

The logo consists of the letters 'IRO' in a bold, white, sans-serif font, centered within a rounded rectangular green box. The background of the entire page is a composite image of a city skyline (likely New York City) with a network of glowing white nodes and lines overlaid on a blue sky and water.

IRO

Implicaciones
Riesgos
Oportunidades

edición
01

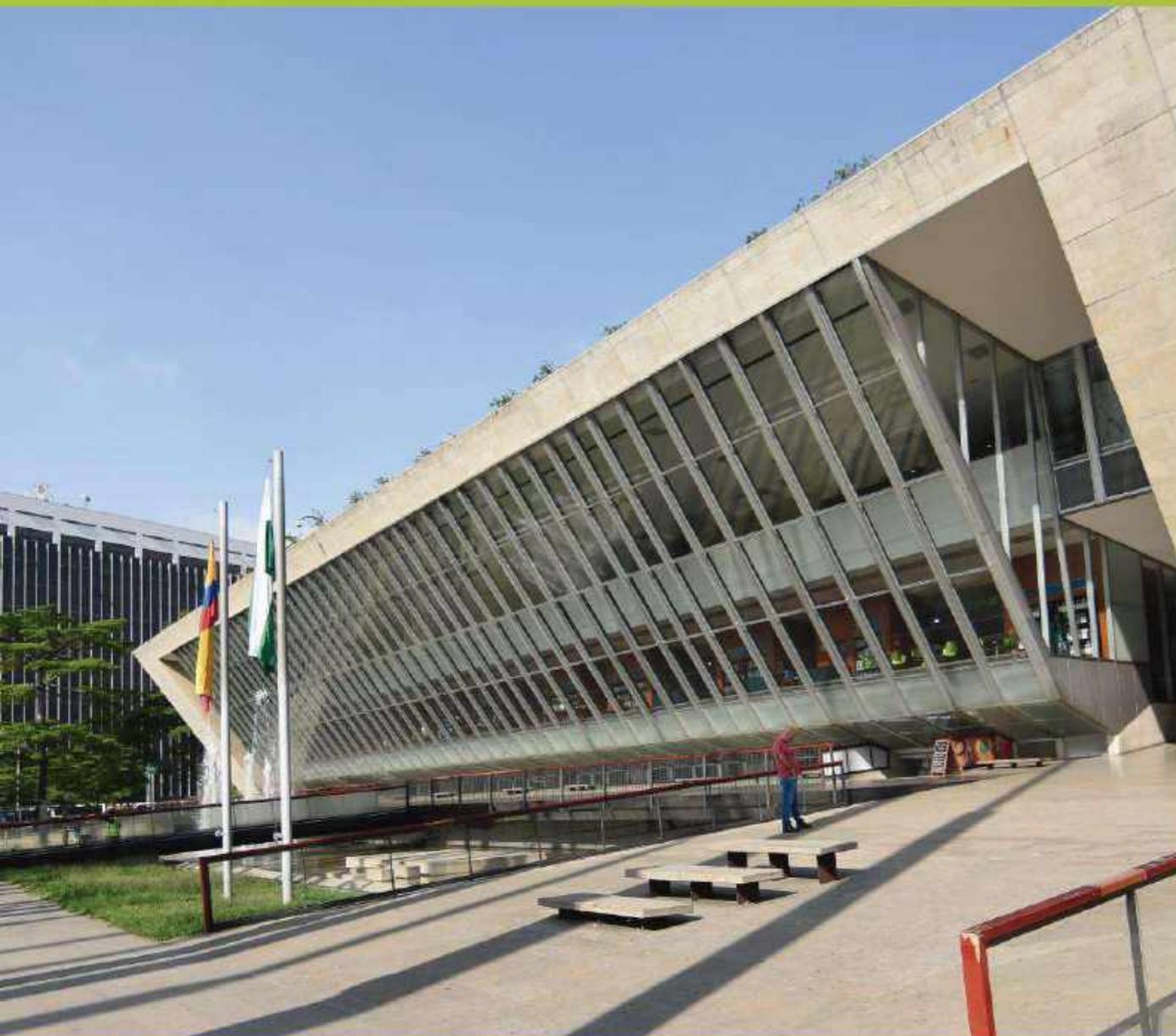
2 0 2 1

Ciudades Inteligentes

Soluciones distribuidas
descentralizadas para la
gestión eficiente de la energía
con énfasis en almacenamiento.

Biblioteca **epm**[®]

Equipo de Vigilancia Estratégica



INFORME IRO No.1

Ciudades inteligentes: Soluciones distribuidas descentralizadas para la gestión eficiente de la energía con énfasis en almacenamiento

Julio – Diciembre 2021

ISSN: solicitud en proceso

Grupo Directivo EPM:

Jorge Andrés Carrillo Cardoso

Gerente General

Daño Amar Flórez

Vicepresidente Ejecutivo Nuevos Negocios,
Innovación y Tecnología

John Restrepo Giraldo

Gerente Desarrollo e Innovación

Edición y coordinación del Informe:

Luis Fernando Díaz Correa

Profesional Gerencia Desarrollo e Innovación

Investigación y redacción:

Equipo Vigilancia Estratégica

María del Mar Castro Yepes

Elkin Alexander Caro Acevedo

Shirley Johaana Montoya Uribe

Edición y diseño:

Equipo Vigilancia Estratégica

Sandra Milena Naranjo Diosa

Sandra Edilma Velásquez Jiménez

David Flórez Bohórquez

Johana Ruiz Avendaño

Alejandro Marín Uribe

Óscar Armando Castillo

Estefanía Londoño Delgado

EPM - Biblioteca EPM - Fundación EPM

Periodicidad: semestral

Solicitud de canje a:

Biblioteca EPM

Carrera 54 No.44-48 Plaza de Cisneros

Teléfono: 3807500

Bibliotecaepm@epm.com.co

Medellín – Colombia

Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

Carrera 58 No. 42 – 125 Apartado 940

E-mail: epm@epm.com.co Tel: 3808080

Medellín – Colombia

www.epm.com.co

© **Copyright:** Empresas Públicas de Medellín E.S.P.

No está permitida su reproducción por ningún medio impreso, fotostático, electrónico o similar, sin la previa autorización escrita del titular de los derechos reservados. Las opiniones expresadas por los autores en este número corresponden a su posición personal.



El equipo de Vigilancia Estratégica hace parte del proceso de Gestión de Información de la Biblioteca EPM, utilizando métodos de observación del entorno y estructuración de datos, realiza actividades de recolección, análisis y difusión de información de diversa índole: económica, tecnológica, política, social, cultural, legislativa, etc.

Este equipo fue creado, entre otras, con el ánimo de identificar y anticipar oportunidades o riesgos en temáticas de interés, mejorar la formulación y ejecución de la estrategia de la organización y acompañar la toma de decisiones en diferentes estados de la planeación empresarial tanto de proyectos como de estrategia.

En este sentido, la unidad fundamental de análisis para el equipo de Vigilancia Estratégica es, como el nombre del proceso lo indica, los ejercicios de vigilancia, que tienen como objetivo contribuir al perfilamiento de diversas iniciativas al interior de la organización. Los ejercicios se pueden desarrollar en diferentes sectores y culturas organizacionales, dependiendo del área o negocio que requiera el servicio.

El presente informe plasma un nuevo producto del Equipo de Vigilancia Estratégica, el cual se ha denominado Informe de Implicaciones, Riesgos y Oportunidades (IRO) sobre algunas temáticas específicas y de interés de estudio para el Grupo EPM y para la región en general. En esta primera versión el tema abordado es el almacenamiento de energía. Para ello se realizó un ejercicio de priorización y selección de las temáticas a abordar, donde se contó con la contribución de varios colaboradores de EPM.

Es así que para su elaboración el Equipo de VE tuvo varios encuentros con los colaboradores de EPM, además de participar en ejercicios de la Mesa de Almacenamiento de Energía, con el objetivo de hacer una selección de los principales drivers o habilitadores que estimulan o impulsarán directa o indirectamente el desarrollo del almacenamiento de energía. Posteriormente se procedió con la búsqueda y análisis de información abierta.

Además de los principales drivers del almacenamiento de energía, se podrá encontrar un análisis de sus avances tecnológicos, aspectos normativos y regulatorios, factores económicos y de mercado, proyectos y casos existentes en el mundo, también se destina un apartado para estudiar los aspectos ambientales. Así mismo se plantea una revisión del panorama colombiano, para finalizar con la identificación de algunos riesgos y oportunidades de los temas tratados en gestión de proyectos asociados al almacenamiento de energía.





Resumen

Los entes gubernamentales y de diferentes sectores han realizado esfuerzos increíbles para apoyar el desarrollo de comunidades inteligentes, efectuando sinergias entre aspectos tales como, las fuentes renovables, el almacenamiento de energía, servicios complementarios y la digitalización de los ciudadanos. Así pues, el almacenamiento eficiente de la energía es una de las bases fundamentales para la transición energética, ya que este puede flexibilizar la producción por medio de fuentes renovables y asegurar su integración en el sistema.

En este informe se hace énfasis en uno de los sistemas de almacenamiento más poderosos establecidos para el presente y el futuro de la energía renovable (y a lo mejor de los vehículos eléctricos), las baterías de iones de litio, las que hoy en día son un poco costosas, pero gracias a su peso ligero, alta eficiencia, descarga profunda y cantidad de ciclos en una vida competitiva, se vuelven muy importantes en dicho campo del almacenamiento de energía.

También, se podrán encontrar, además de los principales drivers del almacenamiento, un análisis de los avances tecnológicos de los sistemas de almacenamiento de energía, los aspectos normativos y regulatorios, se identifican los aspectos económicos y de mercado, los proyectos y casos existentes en el mundo, se destina un apartado para estudiar los aspectos ambientales, así mismo se plantea una revisión del panorama colombiano, para finalizar con la identificación de algunos riesgos y oportunidades de los aspectos tratados para la gestión de proyectos asociados con el almacenamiento de energía.

✓ Palabras clave:

Ciudades inteligentes, Almacenamiento de energía, baterías de iones de litio, habilitadores de almacenamiento de energía, proyectos almacenamiento de energía, almacenamiento de energía en Colombia.

✓ Keywords:

Smart cities, energy storage, lithium ion batteries, energy storage enablers, energy storage projects, energy storage in Colombia.



sigis

AESA	Australian energy storage Alliance – Alianza Australiana de Almacenamiento de Energía
AGM	Estera de vidrio absorbido
AMI	Infraestructura en medición avanzada
BESS	Sistemas de almacenamiento de energía de batería
BEV	Vehículos eléctricos de baterías
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BSU	Baterías de segundo uso
CAES	Almacenamiento de energía por aire comprimido
CAISO	Operador de sistema independiente de California
CBL	Carga de base del cliente
CCA	Community Choice Aggregate
CESA	California Energy Storage Alliance
CPUC	Comisión de servicios públicos de California
CREG	Comisión de regulación de energía y gas
DER	Recursos energéticos distribuidos
DOE	Departamento de Energía de los Estados Unidos
DR	Respuesta a la demanda
DRAM	Mecanismo de subasta de respuesta a la demanda
EERE	Oficina de Eficiencia Energética y Energías Renovables
EOl	End of life – Fin de Vida
ESS	Sistemas de almacenamiento de energía
EV	Vehículos eléctricos
FLA	Baterías de plomo-ácido inundadas
FNCER	Fuentes no convencionales de energías renovables
GEI	Gases de efecto invernadero
IBP	Bloques de tarifas crecientes
LAB	Baterías de plomo-ácido
LIB	Baterías de litio
LMB	Baterías de metal de litio
LSE	Entidades de servicios de carga
NEM	Medición de energía neta
PHS	Almacenamiento hidráulico por bombeo
PRS	Portfolio renewable standard – Portafolio estándar para las renovables
RA	Adecuación de recursos
SAE	Sistemas de almacenamiento de energía
SAEB	Sistemas de almacenamiento por baterías
SCE	Southern California Edison
SGIP	Presupuesto de capital del programa de incentivos de autogeneración
SoH	Capacidad al inicio del uso
ToU	Tiempo de uso
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
VPP	Virtual Power Plant – planta virtual de energía
VRLA	Baterías de plomo-ácido reguladas por válvula
VTO	Oficina de Tecnologías de Vehículos
ZNI	Zona no interconectada

Contenido



CAPÍTULO 1

Ciudades inteligentes

- Energías renovables, almacenamiento de energía y su rol en las ciudades inteligentes
- IoT (Internet de las cosas)
- Medición inteligente avanzada: AMI
- Edificaciones Inteligentes
- Participación del almacenamiento de energía en el ambiente

 Página 9 a la 15



CAPÍTULO 2

Aspectos técnicos y tecnológicos

- Las tecnologías más recientes en almacenamiento energético
- Funciones y servicios de almacenamiento de energía
- Aplicaciones del almacenamiento de energía
- Innovación en baterías
- Redes inteligentes y el almacenamiento de energía en relación con las TICs
- Amenazas cibernéticas

 Página 16 a la 33



CAPÍTULO 3

Aspectos económicos y de mercado

- Comportamiento actual del mercado de almacenamiento a nivel mundial
- Algunos incentivos que impulsan el despliegue del almacenamiento energético
- El papel del almacenamiento y las energías renovables variables, especialmente la energía solar fotovoltaica
- Costos operativos del almacenamiento energético
- Modelo de negocio
- Integración sectorial en el almacenamiento energético para la reducción de emisiones de CO₂

 Página 34 a la 55



CAPÍTULO 4

Aspectos normativos y regulatorios

- Incentivos y subvenciones para la implementación de sistemas de almacenamiento
- Incentivos para las Fuentes de Energía No Convencionales
- Decretos reglamentarios de la Ley 1715 y regulación secundaria
- Almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala
- Almacenamiento de energía eléctrica a gran escala
- Tipos de tarifas horarias aplicadas al sector residencial
- Normatividad para la disposición final de baterías en Colombia

 Página 56 a la 67

Contenido



CAPÍTULO 5

Contribución ambiental

- Descarbonización
- Economía Circular en la cadena de valor del almacenamiento
- Desafíos económicos de la gestión de residuos de baterías de Ion-Litio
- Segunda vida de las baterías
- Costos asociados a la recuperación de baterías

 [Página 68 a la 78](#)



CAPÍTULO 6

Casos de estudio y/o proyectos a nivel mundial

- Proyectos emblemáticos de almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe

 [Página 79 a la 82](#)



CAPÍTULO 7

Almacenamiento de energía en Colombia

- La UPME y su rol ante la subasta de almacenamiento de energía con baterías en Colombia
- Proyección del almacenamiento de energía en Colombia

 [Página 83 a la 88](#)



APARTADO FINAL

- Análisis IRO: Implicaciones, Riesgos y Oportunidades
- Referencias

 [Página 89 a la 97](#)



CAPÍTULO 1

Ciudades inteligentes

- Energías renovables, almacenamiento de energía y su rol en las ciudades inteligentes
- IoT (internet de las cosas)
- Medición inteligente avanzada: AMI
- Edificaciones Inteligentes
- Participación del almacenamiento de energía en el ambiente



Ideas clave

- ✓ A pesar de que la tecnología de almacenamiento de energía está en pleno desarrollo tecnológico, se perfila como una de las mejores soluciones para abordar la creciente preocupación de las redes eléctricas, las cuales están luchando para hacer frente al aumento de la demanda de electricidad que continúa acelerándose, dando a entender que las mejoras en la red son a menudo la primera opción para las ciudades que buscan volverse más inteligentes, sostenibles y habitables.
- ✓ Los protocolos IoT son un conjunto de normas y reglas que permiten a dos entidades entenderse e intercambiar información, facilitando la comunicación (M2M) Machine2Machine. El Internet de las cosas (IoT) sirve como el centro principal de los sistemas inteligentes de almacenamiento de energía, haciéndola eficiente, al mismo tiempo dándole más valor a los numerosos beneficios para la cadena de suministro de energía eléctrica dando paso a nuevas redes más inteligentes, conocidas como "smart grid", prometiendo ahorros en costos, seguridad y eficiencia energética.
- ✓ La aplicación de medición inteligente genera y permite recolectar información de consumo de energía en tiempo real, monitorear el uso de la electricidad, conocer los precios, entre otros; esta cantidad de información permitirá tanto a proveedores de energía y gestores de la red, así como a los consumidores tomar decisiones más inteligentes y asertivas.
- ✓ Un sistema de almacenamiento tiene la capacidad de suministrar energía uniforme, evitando la intermitencia, por lo que las caídas de voltaje o apagones repentinos se mitigan para que todos los dispositivos de los usuarios residenciales puedan funcionar sin interrupciones. Esto es particularmente importante cuando se obtiene energía de recursos renovables que fluctúan constantemente, como la eólica y la solar que son comúnmente más usadas para el autoabastecimiento.
- ✓ Como resultado de la incorporación del almacenamiento en una red eléctrica inteligente dentro de una ciudad, se obtiene una oferta y suministro de energía confiable, menos intensiva en CO2, segura y más resiliente que las redes de distribución de energía convencionales.



Energías renovables, almacenamiento de energía y su rol en las ciudades inteligentes

Aunque no existe una definición clara de "ciudad inteligente" las menciones existentes en la literatura parten de una ciudad autosostenible, donde los servicios tradicionales o habituales se hacen más eficientes con el uso de tecnologías digitales y las telecomunicaciones enmarcadas en el uso de las TIC, a favor y en beneficio de sus habitantes, valiendo estas tecnologías para dar un mejor uso de los recursos naturales existentes.

El concepto de "ciudades inteligentes" brinda, un panorama de uso racional y efectivo de los recursos necesarios para la vida y si se enmarca en las urbes de la actualidad, se habla de un amplio consumo de diferentes tipos de energía debido a la implementación de grandes avances tecnológicos que generan un aumento de los actores del mercado y a su vez una mayor demanda energética.

Las ciudades inteligentes ya no se consideran solo un vocablo de moda o novedoso; hoy en día son tema de conversación constante con proyectos implementados en todo el mundo, los entes gubernamentales han realizado grandes esfuerzos para apoyar el desarrollo de comunidades inteligentes, posibilitando sinergias entre la generación de energías renovables, sistemas de **almacenamiento, servicios complementarios y la digitalización de los ciudadanos.**

Con el crecimiento de la población, la urbe, la industria, los entes gubernamentales, entre otros actores, han tenido que enfrentar muchos problemas, principalmente el cómo suplir de manera efectiva y eficiente a los ciudadanos, servicios para que ellos estén conectados entre sí. **La creciente necesidad de una solución para este tipo de necesidades, en temas del aumento del consumo de energía, ha hecho evolucionar los sistemas de generación de energía para minimizar el impacto ambiental.**

Como se mencionó anteriormente bajo el escenario de alto consumo de energía para una ciudad inteligente, se presenta el desafío de prestación continua del servicio. Por esta razón, entran a jugar un papel fundamental los sistemas de automatización de procesos, que posibilitan el monitoreo en tiempo real de las fluctuaciones de carga. El análisis de estos datos en la red eléctrica permite pronosticar dichas fluctuaciones y controlar el proceso de encendido y apagado de los generadores optimizando su funcionamiento, y haciendo la operación más eficiente y estable en el tiempo. **Ahora, para garantizar este modo de operación, se requiere de la implementación de diversas tecnologías de almacenamiento.**

A pesar de que la tecnología de almacenamiento de energía está en pleno desarrollo tecnológico, se perfila como una de las mejores soluciones para abordar la creciente preocupación de **Utilities y entidades gubernamentales sobre el desempeño de las redes eléctricas**, que son un **factor clave** para hacer frente al **aumento acelerado de la demanda de electricidad**. Las mejoras en la red son a menudo, la primera opción para las ciudades que buscan volverse más inteligentes, sostenibles y habitables. Actualmente, las tecnologías de almacenamiento resultan costosas y se utilizan para acumular energía derivada de fuentes renovables, planteando dos escenarios posibles para el uso de esta tecnología, estos son:

1
La energía es almacenada en nodos centralizados que funcionan junto con grandes generadores de energía.

2
Los consumidores de energía están dotados de baterías.

Para el primer caso solo se requiere resolver una actividad: **la optimización de trabajo de los generadores de energía**, sin embargo seguirá habiendo fluctuaciones de carga en la red. Bajo el segundo escenario es posible proceder a una gestión activa del consumo de energía y optimizar gran parte del sistema eléctrico de una ciudad en su conjunto utilizando diversas tecnologías.



Las ciudades inteligentes, o centros urbanos del futuro, son ciudades que requerirán aumentar su capacidad de almacenamiento energético, al ser dinámicas y conectadas, necesitarán energía en movimiento, se espera que la mayoría de la energía consumida provenga de fuentes renovables, ya que el despliegue de aplicaciones IoT, la interconexión entre los dispositivos electrónicos, electrodomésticos y la infraestructura, entre otros, aumentará la demanda de electricidad. **Un ejemplo de este cambio es la movilidad eléctrica, que está expandiéndose a autos, bicicletas, motocicletas, monopatines, vehículos de carga, transporte masivo, entre otros sistemas.** Estos requieren opciones como las celdas de combustible para su funcionamiento, cabe destacar que además de los vehículos, muchas otras aplicaciones como las rejillas térmicas para el calentamiento de edificios, la refrigeración de locales comerciales e industriales demandarán un uso extensivo de las celdas de baterías.

Se prevé que las celdas de combustibles tengan un papel fundamental para el buen desempeño de las ciudades inteligentes, motivo por el que los vehículos de baterías extenderán su uso más allá del transporte, serán empleados también como sistemas de almacenamiento de energía, cuando haya abundancia en el sistema de energía renovable se cargarán y cuando sea necesario devolverán energía de la batería a la micro-red.

IoT

Internet de las cosas

Hablando de la digitalización e internet de las cosas (IoT) en estas ciudades se observa que debe haber una mayor descentralización de la industria energética, lo que implica la gestión de mayor cantidad de información en tiempo real tanto de la producción como del consumo. La revolución del almacenamiento de energía y el papel clave que desempeña el IoT en esta nueva era de energía distribuida es esencial, el desafío sigue siendo desarrollar un almacenamiento de energía eficiente con alta potencia y densidades energéticas, las plataformas IoT proporcionan múltiples beneficios a las personas naturales y jurídicas al momento de potenciar la automatización para gestionar el uso eficiente de la energía, facilitando el gran paso a las ciudades inteligentes, ya que los protocolos IoT son un conjunto de normas y reglas que permiten a dos entidades entenderse e intercambiar información, facilitando la comunicación (M2M) Machine2Machine.

El Internet de las cosas (IoT) sirve como el centro principal de los sistemas inteligentes de almacenamiento de energía, haciéndola eficiente, al mismo tiempo dándole más valor a los numerosos beneficios para la cadena de suministro de energía eléctrica dando paso a nuevas redes más inteligentes, conocidas como "smart grid", prometiendo ahorros en costos, seguridad y eficiencia energética.

Como se insinuó anteriormente, los sistemas de gestión de energía basados en IoT brindan una amplia gama de beneficios, para el desarrollo de ciudades inteligentes, los cuales se destacan:



Reducir el gasto energético: la medición inteligente, el monitoreo del uso de energía en tiempo real y las predicciones basadas en datos ayudan a todos en la cadena de suministro a controlar mejor el gasto y la inversión y a eliminar el desperdicio



Minimizar la emisión de carbono: integrando cada vez más software de gestión energética y otras soluciones en sus operaciones para reducir la huella de carbono



Cumplir mejor con las regulaciones: utilizan herramientas de análisis para ver cómo cumplen con las regulaciones ambientales actuales



Integrar la energía verde: con sensores de monitoreo de energía, datos de rendimiento y consumo. Usuarios y empresas de servicio comprenden mejor cómo maximizar el uso de energías renovables en sus ofertas (papel del prosumidor) y adoptar estrategias de conservación de energía



Optimizar el mantenimiento de activos: los sensores y el análisis de datos se pueden usar para monitorear el estado y el rendimiento de la maquinaria y el equipo en plantas de energía y redes de distribución



Automatizar procesos: al usar sistemas de monitoreo basados en IoT, por ejemplo, los productores automatizan la costosa administración de activos en el sitio y mejoran las operaciones de mantenimiento, basándose en los datos de consumo de energía para automatizar el cálculo dinámico de precios



Reducir los gastos operativos: se estima que la adopción de software de análisis avanzado en conjunto con el IoT, puede reducir el 90% del tiempo y el esfuerzo dedicado al análisis, generación de informes y cálculo de energía



Predecir el consumo y el gasto y planificar en consecuencia: si un sistema de gestión de energía que utiliza IoT con algoritmos de aprendizaje automático, obtiene una herramienta para predecir el consumo de energía en el futuro, mejorando modelos matemáticos de precios basados en la demanda



Identificar averías y prevenirlas: con algoritmos predictivos para posibles problemas en las operaciones y tomar acciones preventivas en lugar de lidiar con daños reales utilizando la información suministrada sobre las tendencias de consumo de energía para prever picos de carga e introducir incentivos para equilibrar la demanda y prevenir sobrecargas

Digitium, 2021

Se espera cada vez más que las tecnologías de energía inteligente ayuden a abordar las necesidades de sostenibilidad de las ciudades inteligentes y a reducir el uso máximo de energía con alto consumo de recursos fósiles, así mismo, una evolución en desarrollos de sistemas de energía resilientes, afirmados en la aparición de soluciones de almacenamiento de energía contiguo con el despliegue de recursos energéticos distribuidos (DER), los cuales darán soluciones de mejora en la entrega de energía para el progreso eficiente e inteligente de las ciudades.

AMI

Medición inteligente avanzada

La infraestructura de medición avanzada, la denominada AMI, brinda la posibilidad de realizar autogestión de los servicios de forma remota, puede hacer lectura e instaurar una comunicación bidireccional, conectando la red de generación de energía con los consumidores finales.

