y liberarla cuando sea necesario.

Ventajas del almacenamiento térmico:

Ahorro energético

- Permite usar energía en horarios de menor demanda (y menor costo) y liberarla cuando se necesita.
- Reduce el consumo en horas pico.

Reducción de costos

- Disminuye la factura eléctrica al aprovechar tarifas horarias más bajas.
- Reduce la necesidad de sistemas de generación adicionales durante la demanda máxima.

Mayor eficiencia energética

- Almacenar calor o frío permite optimizar el uso de sistemas como calderas, bombas de calor o aire acondicionado.

Contribuye a la sostenibilidad

- Favorece la integración de fuentes renovables como la solar térmica, almacenando el calor cuando hay sol para usarlo en otro momento.
- Reduce el uso de combustibles fósiles.

Fiabilidad y respaldo

- Sirve como fuente de respaldo en caso de fallas eléctricas o interrupciones en el servicio.
- Mejora la estabilidad de la red eléctrica si se usa a gran escala.

Aplicaciones variadas

- Puede usarse en climatización de edificios, procesos industriales, centrales termosolares, refrigeración, etc.

Baja huella ambiental

- Si se combina con energías renovables, el impacto ambiental es muy bajo.

Aplicaciones reales del almacenamiento térmico

- Centrales termosolares: Usan sales fundidas para almacenar el calor del sol y generar electricidad incluso de noche.
- Edificios y aire acondicionado: Se genera hielo en la noche (tarifa baja) y se usa para enfriar el edificio durante el día.
- Calefacción urbana (*district heating*): Se almacena calor en tanques gigantes para calentar urbanizaciones o bien instalaciones industriales, hospitalarias, etc.
- Industria: Muchas industrias (textil, alimentaria, papelera) almacenan calor para procesos térmicos.
- Viviendas con energía solar: Paneles solares térmicos que calientan agua en tanques para el uso en baños, cocina o calefacción.



Figura 6 Sistema de almacenamiento térmico Cerro Dominador - Chile

3.4. Almacenamiento químico (hidrógeno, amoníaco verde)

El almacenamiento químico de energía, en particular a través del hidrógeno y el amoníaco verde, es una alternativa con un gran potencial para descarbonizar sectores industriales y energéticos en América Latina y el Caribe. Estos compuestos permiten almacenar energía renovable en forma de combustibles sostenibles que pueden ser utilizados en generación eléctrica, transporte e industrias pesadas.

Hidrógeno verde

El hidrógeno verde se produce mediante electrólisis del agua utilizando energía renovable. Este proceso permite almacenar energía en forma de hidrógeno, que puede ser utilizado posteriormente en celdas de combustible o turbinas para generar electricidad sin emisiones de carbono.

Ventajas del hidrógeno verde:

- Cero emisiones contaminantes: No genera CO₂ ni gases de efecto invernadero en su producción ni en su uso.
- Fuente de energía abundante: Al producirse a partir del agua, se convierte en una fuente abundante, más aún si el desarrollo tecnológico permite utilizar el agua del mar.
- Resuelve el problema de la intermitencia: al permitir almacenar el excedente de energía solar o eólica, se convierte en una solución para el problema de la intermitencia.
- Versatilidad de uso: Sirve como combustible para: vehículos (autos, buses, trenes e incluso aviones), calefacción, producción industrial, generación de electricidad.
- Alternativa para sectores complejos: Puede reemplazar combustibles fósiles en sectores difíciles de descarbonizar, como la siderurgia o el transporte pesado.



Figura 7 Planta de Hidrógeno Verde – Iberdrola

Amoníaco verde

El amoníaco verde es otro portador de energía renovable que se produce a partir del hidrógeno verde y nitrógeno del aire. Se utiliza principalmente en la producción de fertilizantes, pero también está siendo considerado como un combustible limpio para el transporte marítimo y la generación de energía.

Ventajas del amoníaco verde:

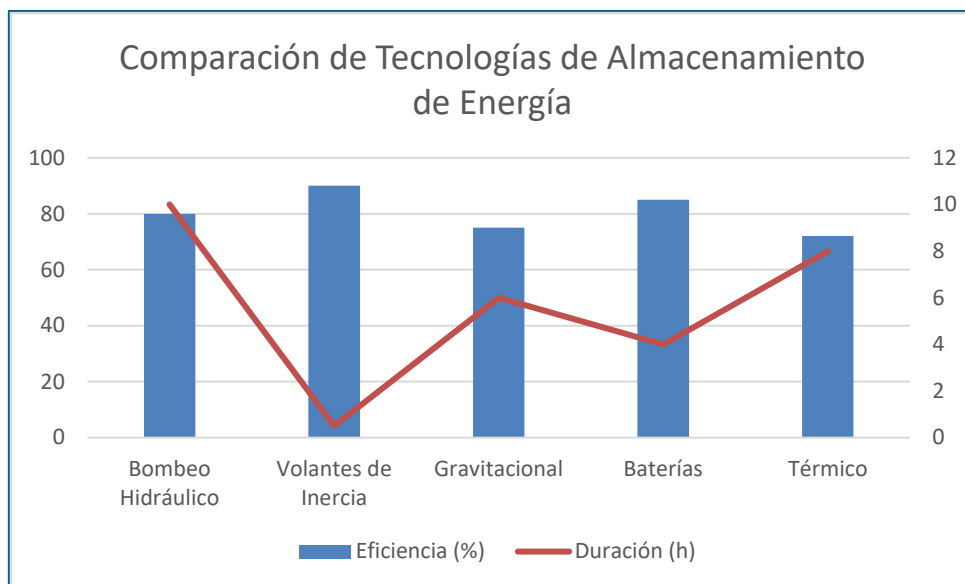
- Cero emisiones netas de carbono: No emite CO₂ en su fabricación si se usa hidrógeno verde. Puede reemplazar al amoníaco gris (que sí contamina) en la agricultura e industria.
- Almacenamiento y transporte más fáciles que el hidrógeno: A temperatura y presión moderadas, el amoníaco es más fácil de transportar que el hidrógeno puro. Puede almacenarse en tanques y buques ya existentes.
- Alto contenido energético: Tiene una alta densidad de energía por volumen, que lo convierte en una opción como combustible para barcos, trenes y generación eléctrica.
- Versatilidad de uso; puede utilizarse como fertilizante agrícola, combustible directo o materia prima en la industria química.



Figura 8 Planta de amoníaco y fertilizantes verdes – Suecia

3.5. Comparación de tecnologías de almacenamiento

El gráfico, a continuación, compara cinco tecnologías de almacenamiento de energía — bombeo hidráulico, volantes de inercia, almacenamiento gravitacional, baterías y almacenamiento térmico— en función de dos variables clave: la eficiencia energética (%) y la duración estimada de almacenamiento (horas).



Fuente: elaboración propia

Figura 9 Comparación de las tecnologías de almacenamiento

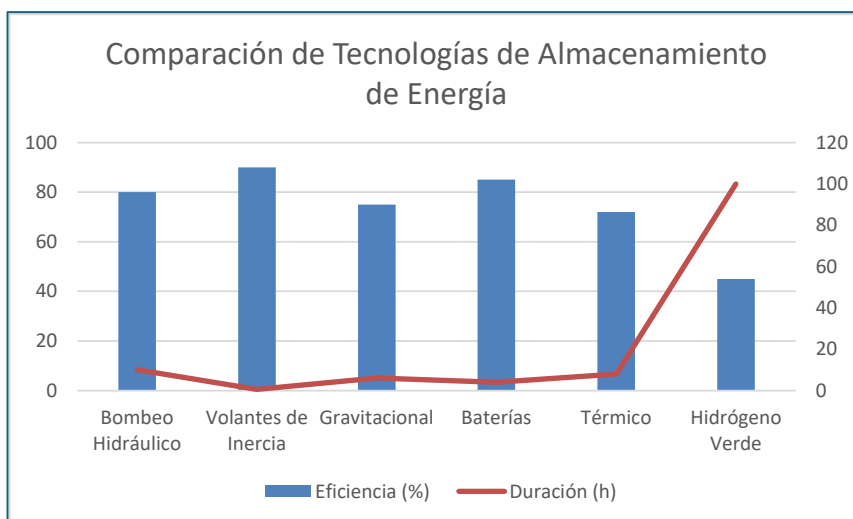
Se observa que los volantes de inercia presentan la mayor eficiencia (90 %), aunque están diseñados para almacenamiento de muy corta duración (aproximadamente 15 minutos), lo que los hace ideales para regulación de frecuencia y estabilización de red.

En contraste, el bombeo hidráulico y el almacenamiento térmico destacan por su alta capacidad de almacenamiento a largo plazo, con duraciones que superan las 8 horas. Ofrecen un equilibrio entre duración y eficiencia, siendo útiles para respaldo diario o semanal en sistemas interconectados.

Las baterías electroquímicas, ampliamente utilizadas por su versatilidad, ofrecen un equilibrio entre eficiencia (85 %) y duración media (4 horas), lo que las hace aptas para una amplia gama de aplicaciones. El almacenamiento gravitacional, aún en desarrollo, muestra también un perfil intermedio en términos de duración y eficiencia.

Finalmente, el almacenamiento térmico, aunque presenta una eficiencia menor (70 %), destaca por su bajo costo estimado y su capacidad de almacenamiento prolongado, lo que lo convierte en una alternativa viable para aplicaciones industriales o edificios con demandas térmicas significativas.

Si incluimos en el análisis comparativo al hidrógeno verde, la figura toma esta forma:



Fuente: elaboración propia

Figura 10 Comparación de las tecnologías de almacenamiento incluyendo al hidrógeno verde

La inclusión del hidrógeno verde destaca un punto clave en la discusión sobre almacenamiento: la diferenciación entre tecnologías de alta eficiencia y aquellas capaces de cubrir almacenamiento energético a largo plazo. A pesar de su menor eficiencia energética (~40 %), el hidrógeno verde ofrece la mayor duración de almacenamiento entre todas las tecnologías comparadas, permitiendo conservar energía por días, semanas o incluso meses, lo que lo convierte en una solución estratégica para respaldo estacional, transporte, industrias pesadas y exportación de energía limpia.

Si bien su eficiencia es menor, su rol es complementario: no se trata de competir con tecnologías de alta eficiencia de corto plazo, sino de ofrecer soluciones de almacenamiento de gran escala y largo alcance necesarias para garantizar la seguridad energética en un futuro renovable. No existe una única tecnología superior: cada una ofrece ventajas específicas según el contexto técnico, económico y geográfico de aplicación. La combinación estratégica de estas tecnologías puede fortalecer la resiliencia y sostenibilidad de los sistemas energéticos.

3.6. Costo nivelado de almacenamiento (LCOS)

El costo de las diferentes tecnologías juega un rol importante. Un parámetro que contribuye a este análisis es el Costo Nivelado de Almacenamiento (LCOS), un indicador que calcula el costo promedio por cada megavatio-hora (MWh) de energía almacenada y despachada a lo largo de la vida útil de un sistema de almacenamiento. Este indicador es fundamental para comparar la viabilidad económica de diferentes tecnologías de almacenamiento energético.

Factores que influyen en el LCOS:

- Costo de la inversión: Los costos de inversión (materiales, equipos, construcción) representan una parte significativa del LCOS.
- Costo de operación y mantenimiento: La gestión, el mantenimiento y la reparación de los sistemas de almacenamiento contribuyen al LCOS.

- Duración y eficiencia de la vida útil del sistema: El ciclo de vida y la eficiencia de la tecnología de almacenamiento también impactan en el LCOS.
- Precios de la carga (energía de carga): Si el almacenamiento es alimentado por energías renovables, el LCOS se ve afectado por los precios de las fuentes de energía.

A continuación, se presenta una tabla comparativa de las principales tecnologías de almacenamiento y sus respectivos LCOS estimados para 2024:

Tabla 2 LCOS por tecnología de Almacenamiento (2024)

Comparativa de LCOS por Tecnología de Almacenamiento (2024)			
Tecnología de almacenamiento	LCOS estimado (USD/MWh)	Duración típica de almacenamiento	Aplicaciones principales
Hidroeléctrico por bombeo (PHS)	30 – 100	>10 horas	Respaldo de red, almacenamiento estacional
Almacenamiento gravitacional	~50	4 – 8 horas	Aplicaciones industriales, respaldo de red
Baterías de iones de litio (Li-ion)	124 – 296	1 – 4 horas	Regulación de frecuencia, arbitraje energético
Almacenamiento térmico	50 – 150	6 – 12 horas	Integración con renovables, respaldo de red

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los rangos de LCOS pueden variar según factores como la ubicación geográfica, el tamaño del sistema, los costos de financiamiento y la vida útil esperada.

Las Baterías de Iones de Litio (Li-ion) son en la actualidad la opción más utilizada para almacenamiento de corta duración debido a su alta eficiencia y costos decrecientes. Sin embargo, su LCOS puede ser más alto en aplicaciones de larga duración.

Por su parte el almacenamiento Hidroeléctrico por Bombeo (PHS), a pesar de sus altos costos de inversión, es la tecnología de almacenamiento más madura y de menor costo por MWh, ideal para almacenamiento a gran escala y de larga duración. Muy aplicable en países de la región que cuentan con recursos hidroeléctricos para nuevos desarrollos, o bien infraestructura de centrales hidroeléctricas que pueden adaptarse e implementar este sistema.

4. Situación del almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe

En el marco de la transición energética global, el almacenamiento de energía se ha convertido en un componente esencial para garantizar la estabilidad, eficiencia y sostenibilidad de los sistemas eléctricos. Su capacidad para gestionar la intermitencia de las fuentes renovables, optimizar la demanda y mejorar la resiliencia energética lo posiciona como una herramienta estratégica para los países en desarrollo. En este contexto, América Latina y el Caribe enfrentan el doble desafío de aprovechar su enorme potencial en energías renovables y, al mismo tiempo, avanzar en la integración del almacenamiento energético dentro de sus matrices energéticas.

La región ha comenzado a dar pasos importantes en este ámbito, impulsada por el crecimiento de proyectos solares y eólicos, el interés por el hidrógeno verde y la necesidad de mejorar el acceso a la energía en zonas remotas. Sin embargo, el grado de avance es heterogéneo entre países con limitaciones institucionales y barreras estructurales que deben ser superadas. Las tecnologías de almacenamiento aún se encuentran en una fase incipiente en comparación con otras regiones del mundo.

4.1. Avances tecnológicos y primeras implementaciones

Durante los últimos años, varios países de la región han comenzado a incorporar sistemas de almacenamiento, especialmente baterías de ion-litio, en combinación con proyectos solares y eólicos. Estos sistemas se han utilizado para:

- Proveer respaldo eléctrico en comunidades rurales o aisladas.
- Integrarse a microrredes híbridas en lugares sin conexión a la red nacional.
- Estabilizar sistemas de generación distribuida en áreas urbanas o industriales.
- Brindar servicios auxiliares, como regulación de frecuencia, en mercados eléctricos parcialmente liberalizados.

Además, algunos países han comenzado a incluir el almacenamiento en sus planes de expansión energética y en sus marcos regulatorios, aunque en la mayoría de los casos, de manera incipiente.

Las tecnologías más utilizadas hasta ahora son las baterías electroquímicas (principalmente ion-litio), debido a su modularidad, disponibilidad comercial y relativa facilidad de instalación. También se han iniciado exploraciones en otras soluciones como almacenamiento térmico, bombeo hidráulico e hidrógeno verde.

Los avances tecnológicos y las primeras implementaciones de almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe han demostrado que la región posee el potencial, la capacidad técnica y las condiciones naturales para incorporar estas soluciones de manera efectiva. Aunque la mayoría de los proyectos actuales (con alguna excepción), se concentran en fases piloto o aplicaciones específicas —como sistemas híbridos, respaldo en zonas aisladas o integración renovable—, su desempeño ha generado confianza institucional y conocimiento local, sentando las bases para una adopción más amplia y ambiciosa.