La aplicación de medición inteligente genera y permite recolectar información de consumo de energía en tiempo real, monitorear el uso de la electricidad, conocer los precios, cuánto son las emisiones de carbono y gases efecto invernadero, una cantidad de información que permitirá tanto a proveedores de energía y gestores de la red, así como a los consumidores tomar decisiones más inteligentes y asertivas. Por ejemplo, permitirá a los consumidores de energía gestionar el consumo de los dispositivos electrónicos, electrodomésticos y otros, principalmente aquellos de alta potencia, es decir, aquellos de mayor consumo de energía como el aire acondicionado, la calefacción, los secadores, entre otros y así se proyecta que sea con el uso de los vehículos eléctricos, que se permita gestionar sus ciclos de carga y que también puedan ser empleados como sistemas de almacenamiento en los momentos en los que la red así lo requiera, lo anterior solo sería posible gracias a los sistemas de medición inteligentes e información bidireccional (U.S. Department of Energy -DOE, 2016).



Monitoreo para el control, la prevención y el aprovechamiento

Otra de las funciones de las redes inteligentes y la medición inteligente avanzada además de abrir el camino para el desarrollo de ciudades sostenibles, es la provisión de recursos energéticos confiables y sostenibles, reducir las pérdidas de energía, ser más eficientes en la prestación del servicio, ser capaz de hacer proyecciones de la demanda, hacer frente a los nuevos desafíos que caracterizarán a las ciudades inteligentes, las cuales permitirán además aportar soluciones para resolver la crisis energética, posibilitando el camino hacia la sostenibilidad, siendo más eficiente, lo que finalmente se traduciría en menor índice de consumo de energía, permitirá además flexibilidad del mercado eléctrico y la contribución de los clientes, integrar las energías renovables y la capacidad de gestionar sistemas distribuidos y microrredes locales, e incluso gestionar el flujo de energía bidireccional (U.S. Department of Energy -DOE, 2016).

Los AMI y la gestión de las redes inteligentes como ya se ha mencionado, tienen un sin número de beneficios, entre los más destacados por el DOE en su informe "Advanced metering infrastructure and customer systems: Results from the smart grid investment grant program" publicado en el 2016 se encuentran:



- ✓ Reducción de los costos de facturación, medición y en mano de obra, ya que se puede realizar de forma remota, facturación más precisa y mejoras en la eficiencia operativa.
- ✓ Brinda la posibilidad de que los clientes autogestionen su consumo, costos y facturas, a través de plataformas y aplicaciones interactivas, además de poder cambiar su demanda en los momentos más convenientes.
- ✓ Reducción en los gastos de capital en servicios públicos y mejoramiento en la utilización y el mantenimiento de los activos.
- ✓ Reducción en los costos asociados a la interrupción del servicio, ya que el monitoreo en tiempo real y la comunicación bidireccional permitirá identificar y resolver más rápidamente los inconvenientes.
- ✓ Aumento de la satisfacción del cliente.
- ✓ Cumplimiento de las empresas de servicios públicos en la conexión y o desconexión de servicio remoto en horas, lo que antes tardaba días.
- ✓ Identificación de patrones de uso inusuales por parte de los consumidores de energía.
- ✓ Identificación de pérdidas, daños y robos.
- ✓ Brinda a las empresas de servicios públicos capacidades para ofrecer tarifas diferenciales a sus usuarios, basadas en tiempo, incentivos y programas, reduciendo la demanda máxima a la vez que permite vender el exceso de energía a nuevos nichos de mercado.
- ✓ Proporcionan información del momento preciso y usos del consumo de energía factor importante en los sistemas de almacenamiento de energía solar, térmica y otros.
- ✓ "Papel útil en la adopción de DER por parte de los clientes al proporcionar información precisa sobre la generación en el sitio y el uso del almacenamiento, y sobre las cantidades de generación excedente entregadas a las redes de distribución locales a través de mecanismos de medición neta".

U.S. Department of Energy -DOE, 2016

Edificaciones Inteligentes

Hablando desde la infraestructura física y el desarrollo urbano se consideran edificios o instalaciones inteligentes aquellos cuyos espacio y sistemas permitan una administración y control de forma integrada y automatizada para aumentar, en este caso, la eficiencia energética, la seguridad, continuidad del servicio y la accesibilidad ya que en la actualidad **los edificios consumen una tercera parte** de la totalidad de la **energía empleada en el espacio urbano**. Además, estos generan un **45% de las emisiones** que tienen lugar en los núcleos (Structuralia, 2020).

Como soporte a la continuidad y accesibilidad a los servicios, el almacenamiento de energía, es el aspecto que entra a participar de forma articulada con las energías renovables en este tipo de infraestructuras, de diferentes maneras que son usadas en todos los niveles de los sistemas eléctricos tanto a largo como a corto plazo y que de forma integral están aportando a la disminución de emisiones de CO2 y mejoran la eficiencia operacional de las instalaciones, además, de proporcionar ahorros de costos de energía al sacar los edificios de la red durante un período de tiempo y permitir el uso de energía en situaciones de emergencia para proporcionar respaldo al sistema. Junto a esto, los propietarios tienen un mayor control sobre su consumo de energía, especialmente cuando se combina con la generación de energía renovable.

Una batería de almacenamiento también es capaz de proporcionar un suministro de energía uniforme a un edificio. Cualquier caída de voltaje o apagones repentinos se puede suavizar para que un edificio pueda continuar funcionando sin interrupciones notables. Esto es particularmente importante cuando se obtiene energía de recursos renovables que fluctúan constantemente, como la eólica y la que es comúnmente usada para el autoabastecimiento, la solar.

Con el fin de lograr que una ciudad avance en la estrategia de convertirse en su totalidad en inteligente, algunas organizaciones han comenzado con la implementación de sistemas de almacenamiento, como es el caso en Colombia, del proyecto Termozipa, o las alianzas como la de Canadian Solar con Habitat Energy para lograr maximizar las ganancias de las instalaciones de almacenamiento a gran escala con el uso de Inteligencia Artificial (IA) y utilizar algoritmos de aprendizaje automático que ya han sido implementados en Australia del sur con la prestación del servicio de baterías de flujo de vanadio de 2MW/ 8MWh.

Otro ejemplo es el edificio considerado como el más inteligente del mundo "The Edge" ubicado en Ámsterdam; con una superficie de 40.000 m², no cuenta con un consumo de energía suministrada por red de distribución, ya que produce el 102% de su propia energía debido a que la fachada sur está equipada con paneles solares en todas las superficies que no sean ventanas. Por otro lado, cuenta también con almacenamiento de energía térmica del acuífero (ubicado aproximadamente a 130 metros bajo tierra) que genera toda la energía necesaria para la calefacción, refrigeración del edificio y carga de los vehículos eléctricos (González, 2018).

Otro caso de estudio para el almacenamiento de energía es el estadio Johan Crujff Arena, el cual adelanta un proyecto de eficiencia energética donde integra un techo que alberga 4.200 placas solares, y un sistema de baterías de vehículos eléctricos nuevas y usadas (baterías de segundo uso). Al combinar las unidades de conversión de energía de la empresa Eaton y el equivalente a 148 baterías del vehículo Nissan LEAF, aprovechando la tecnología de The Mobility House, brinda al estadio un almacenamiento de energía que sería suficiente para cargar 500.000 iPhone o abastecer 7.000 hogares de Ámsterdam durante una hora (Johan Crujff Institute, 2021).

A nivel de investigación y desarrollo de estos edificios y el almacenamiento de energía, se ha visto el avance de nuevos materiales y estrategias, como el que publicó Chalmers University of Technology (Suecia), **que demuestra que un tipo de concreto funciona como batería para almacenar energía, consiste en una mezcla a base de cemento a la que se añaden pequeñas cantidades de fibras de carbono cortas para aumentar la conductividad y la resistencia a la flexión. Luego, se adiciona a la mezcla una malla de fibra de carbono recubierta de metal: hierro para el ánodo y níquel para el cátodo.** (Qingnan Zhang & Tang, 2021). La investigación y los diferentes ensayos han dado como resultado una batería a base de cemento con una densidad energética media de 7 vatios/hora por metro cuadrado (o 0,8 vatios/hora por litro). La densidad de energía se utiliza para expresar la capacidad de la batería, y una estimación modesta es que el rendimiento de la nueva batería de cemento podría ser más de diez veces superior al de anteriores intentos de baterías de cemento (Chalmers University of Technology, 2021).



Participación del almacenamiento de energía en el ambiente

Dentro del marco y contexto de ciudades inteligentes, es importante resaltar la relevancia que toma la articulación de la implementación, adopción y desarrollo de nuevas tecnologías con la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente, es allí donde el almacenamiento de energía juega un papel importante en términos de descarbonización de la red de energía y la gestión adecuada de los residuos asociados a las baterías que salen de circulación, con el firme propósito de reducir la contaminación del suelo, agua y aire y tomando en cuenta la circularidad en los procesos del ciclo de vida asociados a este negocio, en el cual, se abre una nueva posibilidad de mercado asociada al segundo uso de las baterías, donde se aprovechan una gran cantidad de componentes de cada uno de los módulos de almacenamiento para ser reincorporados a un proceso, evitando el aumento de la extracción de materias primas como el cobalto, níquel, litio, manganeso, entre otros.

Como resultado de la incorporación del almacenamiento en una red eléctrica inteligente dentro de una ciudad, se obtiene una oferta y suministro de energía confiable, menos intensiva en CO2, segura y más resistente que las redes de distribución de energía convencionales. Si una ciudad está planeando una actualización de energía inteligente que incluya energías renovables limpias, flexible y sostenible, debe considerar un componente de almacenamiento de energía.



CAPÍTULO 2

Aspectos técnicos y tecnológicos

- Las tecnologías más recientes en almacenamiento energético
- Funciones y servicios de almacenamiento de energía
- Aplicaciones del almacenamiento de energía
- Innovación en baterías
- Redes inteligentes y el almacenamiento de energía en relación con las TICs
- Amenazas cibernéticas



Ideas clave

- ✓ De acuerdo con los estudios, hoy en día, las baterías de ion-litio con ánodo nanoestructurado y basado en nanopartículas de titanato de litio (Li4 Ti5 O12) ofrecen unas mejores prestaciones en su funcionamiento respecto a las baterías de ion-litio con ánodo de grafito que comenzaron a distribuirse comercialmente hace una década. En concreto, las primeras pueden permitir trabajar en condiciones de alta potencia, son de mayor duración y sus tiempos de recarga son sustancialmente más cortos, además, son más seguras, al contar con una gran estabilidad térmica.
- ✓ Las baterías de iones de litio están al alcance del objetivo de 150 €/kWh, y su participación en el almacenamiento a escala de empresas energéticas está creciendo. Sin embargo, se enfrentan a desafíos de escasez de materiales exacerbados por un mercado creciente de automóviles eléctricos. Pero, dice el científico Yet-Ming Chiang, que es poco probable que la tecnología cumpla con los requisitos de costo para el almacenamiento de larga duración, por lo que, para la descarbonización profunda, existe una necesidad crítica de desarrollar otras tecnologías de almacenamiento de bajo costo y larga duración. Chiang apuesta por las baterías de azufre (Ziegler, y otros, 2019).
- ✓ En el futuro se espera que los sistemas energéticos sean una combinación perfecta entre generación de energía renovable y almacenamiento, pero hay que tener conciencia de que la tecnología que triunfe será aquella que tenga los costos más bajos para que pueda competir con el resto de las energías de respaldo.
- ✓ La conclusión a la que se ha llegado es que el almacenamiento tendría que costar entre unos 10€ y 20 €/kWh en una combinación con eólica y/o solar para competir con una central nuclear que podría proporcionar electricidad de respaldo. Y para competir con un ciclo combinado requeriría que los costos de almacenamiento se redujeran hasta los 5 €/kWh (Ziegler, y otros, 2019).
- ✓ Esas cifras son solo para escenarios en los que la energía solar y eólica satisfacen la demanda de energía al 100%. Pero si hay otras fuentes para cubrir la demanda solo el 5% del tiempo, el almacenamiento podría funcionar a un precio de 150 €/kWh. Yet-Ming Chiang – MIT.
- ✓ Se espera que el mercado de almacenamiento de energía anual combinado, de transporte y estacionario para 2030 supere los 2500 GWh. (DOE, 2020).
- ✓ En el área del almacenamiento de energía, las invenciones electroquímicas referentes a las baterías son las que mayor número de patentes han registrado, representando el 88%, evidenciándose un esfuerzo en las innovaciones en dicho campo. Dentro de las innovaciones tecnológicas de las baterías se encuentran tecnologías claves como el ácido de plomo, el flujo redox y el níquel, siendo la tecnología de iones de litio la de mayor innovación desde 2005 y la de mayor uso en dispositivos electrónicos portátiles y en los vehículos eléctricos (IEA, 2020).
- ✓ Japón y Corea llevan el liderazgo en la contribución mundial de innovaciones de baterías de iones de litio desde 2010, Europa principalmente Alemania, Estados Unidos y China, la fabricación y ventas de vehículos eléctricos y Corea por su lado, se ha destacado como líder en baterías estacionarias para servicios de redes eléctricas a gran escala y aplicaciones detrás del medidor en edificios (IEA, 2020).
- ✓ La innovación en las tecnologías de baterías se evidencia especialmente en elementos como los cátodos, ánodos y el electrolito (líquidos o de gel de polímero, de estado sólido – una alternativa de alto nivel de energía específica y alto grado de estabilidad, pero más costosa actualmente, su patentamiento ha crecido un promedio de 25% anual desde 2010, teniendo en cuenta sus avances tecnológicos y sus características se prevé aplicaciones comerciales en la próxima década –), componentes que almacenan y conducen la electricidad de la batería (IEA, 2020).

Las tecnologías más recientes en almacenamiento energético

El almacenamiento eficiente de la energía es una de las bases fundamentales para la transición energética, ya que este puede flexibilizar la producción de energía renovable y asegurar su integración en el sistema energético.

Aunque algunas tecnologías tienen diferentes formas de almacenamiento de energía y posibles aplicaciones, esta categoría se centra en el tamaño del servicio del sistema eléctrico del país, por lo que se clasifican como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 1. Categorías de sistemas de almacenamiento (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2020)

Principio	Operación en el sistema de transmisión	Operación en el sistema de distribución	Usuarios finales
Electroquímica	Ion-Litio Sodio-Azufre (Na-S) Plomo-ácido Flujo Vanadio Redox	Ion-Litio Sodio-Azufre (Na-S) Plomo-ácido Flujo Vanadio Redox	Ion-Litio Sodio-Azufre (Na-S) Plomo-ácido Flujo Vanadio Redox
Térmica	Sales fundidas	Sales fundidas	-----
Mecánica	Rebombeo Hidráulico (PHS); Volantes de inercia y Aire Comprimido (CAES)	Rebombeo Hidráulico (PHS); Volantes de inercia y Aire Comprimido (CAES)	Volantes de inercia
Eléctrico	Supercapacitores	-----	Supercapacitores

Forma de energía almacenada

La electricidad se puede generar, transportar y convertir fácilmente. Pero hasta el momento, no ha sido posible almacenarla de forma práctica, fácil y económica. Esto significa que la electricidad siempre debe producirse bajo demanda. Para que las energías renovables (inestables) se integren de una manera segura al sistema eléctrico al margen de la capacidad de evacuación de la red de transporte y para controlar estos eventos de generación vs. consumo, se necesita el apoyo del sistema de almacenamiento de modo que se pueda aumentar la eficiencia y evitar pérdidas de energía producida. Además, la energía eléctrica no puede almacenarse como tal por lo que debe convertirse o transformarse en otros tipos tales como energía mecánica y energía química. Por otra parte, los sistemas de almacenamiento pueden agregar valor en cada eslabón de la cadena de suministro, de acuerdo con su escala de almacenamiento.

El acceso a la energía es esencial para la sociedad moderna, para mantenerse caliente en invierno, fresco en verano, para entretenimiento durante todo el año y para garantizar que los alimentos sean seguros para su consumo. Cómo se almacena esta energía, es un trabajo en progreso, y mientras muchos científicos están logrando avances significativos pero irreversibles con nuevos materiales y electrolitos, otros están listos para reinventar por completo lo que se considera una batería convencional. **Uno de los sistemas de almacenamiento más poderosos establecidos para el presente y el futuro de la energía renovable (y a lo mejor los vehículos eléctricos) son las baterías de iones de litio**, las que hoy en día son un poco costosas, pero gracias a su peso ligero, alta eficiencia, descarga profunda y cantidad de ciclos en una vida competitiva, se vuelven muy importante en el campo del almacenamiento de energía.

De acuerdo con los estudios, hoy en día, las baterías de ion-litio con ánodo nanoestructurado y basado en nanopartículas de titanato de litio (Li4 Ti5 O12) ofrecen unas mejores prestaciones en su funcionamiento respecto a las baterías de ion-litio con ánodo de grafito que comenzaron a distribuirse comercialmente hace una década. En concreto, las primeras pueden permitir trabajar en condiciones de alta potencia, son de mayor duración y sus tiempos de recarga son sustancialmente más cortos, además, son más seguras, al contar con una gran estabilidad térmica.



Las baterías recargables de ion-litio con ánodo de grafito representaron un importante avance respecto a las de níquel-cadmio por ser más ligeras, menos contaminantes, tener una mayor densidad de energía y no presentar efectos de memoria en los procesos de carga-descarga; todo ello constituyó una importante mejora de prestaciones de cara a su aplicación en teléfonos móviles y ordenadores portátiles. No obstante, frente a su aplicación en otros sectores o la mejora en los que ya se vienen aplicando, aún siguen presentando algunos inconvenientes; entre los que caben destacar los problemas de seguridad cuando la temperatura sube por encima de 100°C, la limitación en la vida de la batería, el bajo ritmo de la carga y la limitación en la potencia.

A esta relación, según un estudio realizado por **La Fundación ITMA y La Universidad de Oviedo**, se manifiesta que las baterías de ion-litio con ánodo basado en nanopartículas de titanato de litio con importantes ventajas:

El tamaño de estas nanopartículas es del orden de 100 veces menor que las de grafito, por lo que la distancia que los iones de litio tienen que recorrer para ser extraídas en el proceso de descarga son mucho menores y, por tanto, pueden proporcionar una mayor potencia

Las propiedades electroquímicas de las nanopartículas de titanato de litio son tales que permiten la introducción a altos ritmos de iones litio en su interior, lo que disminuye considerablemente el tiempo de recarga de la batería.

Los ánodos basados en estas nanopartículas no presentan efectos de tensiones ante la extracción-introducción de los iones litio en ellas, ya que los iones tienen el mismo tamaño que los huecos que ocupan en las nanopartículas, por lo que los efectos de fatiga del material se reducen drásticamente alargando la vida de la batería

El titanato de litio no reacciona químicamente con el electrolito de la batería cuando la temperatura se eleva, con lo que mejora la seguridad a la hora de ser aplicadas. Este tipo de batería no son sólo de aplicación en los sectores más convencionales actualmente de la telefonía móvil y los ordenadores portátiles, sino también en otros sectores como la industria del automóvil (incluyendo la posibilidad de vehículos eléctricos) o el mercado de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)

En el futuro se espera que los sistemas energéticos sean una combinación perfecta entre generación de energía renovable y almacenamiento, pero hay que tener conciencia de que la tecnología que triunfe será aquella que tenga los costos más bajos para que pueda competir con el resto de las energías de respaldo. Los investigadores del MIT (Massachusetts Institute of Technology) han enumerado las que podrían permitir una red 100% renovable, para empezar, ponen como ejemplo la ciudad de Los Ángeles, que recientemente firmó un acuerdo para un sistema de almacenamiento más solar a un precio récord. La planta fotovoltaica de 400 MW es capaz de almacenar 1.200 megavatios/hora de energía gracias a sus baterías de ion litio y así satisfacer la demanda eléctrica de la noche (Ojea, 2019).

Los escépticos del almacenamiento dicen que estos sistemas son todavía muy caros y su combinación con la eólica o la solar no permiten mantener las luces encendidas las 24 horas, los 7 días de la semana. Pero el primer argumento se está debilitando a medida que las energías renovables se vuelven más competitivas respecto al costo de los combustibles fósiles. El segundo tampoco se mantiene porque sus costos también se están reduciendo (Ojea, 2019).

Por otro lado, el equipo de investigación de Chiang ha determinado que el almacenamiento de energía tendría que costar aproximadamente 20 €/kilovatio-hora (kWh) para que la red tenga un mix 100% de energía solar-eólica. Su análisis, 'Storage Requirements and Costs of Shaping Renewable Energy Toward Grid Decarbonization' se ha publicado en la revista científica Joule (Ziegler, y otros, 2019).

Es un precio muy ambicioso para las baterías de ion de litio, que en 2018 se situaron alrededor los 175 €/kWh, pero las cosas mejoran si se aflojan las restricciones sobre las renovables, dicen los investigadores, entonces, las tecnologías de almacenamiento cumplen con el objetivo de costo (Ojea, 2019).

Para el estudio mencionado anteriormente, el equipo eligió cuatro ubicaciones: Arizona, Iowa, Massachusetts y Texas, donde reunieron 20 años de datos sobre los recursos solares y eólicos que existen allí. Dichos recursos pueden cambiar considerablemente con las estaciones y a lo largo de los años. Lo interesante es que hicieron un análisis a más largo plazo, mientras que estudios anteriores habían utilizado datos de solo uno o dos años, capturando las variaciones que pueden ocurrir durante la vida útil de una planta de energía. Modelaron los costos de los sistemas de almacenamiento eólico-solar que mejor cumplían con la posibilidad de ofrecer seguridad de suministro, así como carga básica las 24 horas del día, los 7 días de la semana y satisfacer los picos de demanda de los horarios claves durante algunas horas (Ojea, 2019).

La conclusión a la que llegaron fue que el almacenamiento tendría que costar entre unos 10€ y 20 €/kWh en una combinación con eólica y/o solar para competir con una central nuclear que podría proporcionar electricidad de respaldo. Y para competir con un ciclo combinado requeriría que los costos de almacenamiento se redujeran hasta los 5 €/kWh (Ojea, 2019). Esas cifras son solo para escenarios en los que la energía solar y eólica satisfacen la demanda de energía al 100%. Pero si hay otras fuentes para cubrir la demanda solo el 5% del tiempo, el almacenamiento podría funcionar a un precio de 150 €/kWh. Con esos precios (Ojea, 2019).

Las baterías de iones de litio están al alcance del objetivo de 150 €/kWh, y su participación en el almacenamiento a escala de empresas energéticas está creciendo. Sin embargo, se enfrentan a desafíos de escasez de materiales exacerbados por un mercado creciente de automóviles eléctricos. Pero, dice Chiang, que es poco probable que la tecnología cumpla con los requisitos de costo para el almacenamiento de larga duración, por lo que, para la descarbonización profunda, existe una necesidad crítica de desarrollar otras tecnologías de almacenamiento de bajo costo y larga duración (Ojea, 2019).

Otra tecnología que puede ser viable, son las baterías de flujo que utilizarían abundantes productos químicos de bajo costo para almacenar energía en grandes tanques. Pero no todas las aleaciones químicas de la batería de flujo son económicas. Según los investigadores, uno de los tipos principales, las baterías de flujo redox de vanadio, tiene un costo estimado de 100 €/kWh, pero un mayor desarrollo podría reducir mucho más los costos (Ojea, 2019).

Chiang apuesta por las baterías de azufre. Recientemente ha desarrollado una batería de flujo de azufre acuoso que podría costar tan poco como 10 €/kWh. La tecnología tiene lo que se necesita para un almacenamiento de larga duración y bajo costo, y ahora está siendo desarrollada por Form Energy, una compañía que cofundó en 2017 y que recientemente ha recibido un amplio respaldo financiero (Ojea, 2019). Existen otras tecnologías de batería que se pueden revisar y analizar, como, por ejemplo, las baterías de sodio y azufre de alta temperatura, que cuestan unos 500 €/kWh, pero con un mayor desarrollo, sus costos podrían caer hasta un 75% para 2030, según IRENA (IRENA, 2017). Mientras tanto, el costo de las baterías de cloruro de níquel y sodio podría caer de los 444 €/kWh que cuestan en la actualidad hasta los 285 €/kWh. Existen numerosas formas de almacenar energía renovable que los investigadores no han valorado lo suficiente, como volantes, supercondensadores, almacenamiento térmico en sales fundidas y el uso de electricidad en exceso para licuar el aire o para producir combustibles como el hidrógeno y el metano.

Continuando con la descripción de algunos ejemplos de proyectos y tecnologías, el proyecto de la ciudad de Los Ángeles, donde El Departamento de Agua y Energía (LADWP) ha llegado a un acuerdo PPA (Paridad del Poder Adquisitivo) de una duración de 25 años con el desarrollador 8minute Solar Energy, por el que la ciudad comprará la electricidad de un extenso complejo de paneles solares y baterías de ion-litio en el desierto de Mojave, en el este del condado de Kern, a unas dos horas al norte de Los Ángeles. El proyecto Eland Solar & Storage Center satisfaría del 6% al 7% de las necesidades anuales de electricidad de Los Ángeles y sería capaz de inyectar energía limpia a la red durante cuatro horas cada noche (8minute Solar Energy, 2021).

El precio de la energía solar y el almacenamiento de energía es de 3,3 centavos por kWh, un precio récord para este tipo de contratos, según dicen los funcionarios de la ciudad y expertos independientes, y más barato que la electricidad producida con gas natural; esto nos demuestra que las energías renovables combinadas con el almacenamiento ya están comenzando a tener sentido económico. El avance de las tecnologías de almacenamiento y las economías de escala ayudarán a reducir aún más los costos y permitirán que las renovables alcancen su máximo potencial (Ojea, 2019). Como se ha dicho antes, la desventaja de algunas energías renovables es que no siempre están disponibles, pero la literatura ha demostrado cifras de cómo los sistemas de almacenamiento de energía pueden superar este inconveniente al mismo tiempo que se reducen los costos. Ante esta problemática nace de nuevo la capacidad de ingenio para romper paradigmas, con la propuesta del desarrollo de Sistemas de Almacenamiento de Energía (SAE), que permitan, entre otras más, las siguientes aplicaciones:

- ✓ Arbitraje de energía (por ejemplo, los de compra y venta de energía eléctrica, los contratos generalmente conocidos como "llave en mano").
- ✓ Integración de energía renovable variable.
- ✓ Servicios conexos: producir, distribuir y comercializar la energía eléctrica, fabricación de bienes, como son transformadores, cables, tableros, motores servicios de todos los procesos de ingeniería, como el diseño, consultoría, gestión, ejecución e interventoría de proyectos.
- ✓ Diferir inversiones para el incremento de la capacidad de la red.
- ✓ Aplacar el congestionamiento en horas determinadas.
- ✓ Desarrollar la integración de la generación distribuida a la red eléctrica.