Estas experiencias iniciales han sido clave para adaptar las tecnologías a los contextos regionales, identificar desafíos operativos y generar capacidades técnicas en terreno. Además, han abierto el camino para nuevos modelos de negocio, esquemas de financiamiento y reformas regulatorias que reconocen el valor del almacenamiento en el sistema energético.

4.2. Limitaciones actuales

Pese a estos avances, existen limitaciones que no permiten un desarrollo más acelerado del almacenamiento:

- Falta de marcos regulatorios claros que reconozcan el valor y el rol del almacenamiento en el sistema eléctrico.
- Limitado acceso a financiamiento, especialmente para tecnologías emergentes y proyectos comunitarios.
- Débil infraestructura digital y de monitoreo, necesaria para operar eficientemente los sistemas de almacenamiento.
- Escasa formación técnica y profesional especializada, que limita la operación, mantenimiento y expansión de estas soluciones.
- Falta de incentivos económicos o mecanismos de remuneración por servicios auxiliares, lo que afecta la viabilidad económica de los proyectos.

En conjunto, las limitaciones actuales que enfrenta el desarrollo del almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe evidencian un panorama complejo, en el que las oportunidades tecnológicas conviven con importantes barreras estructurales, institucionales y económicas.

No obstante, el reconocimiento creciente de su valor estratégico abre un camino prometedor. Superar estas limitaciones requerirá una acción coordinada entre todos los actores, que impulse políticas públicas sólidas, innovación tecnológica y una visión de largo plazo.

4.3. Oportunidades estratégicas

Las oportunidades estratégicas que ofrece el almacenamiento de energía para América Latina y el Caribe son múltiples y se alinean directamente con los objetivos regionales de descarbonización, resiliencia climática, equidad energética y desarrollo sostenible.

La región cuenta con condiciones excepcionales para el desarrollo del almacenamiento de energía, entre ellas:

- Abundancia de recursos renovables que generan excedentes aprovechables si se cuenta con almacenamiento.
- Infraestructura hidroeléctrica existente que puede modernizarse con almacenamiento complementario.
- Disponibilidad de minerales críticos como litio, cobre y cobalto, esenciales para la fabricación de baterías.

- Espacios geográficos disponibles para soluciones mecánicas o gravitacionales.
- Interés creciente en exportar hidrógeno verde, lo que requiere almacenamiento químico y desarrollo industrial asociado.

Aprovechar estas oportunidades requiere planificación anticipada, visión de largo plazo y voluntad política, junto con un enfoque regional que promueva la colaboración entre países y la transferencia de conocimiento. Si se articulan correctamente las capacidades locales, los recursos naturales y el apoyo internacional, el almacenamiento puede desempeñar un rol transformador en la región.

4.4. Capacidad instalada y proyectos en operación

El almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe ha sido modesto pero progresivo en la última década y ha comenzado a consolidarse como un componente esencial en la transición energética. Aunque la capacidad instalada aún es limitada en comparación con regiones como Europa, Asia o América del Norte, los proyectos en operación en la región han demostrado la viabilidad técnica y el valor estratégico del almacenamiento, tanto para la integración de energías renovables como para el fortalecimiento de sistemas eléctricos débiles o aislados.

A medida que los países de la región avanza en sus agendas de transición energética y fortalecen la integración de energías renovables intermitentes, la capacidad instalada de almacenamiento ha comenzado a ganar relevancia tanto en proyectos de gran escala como en soluciones distribuidas, comunitarias o aisladas.

En 2024 y 2025 se registran avances significativos entre los que se pueden citar:

- Chile: En 2024 se puso en marcha el proyecto "Oasis de Atacama" de Grenergy, en el desierto de Atacama, con 1,24 GWh de capacidad prevista para fines de 2024 y una capacidad de almacenamiento total prevista de 11 GWh utilizando baterías de ion-litio. En mayo de 2025 inició operación el proyecto de hibridación BESS PFV Capricornio, que considera una capacidad de 48 MW/ 264 MWh. Al 30 de mayo de 2025 se reportan 5 sistemas de almacenamiento en fase de pruebas, los cuales representan un aporte en 571 MW de capacidad instalada y 2.378 MWh de energía almacenada.
- Brasil: Según un estudio de Greener, hasta 2024, Brasil acumuló 685 MWh de capacidad instalada en almacenamiento de energía, con el 70% de esta capacidad sirviendo a sistemas aislados. En 2024, se añadieron 269 MWh, representando un aumento del 29% respecto a 2023.
- Honduras: En marzo 2025 adjudicó un proyecto de almacenamiento de 75 MW/ 300 MWh de capacidad instalada.

A pesar de estos desarrollos, la capacidad total instalada en la región sigue siendo modesta. Se espera que proyectos en desarrollo, contribuyan significativamente al incremento de la capacidad de almacenamiento en los próximos años.

Panorama actual de capacidad instalada

La disponibilidad de datos específicos y actualizados sobre la capacidad instalada de almacenamiento en toda la región es limitada. No obstante, en base a una recopilación de datos de diferentes fuentes, se estima que hasta junio 2025 la región cuenta con una capacidad instalada de almacenamiento de 2,5 GW, sumando proyectos operativos de diferente tipo:

Tabla 3 Capacidad Instalada estimada 2025 (MW)

CAPACIDAD INSTALADA EN ALMACENAMIENTO ALC (Corte junio 2025)			
	PAIS	BEES (MW)	HIDRO (MW)
1	Argentina	17,50	974
2	Barbados	5,00	
3	Belice		
4	Bolivia	-	
5	Brasil	171,25	20
6	Chile	1.005,00	
7	Colombia	8,90	
8	Costa Rica	9,50	
9	Cuba	10,00	
10	Ecuador	-	
11	El Salvador	64,00	
12	Grenada	-	
13	Guatemala	-	
14	Guyana	23,32	
15	Haití	18,00	
16	Honduras	-	
17	Jamaica	-	
18	México	192,00	
19	Nicaragua	0,20	
20	Panamá	0,37	
21	Paraguay	-	
22	Perú	26,50	
23	República Dominicana	-	
24	Surinam	9,00	
25	Trinidad y Tobago	-	
26	Uruguay	0,03	
27	Venezuela	-	
	TOTAL 2025	1.560,57	994

- Baterías electroquímicas (principalmente ion-litio): alrededor del 60 % del total instalado, utilizadas principalmente en sistemas solares híbridos, microrredes, respaldo industrial y servicios auxiliares.
- Bombeo hidráulico: representa cerca del 40 %, concentrado en países con infraestructura hidroeléctrica como Argentina y Brasil.
- Almacenamiento térmico: en menor proporción, utilizado en plantas solares térmicas o en aplicaciones industriales, con proyectos relevantes en Chile.

- Otras tecnologías emergentes como volantes de inercia o almacenamiento gravitacional: no se han identificado desarrollos en la región.

4.5. Tendencias comunes en la región

A pesar de la diversidad institucional, económica y geográfica de América Latina y el Caribe, los países de la región comparten tendencias comunes y obstáculos que han influido en el ritmo de adopción del almacenamiento de energía.

- Reconocimiento creciente del almacenamiento como tecnología clave

La mayoría de los países han comenzado a incluir el almacenamiento en sus planes nacionales de energía, políticas climáticas y estrategias de electrificación rural. Aun sin regulación específica, ya se visualiza al almacenamiento como complemento necesario para la expansión de energías renovables.

- Predominio de proyectos piloto y esquemas aislados

Muchos países han iniciado proyectos demostrativos con apoyo de cooperación internacional, principalmente en zonas rurales, insulares o con redes débiles. Estas experiencias han servido para validar la viabilidad técnica y social del almacenamiento, pero aún no han escalado a niveles nacionales.