Destacando de los SAE las siguientes preeminencias principales: **La primera** Incrementar la eficiencia bajando el pico de demanda del sistema eléctrico; la energía almacenada se utiliza durante la demanda máxima de energía y es tan eficaz como reducir esa demanda máxima y **la segunda** es reducir la cantidad extra de potencia renovable a instalar para compensar la variabilidad de las renovables (renovables primarias, sol y viento, cambios de luz diurna). El sistema de almacenamiento ahorra energía en caso de sobreproducción y permite utilizar la energía almacenada cuando sea necesario, lo cual significa menores costos y es respetuoso con el medio ambiente.

Los BESS (sistemas de almacenamiento de energía de batería) son la clave para una transformación **verdaderamente sostenible** cuando se habla del flujo y el consumo de energía, dando valor y permitiendo a las empresas combinar de forma eficaz el ahorro de costos, la eficiencia, la flexibilidad y la resiliencia. **Las redes tienen como objetivo ser inteligentes**, gracias a la tecnología que permite el almacenamiento, en especial de las energías renovables no convencionales que pueden proyectar la energía como un sistema distribuido.



Funciones y servicios de almacenamiento de energía

Se están desarrollando muchas tecnologías de almacenamiento de energía con una variedad de funciones adaptadas a los diferentes roles del sistema energético y de forma alterna se pueden prestar servicios requeridos de la red para una operación óptima, estas tecnologías pueden estar relacionadas a diversas áreas de aplicación. Una forma de categorizar los diversos sistemas de almacenamiento y los servicios potenciales que pueden proporcionar es observar los tiempos de descarga en su capacidad nominal, **Se les distingue principalmente por su nivel de operación y campo de aplicación.** Se hace mención en el estudio llamado "almacenamiento eléctrico y energías renovables: costos y mercados al 2030", de la Agencia Internacional de las Energías Renovables, (IRENA, 2017) allí se distinguen **3 niveles principales, los cuales son:**



Gestión de potencia bruta, donde se distinguen los tamaños de módulos grandes y rangos de potencia del sistema (> 50 MW) y, en general, un tiempo de respuesta prolongado (> 60 segundos)



Desplazamiento de carga de apoyo de la red de transmisión y distribución, donde los tamaños del módulo y los rangos de potencia son más moderados (> 100 kW < 50 MW) y los tiempos de respuesta son más rápidos (> 10 segundos) aunque no instantáneos



Suministro eléctrico ininterrumpible - calidad de la energía: tiempo de respuesta inmediato (< 10 segundos), pero, en general, con módulos y rangos de potencia menores (< 100 kW)

Los usos potenciales del almacenamiento de energía a lo largo de la cadena de valor varían como se aprecia a continuación, algunas de estas aplicaciones se refieren a servicios y regulación de potencias como se menciona en el informe System Plan del año 2018 (Energinet, 2018).



Desplazamiento temporal: compra de electricidad cuando el precio es menor para usarla o venderla cuando el precio es mayor (también se le conoce como arbitraje)



Regulación primaria: participación en la regulación de frecuencia primaria, asegurando que el balance entre producción y consumo se restaure en caso de desviaciones de frecuencia FCR (Reserva de Contención de Frecuencia)



Soporte de la red y diferimiento de la inversión: posponer la costosa expansión de la red de potencia gracias a la reducción de situaciones con sobrecarga y congestiones en las redes de transmisión o distribución



Fortalecimiento de la capacidad de las Energías Renovables y alisamiento de la intermitencia de la producción: compensación de las fluctuaciones de producción con renovables variables (ej., solar y eólica) para obtener un perfil de generación más predecible y regular. Reducción del costo de balanceo para el operador de la central y reducción de la necesidad para la reserva y modulación / incremento de centrales convencionales



Regulación secundaria: participación en la regulación de frecuencia secundaria, asegurando que la frecuencia sea regresada a su valor nominal después de una perturbación mayor del sistema. aFRR (Reserva Automática para la Recuperación de la Frecuencia)



Regulación terciaria: participación en la regulación terciaria de frecuencia, la cual complementa y reemplaza parcialmente a la reserva secundaria al reprogramar la generación. mFRR (Reserva de Restauración de Frecuencia)

Además, se identifican numerosas aplicaciones que se pueden agrupar en **5 categorías según el sistema en el que realicen su función (generación, transporte, distribución, demanda y servicios auxiliares)**, no todas estas aplicaciones tienen la misma consideración a la hora de remitir los sistemas de almacenamiento, siendo pertinente diferenciarlas en función de que requieran un aporte de potencia o de energía al sistema.

A continuación, se presenta la clasificación propuesta por ENDESA (ENDESA, 2017) de estos conceptos, para una mayor claridad:

- ✓ **Servicios para el balance a gran escala del sistema eléctrico:** Estos servicios se refieren a la utilización de tecnologías con gran capacidad de almacenamiento y potencia (del orden de hasta centenares de MW, a intercambiar con la red durante varias horas o incluso días).
- ✓ **Soporte a las infraestructuras de transporte y distribución:** Se indica en esta categoría la aplicación del almacenamiento de energía como herramienta para asegurar el suministro de energía ante contingencias técnicas. También como medida para aliviar sobrecargas en los sistemas de transporte y distribución de potencia suministrando este servicio, se puede aplazar en el tiempo, e incluso evitar, inversiones para la ampliación de las capacidades de las infraestructuras de transporte y distribución de potencia.
- ✓ **Servicios auxiliares para la operación de los sistemas de transporte y distribución:** debido a los desbalances entre generación y demanda, el sistema de almacenamiento ha de activar reservas de potencia, para ser activadas en 4 distintas escalas temporales, por este orden: respuesta inercial, reservas primarias, reserva "rodante", y seguimiento de carga. Además, el almacenamiento de energía puede contribuir al control de tensión de la red, y proveer energía para la puesta en marcha autónoma de diferentes tipos de generadores, entre los cuales se incluye la generación eólica. Esta última aplicación toma el nombre de arranque en frío, o "black start capability".
- ✓ **Servicios energéticos para el usuario final:** Desde el punto de vista técnico, el almacenamiento de energía, en su provisión de servicios para el usuario final, puede ser utilizado para mejorar aspectos relacionados con la calidad de onda (filtrado de armónicos, protección frente a cortocircuitos y faltas de suministro, control de tensión, etc.); también para una gestión activa de su consumo o demanda, incluyendo el vehículo eléctrico, de acuerdo a señales exógenas como el precio de la energía u otras consideraciones de carácter técnico; y cómo no, para reducir parcial o totalmente la dependencia del suministro eléctrico de la red de distribución: el autoconsumo (ENDESA, 2017).

Aplicaciones del almacenamiento de energía

La capacidad de almacenar y liberar energía es una forma de equilibrar la oferta y la demanda, agregar pequeños generadores privados a la red y garantizar la eficiencia general de cómo se consume la energía. En tan solo unos años, las baterías marcaron el comienzo de la revolución de los teléfonos inteligentes y trajeron muchas soluciones de alta tecnología a nuestros bolsillos. Hoy en día, están en el corazón de los sistemas que están impulsando la revolución pionera, beneficiando hogares, ciudades y negocios. Esta solución no solo permitirá una transición energética a fuentes **100% renovables**, sino que además se traduce en ahorros de millones de pesos para las empresas.

Existen otras participaciones del almacenamiento de energía en las distintas funcionalidades, en la Tabla 2 se aluden las **principales aplicaciones del almacenamiento estacionario y de transporte**, dando una corta descripción de cada una de ellas.

Tabla 2. Diversas aplicaciones del almacenamiento específicamente estacionarias y de transporte (DOE, 2020)

	Sector de aplicación	Aplicación	Descripción de la aplicación
Transporte	Movilidad	Almacenamiento de batería	Vehículos eléctricos (ligeros, medianos y tarea pesada)
			Vehículo eléctrico a batería
			Vehículo eléctrico híbrido enchufable
			Vehículo eléctrico híbrido
Movilidad	Almacenamiento de hidrógeno	Almacenamiento de hidrógeno en FCEV (Servicio Liviano, Mediano Y Pesado)	
	SLI - Arranque, iluminación e ignición	Baterías en automóviles, camiones, botes y otros internos vehículos motorizados de combustión	
Estacionarias	Utility relacionado con la red	Servicios auxiliares	Suministro o absorción de breves ráfagas de energía para mantener la oferta y la demanda y, por lo tanto, la frecuencia de la red; regulación de frecuencia y reservas
		Capacidad de pico	Provisión de capacidad para satisfacer la demanda máxima del sistema
		Cambio de energía	La adopción está impulsada por el aumento de las necesidades de flexibilidad del sistema. El almacenamiento de energía se carga durante los precios bajos y el excedente de oferta y se descarga para satisfacer la demanda. Las baterías se pueden cargar a partir del excedente de energía renovable o de activos que, junto con la batería, se vuelven despachables.
		Nivel de transmisión	Uso de un sistema de almacenamiento de energía como alternativa al refuerzo de la red tradicional, como para satisfacer un aumento incremental en la capacidad de transmisión en lugar de una costosa actualización de la línea de transmisión
		Nivel de distribución	Uso de un sistema de almacenamiento de energía como alternativa al refuerzo de la red tradicional, como para lograr un aumento incremental en la capacidad de distribución en lugar de una costosa actualización de la línea de distribución
Estacionarias	Relacionado con la red residencial	PV residencial + almacenamiento	Agregación de almacenamiento de energía que se integra con la energía fotovoltaica en la azotea a nivel doméstico; fotovoltaica residencial que no está integrada con la red no está incluida
	Relacionado con la red C&I	Almacenamiento de energía C&I	Almacenamiento de energía que se utiliza para aumentar la tasa de autoconsumo de un sistema fotovoltaico de un cliente comercial o industrial
	Relacionado con la red: servicios públicos / residenciales y C&I	Infraestructura de carga de vehículos eléctricos	Estaciones de carga de vehículos eléctricos comerciales y privadas (no residenciales); Uso del almacenamiento de la batería en las estaciones de carga de vehículos eléctricos para mitigar los cargos por demanda y las tasas de tiempo de uso
	LDES	Almacenamiento de energía de larga duración	Almacenamiento de energía que se almacena durante ≥ 10 horas a su capacidad nominal, según la Agencia de Proyectos de Investigación Avanzada - Energía (ARPA-E)
Industrial, incluido el uso militar		Fuente de energía ininterrumpida (UPS) + centros de datos	Uso de baterías para centros de datos y energía ininterrumpida
		Energía de respaldo de telecomunicaciones	Las torres de telecomunicaciones requieren UPS y energía de respaldo y son una demanda importante en el sector estacionario
		Aire acondicionado / refrigeración	Uso de sistemas de energía térmica de edificios basados en hielo para proporcionar aire acondicionado y / o refrigeración para sistemas comerciales e industriales
		Estaciones de repostaje de hidrógeno	Estaciones de repostaje para FCEV
		Montacargas	Uso comercial e industrial de sistemas de baterías en carretillas elevadoras para potencia motriz

Dando continuidad a la información de los servicios que puede desarrollar el almacenamiento de energía, en la Figura 1 se observa cómo está proyectada la demanda de almacenamiento y la distribución del mercado entre varias aplicaciones. **Se espera que el mercado de almacenamiento de energía anual combinado, de transporte y estacionario para 2030 supere los 2500 GWh.** Dicha crecimiento estaría explicado por el aumento de la adopción de vehículos eléctricos (EV). Las implementaciones de almacenamiento de transporte anuales son de 2 a 10 veces mayores que las estacionarias y las PSH (DOE, 2020).

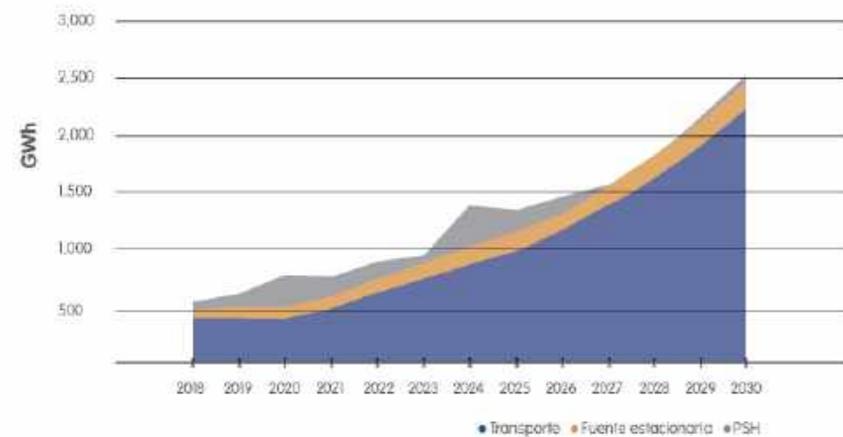


Figura 1. Mercado global de almacenamiento de energía (DOE, 2020)

Según Bloomberg New Energy Finance, las aplicaciones relacionadas con la red, el Comercio e Industria fotovoltaica - C&I PV + almacenamiento, conocidos como sistemas híbridos, así como las que cambian energía, muestran más crecimiento entre 2018 y 2030. Se prevé que los gastos anuales pasen de US\$8,6 mil millones en 2020 a US\$30,1 mil millones en 2030 (DOE, 2020).

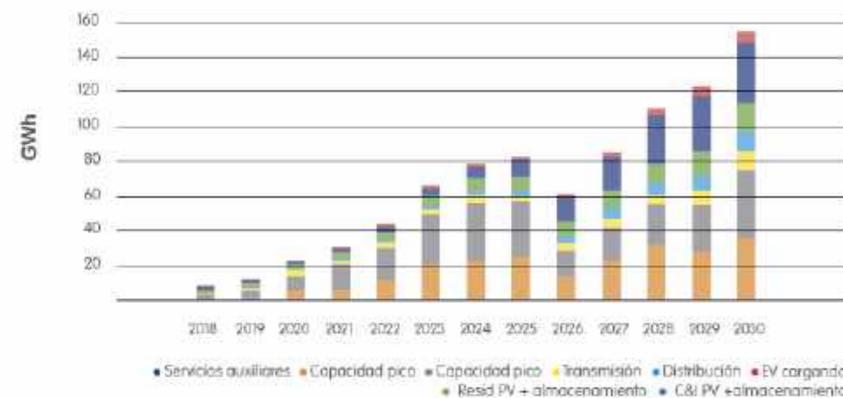


Figura 1. Mercado global de almacenamiento de energía (DOE, 2020)

Se espera que aplicaciones portátiles, automotrices y estacionarias ayuden a gestionar el suministro de electricidad de carácter variable y la creciente demanda de energía. La demanda anual de baterías y demás sistemas de almacenamiento de energía, está cerca a los 200 GWh. Los vehículos eléctricos se han convertido en los mayores consumidores de batería, para 2019 su participación aumentó casi dos tercios (ver Figura 3).

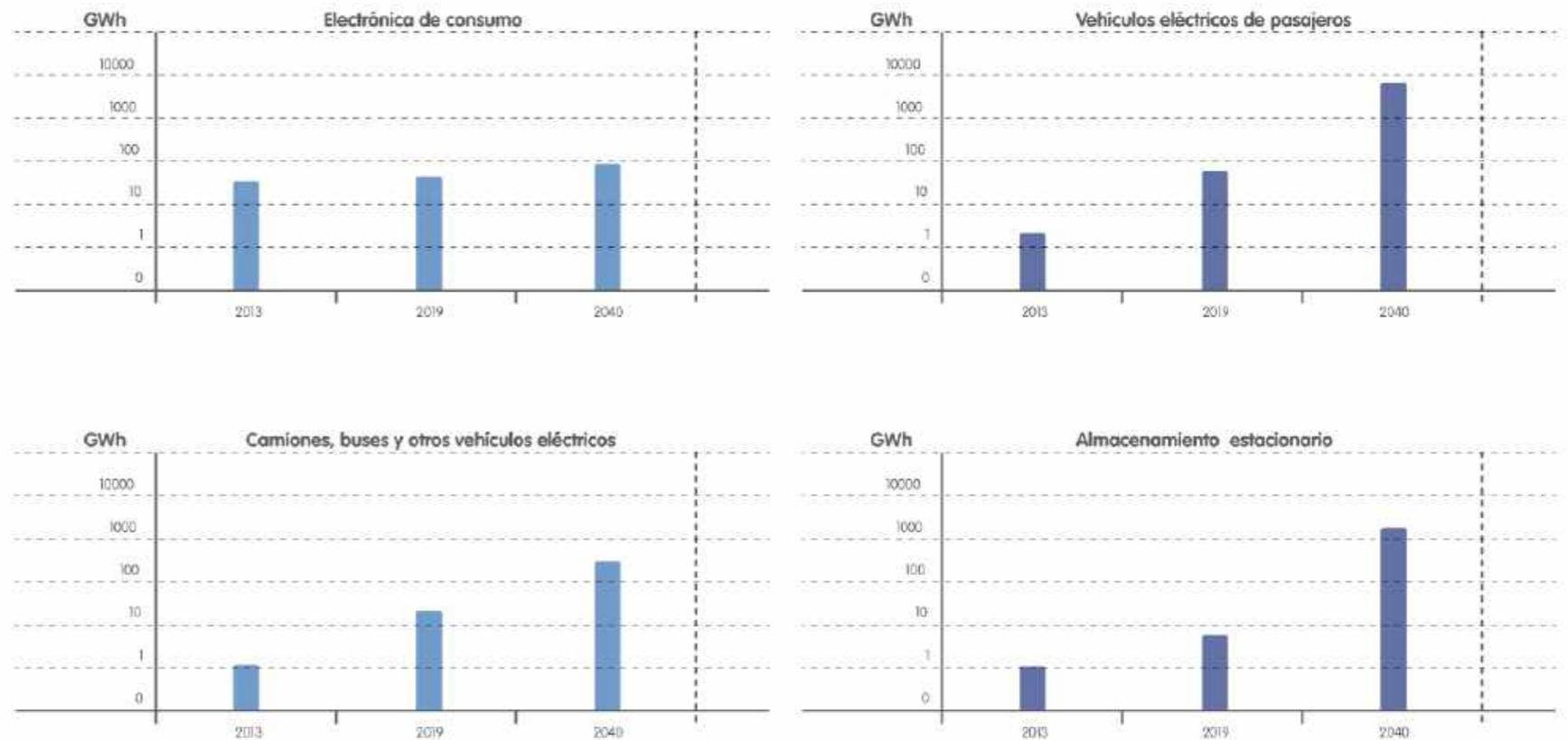


Figura 3. Demanda actual y futura de baterías en aplicaciones clave, escenario de desarrollo sostenible (IEA, 2020)



Siguiendo en este razonamiento de los sistemas de almacenamiento de energía, en la siguiente figura, se observa que el almacenamiento por bombeo hídrico es la tecnología que mayor capacidad de almacenamiento tiene, en la actualidad representa el 91% del volumen de almacenamiento mundial, siendo la capacidad total mundial de 200 GWh. Mientras que las baterías tan solo representan el 5% (IEA, 2019).

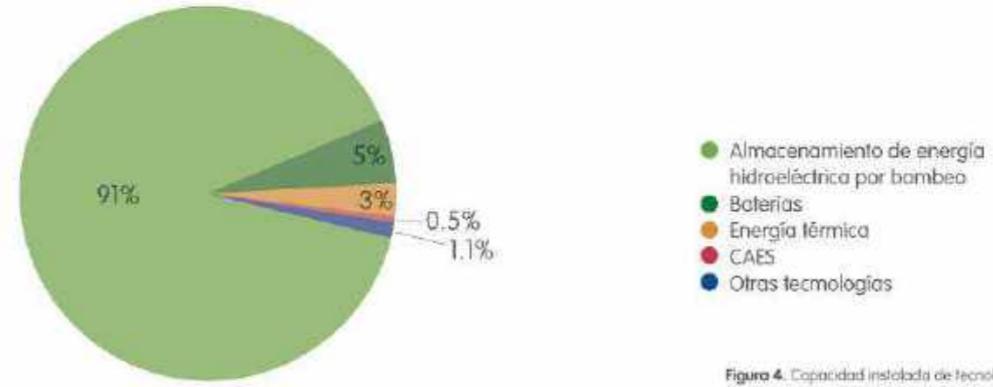


Figura 4. Capacidad instalada de tecnologías de almacenamiento de energía, 2019 (IEA, 2019)

Avanzando en el tema anterior y destacando la importancia de los diferentes sistemas de almacenamiento de energía tanto en lo económico, social y tecnológico, hay que resaltar los protocolos de comunicación para asegurar una conectividad eficiente entre dispositivos y sistemas, **enfazando en la existencia de estándares de comunicación que definan un lenguaje común que facilite el intercambio de datos**. Actualmente, en cada operación del sistema eléctrico conviven diferentes protocolos y tecnologías de comunicación con diferentes etapas de madurez o implementación, los cuales se han manifestado como un inconveniente y/o barrera para la implementación y el desarrollo de las energías renovables, pero se están llevando a cabo varias iniciativas para interrumpir el protocolo de comunicación y tipos de estándares diferentes que existen en la actualidad, que puedan llevar al desarrollo de redes inteligentes con su respectivo almacenamiento de energía para garantizar el uso eficiente de la misma.

Para finalizar con el tema de las aplicaciones, en la siguiente Figura 5, se observa cómo las diferentes aplicaciones se superponen entre sí. Por ejemplo, los paquetes de baterías para aplicaciones automotrices también se pueden emplear en aplicaciones estacionarias y portátiles.

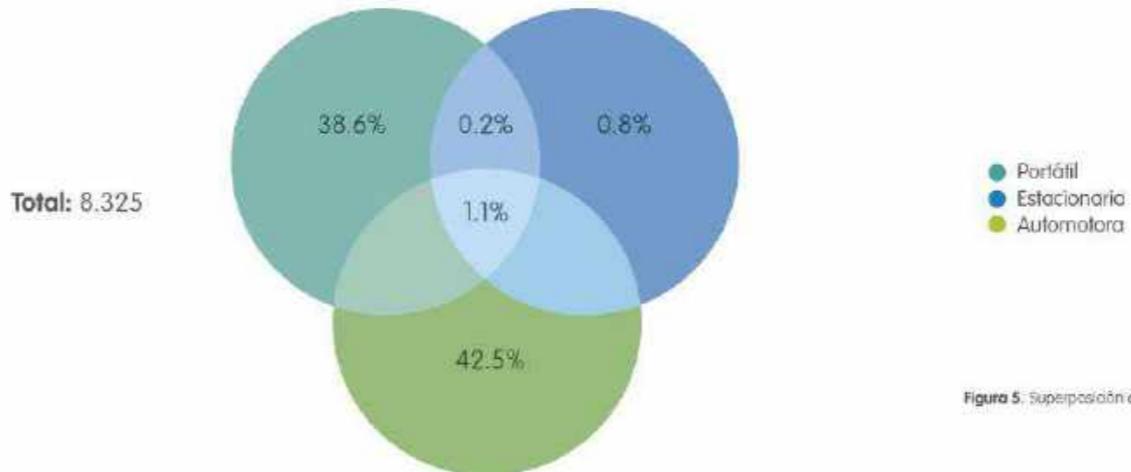


Figura 5. Superposición entre áreas de aplicación para paquetes de baterías, 2000-2018 (IEA, 2020)

Innovación en baterías

De acuerdo con el informe Escenario de Desarrollo Sostenible de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2020), para 2040 se requerirán alrededor de 10.000 GWh / anuales de baterías y otras formas de almacenamiento en todo el sistema energético. Por lo que la industria y el sector energético se encuentran ante el desafío de encontrar formas de almacenar energía en grandes volúmenes a precios asequibles.

Para lograr dicho objetivo los actores de este sector han dedicado esfuerzos a la innovación tecnológica para identificar medios viables y comerciales de almacenamiento de electricidad y lograr un equilibrio rentable. A medida que se alcanzan mejoras en las tecnologías de almacenamiento y baterías se abren nuevas oportunidades de integrar más energía renovable al sistema energético y de ampliar su portafolio de aplicaciones. Principales hitos tecnológicos en el desarrollo de las baterías y los sistemas de almacenamiento a nivel mundial:



✓ Se ha evidenciado el **crecimiento de la innovación en tecnologías relacionadas con el almacenamiento de energía**. El número de patentes en almacenamiento de electricidad en los últimos 10 años ha crecido más rápido que el patentamiento en general, especialmente en **baterías de iones de litio (Li-ion)**, particularmente para los vehículos eléctricos.

De acuerdo con la información analizada del informe "Innovación en baterías y almacenamiento de electricidad: un análisis global basado en datos de patentamiento", de la Agencia Internacional de Energía y la Oficina Europea de Patentes presentado en septiembre de 2020 (IEA, 2020), se observa el aumento del número de patentes presentadas relacionadas con el almacenamiento de energía, comparadas con todas las áreas tecnológicas de la economía (crecimiento promedio de 3,5%), **desde 2005 se evidenció un crecimiento acelerado, con una tasa de crecimiento anual de 14%, superando los 7.000 familias de patentes publicadas en 2018, sugiriendo un crecimiento en el uso y desarrollo de las tecnologías de energía limpia y de la movilidad eléctrica.**

En el área del almacenamiento de energía, las invenciones electroquímicas referentes a las baterías son las que mayor número de patentes han registrado, representando el 88%, evidenciándose un esfuerzo en las innovaciones en dicho campo.

Dentro de las innovaciones tecnológicas de las baterías se encuentran tecnologías claves como el ácido de plomo, el flujo redox y el níquel, siendo la tecnología de iones de litio la de mayor innovación desde 2005 y la de mayor uso en dispositivos electrónicos portátiles y en los vehículos eléctricos. En 2018, por ejemplo, las celdas de iones de litio representaron el 45% de las patentes relacionadas con las celdas de baterías (ver Figura 6).

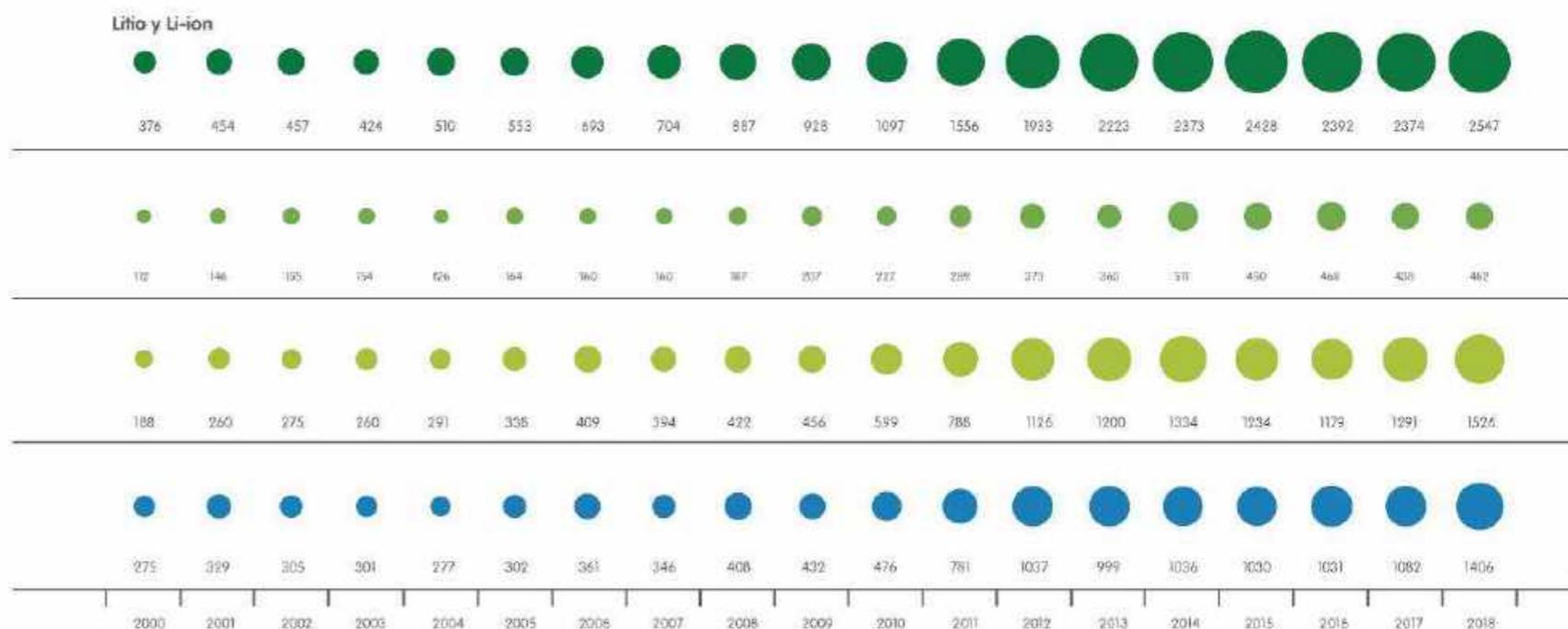


Figura 6. Número de familias de patentes internacionales relacionadas con las celdas de baterías, 2000-2018 (IEA, 2020)

La acentuada innovación mencionada anteriormente, aunado a la aparición de nuevas químicas, a cambios en la composición del cátodo de la batería, a las economías de escala y la innovación en los procesos de fabricación, reflejan una **disminución en los precios de las baterías de iones de litio hasta en un 90% desde 1995** para los dispositivos electrónicos portátiles, cerca de un 90% desde 2010 para los vehículos eléctricos y para las aplicaciones estacionarias como la gestión de la red eléctrica los precios han experimentado una caída de dos terceras partes en el mismo período.

Si bien la movilidad eléctrica y las aplicaciones automotrices se constituyen en el factor que ha impulsado y acelerado el desarrollo y la innovación de las baterías y del almacenamiento de energía, también se evidencia el **crecimiento del patentamiento de paquetes de baterías tanto para aplicaciones portátiles como para aplicaciones estacionarias**, lo que indica un nivel de madurez tecnológica que busca optimizar las soluciones energéticas del mercado.

Se ha encontrado también, que estas aplicaciones se benefician unas de otras, por ejemplo, el creciente número de patentes y mejoras en una aplicación ha mostrado efectos positivos en las demás, así como la versatilidad de la tecnología de iones de litio enfatiza la sinergia entre aplicaciones, mostrando un efecto en el rendimiento, la eficiencia y la disminución de los precios de las baterías y de las aplicaciones per se, asimismo, se ha evidenciado otro efecto indirecto de los vehículos eléctricos sobre las aplicaciones estacionarias, **algunas de ellas han podido reutilizar las baterías modificadas una vez han llegado al final de su vida útil en los vehículos (IEA, 2020)**.

Adentrándonos un poco más en el universo de las baterías y sus desarrollos técnicos, éste ha sido impulsado por las innovaciones en celdas de batería, cuyas patentes entre el 2014 y el 2017 registraron un total de 4100. Para 2018, por ejemplo, las patentes relacionadas con las celdas aumentaron a 4851. **También se destacan otros avances técnicos como la gestión térmica de las baterías y su integración en los equipos (Figura 7)**.

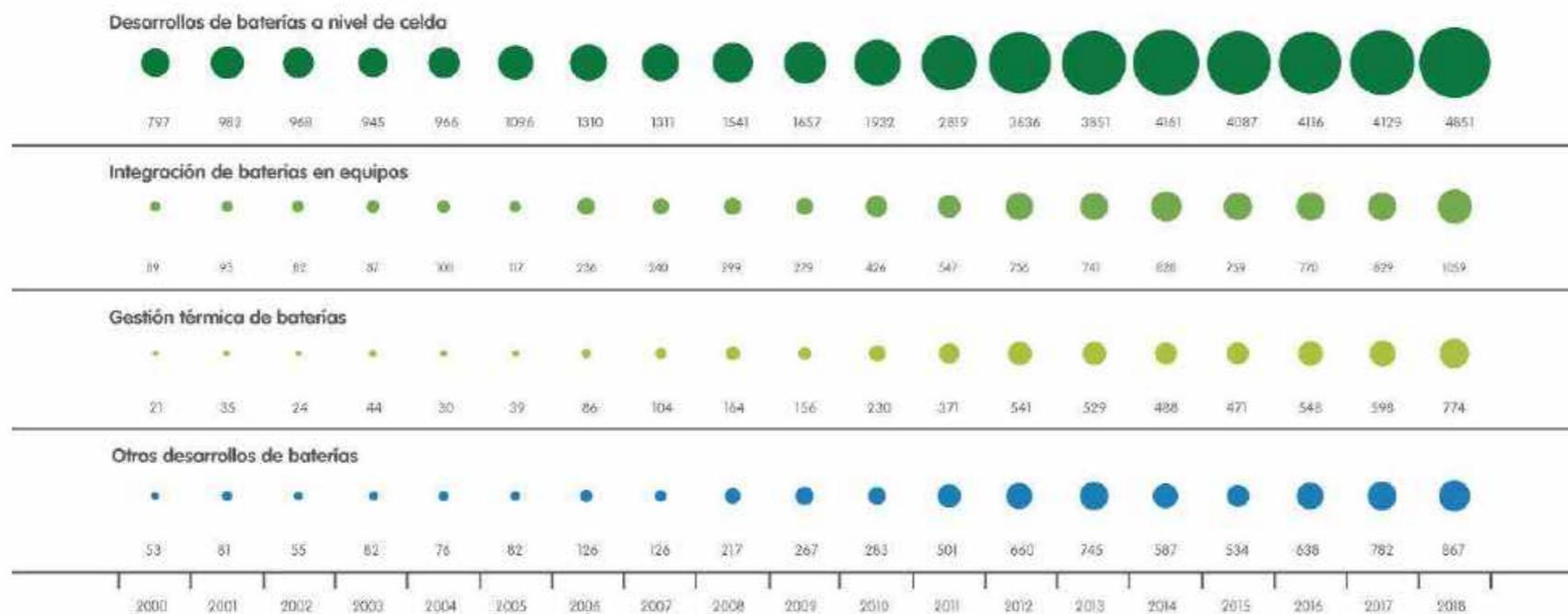


Figura 7. Número de IPF relacionadas con tecnologías de baterías, 2000-2018 (IEA, 2020)



✓ En la actualidad **Japón y la República de Corea lideran el desarrollo tecnológico de las baterías**, a la vez que impulsan a otros países a desarrollar ventajas competitivas en partes específicas de la cadena de valor de las baterías.

Dentro de las estadísticas de patentes relacionadas con tecnologías de almacenamiento de energía, baterías y tecnologías de iones de litio, tanto con aplicaciones para los vehículos eléctricos como para dispositivos eléctricos portátiles, se observa que los principales empresas solicitantes e innovadoras son de origen asiático, a continuación, se hace mención de las primeras diez exponentes en esta materia entre el período 2000 – 2018, dos son coreanas, Samsung y LG Electronics, siete de ellas son japonesas, Panasonic, Toyota, Hitachi, Sony, NEC, Nissan y Toshiba y la empresa restante, Bosch, es de origen alemán. **En el período 2014 – 2018, el 41% de los inventores de tecnología de iones de litio eran japoneses.**

Aunque Japón y Corea llevan el liderazgo en la contribución mundial de innovaciones de baterías de iones de litio desde 2010, no tienen una participación destacada en la venta de vehículos eléctricos. En el período 2010 – 2018, también se aceleraron las innovaciones en Europa (Alemania es el país del continente con dominio en innovaciones en este campo), **Estados Unidos y China**, éste último movido principalmente a partir de 2009 por el aumento en la fabricación y ventas de vehículos eléctricos, **en 2011 representaban el 11% del mercado mundial y en el 2019 sus ventas de vehículos eléctricos representaron el 50%. Corea por su lado, se ha destacado como líder en baterías estacionarias** para servicios de redes eléctricas a gran escala y aplicaciones detrás del medidor en edificios.

Se analizó el RTA (por sus siglas en inglés), índice de ventaja tecnológica revelada en el período 2014 – 2018, el cual indica el grado de especialización que tiene un país en términos de innovación, en este caso en tecnologías de baterías, donde **se confirma el liderazgo y el dominio de Corea y Japón en capacidad de innovación en tecnologías de baterías**. Mientras que otros países un poco menos especializados, pero que han aprovechado sus fortalezas relativas en innovación son Alemania, Estados Unidos y China (IEA, 2020).

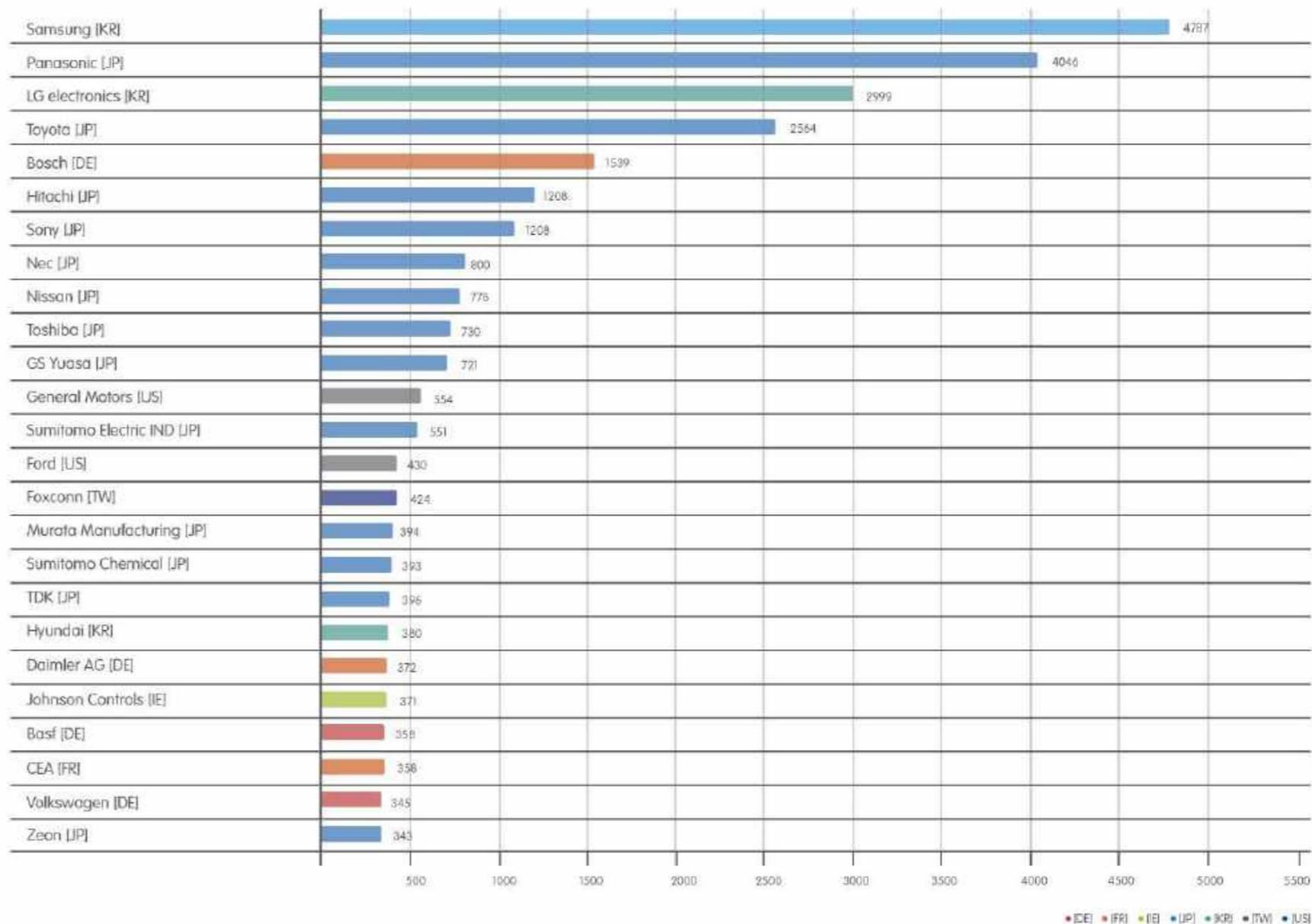


Figura 8. Las 25 mejores solicitantes en tecnología de baterías, 2000-2018 (IEA, 2020)

En la Tabla 3, se observa la participación de las empresas innovadoras y solicitantes de patentes en los diferentes campos de desarrollo de la tecnología de baterías, en los cuales Samsung, Panasonic y LG Electronics sobresalen en la mayoría. Samsung lidera varios subcampos en la innovación de baterías: a nivel de celda (9.1%), así como la fabricación de celdas (8.7%), la ingeniería de celdas (11.9%), la integración de las baterías (8.7%) y muestra especialización en tecnologías de litio (8.9%).

Tabla 3. Perfiles tecnológicos de los 15 principales solicitantes en tecnología de baterías, 2010-2018 (EA, 2020)

Perfiles tecnológicos de los 15 principales solicitantes en tecnología de baterías, 2010-2018

	IPF relacionadas con baterías				IPF relacionados con las pilas de baterías			
	Desarrollos a nivel celular	Gestión térmica	Integración en equipos	Otros desarrollos de baterías	Litio y Li-ion	Otras químicas	Ingeniería	Fabricación
SAMSUNG [KR]	9,1%	5,9%	8,7%	5,1%	8,9%	2,9%	11,9%	8,7%
PANASONIC [JP]	7,0%	6,1%	6,2%	8,0%	7,1%	7,1%	6,6%	7,5%
LG ELECTRONICS [KR]	5,6%	6,9%	7,2%	3,0%	6,8%	1,0%	4,1%	7,4%
TOYOTA [JP]	4,3%	5,7%	3,7%	4,9%	4,7%	3,7%	3,1%	6,1%
BOSCH [DE]	2,3%	5,2%	4,7%	3,9%	2,6%	0,9%	2,4%	2,0%
HITACHI [JP]	2,1%	1,7%	1,3%	3,1%	2,3%	1,6%	1,7%	1,8%
SONY [JP]	2,0%	0,6%	1,7%	1,9%	2,8%	0,9%	1,1%	2,2%
NEC [JP]	1,4%	0,4%	0,9%	1,8%	2,0%	0,2%	0,8%	1,9%
NISSAN [JP]	1,4%	1,5%	1,4%	1,1%	1,7%	0,3%	1,0%	2,1%
TOSHIBA [JP]	1,3%	1,0%	1,7%	1,7%	1,7%	0,3%	0,9%	0,9%
GS YUASA [JP]	1,4%	1,0%	1,1%	1,0%	1,0%	2,7%	1,5%	1,3%
GENERAL MOTORS [US]	0,7%	2,8%	1,0%	1,7%	0,9%	0,5%	0,4%	0,9%
SUMITOMO EL. IND. [JP]	0,9%	0,8%	1,5%	1,1%	0,4%	3,0%	1,3%	0,6%
FORD [US]	0,3%	3,8%	2,3%	1,2%	0,2%	0,1%	0,7%	0,2%
FOXCONN [TW]	0,3%	0,1%	3,2%	0,8%	0,3%	0,1%	0,2%	0,3%

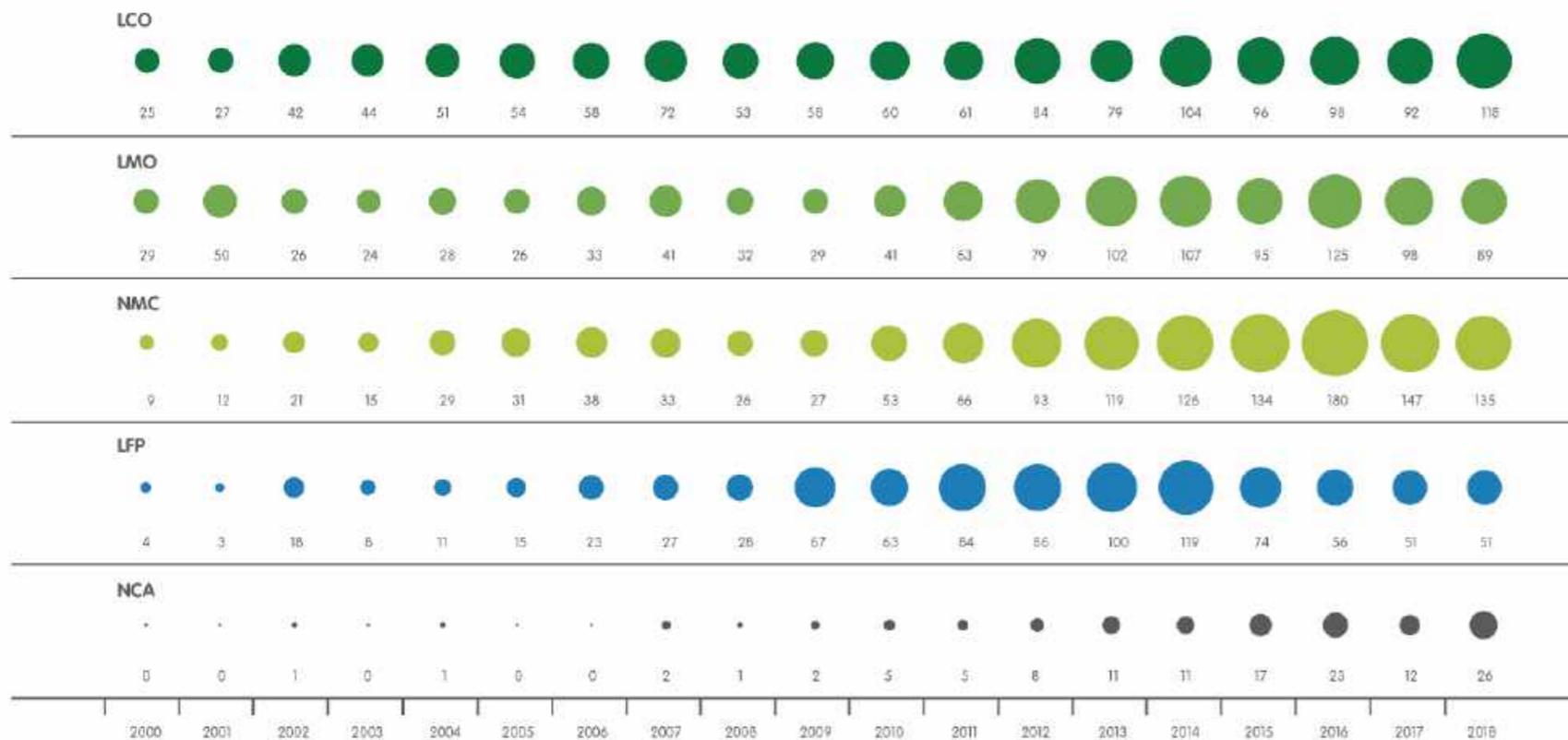
Por su parte, Bosch, muestra competitividad en la gestión térmica y las tecnologías relacionadas con la integración, es decir, paquetes de baterías; Toyota, presenta un comportamiento similar, y adicional, tiene un fuerte desempeño en la fabricación de células. Las empresas japonesas GS Yuasa y Sumitomo Electric Industries, se han especializado en químicas alternativas a los iones de litio. La empresa taiwanesa, Foxconn, se ha especializado en la integración en paquetes de baterías para aplicaciones finales.

- ✓ Los **cátodos que más innovaciones han experimentado son los NMC** (óxido de litio, níquel cobalto y manganeso), relacionados con los **baterías de iones de litio** desde el lanzamiento de los vehículos eléctricos. Sin embargo, no son los únicos, están surgiendo otros materiales de cátodos disruptivos fuera de las grandes empresas ubicadas en otras regiones como lo son **LCO** (óxido de cobalto del litio), **LMO** (óxido de litio y manganeso) y en menor medida el **LPF** (fosfato de hierro y litio) y **NCA** (óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio). Por otro lado, se ha identificado **la tecnología de iones de litio es la batería líder en patentamiento e innovación en los últimos años, representando el 38 % de las familias de patentes relacionadas con baterías en el período 2010 – 2018**, principalmente por su rendimiento en las diferentes aplicaciones, los cátodos de iones de litio determinan la densidad de la energía y la reducción de los costos de las baterías. La innovación en las tecnologías de baterías se evidencia especialmente en elementos como los cátodos, ánodos y el electrolito (líquidos o de gel de polímero, de estado sólido – una alternativa de alto nivel de energía específica y alto grado de estabilidad, pero más costosa actualmente, su patentamiento ha crecido un promedio de 25% anual desde 2010, teniendo en cuenta sus avances tecnológicos y sus características se prevé aplicaciones comerciales en la próxima década –), componentes que almacenan y conducen la electricidad de la batería.

Los cátodos que más innovaciones han experimentado son los NMC (óxido de litio, níquel cobalto y manganeso), relacionados con los baterías de iones de litio desde el lanzamiento de los vehículos eléctricos. Sin embargo, no son los únicos, están surgiendo otros materiales de cátodos disruptivos fuera de las grandes empresas ubicadas en otras regiones como lo son LCO (óxido de cobalto del litio), LMO (óxido de litio y manganeso) y en menor medida el LPF (fosfato de hierro y litio) y NCA (óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio). Por otro lado, se ha identificado la tecnología de iones de litio es la batería líder en patentamiento e innovación en los últimos años, representando el 38 % de las familias de patentes relacionadas con baterías en el período 2010 – 2018, principalmente por su rendimiento en las diferentes aplicaciones, los cátodos de iones de litio determinan la densidad de la energía y la reducción de los costos de las baterías. La innovación en las tecnologías de baterías se evidencia especialmente en elementos como los cátodos, ánodos y el electrolito (líquidos o de gel de polímero, de estado sólido – una alternativa de alto nivel de energía específica y alto grado de estabilidad, pero más costosa actualmente, su patentamiento ha crecido un promedio de 25% anual desde 2010, teniendo en cuenta sus avances tecnológicos y sus características se prevé aplicaciones comerciales en la próxima década –), componentes que almacenan y conducen la electricidad de la batería.

Si bien las primeras aplicaciones de baterías comenzaron empleando cátodos de LCO (óxido de litio y cobalto) y LMO (óxido de litio y manganeso), también se ha apostado por desarrollar otras químicas como el NMC (óxido de litio, níquel, cobalto y manganeso), el LPF (fosfato de hierro y litio), el NCA (óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio), cuya innovación y patentamiento vienen en aumento desde 2009, especialmente las de NMC que aumentaron un 400% entre 2009 y 2018, ya que se ha identificado su potencial en el corto plazo en vehículos eléctricos, mientras que las patentes LCO en el mismo período aumentaron en un 200%, con el objetivo de mejorar los desafíos tecnológicos de las baterías de iones de litio en aspectos adicionales a la densidad y la estabilidad energética, como la energía específica, durabilidad, potencia, velocidad de carga y descarga, posibilidad de reciclaje, entre otros.