- Prioridad al almacenamiento electroquímico

Las baterías de ion-litio son la tecnología más implementada, debido a su modularidad, disponibilidad en el mercado y facilidad de instalación. Otras tecnologías como el almacenamiento térmico, gravitacional o químico (hidrógeno verde), aún están en fases tempranas o de evaluación.

- Fuerte participación de organismos multilaterales

Instituciones como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial (GBM), Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), el Fondo Verde para el Clima (FVC) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), han sido clave en la promoción del almacenamiento, a través de financiamiento, asistencia técnica y generación de capacidades locales.

4.6. Desafíos regulatorios persistentes

Los desafíos reflejan tanto la novedad relativa de esta tecnología en los mercados energéticos como la necesidad de adaptar los marcos regulatorios tradicionales a nuevos paradigmas de flexibilidad, descentralización y resiliencia.

- Ausencia de definición legal clara del almacenamiento

En muchos países, no se define si el almacenamiento debe clasificarse como generación, consumo, transmisión o servicio independiente, lo que genera ambigüedad en su rol dentro del sistema eléctrico.

- Falta de esquemas de remuneración por servicios prestados

El almacenamiento aporta múltiples beneficios al sistema (regulación de frecuencia, respaldo, reducción de picos o desplazamiento de demanda), pero en la mayoría de los casos no existe un mecanismo que reconozca ni remunere esos servicios.

- Incompatibilidad con marcos tarifarios tradicionales

Los sistemas regulatorios basados en grandes generadoras y redes centralizadas no están preparados para integrar actores intermedios como el almacenamiento distribuido, lo que limita su incorporación a escala comercial.

- Baja capacidad institucional y técnica

Muchos entes reguladores y ministerios carecen de experiencia, personal capacitado y herramientas de planificación para evaluar el impacto técnico-económico del almacenamiento y formular políticas específicas.

- Débil integración en la planificación energética nacional:

Son pocos los planes de expansión eléctrica que consideran al almacenamiento como una herramienta estratégica.

- Riesgos de inversión por incertidumbre regulatoria

La falta de reglas claras y estables genera un entorno de alto riesgo e incertidumbre para inversionistas, dificultando el financiamiento de proyectos privados, incluso cuando la viabilidad técnica es evidente.

4.7. Inversión y financiamiento en el sector

El acceso a financiamiento es un factor clave para la expansión del almacenamiento de energía. Bancos de desarrollo y organismos internacionales están promoviendo inversiones en infraestructura energética sostenible.

La expansión del almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe requiere no solo de avances tecnológicos y regulatorios, sino también de modelos de inversión sostenibles y mecanismos de financiamiento adaptados a las necesidades de cada país. Dado que muchas de las soluciones de almacenamiento aún presentan costos de capital elevados, especialmente en comparación con tecnologías convencionales, el acceso a financiamiento es un factor decisivo para su despliegue a gran escala.

4.7.1. Panorama actual de inversión

En la región, la inversión en almacenamiento de energía ha estado concentrada mayoritariamente en proyectos piloto o iniciativas de cooperación internacional, con participación limitada del capital privado. Algunos elementos que caracterizan el panorama actual son:

- Proyectos financiados por multilaterales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial, la CAF y el Fondo Verde para el Clima.
- Participación de cooperación bilateral (como USAID, GIZ, JICA, AECID) en iniciativas rurales, insulares o en zonas vulnerables.

- Inversión privada aún incipiente, debido a falta de modelos de negocio claros, riesgos regulatorios y retornos poco definidos.
- Predominio de tecnologías electroquímicas (baterías), por su menor riesgo tecnológico en comparación con otras soluciones (hidrógeno verde, almacenamiento gravitacional o térmico).

4.7.2. Fuentes de financiamiento más utilizadas

Las principales fuentes de financiamiento identificadas en la región incluyen:

- Organismos multilaterales: financian proyectos mediante préstamos concesionales, donaciones y fondos de desarrollo climático.
- Bancos de desarrollo nacionales: ofrecen líneas de crédito o garantías para proyectos de energías limpias y almacenamiento.
- Fondos climáticos internacionales: como el Fondo Verde para el Clima, el Fondo de Tecnología Limpia (CTF) y el Fondo de Adaptación, que priorizan proyectos con co-beneficios ambientales y sociales.
- Alianzas público-privadas (APP): algunos países han explorado modelos de co-inversión entre gobiernos, empresas locales y desarrolladores internacionales.
- Financiamiento comunitario o cooperativo: especialmente en zonas rurales, donde asociaciones locales han cofinanciado microrredes con respaldo de baterías.

4.7.3. Barreras para atraer inversión

A pesar del creciente interés, persisten barreras que limitan el flujo de capital hacia el sector de almacenamiento:

- Falta de certeza regulatoria: la ausencia de marcos normativos estables y previsibles eleva el riesgo percibido por inversionistas.
- Desconocimiento de modelos de negocio viables: muchos actores financieros aún no comprenden el valor técnico y económico del almacenamiento, dificultando la estructuración de proyectos rentables.
- Altos costos de capital (CAPEX): especialmente en tecnologías emergentes o cuando se requiere importación de equipos.
- Débil capacidad institucional para estructurar proyectos bancables: muchos gobiernos carecen de experiencia para desarrollar propuestas técnicamente robustas y financieramente viables.
- Acceso limitado a datos técnicos confiables: lo que impide realizar evaluaciones de riesgo adecuadas y diseñar esquemas de mitigación eficaces.

4.8. Tendencias futuras en la integración renovable

La transición energética en América Latina y el Caribe está evolucionando rápidamente, impulsada por el compromiso con la descarbonización, la necesidad de modernizar la infraestructura eléctrica y la creciente competitividad de las energías renovables. En este contexto, el almacenamiento de energía jugará un papel cada vez más protagónico, no solo como soporte técnico, sino también como habilitador de nuevos modelos de generación, distribución y consumo. Las siguientes tendencias delinean el camino que seguirá la región en los próximos años en cuanto a la integración de almacenamiento con fuentes renovables:

1. Expansión de proyectos híbridos a gran escala

Se espera un crecimiento sostenido de proyectos híbridos que integran generación renovable (solar, eólica) con almacenamiento en baterías u otras tecnologías, especialmente en países con alta irradiación solar y recursos eólicos estables. Estos proyectos permitirán no solo aumentar la capacidad instalada renovable, sino también mejorar su despacho, reducir vertimientos y dar mayor seguridad al sistema eléctrico.

2. Adopción de baterías de mayor duración y nuevas tecnologías

La innovación tecnológica avanza hacia baterías de larga duración, como las de flujo redox, sodio-azufre y estado sólido, que ofrecen mayor capacidad de almacenamiento por periodos prolongados (6–12 horas). Esto facilitará la integración de renovables variables en redes de mayor tamaño y en aplicaciones más críticas, como hospitales, centros industriales y ciudades enteras.

3. Impulso al almacenamiento térmico y químico

Además de las baterías electroquímicas, el almacenamiento térmico y el hidrógeno verde comienzan a posicionarse como opciones complementarias para el aprovechamiento de excedentes renovables, especialmente en zonas con alta radiación solar y baja densidad de demanda. Estas tecnologías permitirán almacenar energía a gran escala y por largos periodos, facilitando el uso industrial y la exportación futura de energía limpia.

4. Digitalización y control inteligente de sistemas renovables

El futuro de la integración renovable está íntimamente ligado a la digitalización del sistema eléctrico. Las tecnologías digitales, como la inteligencia artificial y el Internet de las Cosas (IoT), mejorarán la eficiencia en la gestión de la energía almacenada.

El avance en tecnologías de control, sensorización y gestión de datos ha permitido integrar inteligencia artificial (IA), *blockchain* e internet de las cosas (IoT) en los sistemas de almacenamiento, con lo cual es posible realizar algunas tareas como:

- Predicción del estado de carga y descarga óptima.
- Mantenimiento preventivo automatizado.
- Trazabilidad del origen de la energía almacenada.
- Interacción inteligente con tarifas dinámicas y mercados eléctricos.

Para el futuro inmediato se prevé una expansión de:

- Sistemas de gestión energética (EMS).