Figura 9. Número de familias de patentes internacionales por tipo de materiales de cátodos de iones de litio, 2000 – 2018 (EA, 2020)



De iones de litio, 2000 - 2018 (EA, 2020)

Anteriormente se mencionaron los países donde más desarrollo tecnológico en baterías y sistemas de almacenamiento de energía se vienen realizando en los últimos años. A continuación, se identifica geográficamente el desarrollo de cada tipo de cátodos de iones de litio en el período 2014 – 2018 (ver Figura 10):

- 
JAPÓN
 Lidera la innovación de NMC, LMO y LFP con el 51%, 47% y 31% respectivamente de las patentes registradas entre 2014 y 2018. Adicionalmente, en el mismo período dominó en el campo de las baterías de estado sólido con el 54% de las patentes registradas.
- 
COREA
 Las patentes de LCO representan el 30%, llevando la delantera en este químico. En materia de baterías de estado sólido y de iones de litio en general el país tiene una pequeña participación, de 12% y 22% respectivamente, un poco más baja comparada con otros países.
- 
ESTADOS UNIDOS
 Lidera la innovación de NCA con el 36% de patentes registradas.
- 
CHINA
 Por su parte tiene representaciones más modestas en cuanto a innovación referente a estos cátodos, por ejemplo, su participación en LFP fue del 16%, al igual que Estados Unidos.
- 
EUROPA
 Países contratantes de EPC (convenio europeo de patentes): tanto en el desarrollo de las baterías de iones de litio en general como en las baterías de estado sólido, tienen una participación del 12% en cada una. La invención evidenciada de los países europeos en estas baterías y químicos mencionados, si bien es relativamente modesta, es cercana a la actividad innovativa de China, y en el caso de LFP y NCA generó el 11% de las patentes registradas.

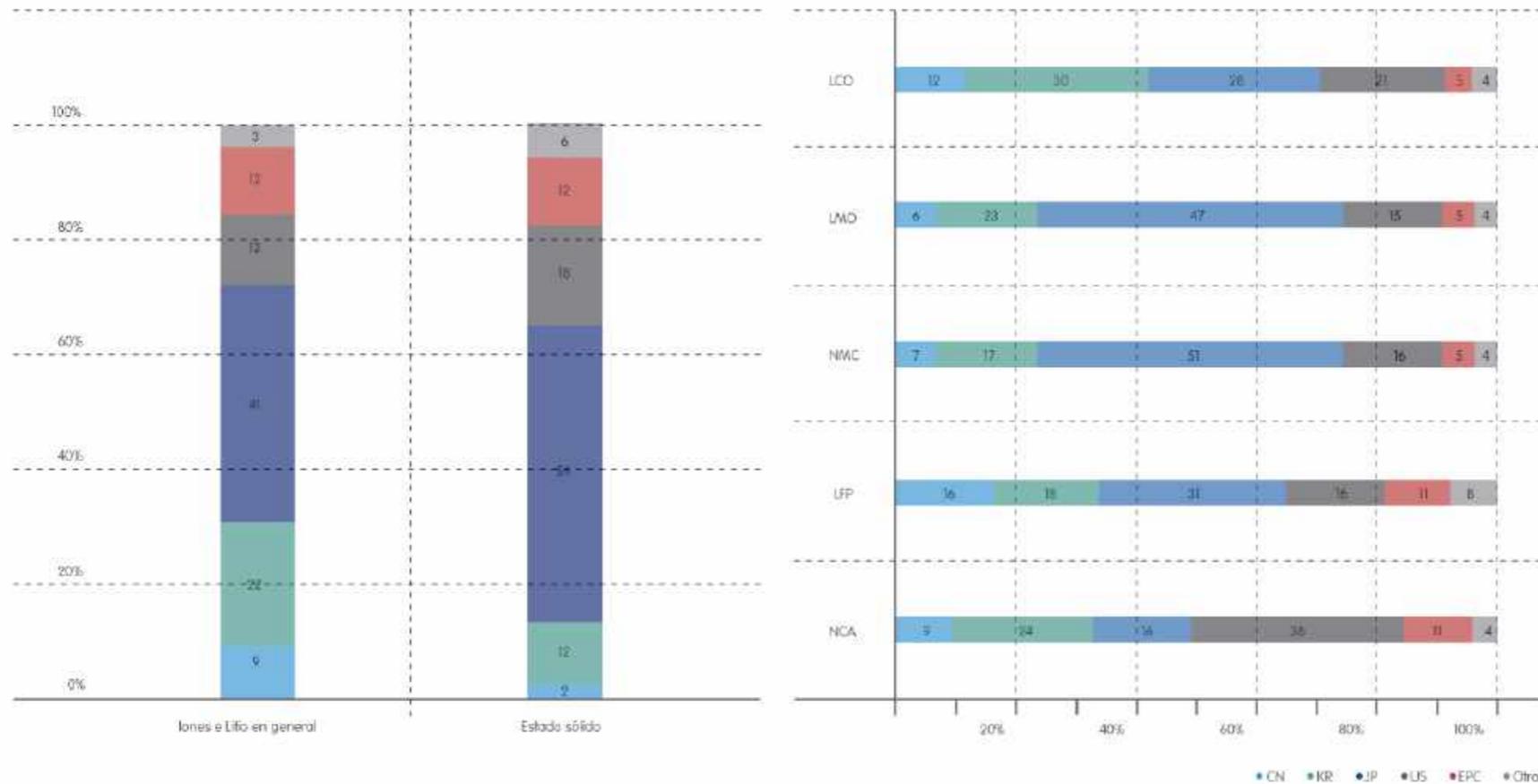


Figura 10. Orígenes geográficos de las familias de patentes internacionales en tecnología de iones de litio, 2014 – 2018 (IEA, 2020)

De forma general, las innovaciones en tecnologías de iones de litio, como resultado del patentamiento surgen en grandes empresas, cerca del 80%; sin embargo, **las pymes, las universidades y las organizaciones públicas de investigación juegan un papel representativo en el desarrollo de las nuevas químicas de cátodos como LFP y NCA.** Las universidades y las organizaciones públicas de investigación tuvieron una importante contribución en el patentamiento de LFP entre el 2014 y el 2018, representó el 21%. Mientras, que las pymes, especialmente en Estados Unidos, tuvieron un rol relevante en la en las NCA (20%), lo cual evidencia cierta madurez en las opciones competidoras. En el caso de los cátodos LCO y LMO, por ejemplo, las universidades fueron quienes abrieron su camino (IEA, 2020).

Es evidente que, los desarrollos en la tecnología de los vehículos eléctricos podrían o se espera que se extiendan sobre las baterías a escala de red, es decir, se prevén efectos indirectos de la innovación y las reducciones de los costos de los sistemas de almacenamiento, proporcionando un impulso importante sobre todo el sector de almacenamiento de energía. **Entre los objetivos de los fabricantes de baterías para los vehículos eléctricos se encuentran aumentar la densidad energética, reducir los costos de fabricación, aumentar el alcance, aunque estos tienen poco impacto en las aplicaciones estacionarias, por lo que también vienen avanzando en la combinación en la cadena de suministro y en químicas más eficientes y de mayor rendimiento, e incluso la exploración e implementación de menores costos para las aplicaciones estacionarias en la red (IEA, 2020).**

Se estima que alrededor del 60% de las baterías a escala de red consisten en mezclas NMC, un químico emergente. Además, se espera que en los próximos años se introduzcan en el mercado nuevas generaciones de tecnologías de iones de litio con menos cantidades de níquel como el NCA o el NMC, estas por un lado alcanzan mayores densidades; también **se prevé baterías de iones de litio con cátodo LFP, especialmente para los autobuses urbanos,** y los vehículos de reparto donde el volumen es una limitación menor, o los vehículos eléctricos de baja gama que requieren ser más asequibles (IEA, 2020).

Entre el período 2000 – 2018, se ha observado que el desarrollo y la innovación del almacenamiento eléctrico está dominado, como ya se había mencionado, por el almacenamiento electroquímico, es decir, baterías, específicamente desarrollos a nivel celular e integración en equipos (paquetes de baterías), siendo las baterías de litio y iones de litio las dominantes en los últimos años (durante el 2018, la actividad relacionada al patentamiento de esta tecnología alcanzó el 45%), también se encuentran de otras químicas (baterías de plomo ácido, flujo redox y baterías de níquel, entre otras), fabricación a nivel celular e ingeniería a nivel celular con diversas aplicaciones como automotrices, portátiles y estacionarias. Seguido del almacenamiento eléctrico, donde se incluyen sistemas de almacenamiento de energía magnéticos superconductores y supercondensadores. Por otro lado, el almacenamiento mecánico y térmico, al ser tipos de almacenamiento más conocidos y maduros en comparación con las demás, la innovación incremental en dicho período es considerablemente menor (IEA, 2020).

Se ha observado desde el año 2000, el aumento constante en el desarrollo e innovaciones con cátodos y ánodos para baterías de iones de litio, entre el período 2010 y 2013 sus patentes pasaron de 355 a 900, durante el 2018, cerca del 40% de las patentes relacionadas con iones de litio estuvieron enfocadas en la innovación en electrodos. En la Tabla 4, se presentan algunos de los materiales que se están explorando, cada uno de ellos con diversas propiedades y aplicaciones. **La exploración de los cátodos se debe, en parte, a que estos determinan la densidad energética, la energía específica (energía almacenada por unidad de masa de la batería) y la reducción de los costos (IEA, 2020).**



Materiales del cátodo

Propiedades principales

Principales áreas de aplicación actuales

Óxido de litio y cobalto (LCO)	<ul style="list-style-type: none"> - Excelente densidad de energía y alta estabilidad cíclica - Alto voltaje de salida - Alto costo debido a la disponibilidad limitada de cobalto 	- Electrónica portátil
Óxido de litio, níquel, cobalto y manganeso (NMC)	<ul style="list-style-type: none"> - Alta densidad energética y alta capacidad - Alto voltaje de salida - El níquel mejora la capacidad, pero se asocia con una baja estabilidad térmica y química - El cobalto mejora la cinética de carga / descarga, pero es caro y escasea - El manganeso mejora la estabilidad - Al pasar de NMC 811 a NMC 111, se logra una mejor estabilidad térmica y retención de la capacidad mientras que la capacidad de descarga disminuye 	- Vehículos eléctricos, electrónica portátil
Óxido de litio, níquel, cobalto y aluminio (NCA)	<ul style="list-style-type: none"> - La densidad de energía más alta en comparación con NMC - Materiales catódicos con contenido de níquel similar, alta capacidad - Menor seguridad que NMC 	- Vehículos eléctricos, electrónica portátil
Espinela de óxido de manganeso y litio (LMO)	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad moderada y densidad de energía moderada, buena seguridad - Corta vida 	- Herramientas eléctricas, dispositivos médicos
Fosfato de litio y hierro (LFP)	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor estabilidad térmica y química que NMC, voltaje de salida constante, ciclos más largos, materiales económicos y no tóxicos - Menor densidad de energía y menor capacidad que NMC 	- Vehículos estacionarios, eléctricos, herramientas eléctricas

Materiales del ánodo

Propiedades principales

Principales áreas de aplicación actuales

Óxido de titanato de litio (LTO)	<ul style="list-style-type: none"> - Alta seguridad, larga vida útil, alta tasa de carga / descarga, mayores ciclos, sin materiales - Baja densidad de energía, menor capacidad, menor voltaje de salida 	- Vehículos eléctricos pequeños estacionarios
Carbono / grafito carbono blando / carbono duro	<ul style="list-style-type: none"> - Salida de alto voltaje, alta capacidad, alta densidad de energía, buena estabilidad, bajo costo - Rendimiento de carga rápida limitado a bajas temperaturas 	- Todo de alta energía - Baterías de iones de litio
Litio	<ul style="list-style-type: none"> - Alta densidad de energía, alta capacidad, alto voltaje de salida - Problemas de seguridad debido a la fuga térmica y el crecimiento dendrítico - Manejo costoso, necesidad de una atmósfera inerte 	- Sin aplicaciones en baterías de litio secundarias
Silicio	<ul style="list-style-type: none"> - Alta capacidad - Mala estabilidad de ciclismo debido a una gran expansión de volumen durante el ciclismo 	- Combinado en pequeñas cantidades con ánodos de carbono

Redes inteligentes y el almacenamiento de energía en relación con las TIC

Con la creciente complejidad de los sistemas de energía, además con la implementación de las redes inteligentes, se demanda una mayor presencia de la tecnología de la información y la comunicación (TIC) la cual integra cada vez más estas tecnologías en equipos y sistemas, permitiendo una mayor capacidad de coordinación de todos los actores como los prosumidores, proporcionando inteligencia superior a la red, donde cada persona administra y controla el dominio.

Las TIC son una realidad transversal que afecta no solo al sistema de almacenamiento de energía, sino a todas las áreas del sector energético y promueve la adopción de la red inteligente como un todo. **Las redes inteligentes requieren** extensas redes de comunicación que permitan un intercambio continuo y seguro de información entre clientes, instalaciones y operaciones, hay necesidades y requisitos de comunicación diferentes que se deben utilizar, según el tipo de aplicación, las características de la red eléctrica y la zona en la que están instaladas, como consecuencia, no existe una tecnología única que pueda satisfacer por completo las necesidades de comunicación en redes inteligentes, pero se debe elegir la tecnología adecuada en su momento.

El uso de estas tecnologías es para mejorar el servicio, la confiabilidad, seguridad y la eficiencia, algunas de las aplicaciones relacionadas con el almacenamiento de energía las cuales están experimentando un crecimiento significativo con la introducción de las redes inteligentes, según un estudio realizado por Endesa en el 2017 (ENDESA, 2017) se clasifican en:



Building and Energy Management System (BEMS) y Building Automation and Control System (BACS): sistema complejo de automatización de los hogares o edificios en general, en el que los electrodomésticos, los enchufes o los termostatos están dotados de una cierta inteligencia para poder integrarlos en un solo sistema y lograr un funcionamiento energética y económicamente eficiente en los edificios.

Meter Data Management System (MDMS): aplicación que realiza la gestión de la información obtenida con los medidores, la lectura de los medidores, la facturación y la gestión del contador eléctrico.

Distribution Management System (DMS): sistema de supervisión y control de la red de distribución que integra los equipos de telecontrol y los sistemas de detección y reposición de defectos. Esta aplicación también se encarga de la supervisión y control de los sistemas de almacenamiento que estén instalados en la red de distribución.

Energy Management System (EMS): sistema de herramientas utilizadas por los operadores de red para supervisar, controlar y optimizar el rendimiento de la generación y/o del sistema de transporte.

Control Central de una Microrred (MGCC): aplicación que ejecuta el control, la supervisión y la protección de la microrred, al mismo tiempo que se optimiza la operación y se mantiene la calidad y fiabilidad de suministro.

Otro concepto que manejan las TIC como herramienta es la Virtual Power Plant (VPP) se presenta como una respuesta a la necesidad de consolidar fuentes de producción distribuidas a través de una red inteligente en beneficio de consumidores y operadores. Se define como un **conjunto de generaciones distribuidas diferentes gestionadas de forma centralizada, esta combinación permite celebrar contratos en el mercado eléctrico o proporcionar servicios a operadores de red como agente independiente.** Las TIC juegan un papel fundamental en el desarrollo del sistema Virtual Power Plant (VPP), ya que la distribución geográfica no se limita.

En los Estados Unidos, la Virtual Power Plant (VPP) también tiende a mirar el lado de la demanda, por lo que incorpora el concepto de gestión proactiva para ayudar a brindar estabilidad y confiabilidad a la red. **Uno de los objetivos principales es la optimización de los flujos de energía entre los actores del sistema para que puedan satisfacer la demanda con el menor costo posible, así como las economías de escala para los pequeños fabricantes. Además, también proporciona mayor flexibilidad para el sistema, ayudando a satisfacer la demanda pico o equilibrar la potencia según sea necesario,** las Virtual Power Plant (VPP) se pueden clasificar de la siguiente manera:

- 1 Escala geográfica:** definir VPP a nivel específico o local, en la escala territorial o regional y a gran escala.
- 2 Control:** se refiere a la comunicación entre el dispositivo que controla el sistema de operación y su organización escalonada.
- 3 Objeto de la agregación:** el VPP en la parte del mercado de la electricidad como si se tratara de una planta de energía tradicional y esta tecnología usada para asegurar que el sistema funcione correctamente.

Dando reseña a lo citado anteriormente, es evidente que la industria de energías renovables deberá hacer frente a muchos riesgos que en la actualidad la pueden afectar, según un análisis elaborado por Willis Towers Watson (empresa multinacional británica de gestión de riesgos) se destacan cinco grandes riesgos en 2020, enumerando el cambio climático como una de las mayores amenazas, junto con los ataques cibernéticos, a los cuales se les da mayor prioridad en este informe (Guillén, 2020).

Amenazas cibernéticas

En cuanto a la Seguridad de la red y privacidad de los datos, a medida que los sistemas de energía se vuelven dependientes de las TIC, los sistemas deben protegerse contra ataques, abusos o accesos no autorizados a los sistemas de información y comunicación.

El ciberespacio es el nuevo lugar donde se están desarrollando la economía, la cultura, el consumo, la producción y el ocio de la sociedad actual, la cual podemos llamar la **sociedad informacional o sociedad digital**, esta se describe como una sociedad en la que se producen cambios muy rápidos en los aspectos sociales, económicos y políticos, además, cambios disruptivos en lo tecnológico, lo geopolítico y lo geoeconómico, dichos cambios afectan e impactan al sector de la energía en general, especialmente su seguridad. Todos estos cambios tienen relación con la expansión del sector en el ciberespacio o espacio virtual, su inmersión en la economía digital, llevando consigo la exposición a nuevas reglas (Arteaga, 2019).

La industria de las energías renovables necesitan trabajar más estrechamente con las instituciones gubernamentales para protegerse contra los ataques, la mayoría de las redes de energía están en manos privadas y es crucial construir asociaciones público-privadas para abordar la dimensión cibernética de la seguridad energética.

Hay que tener en cuenta que no hay una única solución para lograr una protección total contra los ataques cibernéticos, sin embargo, se pueden implementar estrategias preventivas, en el Coloquio Virtual Gratuito AEMER: Ciberseguridad Operativa en servicios remotos y Cobertura de riesgos existentes, la Correduría de seguros Campos&Rial Rial (Guillén, 2020) expuso las siguientes recomendaciones en el teletrabajo:

- ✓ Utilizar, siempre que sea posible, dispositivos de empresa, con sus limitaciones correspondientes, con antivirus instalado y actualizado y todo el software actualizado.
- ✓ VPN Red privada virtual (túnel entre oficina y viviendas de los empleados, con información cifrada y autenticación de doble factor, ej., código SMS a móvil).
- ✓ Contraseñas robustas, privadas y con cambios periódicos.
- ✓ Redes WiFi-privadas (nunca públicas), cambiar el nombre del router y la contraseña que vienen por defecto.
- ✓ Copias de seguridad periódicas (diarias, semanales) almacenadas en otros servidores fuera de la propia red o en la nube.
- ✓ Actualizaciones periódicas de software.

Esto porque las principales consecuencias de un ciberataque se pueden tornar en situaciones delicadas como:

- ✓ Pérdida de datos.
- ✓ Pérdida de beneficios por interrupción parcial o total del sistema informático de la empresa.
- ✓ Pago de rescates (extorción).
- ✓ Servicios de control de identidad.
- ✓ Costos de notificación.
- ✓ Gastos de investigación.
- ✓ Sanciones.
- ✓ Reclamaciones de terceros (Gastos de defensa, indemnizaciones).
- ✓ Gastos para restaurar la pérdida de imagen y reputación.

Guillén, 2020

Por otra parte, en un punto de vista de Deloitte y Fortinet respecto a la ciberseguridad en organizaciones con sistemas de control industrial y redes operacionales, manifiestan que Chile tiene una deuda respecto los niveles de ciberseguridad y tanto el gobierno como los privados están empezando a tomar conciencia y acción sobre dicho tema (Deloitte, 2020).

Entre las acciones que podemos mencionar a nivel país tienen:

- ✓ **El decreto presidencial de ciberseguridad** que busca crear la Agencia Nacional de Ciberseguridad con la responsabilidad de coordinar las acciones de respuesta ante incidentes de ciberseguridad, buscando la colaboración y compartición de información dentro de la industria de Energía. Compartir información e involucrar actores públicos (CSIRT y Agencia Nacional de Ciberseguridad y Defensa) y privados permitirá, la unión en la respuesta y la disminución de tiempos de detección, reacción y eliminación ante estos eventos.
- ✓ **Regulación por parte de la Superintendencia de Energía**, como ente regulador de ciberseguridad en la Industria. Entidad que deberá definir los estándares mínimos de cumplimiento de ciberseguridad como también colaborar con la definición y control de estándares de mayor nivel para aquellas organizaciones que sean definidas como Infraestructuras Críticas.
- ✓ **El Plan de Ciberseguridad** definido por el Coordinador Eléctrico Nacional que busca preservar la seguridad y continuidad del suministro eléctrico conforme a la normativa vigente, a través de la definición de una estrategia, implementación de requerimientos mínimos urgentes y la adecuación e implementación de estándares de seguridad para la industria basados en NERC-CIP.
- ✓ **Adicionalmente, el Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas (CIGRE)** a través del grupo de trabajo de Ciberseguridad Estratégica aplicada al Sector Eléctrico, busca aportar al sector eléctrico chileno los lineamientos estratégicos y recomendaciones para llegar en mediano y largo plazo a ser una Infraestructura Crítica ciber-resiliente ante nuevas amenazas y vulnerabilidades en el mundo digital.

Lo manifestado anteriormente es una estrategia de ciberseguridad nacional para la industria eléctrica, mostrando que es una pieza clave de las acciones a ser tomadas; definir roles y responsabilidades para los entes reguladores, el Gobierno y los privados, adoptar un estándar de ciberseguridad a nivel nacional que defina los criterios para estar seguros, capacitación y concientización de todos los actores involucrados (Incluyendo a la cadena de suministro), además de un monitoreo de redes IT y OT, se han vuelto factores críticos para la detección de incidentes, además, el compartir información a través de redes formales (CSIRT, MISP, etc.) y sobre todo el tener un plan de respuesta ante incidentes de ciberseguridad dentro de un plan de Gestión de Crisis, son varias de las acciones que se deben tomar individual y grupalmente en la industria (Deloitte, 2020).

CAPÍTULO 3

Aspectos económicos y de mercado

- Comportamiento actual del mercado de almacenamiento a nivel mundial
- Algunos incentivos que impulsan el despliegue del almacenamiento energético
- El papel del almacenamiento y las energías renovables variables, especialmente la energía solar fotovoltaica
- Costos operativos del almacenamiento energético
- Modelo de negocio
- Integración sectorial en el almacenamiento energético para la reducción de emisiones de CO₂

Ideas clave

- ✓ La disminución de los costos, han permitido triplicar las instalaciones, promovidas en su mayoría por las baterías de iones de litio dirigidas al almacenamiento de corto plazo, que incluso han representado hasta el 80% de toda la capacidad de la batería. Mientras que para el almacenamiento de mayor duración se exploran baterías como las de azufre de sodio y las baterías flujo. Otra de las aplicaciones en las que también se ha podido avanzar es en las baterías a pequeña escala y las aplicaciones solares fuera de la red que puedan garantizar el acceso a la energía (IEA, 2019).
- ✓ Se prevé que en el 2021 se superen los 10 GW / 28 GWh, impulsados en gran medida por el despliegue de proyectos de generación solar, los cuales combinan uso de sistemas de baterías, así mismo se espera que haya un crecimiento delante y detrás del medidor (IHS Markit, 2021).
- ✓ Gran parte de la rentabilidad hoy en los proyectos e instalaciones de energías renovables, la búsqueda de nuevas tecnologías más eficientes y las innovaciones en el almacenamiento de energía que bien respalda la generación verde se han debido a los **incentivos y subsidios otorgados por el sector público y privado para la investigación y el despliegue de tecnologías y proyectos.**
- ✓ Se espera que para poder disponer de soluciones de almacenamiento flexible combinado de energías renovables variables, resistentes y rentables para proporcionar electricidad para el consumo en los servicios públicos se debe **disponer o contar con una serie de propulsores o habilitadores** como los son: prima de costo de electricidad debido a la logística de suministro de combustible y mayores costos de mantenimiento, interrupciones en el suministro de combustible, baja calidad / fiabilidad de la energía, falta de suministro eléctrico a granel existente; almacenamiento rentable, permite energías renovables in situ, como la energía solar fotovoltaica; seguridad de la vida en entornos hostiles, entre otros (IEA, 2019).
- ✓ De acuerdo con el escenario NPS (Escenario de Nuevas Políticas), del IEA de 2019 (IEA, 2019), se proyecta que los costos de los sistemas de baterías de 4 hrs lleguen a los US\$ 220/kWh para 2040. Adicionalmente, **está trabajando en nuevas generaciones de tecnología de iones de litio como ánodos de silicón, electrolitos de estado sólido, metal de litio, entre otros, con el objetivo de poder alcanzar un costo final de US\$ 80/kWh para 2028 (DOE, 2020). Se espera que para 2023, los precios promedios lleguen a US\$101/kWh (BloombergNEF, 2020).**
- ✓ Se identifican 28 posibles modelos de negocios, teniendo en cuenta 3 características principales: Reducción de costos, aplazamiento de inversión y precio de arbitraje; para dichos modelos se plantean roles de mercado, tipos de flujos de ingresos y modelos de negocio específicos en torno a una aplicación concreta (Felix , Gunther, & Alexander, 2020)
- ✓ Para lograr una rentabilidad más generalizada en el negocio del almacenamiento se requerirá de un trabajo investigativo, con el propósito de mejorar los parámetros tecnológicos, operativos y regulatorios, ya que se pueden lograr reducción de costos, por ejemplo, con el uso de materiales alternativos más económicos para la fabricación de partes, metodologías operativas que busquen la eficiencia de la prestación de dicho servicio y vuelvan un mercado más rentable para la inversión (Felix , Gunther, & Alexander, 2020)
- ✓ En la transición de un modelo energético lineal a un modelo plenamente integrado e interconectado, donde el entramado de flujos de energía entre productores y consumidores de diferentes sectores permite maximizar la eficiencia económica y energética del sistema en su conjunto y optimizar su operación, **el almacenamiento energético tiene un papel clave, por su carácter transversal a los distintos sectores y por posibilitar desacoplar generación y consumo. Incluso, se mencionan algunos países que cuentan con alianzas e integración entre sectores** y que han facilitado el desarrollo global del almacenamiento de energía (Secretaría de Estado de Energía, 2021).

Comportamiento actual del mercado de almacenamiento a nivel mundial

El almacenamiento de energía ha tenido un buen comportamiento de crecimiento en los últimos años, con excepción del año 2019, donde este mercado se enfrentó a algunos desafíos que representaron caídas en las instalaciones de almacenamiento a escala de red en un 20%. La caída del despliegue de almacenamiento durante 2019 evidenció la dependencia de este mercado de la intervención de políticas de apoyo (IEA, 2020). En la **Figura 11**, se observa el almacenamiento a escala de red y el almacenamiento detrás del medidor.

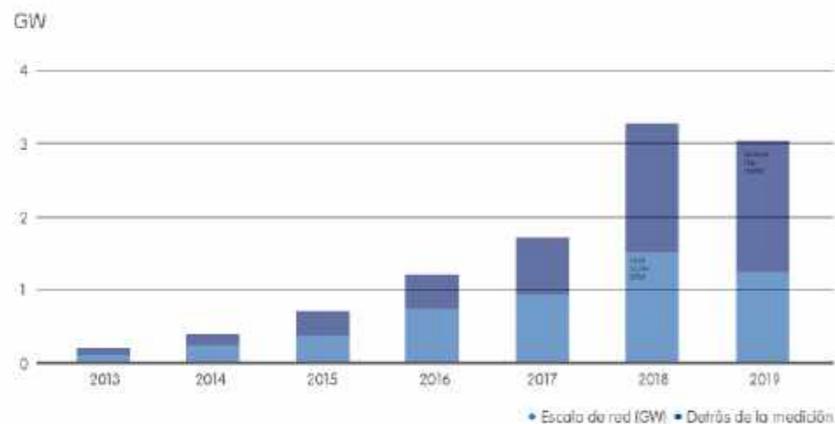


Figura 11. Despliegue anual de almacenamiento de energía. 2013 - 2019 (IEA, 2020)

En la Figura 12, se observa el despliegue anual de almacenamiento de energía en los países más representativos para este mercado, Corea, China, Estados Unidos, Alemania, entre otros. **Corea, fue el mercado más afectado durante 2019, donde sus instalaciones cayeron en un 80%**, que en gran medida se explica por la preocupación por incendios ocurridos en plantas de almacenamiento a escala de red durante 2018 y 2019. **Mientras que Japón, durante este mismo año (2019), se convirtió en un líder mundial** debido a las ventas de almacenamiento detrás del medidor, más de 200 MW, aunado a la eliminación gradual del esquema de subsidios a la energía solar, lo que impulsó que los productores de energía solar adquirieran sistemas de baterías para utilizar más su propia producción y mitigar las pérdidas (IEA, 2020).

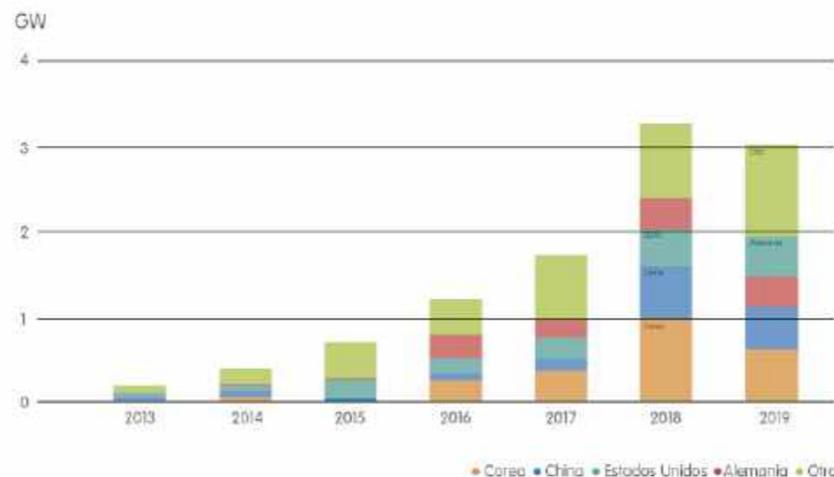


Figura 12. Despliegue anual de almacenamiento de energía por país. 2013 - 2019 (IEA, 2020)

La disminución de los costos, han permitido triplicar las instalaciones, promovidas en su mayoría por las baterías de iones de litio dirigidas al almacenamiento de corto plazo, que incluso han representado hasta el 80% de toda la capacidad de la batería. Mientras que para el almacenamiento de mayor duración se exploran baterías como las de azufre de sodio y las baterías flujo. Otra de las aplicaciones en las que también se ha podido avanzar es en las baterías a pequeña escala y las aplicaciones solares fuera de la red que puedan garantizar el acceso a la energía. De acuerdo con el escenario NPS (Escenario de Nuevas Políticas), del IEA de 2019 (IEA, 2019), **se proyecta que los costos de los sistemas de baterías de 4 hrs lleguen a los US 220/kWh para 2040** (Figura 13).



Figura 13. Costo de capital de los sistemas de almacenamiento de baterías a escala de servicios públicos en el escenario de nuevas políticas. 2017-2040 (IEA, 2019)

La caída en los costos de los sistemas de almacenamiento tendría un efecto generalizado en diversas aplicaciones de los sistemas energéticos globales; según el Escenario de Nuevas Políticas, por ejemplo, se presentaría una reducción en las baterías relacionadas con las aplicaciones de transporte y se esperaría que los paquetes de baterías a escala de servicios públicos alcanzaran un costo de US100/kWh para 2030. Además, se resalta que, la disponibilidad creciente de baterías de segundo uso y el equilibrio en los costos de los sistemas de almacenamiento, les adicionaría competitividad a estas tecnologías (IEA, 2019).

Para 2019, se anunciaba el trámite de 10 GWh nuevos en proyectos hidroeléctricos de bombeo, así mismo se han planificado demostraciones de almacenamiento mecánico y de calor de gran tamaño; no obstante, se evidencian algunas limitaciones para escalar aún más el almacenamiento en tecnologías como PSH o almacenamiento de energía por aire comprimido CAES, debido a la cantidad limitada de localizaciones adecuadas para su desarrollo y su naturaleza de grandes proyectos intensivos en capital que requieren grandes obras de infraestructura e ingeniería civil con largos plazos de entrega (IEA, 2019).

La demanda flexible, la necesidad de adaptación de mayor participación de las energías renovables variables en la canasta de generación global, el aumento de las fuentes de "demanda pico" como los EV, los sistemas de calefacción y refrigeración, entre otras aplicaciones, demandan una mayor capacidad del almacenamiento de energía para el apoyo de las redes, se espera que para 2040 aumente en 40 veces (IEA, 2020).

La demanda flexible, la necesidad de adaptación de mayor participación de las energías renovables variables en la canasta de generación global, el aumento de las fuentes de "demanda pico" como los EV, los sistemas de calefacción y refrigeración, entre otras aplicaciones, demandan una mayor capacidad del almacenamiento de energía para el apoyo de las redes, se espera que para 2040 aumente en 40 veces (IEA, 2020). Algunos proyectos identificados en los principales mercados para el almacenamiento de energía (IEA, 2020) (IEA, 2019):



En 2019, **China** anunció seis proyectos de almacenamiento de energía de aire comprimido.



Reino Unido, anunció la inversión de GBP 1 millón para una planta de demostración de almacenamiento por gravedad de 4 MW.



En **Arabia Saudita**, las empresas Saudi Aramco, Nusaned y el grupo Schmidt, comenzaron a desarrollar una batería de flujo de 3 GWh.



- Anunció 4 nuevos proyectos de almacenamiento hidráulico por bombeo de una capacidad total de 1,5 GW.
- El almacenamiento detrás del medidor es un mercado clave. Las plantas de energía virtuales se están demandando cada vez más como una forma de agregar activos distribuidos. Desde 2019, se están construyendo más de 200 MW de capacidad en todo el país.



- El desarrollador de baterías de flujo redox Form Energy, obtuvo financiación de US 40 millones para un proyecto de batería de aire acuoso de 150 MWh.
- California, continúa siendo un gran desarrollador de baterías, a 2019, contaba con más de 10.000 sistemas de almacenamiento.
- Las empresas de servicios públicos de Estados Unidos, en el corto plazo tiene el objetivo de abarcar hasta 15 GW en proyectos de almacenamiento compartido con energía solar fotovoltaica.
- Virginia y Nevada tienen proyectado a largo plazo alcanzar almacenamiento por un total de 3,4 GW.



- La Comisión Europea ha apoyado el almacenamiento de energía a largo plazo, por medio del CEP, Paquete Europeo de Energía Limpia, donde ha separado el almacenamiento de la generación, transmisión o carga, para evitar doble gravamen.
- Ha comenzado nuevos proyectos piloto para la exploración de nuevas aplicaciones y mercados para el almacenamiento: "activos de transmisión en Alemania (Netzbooster) y Francia (Ringo), y mediante agregación en Italia (UVAM) y el Reino Unido (por Powervault y Kaluza)". Alemania lideró la implementación de almacenamiento detrás del medidor durante 2019, con la instalación de más de 50.000 sistemas.

El crecimiento y el despliegue de las energías renovables hace evidente la necesidad de la flexibilidad de la red y el sistema energético, ampliando los períodos de almacenamiento, a días o incluso semanas, para poder maniobrar en los momentos de exceso o insuficiencia energética. De acuerdo con el Escenario de Desarrollo Sostenible de la IEA (IEA, 2020) se observa que, **para aplicaciones de mayor duración de almacenamiento, se están explorando cada vez más baterías diferentes a las de iones de litio**, las baterías de sodio-azufre, más adecuadas para el suministro de energía durante largos períodos de tiempo, o baterías de flujo que tienen un costo más bajo almacenan la energía de forma independiente. Bajo este mismo escenario, las baterías que admiten tecnología V1G y V2G podrían proporcionar alrededor de 600 GW de capacidad flexible a nivel mundial en 2030.

Se espera una racha de crecimiento sostenido para el sector del almacenamiento en el mercado internacional para los próximos años. Si bien, la implementación de baterías a gran escala durante el 2020 no manifestó un crecimiento tan significativo como se esperaba, su comportamiento durante el último trimestre sí se destacó notoriamente, con 2,2 GWh. A partir de allí se registra un crecimiento continuo en los proyectos y en el número de los mismos, **se prevé que en el 2021 se superen los 10 GW / 28 GWh, impulsados en gran medida por el despliegue de proyectos de generación solar**, los cuales combinan uso de sistemas de baterías, así mismo se espera que haya un crecimiento delante y detrás del medidor (ver Figura 14) (IHS Markit, 2021).

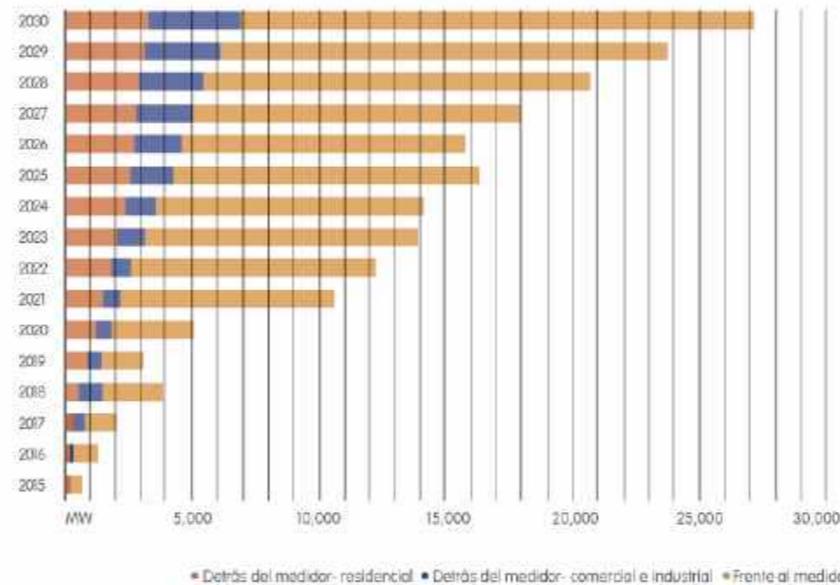


Figura 14. Instalaciones anuales de almacenamiento de energía conectadas a la red global por segmentos (IHS Markit, 2021)

Dichas expectativas de crecimiento a 2030, se deben en gran medida al aumento del anuncio de nuevos proyectos y del aumento de capacidad de existentes, algunos de estos rondan los 400 MW de capacidad. Geográficamente, se espera que la capacidad de Estados Unidos para 2021 represente el 50% del mercado mundial explicado por los incentivos fiscales a la inversión solar. Por su parte Europa, proyecta un aumento de hasta el 70% de sus instalaciones anuales durante el mismo año (2021), lo que estaría motivado en parte por el uso compartido de las energías renovables, especialmente las variables. Mientras tanto Asia, proyecta un fuerte crecimiento del almacenamiento a partir de 2025 y una participación del 44% de las instalaciones anuales, motivado principalmente por los planes de descarbonización de China (IHS Markit, 2021). Por otro lado, el aumento de **la adopción de vehículos eléctricos requiere a su vez de una mejor gestión de la recarga de dichos vehículos, motivo que fomenta la integración de la energía solar y eólica para equilibrar la red, para lo que es necesario trabajar en la gestión de la tecnología de las baterías y de los sistemas de carga**. Se espera que para 2030, la demanda nocturna promedio podría aumentar entre el 4 y 10% en los países de mayor uso de vehículos eléctricos, es el caso de China, la Unión Europea y los Estados Unidos. Igualmente, para el mismo horizonte, 2030, se espera que las baterías de los vehículos eléctricos puedan almacenar 16.000 GWh de energía, lo que representa 100 veces la capacidad global actual de almacenamiento, se trataría de baterías de itinerancia que una conectados a la red pueden proporcionar energía a través de la carga inteligente (V1G) o las soluciones de vehículos a red (V2G) (IEA, 2020).

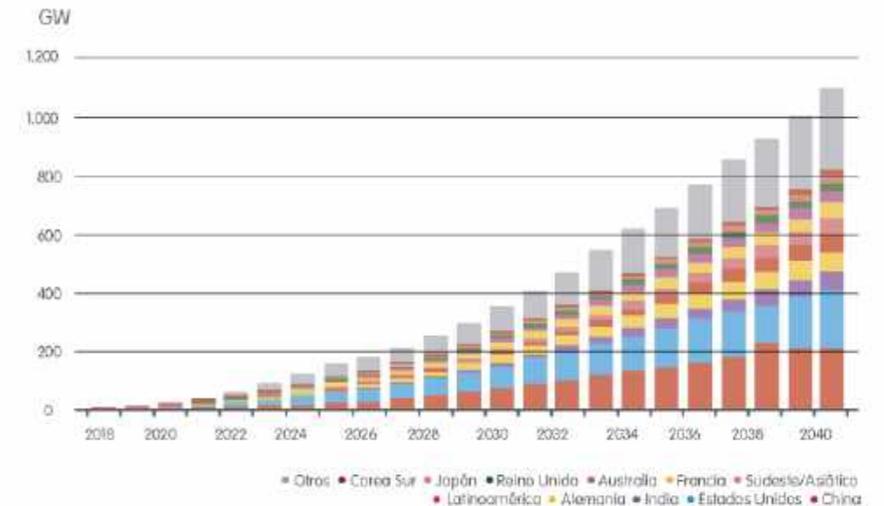


Figura 15. Instalaciones de almacenamiento acumulativas de energía en todo el mundo (Iberdrola, s.f.)



China domina la cadena de suministro de baterías de iones de litio, pero Europa va en aumento

El 'Ranking global de la cadena de suministro de baterías de iones de litio' inaugural de BNEF encuentra que para 2025, China continúa dominando la cadena de suministro, mientras que EE. UU. Y Suecia ascienden al tercer y cuarto lugar respectivamente. **China lidera la clasificación de la cadena de suministro de baterías de iones de litio de BloombergNEF (BNEF) en 2020**, habiendo superado rápidamente a Japón y Corea, que fueron líderes durante la mayor parte de la década anterior. El éxito de China es el resultado de su gran demanda interna de baterías, 72GWh, y el control del 80% del refinado de materias primas del mundo, el 77% de la capacidad de celdas del mundo y el 60% de la fabricación de componentes del mundo, según datos de BNEF (Bloomberg NEF, 2020).

En 2020, **Japón y Corea ocupan el segundo y tercer lugar respectivamente**. Si bien ambos países son líderes en la fabricación de baterías y componentes, no tienen la misma influencia en el refinado y la minería de materias primas que China. Lo que les falta en el control de la cadena de suministro de materias primas, lo compensan con **puntajes ambientales y de RII (regulaciones, innovación e infraestructura) más altos en comparación con China (Bloomberg NEF, 2020)**.

La clasificación de la cadena de suministro de baterías de iones de litio de BNEF proporciona una instantánea de la posición de un país en 2020 y dónde se ubicará en 2025, según su trayectoria de desarrollo actual. El trabajo clasifica a los países según temas clave relacionados con la cadena de suministro: materias primas, fabricación de células y componentes, medio ambiente, RII y demanda final (en vehículos eléctricos y almacenamiento estacionario). Los cinco temas clave recibieron la misma ponderación en la clasificación general (Bloomberg NEF, 2020). **Las clasificaciones de BNEF para 2025 se basan en la trayectoria actual de un país, pero si un país promulga políticas y regulaciones específicas, hay tiempo suficiente para mejorar su posición**. Estados Unidos languidece en el sexto lugar en 2020, pero podrían cambiar las cosas si Estados Unidos aumentara su inversión en materias primas y promoviera la adopción de vehículos eléctricos, podría superar a Japón y China para ser el número uno en 2025. Por el contrario, el Reino Unido podría ver caer su posición en la clasificación en 2025 si no puede acceder la gran demanda en Europa continental, que, con 152GWh, será alrededor de cinco veces el tamaño de su mercado nacional (Bloomberg NEF, 2020).

Tabla 5. Ranking de proveedores de baterías de iones de litio, a 2020 y proyectado a 2025 (Bloomberg NEF, 2020)

Country	2020 rank	Raw material	Cell & component	Environ.	RII	Demand	2025 rank	Raw material	Cell & component	Environ.	RII	Demand
China	1	1	1	16	11	1	1	1	1	15(▲1)	11	1
Japan	2	12	2	6	7	6	2	8(▲4)	3(▼1)	7(▼1)	7	8(▼2)
S. Korea	3	17	2	9	5	2	8(▼5)	16(▲1)	2	13(▼4)	5	9(▼7)
Canada	4	4	10	4	10	11	5(▼1)	3(▲1)	12(▼2)	4	10	6(▲5)
Germany	4	17	6	12	2	2	6(▼2)	22(▼5)	6	9(▲3)	2	3(▼1)
U.S.	6	15	4	13	6	2	3(▲3)	13(▲2)	3(▲1)	7(▲6)	6	2
U.K.	7	17	6	9	4	6	8(▼1)	17	8(▼2)	10(▼1)	4	4(▲2)
Finland	8	11	13	5	3	13	7(▲1)	10(▲1)	8(▲5)	6(▼1)	3	17(▼4)
France	8	17	13	1	9	5	10(▼2)	17	12(▲1)	1	9	5
Sweden	10	22	13	3	1	8	4(▲6)	17(▲5)	7(▲6)	3	1	7(▲1)
Australia	11	2	13	21	12	8	11	2	12(▲1)	19(▲2)	12	11(▼3)
Brazil	12	3	13	2	24	23	12	7(▼4)	18(▼5)	2	24	15(▲6)
Poland	12	22	5	11	13	14	13(▼1)	22	5	12(▼1)	13	19(▼5)
Hungary	12	22	6	8	14	15	15(▼3)	22	8(▼2)	11(▼3)	14	16(▼3)
Czech Rep.	15	17	10	17	8	17	16(▼1)	17	12(▼2)	17	8	21(▼4)
India	16	9	13	19	18	11	16	13(▼4)	18(▼5)	21(▼2)	18	10(▲1)
Chile	17	6	13	18	16	20	14(▲3)	4(▲2)	12(▲1)	15(▲3)	16	23(▼3)
Vietnam	18	16	6	22	20	10	23(▼5)	17(▼1)	12(▼6)	23(▼1)	20	12(▼2)
S. Africa	19	5	13	23	17	19	20(▼1)	4(▲1)	18(▼5)	19(▲4)	17	22(▼2)
Argentina	20	12	13	6	22	24	16(▲4)	8(▲4)	18(▼5)	5(▲1)	22	25(▼1)
Indonesia	21	7	13	25	21	15	20(▲1)	4(▲3)	18(▼5)	24(▲1)	21	13(▲2)
Mexico	22	12	13	15	19	22	16(▲6)	12	18(▼5)	13(▲2)	19	16(▲6)
Thailand	23	22	10	19	15	17	22(▲1)	22	8(▲2)	21(▼2)	15	20(▼3)
D.R.C.	24	8	13	14	25	24	25(▼1)	10(▼2)	18(▼5)	18(▼4)	25	24
Philippines	25	9	13	24	23	20	24(▲1)	13(▼4)	18(▼5)	25(▼1)	23	14(▲6)

Los temas clave se clasifican de acuerdo con ciertos criterios: Las materias primas según la disponibilidad de recursos, la capacidad de extracción y la capacidad de refinación. La celda y los componentes según la capacidad de fabricación de sales y soluciones de electrolitos, ánodos, cátodos, separadores y celdas. El medio ambiente en función de las emisiones de carbono de la red eléctrica, la política renovable, la salud ambiental y la salud del ecosistema. RII según la infraestructura, las políticas, la inversión en I + D y la educación STEM. La demanda en función de la demanda de baterías de iones de litio del transporte y el almacenamiento estacionario (Bloomberg NEF, 2020).

Algunos incentivos que impulsan el despliegue del almacenamiento energético

En un principio, gran parte de la rentabilidad hoy en los proyectos e instalaciones de energías renovables, la búsqueda de nuevas tecnologías más eficientes y las innovaciones en el almacenamiento de energía que bien respalda la generación verde se han debido a los **incentivos y subsidios otorgados por el sector público y privado para la investigación y el despliegue de tecnologías y proyectos.**

La reducción de los subsidios de hasta el 43% destinados para el consumo de los combustibles fósiles, en el caso del mercado de **Estados Unidos representó U\$180.000 millones**, lo que a su vez representa una oportunidad para poner en marcha la transición energética y reducir las emisiones GEI (Enel X, 2020). Cabe resaltar, además el proyecto de ley que busca ampliar el crédito fiscal para la inversión en almacenamiento de energía proveniente de fuentes renovable, el cual es respaldado por la Asociación de Almacenamiento de energía. Asimismo, otros estados han trabajado paralelamente en sus propios programas de incentivos fiscales para el almacenamiento (Enel X, 2020).

La **Unión Europea por su parte ha creado el Fondo de recuperación NextGenerationEU de € 750.000 millones**, que tiene como objetivo estimular la inversión en innovación en tecnologías limpias que ayuden la transición energética.

La Comisión Europea, ha sugerido combinar las inversiones del fondo de recuperación y los ingresos de los precios del carbono para dirigirlos en la reducción de otros impuestos que puedan influir también en dicha transición. **En la misma línea, Enel X y el Grupo Enel ha invertido más de € 28.700 millones** en su Plan estratégico para reforzar la transición, específicamente en descarbonización y electrificación del consumo de energía, impulsando además las energías renovables (Enel X, 2020).

En Europa se viene estimulando también el almacenamiento energético, Países Bajos, por ejemplo, ha implementado varios programas e iniciativas de apoyo y promoción de energía solar y almacenamiento. Por su parte, a principios de 2020 Austria lanzó un programa de reembolso para instalaciones solares y de almacenamiento, en el que se destinarán €12 millones para la financiación del sistema de almacenamiento de energía. Italia, específicamente la región de Lombardía implementó un Plan similar al de Austria y para ello destinó €10 millones (Enel X, 2020). Cabe destacar otro **factor que está impulsando el almacenamiento de energía, es además del mejor rendimiento, la flexibilidad**, la cual se puede ver desde dos perspectivas: "flexibilidad para edificios comerciales y residenciales y flexibilidad para instalaciones intensivas en energía (incluida la generación de energía eléctrica y aplicaciones de procesos industriales)" (DOE, 2020).