- Predicción meteorológica avanzada.
- Dispositivos IoT y redes inteligentes que permitirán una operación más dinámica y eficiente del almacenamiento junto a las renovables, tanto en redes centralizadas como descentralizadas.

5. Descentralización y empoderamiento del usuario final

Con la caída de los precios de los sistemas solares y de almacenamiento, se fortalecerá el modelo de generación distribuida con respaldo en baterías, lo que permitirá a hogares, comercios y pequeñas industrias:

- Generar, almacenar y consumir su propia energía.
- Participar en mercados energéticos locales.
- Contribuir activamente a la estabilidad de la red.

Esto abrirá paso a comunidades energéticas, tarifas dinámicas y esquemas de “prosumidores”, donde el almacenamiento será un elemento clave.

6. Participación del almacenamiento en mercados eléctricos

En el mediano plazo, se espera que el almacenamiento:

- Participe directamente en mercados mayoristas de energía.
- Ofrezca servicios auxiliares como control de frecuencia, respuesta rápida y respaldo.
- Sea remunerado a través de esquemas tarifarios adaptados y competitivos.

Esto hará económicamente más viable su implementación a gran escala y atraerá mayor inversión privada.

4.9. Almacenamiento distribuido y microrredes

El modelo energético tradicional, basado en grandes centrales de generación conectadas a redes de transmisión centralizadas, está dando paso a un enfoque más flexible, descentralizado y resiliente, en el que el almacenamiento distribuido y las microrredes desempeñan un papel cada vez más relevante. Esta transformación es particularmente significativa para América Latina y el Caribe, donde existen desafíos históricos de cobertura eléctrica, calidad del servicio y vulnerabilidad climática, que pueden ser enfrentados eficazmente mediante soluciones energéticas locales e inteligentes.

4.9.1. Almacenamiento distribuido y microrredes

El almacenamiento distribuido se refiere a la instalación de sistemas de almacenamiento de energía a pequeña y mediana escala, ubicados cerca del punto de consumo (por ejemplo, en hogares, comercios, edificios públicos o comunidades rurales). A diferencia de los sistemas centralizados, el almacenamiento distribuido permite:

- Aumentar la autonomía energética del usuario final.
- Reducir la carga sobre la red principal.

- Facilitar la integración de generación distribuida renovable (como paneles solares).
- Mejorar la calidad y continuidad del suministro eléctrico.

Las microrredes son sistemas energéticos locales que combinan generación (por ejemplo, solar o eólica), almacenamiento y consumo dentro de una red autónoma, que puede operar conectada a la red principal o de forma aislada. Su principal ventaja es la capacidad de mantener el suministro eléctrico incluso cuando falla la red general, lo que las convierte en soluciones ideales para:

- Zonas rurales remotas.
- Islas y comunidades insulares.
- Infraestructura crítica, como hospitales, escuelas o centros de respuesta ante desastres.
- Proyectos comunitarios de energía sostenible.

4.9.2. Beneficios estratégicos

El almacenamiento distribuido y las microrredes no solo representan soluciones técnicas para mejorar la eficiencia y confiabilidad del suministro eléctrico, sino que también ofrecen beneficios estratégicos de gran impacto.

- Resiliencia energética: capacidad de mantener el suministro durante emergencias o fallas en la red, reduciendo la vulnerabilidad de los sistemas energéticos
- Reducción de pérdidas: al generar y consumir localmente, se minimizan las pérdidas por transmisión.
- Apoyo a las zonas rurales: se impulsa la autonomía de comunidades aisladas y se fortalece la resiliencia frente a eventos climáticos extremos.
- Empoderamiento comunitario: contribuye a democratizar el acceso a la energía, promover la participación activa de usuarios, cooperativas o municipios en la gestión de su energía y crear nuevas oportunidades económicas a nivel local.
- Sostenibilidad ambiental: permite una transición ordenada hacia energías renovables a nivel local.

El valor estratégico de estas soluciones constituye herramientas clave para la inclusión energética, la sostenibilidad y el desarrollo territorial equitativo en la región.

4.9.3. Retos para su expansión

A pesar de su gran potencial para transformar el acceso a la energía en América Latina y el Caribe, la expansión del almacenamiento distribuido y las microrredes enfrenta importantes desafíos técnicos, regulatorios, financieros e institucionales:

- Falta de normativas específicas que regulen el almacenamiento distribuido y el funcionamiento de microrredes.
- Esquemas tarifarios poco adaptados a usuarios prosumidores.
- Acceso limitado a financiamiento para pequeños proyectos comunitarios.
- Déficit de capacidades técnicas locales para instalación, operación y mantenimiento.

- Necesidad de plataformas digitales y tecnologías de gestión inteligente.

4.10. La innovación tecnológica en el almacenamiento

La evolución del almacenamiento de energía está estrechamente ligada a la innovación tecnológica, que continúa abriendo nuevas posibilidades en cuanto a eficiencia, escalabilidad, sostenibilidad y reducción de costos. Estas innovaciones no solo responden a las necesidades técnicas del sistema eléctrico, sino que también expanden las aplicaciones posibles del almacenamiento en sectores como la industria, la movilidad, la agricultura, la infraestructura crítica y el consumo doméstico.

Las innovaciones tecnológicas en almacenamiento están transformando profundamente el panorama energético global. Para América Latina y el Caribe, adoptar y adaptar estas tecnologías será clave para diversificar su matriz energética, mejorar la seguridad del suministro y avanzar hacia sistemas eléctricos más flexibles y sostenibles. La clave estará en fortalecer la investigación local, fomentar la transferencia tecnológica y crear entornos favorables para la adopción temprana de soluciones innovadoras. En este contexto, el almacenamiento no solo será una herramienta de apoyo, sino un motor de cambio estructural en la región.

En América Latina y el Caribe, mantenerse al tanto de estas tendencias es clave para diseñar políticas públicas, estrategias de inversión y soluciones energéticas que sean competitivas, resilientes y adaptadas al contexto regional.

4.11. Iniciativas de investigación y desarrollo

La investigación y el desarrollo (I+D) constituyen un pilar fundamental para impulsar soluciones de almacenamiento de energía adaptadas a las necesidades, recursos y realidades específicas de América Latina y el Caribe. En un contexto global en el que las tecnologías avanzan rápidamente, las iniciativas de I+D regionales permiten generar conocimiento local, formar capacidades técnicas especializadas y promover innovaciones con alto valor agregado, fortaleciendo la autonomía tecnológica y energética de la región.

Aunque la inversión en I+D en almacenamiento sigue siendo limitada en comparación con otras regiones del mundo, diversos países han comenzado a desarrollar proyectos y programas que integran universidades, centros de investigación, empresas del sector energético y organismos estatales, que trabajan en nuevas soluciones de almacenamiento adaptadas a las necesidades específicas de la región.

4.11.1. Ámbitos prioritarios de investigación en la región

Las líneas de investigación más activas y prometedoras en América Latina y el Caribe incluyen:

- Mejoramiento de baterías electroquímicas: adaptación de tecnologías de ion-litio a condiciones climáticas locales, desarrollo de baterías con materiales abundantes en la región (por ejemplo, sodio o litio andino).

- Almacenamiento térmico para aplicaciones industriales y solares: especialmente en países con fuerte radiación solar como Chile, México o Perú.
- Hidrógeno verde y vectores energéticos químicos: investigación sobre producción, almacenamiento, transporte y aplicación del hidrógeno en sectores como movilidad, industria y generación eléctrica.
- Sistemas inteligentes de gestión de energía (EMS): diseño de algoritmos de optimización, redes neuronales y plataformas digitales para integrar almacenamiento con renovables y redes inteligentes.
- Reciclaje y segunda vida de baterías: programas para reducir el impacto ambiental del almacenamiento, reutilizar baterías de vehículos eléctricos y promover la economía circular.

4.11.2. Barreras para el fortalecimiento del I+D regional

A pesar del creciente interés por el almacenamiento de energía y de los avances puntuales en investigación en América Latina y el Caribe, el desarrollo de capacidades sólidas de innovación científica y tecnológica en este campo aún enfrenta obstáculos y barreras que dificultan la consolidación de ecosistemas de I+D sostenibles y competitivos en la región.