A continuación, se amplía la información de los dos tipos de flexibilidad que se mencionaron anteriormente (ver Figura 16), las cuales son propuestas por el ESGC - El Gran Desafío de Almacenamiento de Energía (DOE, 2020):

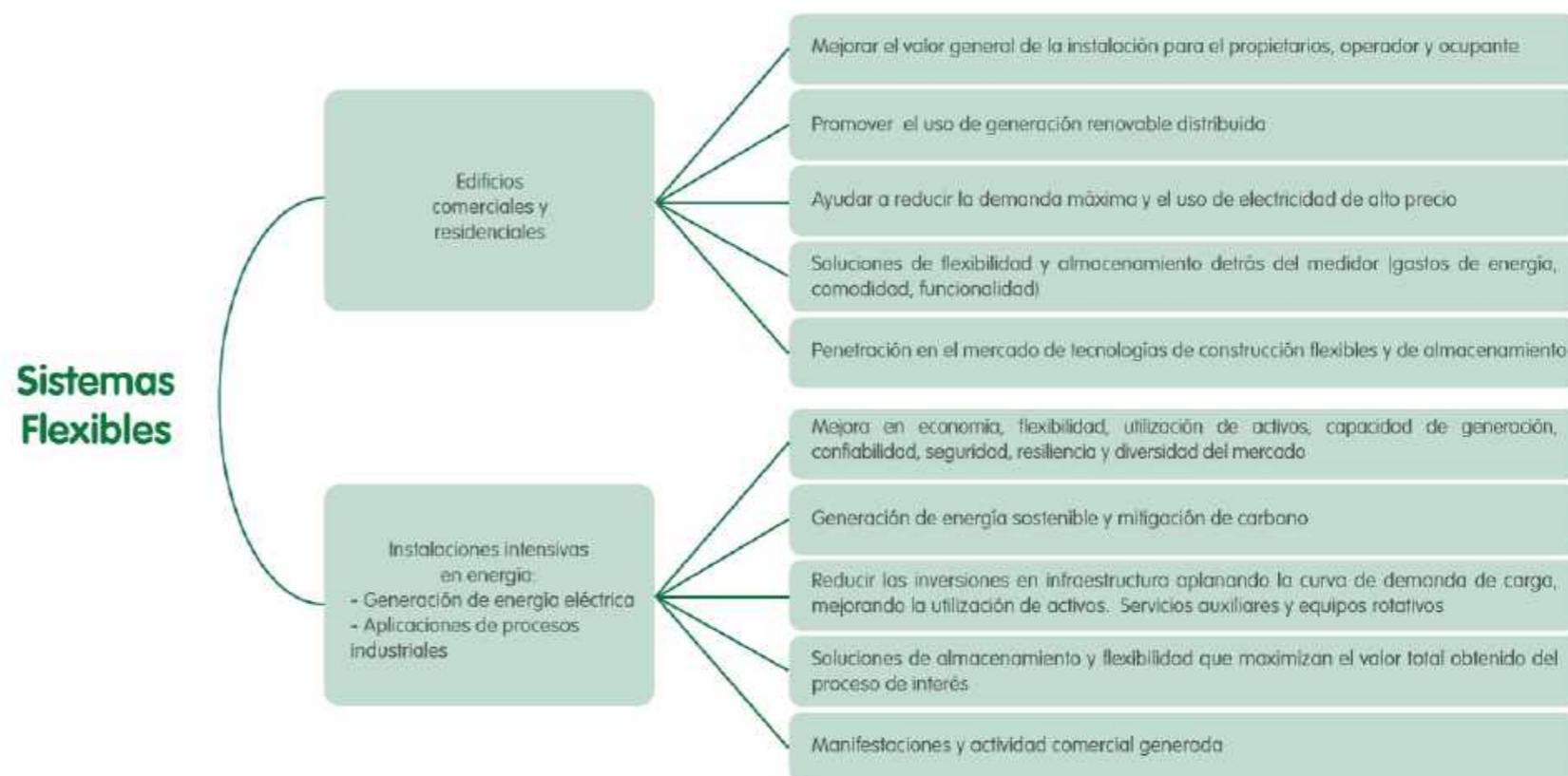


Figura 16. Sistemas flexibles (DOE, 2020)

El papel del almacenamiento y las energías renovables variables, especialmente la solar fotovoltaica

Las energías renovables y el almacenamiento son una buena alternativa para la implementación de la flexibilidad del sistema de energía. Los sistemas de almacenamiento y en especial las baterías, cumplen un rol fundamental en la transición energética ya que, entre otras razones, proporcionan el acceso a energía eléctrica limpia a las poblaciones alejadas y desatendidas; además de que se han convertido en un componente clave en nuevos modelos comerciales, como la energía solar de pago por uso. Según estadísticas internacionales, para el año 2020, alrededor de 600 millones de personas aún no tenían acceso a electricidad. De acuerdo con algunas proyecciones de la IEA (IEA, 2019), **las energías renovables y los sistemas descentralizados son la forma más económica de llevar electricidad a las poblaciones desatendidas; allí es donde las baterías se hacen fundamentales para respaldar el despliegue de la energía.**

Para garantizar que la ubicación de las energías renovables se lleve de manera óptima **es necesario que los gobiernos y las empresas de servicios públicos mejoren sus mecanismos de planificación.** El aumento de la capacidad de los sistemas de almacenamiento y la disminución de los costos de las baterías de iones de litio, han posibilitado desarrollar sistemas y soluciones solares domésticos autónomos asequibles habilitados para prestar servicios básicos de electricidad durante varias horas, beneficiando a hogares y pequeñas empresas (IEA, 2019).

La ubicación conjunta de instalaciones de energía renovable con activos de almacenamiento de energía ha impulsado a su vez el crecimiento del mercado del almacenamiento energético, además de que brinda estabilidad a la producción de energía y asegura una capacidad firme durante períodos más largos de demanda. En la India a partir de 2019, se comenzó a recompensar este tipo de aplicaciones, por medio de una subasta de 1,2 GW de almacenamiento solar, que exige una capacidad de almacenamiento del 50% de la generación instalada (IEA, 2019).

De acuerdo con el ESGC - El Gran Desafío de Almacenamiento de Energía del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE, 2020), uno de los objetivos de la aplicación de los sistemas de almacenamiento de energía es brindar servicios a comunidades remotas, en las que se incluyen comunidades insulares, costeras y todas aquellas áreas desatendidas por motivos de ubicación. Para ello se han identificado una serie de impulsores, beneficiarios y requisitos potenciales para poder llevar a cabo este tipo de soluciones. Así mismo **se prevé que la mayoría de los sistemas de almacenamiento se puedan combinar con energías renovables variables como la solar fotovoltaica y la eólica una vez aumenten su "capacidad de despacho y permitan acumular ingresos del arbitraje de energía y los servicios auxiliares ofrecidos por la red"** (IEA, 2019).

Se espera que para poder disponer de soluciones de almacenamiento flexible combinado de energías renovables variables, resistentes y rentables para proporcionar electricidad para el consumo en los servicios públicos se debe **disponer o contar con una serie de propulsores o habilitadores** como los son: prima de costo de electricidad debido a la logística de suministro de combustible y mayores costos de mantenimiento, interrupciones en el suministro de combustible, baja calidad / fiabilidad de la energía, falta de suministro eléctrico a granel existente; almacenamiento rentable; permite energías renovables in situ, como la energía solar fotovoltaica; seguridad de la vida en entornos hostiles, entre otros (IEA, 2019).

Dichas soluciones de almacenamiento flexibles e in situ, **podrán beneficiar diversos clientes y/o comunidades,** principalmente las que se enuncian a continuación: comunidades sin infraestructura eléctrica actual, que cuenten con energía proporcionada por el combustible entregado, aquellas con conexiones eléctricas masivas que no son prácticas o económicamente inviables; así mismo, sitios estatales remotos que incluyen ubicaciones especiales como servicios de parques nacionales, forestales, de seguridad, entre otros; y, comunidades conectadas a la red con baja capacidad de recuperación y flexibilidad local (IEA, 2019).



Costos operativos del almacenamiento energético

En cuanto al tema específico de los costos, el jefe de investigación de almacenamiento de energía de BNEF, plantea que la industria de las baterías está logrando un poco de resistencia a los cambios de los precios de las materias primas, aunque no son inmunes los fabricantes de baterías no se verán tan afectados a dichas fluctuaciones, de hecho, están avanzando en la cadena de valor y comienzan a invertir en la producción de cátodos, entre otros. Actualmente, **los principales fabricantes de baterías están percibiendo márgenes brutos de hasta el 20%, a la vez que en sus plantas de producción y operación están manteniendo altas tasas de utilización, superiores al 85%**, con lo que buscan reducir los precios de las celdas y los paquetes, además de poder mantener los costos de depreciación de los equipos y los edificios casi imperceptibles, al ser distribuidos en un mayor número de kilovatios hora de celdas fabricadas (BloombergNEF, 2020).

De acuerdo con el escenario NPS (Escenario de Nuevas Políticas) del IEA de 2019 (IEA, 2019), como se presentó en la Figura 13, se espera además que la caída de los costos ayude a:

- ✓ Desplegar las baterías y a escala los servicios públicos alcanzando los 220 GW para 2040;
- ✓ Aumentar hasta en tres cuartas partes la capacidad de las baterías a nivel mundial para 2040;
- ✓ En el almacenamiento por medio de baterías alcanzar competitividad con las turbinas de gas de ciclo abierto para después de 2020.

Por otra parte el informe "Evaluación de costos y rendimiento del Gran Desafío del Almacenamiento de Energía", en el que el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), está trabajando de forma conjunta con un sinnúmero de entidades e instituciones para recabar información, postular metodologías y propuestas enmarcadas en dicho desafío, entre ellos se resalta en el trabajo del Laboratorio Nacional del Noroeste Pacífico (PNNL) quien lidera el desarrollo de una base de datos detallada de costos y rendimientos de tecnologías de almacenamiento. En la Tabla 6 se presentan **las estimaciones de diferentes componentes de sus principales costos y algunas métricas de rendimiento de sistemas LPF y NMC de iones de litio** (fosfato de hierro de iones de litio y iones de litio, níquel, manganeso y cobalto) de 1, 10 y 100 MW con una duración de 4 horas para 2020 y estimaciones para 2030 (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020).

Tabla 6. Estimaciones de costo y rendimiento de LPF y NMC de iones de litio por capacidad de energía para 2020 y 2030 (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020)

Categoría	Parámetros	Unidad	Iones de litio LPF						Iones de litio NMC					
			1 MW / 4 hr		10 MW / 4 hr		100 MW / 4 hr		1 MW / 4 hr		10 MW / 4 hr		100 MW / 4 hr	
			2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030	2020	2030
Costo de instalación del sistema de almacenamiento de energía (ESS)	Sistema de Almacenamiento	Bloque de almacenamiento	[164 - 200]	[87 - 128]	[156 - 191]	[83 - 122]	[149 - 182]	[79 - 116]	[175 - 213]	[93 - 136]	[166 - 206]	[89 - 129]	[158 - 194]	[84 - 123]
		Balance de almacenamiento del sistema	182	109	174	104	165	99	194	116	185	111	176	106
	Sistema de energía	Equipo de energía	[76 - 93]	[59 - 77]	[66 - 80]	[51 - 66]	[57 - 69]	[44 - 57]	[76 - 93]	[59 - 77]	[66 - 80]	[51 - 66]	[57 - 69]	[44 - 57]
		Controles y comunicación	[38 - 47]	[25 - 35]	[36 - 44]	[24 - 33]	[35 - 42]	[23 - 32]	[30 - 45]	[22 - 30]	[29 - 43]	[21 - 29]	[27 - 41]	[20 - 28]
		Integración del sistema	42	30	40	28	38	27	37	26	35	25	34	24
		Ingeniería, adquisiciones y construcción	[48 - 74]	[43 - 56]	[44 - 68]	[42 - 51]	[42 - 64]	[39 - 48]	[49 - 77]	[46 - 57]	[45 - 71]	[43 - 52]	[42 - 67]	[40 - 49]
		Desarrollo de proyectos	[57 - 90]	[54 - 67]	[52 - 83]	[50 - 61]	[49 - 78]	[47 - 58]	[58 - 94]	[56 - 68]	[53 - 87]	[51 - 63]	[50 - 81]	[48 - 59]
		Integración de la red	[28 - 34]	[23 - 28]	[22 - 27]	[18 - 23]	[18 - 22]	[15 - 18]	[28 - 34]	[23 - 28]	[22 - 27]	[18 - 23]	[18 - 22]	[15 - 18]
		Costo total de instalación del sistema de energía*	[327 - 394]	[155 - 192]	[356 - 458]	[198 - 234]	[392 - 475]	[194 - 249]	[357 - 423]	[221 - 259]	[348 - 442]	[203 - 269]	[320 - 387]	[165 - 229]
			[29 - 30]	[26 - 30]	[34 - 40]	[29 - 32]	[32 - 40]	[23 - 31]	[34 - 50]	[23 - 31]	[35 - 40]	[25 - 34]	[30 - 45]	[24 - 31]
	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	US/kWh	
Costos Operativos	O&M Fijos	US/kW-yr	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	[3.96 - 4.84]	
	O&M Variables	US/MWh	0.5125	0.5125	0.5125	0.5125	0.5125	0.5125	0.5125	0.5125	0.5125	0.5125		
	Pérdidas RTE del sistema (US / kWh)	US/kWh	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004	0.005	0.004		
Métricas de desempeño	Eficiencia de ida y vuelta	%	86%	88%	86%	88%	86%	88%	86%	88%	86%	88%	88%	
	Tiempo de respuesta	segundos	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	[1 - 4]	
	Ciclo de vida	#	2,000	2,100	2,000	2,100	2,000	2,100	2,200	2,260	2,200	2,260	2,200	2,260
	Vida del calendario	Años	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	Duración correspondiente al calendario	Años	5.77	6.06	5.77	6.06	5.77	6.06	3.46	3.63	3.46	3.63	3.46	3.63



A continuación, se presentan más datos de costos de capital para diferentes tipos de baterías y/o sistemas de almacenamiento de energía:

✓ Costos de capital de las baterías de plomo – ácido

En la siguiente tabla (Tabla 7) se muestran los costos de capital para un sistema de baterías de plomo – ácido de 5 horas para capacidades de 1, 10 y 100 MW. Los datos para el sistema de 10 MW fueron proporcionados por proveedores, y para las demás sistemas de 1 MW y 100 MW, se realizaron estimaciones y cálculos empleando los datos iniciales como línea base.

Tabla 7. Costos de capital para sistemas de plomo-ácido en diversas capacidades (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020)

	Raiford (2020a)	Raiford (2020a)	Baxter (2020e)		
Power capacity (MW)	10	1	100	1	1(a)
Energy capacity (MWh)	50	5	500	4	4
DC SB (\$/kWh)	471	495	447	183	349
DC-DC converter (\$/kW)	60	70	52		
PCS (\$/kW)	73	85	63	24	24
SBOS (\$/kWh)	108	114	103	44	44
Energy management system	8	40	2		
System integration (\$/kWh)	83	88	78	38	42
EPC (\$/kWh)	93	99	88	58	92
Project development (\$/kWh)	118	125	111	-	-
Grid integration (\$/kW)	25	31	20	-	-
Total ESS installed costs	906	965	855	347	551

En la Tabla 8 se presentan los costos operativos estimados y el rendimiento de las baterías de plomo ácido de 1, 10 y 100 MW de capacidad con duraciones de 4 y 10 horas.

Tabla 8. Estimaciones de costos operativos y rendimiento de baterías de plomo ácido por capacidad de energía para 2020 (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020)

		Plomo-ácido Estimaciones de costo operativos y rendimiento para 2020						
Parámetros	Unidad	1 MW		10 MW		100 MW		
		4 hr	10 hr	4 hr	10 hr	4 hr	10 hr	
Costo total de instalación del sistema de energía*	US/kW	[1658 - 1956]	[3707 - 4365]	[1520 - 1792]	[3472 - 4086]	[1419 - 1672]	[3273 - 3852]	
		US 1,808	US 4,040	US 1,657	US 3,780	US 1,544	US 3,558	
	US/kWh	[414 - 480]	[371 - 436]	[380 - 448]	[347 - 409]	[355 - 418]	[327 - 385]	
		US 452	US 404	US 414	US 378	US 386	US 356	
Costos Operativos	O&M Fijos	US/kW-yr	[5.59 - 6.31]	[12.78 - 14.41]	[5.11 - 5.76]	[11.96 - 13.49]	[4.8 - 5.42]	[11.32 - 12.76]
			5.94	13.60	5.43	12.72	5.11	12.04
	O&M Variables	US/MWh	0.5125		0.5125		0.5125	
Pérdidas RTE del sistema (US / kWh)	US/kWh	0.008	0.005	0.008	0.005	0.008	0.005	
Métricas de desempeño	Eficiencia de ida y vuelta	%	79.0%	85.0%	79.0%	85.0%	79.0%	85.0%
	Tiempo de respuesta	segundos	[1 - 4]		[1 - 4]		[1 - 4]	
	Ciclo de vida	#	739	599	739	599	739	599
	Vida del calendario	Años	12		12		12	
	Duración correspondiente al ciclo de vida**	Años	2.13	1.73	2.13	1.73	2.13	1.73

✓ Costos de capital de las baterías de flujo redox de vanadio

En el caso de los costos de capital para sistemas de vanadio no encuentra mucha información disponible, a continuación, se presentan los costos estimados de los principales componentes para un sistema de esta tecnología con capacidades de 1 y 10 MW, de 4 horas.

Tabla 9. Costos estimados para sistemas de baterías de flujo redox de 1 MW y 10 MW (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020)

	1 MW/4 MWh System		10 MW/40MWh System	
Estimate Year	2020	2030	2020	2030
DC system (with SB and container costs) (\$/kWh)	\$ 367	\$ 299	\$ 341	\$ 278
PCS (\$/kWh)	\$ 22	\$ 17	\$ 17	\$ 13
PCS markup (\$/kW)	\$ 2.2	\$ 1.7	\$ 2	\$ 1
ESS equipment total (\$/kWh)	\$ 391	\$ 318	\$ 360	\$ 292
Integrator margin (\$/kWh)	\$ 58	\$ 48	\$ 36	\$ 29
Complete ESS equipment total (\$/kWh)	\$ 449	\$ 365	\$ 396	\$ 321
EPC (\$/kWh)	\$ 101	\$ 82	\$ 79	\$ 64
AC Installed Cost (\$/kWh)	\$ 551	\$ 447	\$ 475	\$ 386

En la Tabla 10 se presentan los costos operativos estimados y el rendimiento de las baterías de flujo redox de vanadio de 1, 10 y 100 MW de capacidad con duraciones de 4 y 10 horas cada una.

Tabla 10. Estimaciones de costos operativos y rendimiento para 2020 de baterías de flujo redox de vanadio (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020)

		Flujo redox de vanadio Estimaciones de costo operativos y rendimiento para 2020						
Parámetros	Unidad	1 MW		10 MW		100 MW		
		4 hr	10 hr	4 hr	10 hr	4 hr	10 hr	
Costo total de instalación del sistema de energía*	US\$/kW	[2163 - 2644]	[4111 - 5025]	[1995 - 2438]	[3832 - 4684]	[1863 - 2277]	[3595 - 4393]	
		US 2,404	US 4,568	US 2,216	US 4,258	US 2,070	US 3,994	
	US\$/kWh	[541 - 661]	[411 - 502]	[499 - 609]	[383 - 468]	[466 - 569]	[359 - 439]	
		US 601	US 457	US 554	US 426	US 517	US 399	
Costos Operativos	O&M Fijos	US\$/kW-yr	[6.11 - 7.47]	[11.5 - 14.05]	[5.65 - 6.91]	[10.77 - 13.17]	[5.3 - 6.48]	[10.17 - 12.43]
			6.79	12.77	6.28	11.97	5.89	11.30
	O&M Variables	US\$/MWh	0.5125		0.5125		0.5125	
	Pérdidas RTE del sistema (US / kWh)	US\$/kWh	0.014	0.013	0.014	0.013	0.014	0.013
Métricas de desempeño	Eficiencia de ida y vuelta	%	78%	70%	66%	70%	68%	70%
	Tiempo de respuesta	segundos	[1 - 4]		[1 - 4]		[1 - 4]	
	Ciclo de vida	#	5,201		5,201		5,201	
	Vida del calendario	Años	15		15		15	
	Duración correspondiente al ciclo de vida**	Años	15		15		15	

✓ Datos comparativos para diferentes tipos de sistemas de almacenamiento de energía

En la Figura 17 se observan los costos totales estimados para los sistemas de almacenamiento de energía instalado por tecnología para los años 2020 y 2030, sistemas de 100 MW (para los rangos de 4 horas y 10 horas). Para la comparación es importante señalar que los costos totales instalados de PSH (almacenamiento por bombeo hidráulico), CAES (almacenamiento de energía de aire comprimido) y HESS (sistema de almacenamiento de energía de hidrógeno) incluyen tarifas de contingencia, mientras que para el caso BESS (sistemas de almacenamiento de energía por batería), se incluyen las tarifas de contingencia en los costos de integración del sistema, en el EPC (ingeniería, adquisiciones y construcción) y el desarrollo del proyecto.

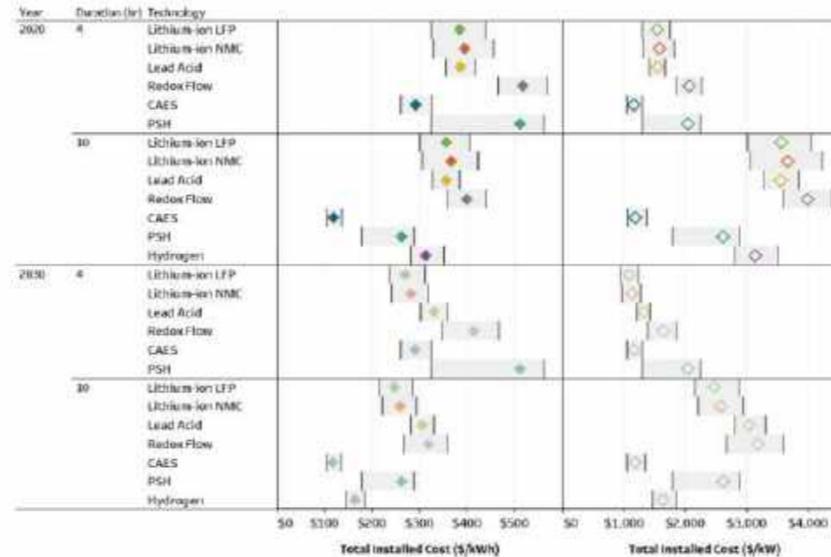


Figura 17. Comparación de los rangos de costos totales de ESS (Sistema de Almacenamiento de Energía) instalados por año y tecnología, sistemas de 100 MW (4 horas y 10 horas) (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020)

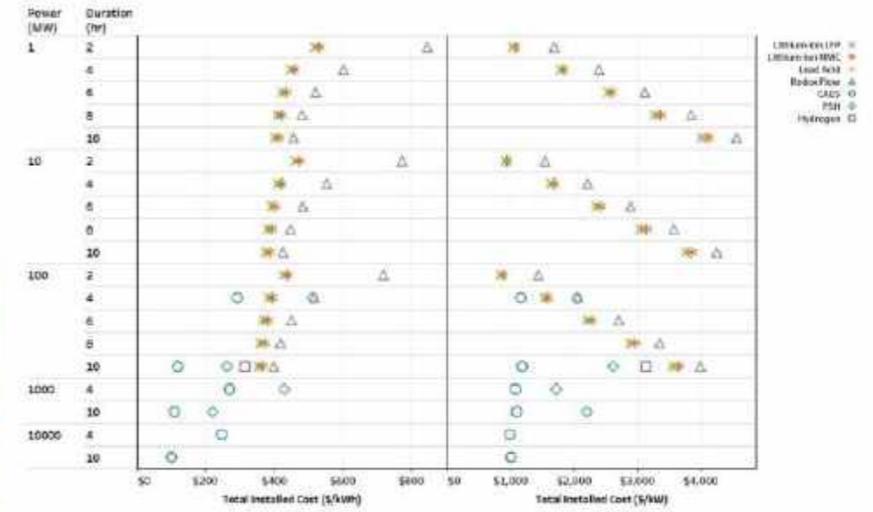


Figura 18. Comparación de los costos totales estimados de los sistemas de almacenamiento de energía por tecnología, valores de 2020 (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020)

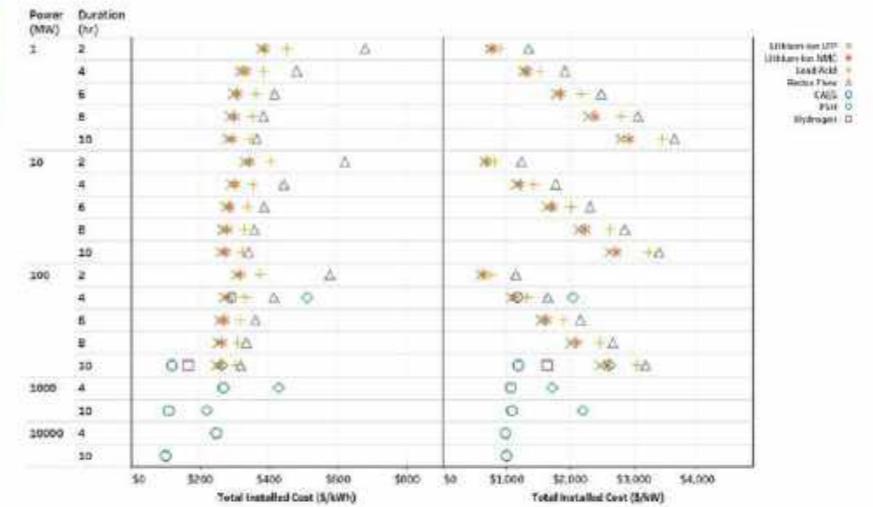


Figura 19. Comparación de los costos totales estimados de los sistemas de almacenamiento de energía por tecnología, valores proyectados para 2030 (Pacific Northwest National Laboratory - PNNL, 2020)



En la figura a continuación se busca complementar los datos presentados anteriormente, donde se muestra el porcentaje del costo total del sistema de almacenamiento de energía instalado por componente, dentro de cada una de las tecnologías, en este caso teniendo una capacidad de 100 MW por 10 horas (Pacific Northwest National Laboratory- PNNL, 2021).



Figura 20. Porcentaje del costo total de los sistemas de almacenamiento de energía instalado por componente - 100 MW, 10 horas (Pacific Northwest National Laboratory- PNNL, 2021)

✓ Reducción esperada de los costos de las baterías

Según estudios de BloombergNEF (BloombergNEF, 2020) y el DOE (DOE, 2020), en el periodo 2010 y 2018, el costo de las baterías de iones de litio tuvo una caída del 85%, y se espera que siga disminuyendo el costo a nivel general; sin embargo, sobresalen dos mercados debido al aumento en su demanda, estos son el almacenamiento fijo y el de los vehículos eléctricos.

A medida que crece el mercado del almacenamiento de energía y puntualmente la movilidad eléctrica (BEV), se han presentado solicitudes de mejorar

las condiciones, las características técnicas y la disponibilidad de los sistemas de almacenamiento de energía en el corto, mediano y largo plazo. Entre ellos se incluye la reducción de los costos de las baterías en aproximadamente un 85% en la última década debido a los avances en eficiencia y rendimiento de las tecnologías de iones de litio, así mismo se ha favorecido por el uso de tecnologías químicas a base de litio por parte de aplicaciones estacionarias y los nuevos recursos energéticos conectados a la red (DOE, 2020).

En la actualidad se observa el aumento en **actividades en desarrollo e innovación por parte de instituciones que destinan esfuerzos investigativos y recursos financieros** como el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), para aumentar la capacidad de las tecnologías de almacenamiento de energía con el objetivo de poder garantizar mejor y mayor capacidad y potencia.