- Bajo financiamiento público y privado para I+D en energía.
- Desarticulación entre universidades, centros de investigación y sector productivo.
- Falta de infraestructura de laboratorios especializados y equipamiento avanzado.
- Limitado acceso a redes de cooperación internacional en almacenamiento.
- Brechas en formación técnica e incentivos para retención de talento joven.

4.12. Diversificación de tecnologías de almacenamiento

La transición hacia sistemas energéticos más sostenibles, resilientes y descentralizados exige una diversificación tecnológica del almacenamiento de energía que permita responder a distintos contextos operativos, demandas específicas y perfiles territoriales. Si bien las baterías de ion-litio han dominado el mercado por su madurez tecnológica y amplia disponibilidad, ninguna tecnología de almacenamiento por sí sola puede satisfacer todas las necesidades del sistema eléctrico regional. La diversificación no solo permite mejorar el desempeño técnico y la seguridad energética, sino también reducir costos, optimizar recursos locales y minimizar impactos ambientales.

América Latina y el Caribe, con su diversidad climática, geográfica y socioeconómica, requiere una estrategia integral de adopción tecnológica, que combine diferentes tipos de almacenamiento según el uso previsto, la escala del sistema y las condiciones del territorio.

4.12.1. Ventajas de una cartera diversificada de tecnologías

Frente a la creciente demanda por soluciones energéticas flexibles, sostenibles y adaptadas a diversos contextos, contar con una cartera diversificada de tecnologías de almacenamiento ofrece algunas ventajas:

- Adaptación a diferentes escalas: desde sistemas domiciliarios hasta plantas industriales o redes nacionales.
- Complementariedad entre tecnologías: por ejemplo, baterías de rápida respuesta para servicios auxiliares y almacenamiento térmico o químico para respaldo de larga duración.
- Resiliencia frente a disrupciones del mercado o limitaciones logísticas: como la escasez de litio u otros insumos clave.
- Uso eficiente de recursos locales: aprovechando el potencial solar, geotérmico, hidráulico o de biomasa de cada país o región.
- Reducción del impacto ambiental mediante tecnologías de menor huella ecológica o con mayores opciones de reciclaje y reutilización.

4.12.2. Criterios para una adopción tecnológica estratégica

Para implementar una estrategia de diversificación efectiva, los países deben considerar:

- Perfil de demanda energética local (residencial, industrial, agrícola, etc.).
- Condiciones geográficas y climáticas (radiación solar, acceso a agua, infraestructura existente).
- Costos de inversión, operación y mantenimiento, comparando el costo nivelado del almacenamiento (LCOS).
- Disponibilidad de capacidades técnicas locales para instalación, operación y soporte técnico.
- Impacto ambiental y ciclo de vida, considerando reciclabilidad y gestión de residuos.

5. Recomendaciones y Estrategias para el Futuro

5.1. Desarrollo de políticas y regulaciones claras

El desarrollo del almacenamiento de energía es clave para acelerar la incorporación de energías renovables en la región, pero enfrenta barreras y vacíos normativos que deben ser identificados y adecuadamente tratados o incorporados.

Para que el almacenamiento de energía despegue en América Latina y el Caribe, se necesitan regulaciones específicas, claras y modernas, adaptadas a las nuevas tecnologías y al rol estratégico que el almacenamiento puede jugar en la transición energética. Una adecuada regulación puede fomentar el desarrollo empezando por pequeños proyectos que contribuyan a la formación de capacidades locales.

Entre los aspectos que se pueden manejar a través de la normativa y regulación están los siguientes:

- **Definición legal del almacenamiento:** Es fundamental que las leyes energéticas reconozcan al almacenamiento como una actividad del sistema eléctrico. Algunos países ya lo definen como una “tecnología habilitadora” para la transición energética, pero en muchos países el almacenamiento no está ni siquiera mencionado y menos aún definido en la normativa. Es clave precisar si el almacenamiento actúa como: generador, consumidor, servicio auxiliar o se crea una categoría propia, que sería lo más deseable.
- **Mecanismos de remuneración y participación en el mercado:** Crear reglas claras para que los sistemas de almacenamiento reciban pagos por los servicios que prestan (ej. estabilización de red, respuesta rápida) y puedan competir en igualdad con otras tecnologías. Se puede por ejemplo remunerar los servicios de almacenamiento como “reserva secundaria”, “control de frecuencia”, o “despacho diferido”.
- **Incentivos fiscales o financieros:** a través de políticas y normativa que considere exenciones fiscales, acceso a financiamiento verde o créditos blandos y subvenciones para proyectos piloto o comunitarios tal como se hizo en muchos países con los paneles solares.
- **Normas técnicas y de seguridad:** Establecer estándares de diseño, instalación, operación y reciclaje para baterías de litio, almacenamiento térmico y almacenamiento de hidrógeno, protege tanto al sistema eléctrico como a los usuarios.
- **Interconexión y acceso a la red:** Regular cómo los sistemas de almacenamiento pueden conectarse a la red y qué requisitos técnicos deben cumplir. Permitir que pequeños sistemas (residenciales o comunitarios) vendan energía almacenada a la red (*net billing* o *net metering*) como mecanismo para desarrollar la generación distribuida.
- **Regulación para usos múltiples (multiuso o stacking):** Permitir que un mismo sistema de almacenamiento apoye a la red, consuma y genere energía, ofrezca varios servicios y reciba ingresos por cada uno. Esto maximiza su rentabilidad y uso eficiente.

- **Coordinación institucional y planificación energética:** Incluir el almacenamiento en los planes nacionales de energía. Establecer competencias para que las agencias reguladoras o instancias técnicas de los ministerios o secretarías de estado, puedan supervisar su desarrollo. Fomentar sinergias con movilidad eléctrica, energías renovables y eficiencia energética.

5.2. Incentivos económicos y financieros

Para acelerar la adopción de tecnologías de almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe, resulta esencial contar con un marco de incentivos económicos y financieros robusto, accesible y adaptado a las realidades nacionales y territoriales. Dado que el almacenamiento aún representa una inversión significativa en términos de costo inicial (CAPEX), y que su rentabilidad depende de estructuras de mercado aún en desarrollo, los incentivos pueden desempeñar un rol decisivo para estimular la demanda, reducir riesgos y fomentar la participación del sector privado y comunitario.

Un enfoque estratégico de incentivos y su correcta implementación no solo mejora la competitividad del almacenamiento frente a tecnologías convencionales, sino que también viabiliza modelos de negocio innovadores, fortalece la resiliencia energética y promueve la inclusión social en la transición energética.

Para que estos incentivos tengan un impacto duradero, deben estar alineados con objetivos de desarrollo sostenible, integrados a políticas energéticas nacionales y diseñados con enfoque territorial e inclusivo.

Tipos de incentivos recomendados

- **Incentivos fiscales**
 - Exención de IVA y aranceles para importación de equipos y componentes tecnológicos.
 - Deducciones fiscales por inversión en almacenamiento o integración con renovables.
 - Créditos fiscales por generación distribuida con respaldo energético.
- **Subvenciones y fondos públicos**
 - Programas de subsidios directos para proyectos piloto o comunitarios.
 - Fondos de innovación energética destinados a tecnologías emergentes de almacenamiento (ej. baterías de segunda vida, hidrógeno verde, térmico).
 - Bonificaciones especiales para instalaciones en zonas vulnerables o con baja cobertura energética.
 - Establecer premios y subvenciones competitivas para startups, universidades y centros tecnológicos.
- **Acceso a financiamiento preferencial**
 - Líneas de crédito verdes o fondos climáticos internacionales con tasas reducidas.
 - Garantías parciales o fondos de riesgo para reducir incertidumbre en inversiones.

- Esquemas de leasing o contratos de servicios energéticos (ESCOs) con almacenamiento incluido.
- **Mecanismos de mercado**
 - Pagos por servicios auxiliares (frecuencia, voltaje, capacidad de reserva) prestados por sistemas de almacenamiento.
 - Subastas específicas o diferenciadas para proyectos híbridos o con respaldo energético.
 - Tarifas dinámicas o net billing que reconozcan el valor del almacenamiento a nivel residencial o comercial.

5.3. Inversión en investigación y desarrollo

La inversión en investigación y desarrollo (I+D) constituye un elemento estratégico para posicionar a América Latina y el Caribe como un actor activo y no meramente consumidor de tecnologías de almacenamiento. Promover la innovación local no solo permite adaptar las soluciones a las realidades técnicas, climáticas y sociales de la región, sino que también fortalece la autonomía tecnológica, impulsa la industrialización verde y genera conocimiento propio de alto valor agregado.

Se recomienda que los países de la región:

- Incrementen progresivamente la inversión pública y privada en I+D aplicada al almacenamiento de energía, incluyendo tecnologías emergentes como baterías de flujo, almacenamiento térmico e hidrógeno verde.
- Fortalezcan los vínculos entre universidades, centros de investigación, sector productivo y organismos del Estado, promoviendo consorcios nacionales y regionales orientados a soluciones concretas.
- Establezcan fondos dedicados a la innovación energética, con líneas específicas para almacenamiento y su integración con energías renovables y redes inteligentes.
- Fomenten la cooperación internacional en investigación, mediante convenios, intercambios técnicos y participación activa en redes globales de conocimiento.
- Apoyen la formación de investigadores y especialistas, asegurando la retención de talento mediante programas de carrera científica, financiamiento y oportunidades de desarrollo profesional.

Solo con una apuesta clara por la innovación será posible construir una base tecnológica sólida, competitiva y resiliente, capaz de acelerar la adopción del almacenamiento y de contribuir a una transición energética verdaderamente soberana, inclusiva y sostenible.

5.4. Expansión de infraestructura y modernización de la red

Para que el almacenamiento de energía se convierta en una herramienta efectiva dentro de la transición energética de América Latina y el Caribe, es indispensable que los países de la región avancen de manera decidida en la expansión y modernización de su infraestructura eléctrica. Las redes actuales —en muchos casos diseñadas para un

sistema centralizado, unidireccional y basado en generación fósil— deben adaptarse para integrar flujos bidireccionales, generación distribuida, almacenamiento distribuido y gestión inteligente de la energía.

Se recomienda que los gobiernos y operadores de red:

- Prioricen inversiones en redes eléctricas inteligentes, resilientes y digitalizadas, capaces de interactuar en tiempo real con tecnologías de almacenamiento.
- Desarrollen estudios de optimización de sus sistemas eléctricos para determinar las reales necesidades de sistemas de almacenamiento como la mejor opción desde el punto de vista técnico y económico.
- Incorporen, en función de sus necesidades, el almacenamiento de energía en los planes de expansión de infraestructura eléctrica nacional, no solo como apoyo operativo, sino como infraestructura estratégica.
- Desarrollen microrredes en zonas rurales, insulares y de difícil acceso, aprovechando su potencial para ofrecer un suministro continuo, estable y basado en renovables.
- Promuevan la interoperabilidad entre tecnologías y sistemas, mediante estándares técnicos, plataformas abiertas y capacitación del personal técnico.

El fortalecimiento de la infraestructura y la red no solo habilita la adopción del almacenamiento, sino que mejora la calidad del servicio, reduce pérdidas, refuerza la seguridad energética y multiplica los beneficios sociales y ambientales de la transición energética.

5.5. Capacitación y formación de talento humano

El desarrollo del almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe no podrá consolidarse sin una base sólida de recursos humanos calificados. La transición hacia sistemas energéticos más sostenibles, descentralizados y tecnológicamente avanzados exige nuevas competencias técnicas, científicas, regulatorias y de gestión, que hoy en día aún no están plenamente cubiertas en muchos países de la región. La capacitación y formación de talento humano, tanto a nivel técnico como profesional, constituye una condición habilitante clave para garantizar la implementación, operación y mantenimiento exitoso de soluciones de almacenamiento a distintas escalas.

Para consolidar el almacenamiento de energía como pilar de la transición energética en América Latina y el Caribe, es imprescindible invertir de manera decidida y sostenida en la formación de talento humano técnico y profesional. La falta de personal capacitado representa una barrera estructural que limita tanto la implementación de proyectos como la operación eficiente de tecnologías emergentes.

Se recomienda que los gobiernos, en coordinación con instituciones educativas, centros de formación técnica, empresas del sector y organismos regionales y de cooperación:

- Desarrollen programas de formación especializados en tecnologías de almacenamiento (electroquímico, térmico, químico, digital), integrando contenidos actualizados y orientados a la práctica.

- Fomenten alianzas público-privadas para la formación dual, que combinen teoría con experiencia en campo, y que respondan a las demandas reales del mercado laboral energético.
- Promuevan la inclusión de mujeres, jóvenes y comunidades vulnerables en programas de capacitación mediante becas, incentivos y acceso territorializado.
- Fortalezcan las capacidades institucionales de universidades y centros técnicos para convertirse en referentes regionales en innovación y formación energética.
- Aprovechen la cooperación internacional para facilitar intercambios académicos, estancias técnicas y formación docente en tecnologías emergentes.

Solo mediante una estrategia integral de desarrollo de capacidades será posible asegurar que la región cuente con el capital humano necesario para diseñar, implementar, operar y escalar soluciones de almacenamiento adaptadas a sus contextos, contribuyendo al mismo tiempo a la generación de empleo verde y al fortalecimiento de la soberanía tecnológica regional.

5.6. Promoción de alianzas público-privadas

Las alianzas público-privadas (APP) ofrecen una oportunidad única para movilizar recursos, compartir riesgos y escalar soluciones innovadoras en el ámbito del almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe. Su adecuada estructuración puede facilitar la implementación de proyectos tecnológicamente avanzados, fomentar la generación de empleo local y garantizar la sostenibilidad operativa a largo plazo. No obstante, para que estas alianzas sean exitosas, deben basarse en confianza mutua, objetivos compartidos y marcos normativos transparentes y estables.

Se recomienda que los gobiernos de la región:

- Establezcan marcos legales y contractuales claros y predecibles que brinden seguridad jurídica a los inversionistas y al mismo tiempo protejan el interés público.
- Identifiquen proyectos estratégicos de almacenamiento en los que la colaboración público-privada pueda generar mayor impacto social, ambiental y económico.
- Promuevan esquemas de cofinanciamiento, incentivos fiscales y garantías de riesgo que hagan viables proyectos en sectores clave como la electrificación rural, la resiliencia urbana o la integración de renovables.
- Fomenten espacios de diálogo técnico y estratégico entre instituciones públicas, empresas privadas, comunidades locales y organismos internacionales, para construir hojas de ruta conjuntas que alineen capacidades, financiamiento e innovación.
- Fortalezcan las capacidades institucionales para formular, negociar y supervisar APP en el sector energético, asegurando su eficiencia, equidad y sostenibilidad.

La promoción de alianzas público-privadas no debe verse únicamente como un mecanismo financiero, sino como una estrategia de colaboración transformadora, que

permite articular esfuerzos, acelerar la transición energética y generar valor compartido para toda la sociedad.

5.7. Fomento del almacenamiento distribuido y microrredes

El almacenamiento distribuido y las microrredes representan soluciones clave para garantizar el acceso confiable, sostenible y resiliente a la energía, especialmente en comunidades rurales, territorios insulares y zonas con baja cobertura o redes débiles. Estas tecnologías permiten democratizar la generación y gestión de energía, empoderar a usuarios finales, reducir la dependencia de combustibles fósiles y aumentar la autonomía energética local. No obstante, su expansión requiere de políticas públicas específicas que reconozcan su valor estratégico y las condiciones particulares de los territorios donde tienen mayor impacto.

Se recomienda que los gobiernos de América Latina y el Caribe:

- Incluyan explícitamente el almacenamiento distribuido y las microrredes en sus marcos regulatorios y planes de electrificación, como elementos centrales de sus estrategias de transición energética.
- Establezcan incentivos diferenciados para proyectos comunitarios o en zonas no interconectadas, incluyendo subsidios, acceso a financiamiento blando y asistencia técnica.
- Simplifiquen los procesos administrativos y regulatorios para la instalación y operación de microrredes, adaptándolos a contextos locales.
- Fomenten la participación de gobiernos locales, cooperativas, asociaciones comunitarias y organizaciones sociales en el diseño, gestión y monitoreo de estas soluciones.
- Promuevan esquemas de formación técnica territorializados, para garantizar que las comunidades puedan operar, mantener y apropiarse de los sistemas instalados.

Impulsar el almacenamiento distribuido y las microrredes no solo es una solución tecnológica eficaz, sino también una estrategia de inclusión energética, desarrollo territorial y justicia climática, que puede acelerar la transición hacia modelos energéticos más equitativos, resilientes y sostenibles en toda la región.

6. Conclusiones

A medida que el almacenamiento gana espacio en la región, se va consolidando como un pilar estratégico e inevitable para la transformación energética en América Latina y el Caribe. En un escenario regional caracterizado por la abundancia de recursos energéticos renovables, la urgente necesidad de cerrar las brechas de acceso en zonas aisladas y mejorar la resiliencia de los sistemas energéticos frente a los efectos cada vez más intensos y frecuentes del cambio climático; el almacenamiento surge no solamente como una solución tecnológica, sino como una herramienta estructural para poder desarrollar soluciones más sostenibles, inclusivas y resilientes.

Las tecnologías como el almacenamiento por bombeo hidráulico, los sistemas de almacenamiento con batería (BESS), el almacenamiento térmico y el almacenamiento químico con hidrógeno verde están demostrando ser soluciones viables y sostenibles. Su desarrollo en la región está en un proceso de crecimiento, liderado por un grupo de países que muestran avances significativos en la implementación de reglas claras y ajustes normativos que facilitan la implementación de proyectos innovadores que pueden ser replicados en toda la región.

Si bien la región ha dado pasos importantes en términos de regulación, implementación de proyectos piloto e incorporación del tema en sus agendas energéticas, persisten barreras significativas: marcos normativos fragmentados, altos costos de inversión inicial, debilidades en infraestructura eléctrica, limitada formación de talento humano y baja inversión en investigación y desarrollo.

No obstante, también se han identificado numerosas oportunidades que deben ser tomadas en cuenta. Entre ellas, destacan el desarrollo de proyectos híbridos que combinen energías renovables y almacenamiento, la expansión de microrredes en zonas no interconectadas, la diversificación tecnológica con alternativas de bombeo hidráulico, almacenamiento con baterías, sistemas térmicos y soluciones químicas, y la posibilidad de construir ecosistemas de innovación local que contribuyan a la creación de cadenas de valor que constituyan nuevas fuentes para el desarrollo social, la generación de empleo y la creación de oportunidades para todos, en particular para la población más joven.

La colaboración entre todos los actores y sectores involucrados será clave para consolidar un sistema energético inclusivo, seguro, sostenible y resiliente. En este sentido, una forma efectiva de acelerar el proceso de incorporación del almacenamiento en la región es el acuerdo conjunto de los países para establecer una **meta regional** que constituya un referente para las acciones nacionales que se requieren en aspectos normativos y regulatorios, requisito indispensable para atraer la atención de los inversionistas y promotores de proyectos, y permitir el acceso a créditos concesionales y fuentes de financiamiento verde.

7. Referencias

Este informe se elaboró a partir del análisis y revisión de documentos técnicos, estudios regionales, informes de organismos multilaterales, artículos científicos, bases de datos públicas y fuentes institucionales especializadas en energía, tecnología y sostenibilidad. A continuación, se listan las principales referencias utilizadas:

Agencia Internacional de Energía (IEA). (2021). *Energy storage tracking report*. <https://www.iea.org/reports/energy-storage>

Agencia Internacional de Energía (IEA). (2024). *Batteries and Secure Energy Transitions*. <https://www.iea.org/reports/batteries-and-secure-energy-transitions>

Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). (2022). *Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030*. <https://www.irena.org/publications>

Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). (2023). *Renewable Power Generation Costs*.

Administración Nacional de Electricidad de Paraguay (ANDE). (2024). *Plan Maestro de Generación – Período 2024 - 2043*

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). *Almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe: Estado del arte y recomendaciones*.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2024). *Proyecciones para la integración energética sostenible en América Latina*.

Banco Mundial. (2020). *Energy storage trends and opportunities in emerging markets*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/388571595918184440/pdf/Energy-Storage-Trends-and-Opportunities-in-Emerging-Markets.pdf>

BloombergNEF. (2023). *Battery price survey and storage outlook 2023*. <https://about.bnef.com/blog/2h-2023-energy-storage-market-outlook/>

BloombergNEF. (2023). *Battery Storage Outlook*

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Transición energética en América Latina y el Caribe: Desafíos y oportunidades*. <https://www.cepal.org/es/publicaciones>

Comisión Reguladora de Energía (CRE). (2022). *Análisis del marco regulatorio para el almacenamiento eléctrico en México*. <https://www.gob.mx/cre>

Enel Foundation. (2020). *Tecnologías emergentes de almacenamiento y su aplicabilidad en América Latina*.

ETESA Panamá (2023). *Plan de expansión del sistema interconectado nacional 2023 – 2037*.

Fundación Bariloche. (2021). *Escenarios de integración energética regional*. Fundación Bariloche.

GET.transform. (2022). *Guía técnica sobre almacenamiento para sistemas aislados*.

Gutiérrez, L., & Almeida, R. (2021). El almacenamiento de energía como facilitador de la transición energética en América Latina. *Revista Energía y Futuro*, 18(2), 45–59.

Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) (2024). *Informe Ejecutivo del Plan de Expansión de Generación 2024 – 2040*.

Ministerio de Energía de Chile (2023). *Estrategia Nacional de Almacenamiento de Energía 2023–2030*. <https://energia.gob.cl>

Ministerio de Energía de Chile (2025). *Reporte de proyectos en Construcción e Inversión en el Sector Energía - mes de mayo de 2025*.

Ministerio de Industria, Minería y Energía de Uruguay (2024). Plan Indicativo de Expansión del Parque de Generación Eléctrica - Período 2024 a 2043.

Ministerio de Minas y Energía Colombia (2025). *Catálogo Tecnológico Colombiano Tecnologías de generación y almacenamiento de energía*.

Ministerio de Minas e Energía y EPE Brasil (2024). Plano Decenal de Expansão de Energia 2034.

Ministry of Science, Energy, Telecommunications & Transport Jamaica (2023). *2022 Jamaica Integrated Resource Plan - 2018 IRP Review and Update*

OLADE – Organización Latinoamericana de Energía (2024). *Estadísticas energéticas y políticas regionales*. <https://www.olade.org/>

OLADE – Organización Latinoamericana de Energía (2024). Panorama Energético de América Latina y El Caribe, <https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2024/>

Paredes, F., & Suárez, J. (2022). Microrredes y electrificación rural: Análisis de casos en zonas no interconectadas de Perú y Ecuador. *Revista de Energías Renovables y Sociedad*, 7(1), 22–34.

REN21 (2023). *Renewables 2023 global status report*. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>

U.S. Department of Energy. (2023). *Global energy storage database*. Sandia National Laboratories. <https://www.sandia.gov/ess-ssl/global-energy-storage-database>

Unidad de Planeación Minero-Energética Colombia (UPME). (2021). *Plan de expansión de generación y transmisión 2020–2034*. <https://www1.upme.gov.co>

VOLTA Foundation. (2024). *Battery Report*.

olade

ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA | LATIN AMERICAN ENERGY ORGANIZATION | ORGANIZAÇÃO LATINO-AMERICANA DE ENERGIA | ORGANISATION LATINO-AMERICAINE D'ENERGIE