En el caso de los Estado Unidos, por ejemplo, la Oficina de Tecnologías de Vehículos (VTO) de la Oficina de Eficiencia Energética y Energías Renovables (EERE), perteneciente a su vez del DOE, ha desempeñado un importante papel tanto en el desarrollo de las tecnologías de baterías para aplicaciones de vehículos eléctricos, así como en encontrar materiales y estructuras más eficientes que finalmente se ven reflejados en la reducción de costos de sistemas de almacenamiento. Durante el 2019, los costos de los paquetes de baterías basados en energía utilizable se situaron en US\$185/kWh, comparado con los más de US\$1.000/kWh alcanzados en 2008. Adicionalmente, **está trabajando en nuevas generaciones de tecnología de iones de litio como ánodos de silicón, electrolitos de estado sólido, metal de litio, entre otros, con el objetivo de poder alcanzar un costo final de US\$ 80/kWh para 2028** (DOE, 2020).

Se resalta también, el programa de desarrollo e innovación del Consorcio Batería500, que paralelamente al VTO, viene trabajando en aumentar el rendimiento (más densidad de energía y mayor tiempo de duración sin aumentar peso) de las baterías de litio empleando ánodos de litio metálico. De acuerdo con la encuesta global de precios de baterías de Bloomberg New Energy Finance (BNEF), **se encontró que en el periodo 2019 – 2020, los precios cayeron un 13%. Mientras que en el periodo 2010 – 2020, se registró una caída en los precios de los paquetes de baterías de iones de litio de un 89%, llegando a US\$137/kWh. Se espera que para 2023, los precios promedio lleguen a US\$101/kWh.** En China, por ejemplo, se registraron paquetes de baterías para autobuses eléctricos a precios promedio entre US\$100/kWh – US\$105/kWh (BloombergNEF, 2020).

Modelo de negocio

Dentro de la lectura general del entorno de los modelos de negocio en el almacenamiento de energía se pueden identificar 3 parámetros a tener en cuenta para adentrarse en un análisis, los cuales son:

1. La aplicación de una instalación de almacenamiento.
2. El papel de mercado de un inversor potencial.
3. Flujo de ingresos obtenidos por la operación.

Cuando se habla de aplicación de una instalación se hace referencia al abordaje de una necesidad particular de almacenar electricidad a lo largo del tiempo en los sistemas modernos de energía, el papel de mercado es la posición asumida en la cadena de valor de la electricidad y el flujo de ingresos es el tipo de ingreso que una instalación de almacenamiento de energía puede generar a partir de su operación.

Dentro de las aplicaciones a lo largo del negocio de energía y el almacenamiento en el mundo podemos encontrar unas muy comunes y que pueden llegar a ser implementadas en mercados latinoamericanos; como se muestra en la Tabla 11 donde se puede observar a que hace referencia cada aplicación y cuál sería el soporte o respaldo que ofrece para toda la prestación de un servicio (Felix, Gunther, & Alexander, 2020).

Tabla 11. Aplicaciones y respaldos para la prestación del servicio (Felix, Gunther, & Alexander, 2020)

Aplicación	Descripción	Respaldo
Proporcionar contención de frecuencia	El almacenamiento puede estabilizar la frecuencia y el voltaje de la fuente de alimentación que proporciona ya sea contención de frecuencia, restauración de frecuencia a corto y largo plazo, o energía reactiva para control de voltaje	El almacenamiento proporcionaría suministro de energía o demanda durante ciertos períodos de tiempo para respaldar su funcionamiento
Proporcionar a corto/largo plazo restauración de frecuencia		
Proporcionar control de voltaje		
Proporcionar energía de arranque negro	El almacenamiento puede admitir arranques negros de la red eléctrica después de un corte de energía y proporcionar energía de respaldo para salvar un corte de energía	Permitiría la disponibilidad de electricidad en todo momento a través de la provisión de suministro durante apogones, ya sea para reiniciar las operaciones de la red o para cerrar el corte de energía a los consumidores
Proporcionar energía de respaldo		
Cumplir con el pronóstico de compra	El almacenamiento puede ayudar a cumplir los pronósticos comprometidos, agregando suministro / demanda de energía cuando sea necesario, por ejemplo, durante períodos de cambios imprevistos en el perfil de demanda / generación	La instalación de almacenamiento ayudaría a cumplir con un pronóstico comprometido de compra / venta, por ejemplo, compensando cambios imprevistos en un perfil de demanda o generación
Reducir los picos de oferta/demanda	El almacenamiento puede suavizar las curvas de oferta / demanda y reducir los picos	Puede evitar la expansión de las líneas de transmisión reducir el pico de oferta / demanda en un área geográfica particular
Vender a precios altos/ Comprar a precios bajos	El almacenamiento puede mejorar los intercambios de energía comprando a precios bajos y vendiendo a precios altos, incluida la utilización del excedente de energía de una fuente renovable in situ	el propietario de una instalación de almacenamiento aprovecharía la oportunidad de explotar las diferencias en los precios de la energía vendiendo electricidad cuando los precios son altos y comprar energía cuando los precios son bajos

Teniendo clara la cadena de valor del almacenamiento de energía, y si observa desde la perspectiva de inversión o inversor, se pueden diferenciar de manera general 4 roles en el mercado que son: comercio, producción, transmisión y distribución (T&D) y consumo.

Comercio	Un inversor compraría electricidad a los productores o al mercado, y la vendería a los consumidores o al mercado
Producción	El inversor generaría y vendería energía
Trasmisión y distribución (T&D)	Un inversor sería el responsable del transporte y funcionamiento estable de la red eléctrica
Consumo	Un Inversor en consumo compraría y consumiría energía

Para las fuentes de ingresos, se pueden agrupar en tres tipos diferentes, cada uno de los cuales comprende un rango de flujos de ingresos; cuando hablamos de:

Arbitraje de precios: nos referimos a la utilización de diferenciales en los precios de la electricidad en todos los mercados al mismo tiempo o a lo largo del tiempo dentro de un mercado. El primero puede resultar de costos de transacción, como impuestos y tarifas, que se suman al precio de mercado cuando se compra la electricidad en lugar de venderse. Por ejemplo, a los consumidores residenciales generalmente se les paga menos por la electricidad que producen con sus paneles solares que alimentan a la red, de lo que pagan por obtener electricidad de la cuadrilla. Este último diferencial de precios se debe a las fluctuaciones de los precios de la electricidad a lo largo del tiempo.

Reducción de costos: describe ahorros en los costos operativos, como el aumento de la capacidad de generación de energía, o sanciones por, digamos, desviaciones en la producción de electricidad. (Felix, Gunther, & Alexander, 2020). Los costos evitados también incluyen ahorros en costos operativos para los consumidores de electricidad, tales como la rampa de una instalación de producción para un consumidor industrial o simplemente el inconveniente de cambiar el comportamiento de un consumidor residencial.

Aplazamiento de la inversión: se refiere a los ahorros que resultan de no invertir en generación alternativa o capacidad de la red.



A continuación, se presentan 28 posibles modelos de negocios, teniendo en cuenta las 3 características principales vista anteriormente; las filas muestran roles de mercado, las columnas reflejan tipos de flujos de ingresos y los recuadros especifican el modelo de negocio en torno a una aplicación.

Tabla 12. Modelos de negocio propuestos (Felix, Gurrthier, & Alexander, 2020)

	Reducción de costos	Aplazamiento de inversión	Precio de Arbitraje
Comercio	<p>Contención de frecuencia Proveer contención de frecuencia y costos evitados de aumento de cartera</p> <p>Restauración de frecuencia a corto plazo Proporcionar restauración de frecuencia a corto plazo y evitar el costo de aumentar la cartera</p> <p>Restauración de frecuencia a largo plazo Proporcionar restauración de frecuencia a largo plazo y evitar el costo de aumentar la cartera</p> <p>Previsión comercial Cumplir con el pronóstico de compra / venta y evitar sanciones por desviaciones</p>	No aplica	<p>Arbitraje comercial Comprar a precios bajos/vender a precios altos y aprovechar la volatilidad de los precios del mercado de la electricidad</p>
Producción	<p>Contención de frecuencia Proveer contención de frecuencia y costos evitados de aumento de cartera</p> <p>Restauración de frecuencia a corto plazo Proporcionar restauración de frecuencia a corto plazo y evitar el costo de aumentar la cartera</p> <p>Restauración de frecuencia a largo plazo Proporcionar restauración de frecuencia a largo plazo y evitar el costo de aumentar la cartera</p> <p>Flexibilidad de horarios Cumplir con pronósticos de venta y evitar aumento de costos</p> <p>Previsión de Producción Cumplir con el pronóstico de venta y evitar sanciones por desviaciones</p>	<p>Control de tensión Proporcionar control de voltaje y Ahorrar inversión en reguladores de voltaje</p> <p>Energía negra de inicio Proporcionar energía de arranque negro y ahorrar inversión en generador de arranque negro</p> <p>Energía de respaldo Proporciona energía de respaldo y ahorrar inversión en generador de respaldo</p> <p>Afeitado de pico Afeitar los picos de demanda y ahorra inversión en expansión de capacidad</p>	No aplica
Transmisión y distribución	<p>Contención de frecuencia Proveer contención de frecuencia y costos evitados de aumento de cartera</p> <p>Restauración de frecuencia a corto plazo Proporcionar restauración de frecuencia a corto plazo y evitar el costo de aumentar la cartera</p> <p>Restauración de frecuencia a largo plazo Proporcionar restauración de frecuencia a largo plazo y evitar el costo de aumentar la cartera</p> <p>Energía de Inicio Negro Proporcionar energía de arranque negro y evitar el costo de los servicios de restauración (Servicios auxiliares)</p>	<p>Control de tensión Proporcionar control de voltaje y ahorrar inversión en reguladores de voltaje</p> <p>Afeitado de pico Reducir los picos de oferta/demanda y ahorrar hora inversión en expansión de capacidad</p>	No aplica
Consumo	<p>Contención de frecuencia Proveer contención de frecuencia y costos evitados de aumento de cartera</p> <p>Restauración de frecuencia a corto plazo Proporcionar restauración de frecuencia a corto plazo y evitar el costo de aumentar la cartera</p> <p>Restauración de frecuencia a largo plazo Proporcionar restauración de frecuencia a largo plazo y evitar el costo de aumentar la cartera</p> <p>Afeitado de pico Afeitar los picos de demanda y evitar los cargos por demanda</p>	<p>Control de tensión Proporcionar control de voltaje y ahorrar inversión en reguladores de voltaje</p> <p>Energía de respaldo Proporcionar energía de respaldo y ahorrar inversión en generación de respaldo</p>	<p>Arbitraje de consumo Comprar a precios bajos y aprovechar la volatilidad de los precios al consumidor</p> <p>Autosuficiencia Comprar a precios bajos y aprovechar la breca en los precios de compra y venta</p>

Como se puede observar en el cuadro, los roles de mercado son cruciales para los modelos comerciales donde la misma aplicación se usa para varios aspectos y genera el mismo flujo de ingresos, como, por ejemplo, las tres aplicaciones relacionadas con la frecuencia ayudan a que los cuatro roles de mercado eviten costos. Los participantes del mercado en el comercio, la producción o el consumo evitan respectivos costos de aumentar su cartera, producción o consumo. Operadores de una red T&D evitarían los costos de los servicios de control / restauración ofrecidos por otros participantes del mercado, siempre que estén autorizados a hacerlo. Si un inversor, es decir, una persona u organización, desea proporcionar una o más aplicaciones relacionadas con la frecuencia simplemente por el precio pagado por este servicio, el inversor perseguiría eficazmente el modelo de negocio Arbitraje comercial.

Otro caso que se puede ver es el **modelo de negocio control de voltaje** que se puede aplicar a la producción, T&D o consumo, donde el inversionista en almacenamiento de energía ahorraría la inversión en un regulador de voltaje. La necesidad de respaldo de energía normalmente surge en el nivel de producción o en el nivel de consumo, donde la instalación de almacenamiento reemplazaría un generador de respaldo convencional comúnmente basado en combustible diésel (Felix, Gunther, & Alexander, 2020).

Los flujos de ingresos son decisivos para distinguir los modelos comerciales cuando una aplicación se emplea para el mismo rol de mercado varias veces. La flexibilidad de programación y el pronóstico de producción ayudan a un inversor en producción para cumplir con un pronóstico de ventas. Sin embargo, el primero evita el costo de aumentar la capacidad de producción, mientras que este último evita penalizaciones cobradas por desviaciones de la previsión. De manera similar, el arbitraje de consumo y la autosuficiencia permiten a un inversor en consumo comprar más electricidad durante periodos de precios bajos. El primero aprovecha las fluctuaciones en los precios de la energía a lo largo del tiempo, mientras que este último explota que los precios de venta de la electricidad generada con fuentes renovables propias en ocasiones están por debajo de los precios de compra de la electricidad procedente de la red. Según la literatura, los inversores pueden perseguir varios modelos de negocio con una única capacidad de almacenamiento si la regulación del mercado lo permite. Los ejemplos aplicables de modelos de negocio que se combinan con frecuencia incluyen la combinación de contención de frecuencia con restauración de frecuencia, la combinación de consumo arbitraje con Autosuficiencia, o la combinación de Contención de Frecuencia con Arbitraje de Negociación.

✓ Rentabilidad

Con la información anterior y algunos estudios del mercado, se ha observado que la rentabilidad, viabilidad o improductividad de la inversión en

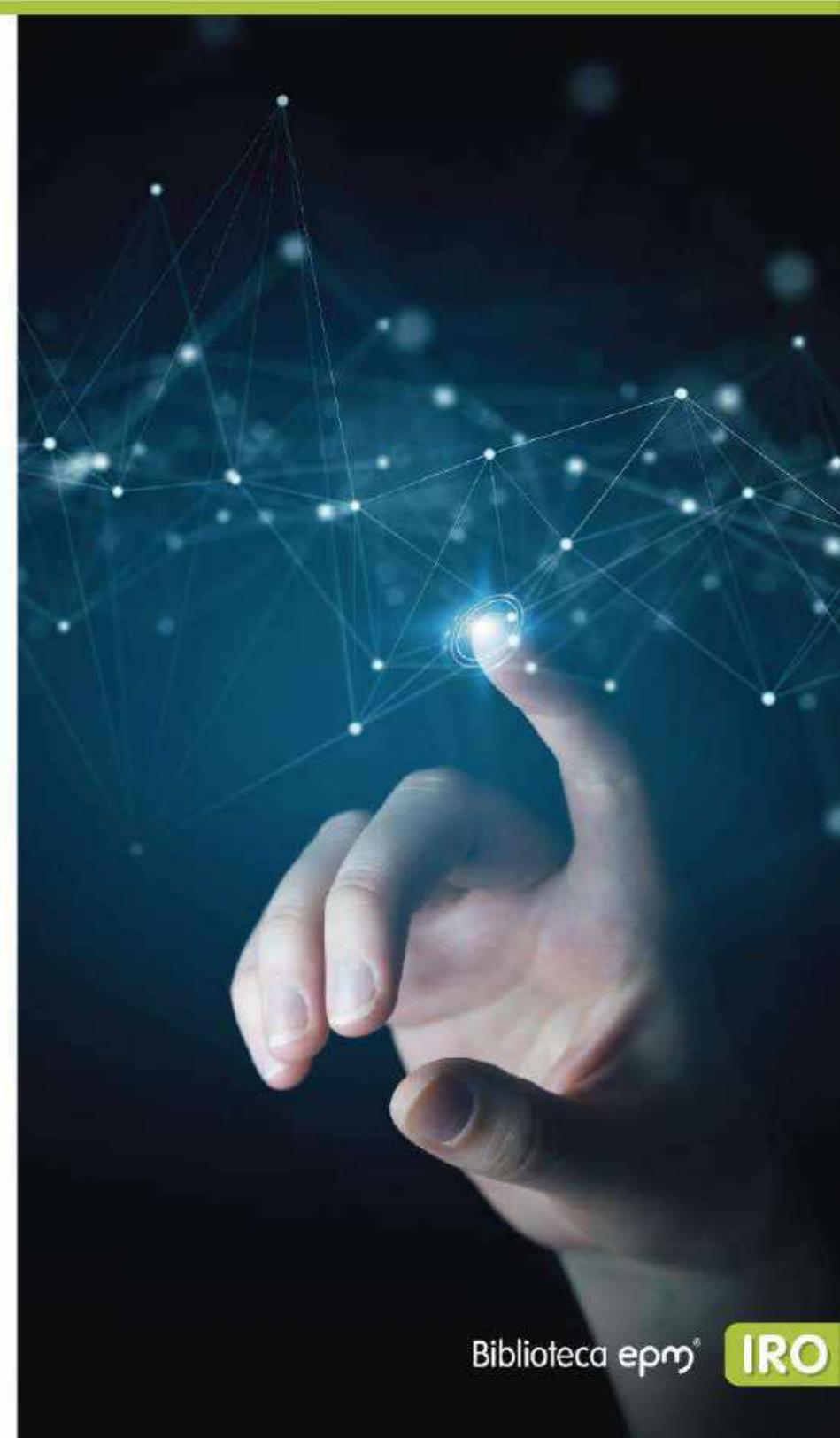
uno de los modelos de negocio, está relacionada con la tecnología que se desea emplear para dicho almacenamiento.

Antes de realizar el análisis de rentabilidad de inversión en un modelo de negocio, es preciso examinar inicialmente si una tecnología tiene la capacidad de servir al mismo; en la Tabla 12, se presentan tecnologías comunes y disponibles comercialmente para el almacenamiento de energía; estas tecnologías convierten la energía eléctrica a diversas formas, el almacenamiento térmico hace referencia a sales fundidas, para el almacenamiento mecánico, se presentan las volantes, hidroeléctrica por bombeo y almacenamiento de energía por aire comprimido CAES. El almacenamiento de productos químicos incluye supercondensadores, baterías e hidrógeno. Como ya se ha dicho, de la variedad de tecnologías de batería disponibles, se hace énfasis en las baterías de iones de litio, que recientemente han exhibido las reducciones de costos más rápidas y los mayores avances tecnológicos.

Realizando algunas comparaciones de tipo operativas, los volantes tienen una capacidad de potencia media y pueden responder espontáneamente pero comúnmente se descarga en menos de una hora. La hidroeléctrica de bombeo y CAES ofrecen actualmente la mayor capacidad de potencia y una duración de descarga sostenida, pero también requieren varios minutos para responder como formaciones geográficas apropiadas. El almacenamiento térmico responde en minutos y exhibe una capacidad de potencia media con duraciones de descarga de varias horas. Los supercondensadores pueden responder instantáneamente, pero con frecuencia muestran la menor capacidad de potencia y duración de descarga. Las baterías tienen un rango de capacidad de potencia media y duración de descarga y un tiempo de respuesta corto. Finalmente, el almacenamiento de hidrógeno puede tener una capacidad de energía relativamente grande con una larga duración de descarga, pero requiere varios minutos para responder desde un arranque en frío.

Para representar la calidad de una alternativa (viabilidad), en la Tabla 13 se emplea un esquema de semáforo, donde los colores representan:

-  **Verde:** si las capacidades de la tecnología se superponen con los requisitos de un modelo de negocio en las tres características anteriormente mencionadas.
-  **Amarillo:** si los parámetros se superponen en solo dos características
-  **Rojo:** si se superpone en una o ninguna. En la primera columna se indica la coincidencia de los modelos comerciales (∞) con las tecnologías de almacenamiento, la segunda columna representa la rentabilidad (\$) y la tercera es el número de estudios que se realizaron para examinar la rentabilidad (#).



En la primera columna se indica la coincidencia de los modelos comerciales (∞) con las tecnologías de almacenamiento, la segunda columna representa la rentabilidad (\$) y la tercera es el número de estudios que se realizaron para examinar la rentabilidad (#).

Tabla 13. Viabilidad de los modelos de negocio (Felix, Gunther, & Alexander, 2020)

Modelo de Negocio		Mecánico									Térmico			Químico								
		Volante			Hidro bombeado			CAES			Térmico			Súper capacitores			Baterías			Hidrógeno		
		∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
Comercio		∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
CA	Contención de frecuencia	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	-	∞	---	---	∞	---	1	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a corto plazo	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	2	∞	---	-	∞	---	---	∞	---	-	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a largo plazo	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	2	∞	---	-	∞	---	---	∞	---	1	∞	---	-
PA	Previsión comercial	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	---	∞	---	-	∞	---	-
	Arbitraje comercial	∞	---	2	∞	---	9	∞	---	12	∞	---	-	∞	---	---	∞	---	10	∞	---	1
Producción		∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
CA	Contención de frecuencia	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a corto plazo	∞	---	1	∞	---	2	∞	---	1	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a largo plazo	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	2	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	-
	Previsión de Producción	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	3	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	-
	Flexibilidad de horarios	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
ID	Control de Tension	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Energía de respaldo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Arranque negro de energía	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Afeitado de pico	∞	---	-	∞	---	4	∞	---	1	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	-
Transmisión y distribución		∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
CA	Contención de frecuencia	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	2	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	3	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a corto plazo	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	3	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	3	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a largo plazo	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	3	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	4	∞	---	-
	Energía de Inicio Negro	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
ID	Control de tensión	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Afeitado de pico	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	2	∞	---	1
Consumo		∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
CA	Contención de frecuencia	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a corto plazo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a largo plazo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Afeitado de pico	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	8	∞	---	-
ID	Control de tensión	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Energía de respaldo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	-
PA	Autosuficiencia	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	20	∞	---	-
	Arbitraje de consumo	∞	---	-	∞	---	1	∞	---	1	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	9	∞	---	-

CA	Reducción de costos
ID	Aplazamiento de Inversión
PA	Precio de arbitraje

Utilizando el mismo patrón de colores y haciendo referencia directamente a la columna 2 de cada tecnología según la información y los estudios analizados, se puede estimar que, si es "verde" la coincidencia, es rentable por encima de un 75%, la coincidencia "amarilla" si la proporción de estimaciones de rentabilidad esta entre el 50% y el 75% y en "rojo" si se encuentra por debajo el 50%.

El principal hallazgo es que, al examinar los modelos de negocio para el almacenamiento de energía junto con las tecnologías, resultan en gran parte poco rentables o ambiguas, ya que en la columna 2 para cada tecnología se encuentran 31 Rojas, 8 amarillas y 18 verdes, y el número medio de estimaciones por rentabilidad sería 2,7 para rojas, 4,9 para amarillo y 1,2 para verde, y en particular para las baterías 13 de los 17 modelos comerciales son rojos. (Felix , Gunther, & Alexander, 2020). También se puede observar que la tecnología con mayor rentabilidad "verde" es la hidroeléctrica por bombeo, aunque en ocasiones se ven limitadas por la disponibilidad de montañas, cuevas o la resistencia pública a los cambios en el ambiente.

Al realizar un análisis agrupando dos modelos de negocio, se puede obtener varias ventajas, dentro de las cuales se identifican 1. Mejorar la rentabilidad, 2. Permitir una instalación de almacenamiento de energía que habilite diversificar las fuentes de ingresos. Por ejemplo, para aumentar la utilización de una tecnología al reducir el tiempo de posible inactividad en un modelo de negocio con funcionamiento en otro.

En la Tabla 14 se puede observar que al combinar dos modelos de negocio se encuentra que 23 etiquetas de rentabilidad se posicionan "verde", 8 "amarillos" y 8 "rojos", las agrupaciones más frecuentes son combinaciones de consumo y T&D.

Como se observa a lo largo del desarrollo de los modelos de negocio, los estudios destacan 28 modelos basados en la evaluación integrada de una unidad de almacenamiento con el papel del mercado potencial inversor y el flujo de ingresos alcanzable de la operación del mismo, y al realizar un cruce de estos modelos con las tecnologías disponibles se puede obtener un panorama de la rentabilidad de una inversión y/o implementación de una de ellas, donde se puede inferir que las tecnologías disponibles son suficientes para realizar todos los modelos comerciales identificados. Para lograr una rentabilidad más generalizada en el negocio del almacenamiento se requerirá de un trabajo investigativo, con el propósito de mejorar los parámetros tecnológicos, operativos y regulatorios, ya que se pueden lograr reducción de costos, por ejemplo, con el uso de materiales alternativos más económicos para la fabricación de partes, metodologías operativas que busquen la eficiencia de la prestación de dicho servicio y vuelvan un mercado más rentable para la inversión.

Tabla 14. Combinación de modelos de negocio para mejorar niveles de rentabilidad (Felix , Gunther, & Alexander, 2020)

Primer modelo de negocio	Segundo modelo de negocio	Mecánico									Térmico			Químico														
		Volante			Hidro bombeado			CAES			Térmico			Super capacitores			Baterías			Hidrógeno								
		∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#			
Comercio	Comercio	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
CA	Restauración de frecuencia a corto plazo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a corto plazo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a largo plazo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
Comercio	Producción	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
PA	Arbitraje comercial	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Arbitraje comercial	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
Comercio	Transmisión y Distribución	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
PA	Arbitraje comercial	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Arbitraje comercial	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Arbitraje comercial	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
Comercio	Consumo	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
PA	Arbitraje comercial	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
Transmisión y Distribución	Transmisión y Distribución	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
CA	Contención de frecuencia	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Contención de frecuencia	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a corto plazo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a largo plazo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Restauración de frecuencia a largo plazo	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
Consumo	Consumo	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#	∞	\$	#
CA	Afeitado de Pico	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
	Afeitado de Pico	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-
PA	Autosuficiencia	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-	∞	---	-

CA	Reducción de
ID	Aplazamiento de
PA	Precio de

Integración sectorial en el almacenamiento energético para la reducción de emisiones de CO2

En la transición de un modelo energético lineal a un modelo plenamente integrado e interconectado, donde el entramado de flujos de energía entre productores y consumidores de diferentes sectores permite maximizar la eficiencia económica y energética del sistema en su conjunto y optimizar su operación, **el almacenamiento energético tiene un papel clave, por su carácter transversal a los distintos sectores y por posibilitar desacoplar generación y consumo.**

Existe una clara necesidad de catalizar un nuevo mercado para las baterías y otras soluciones de almacenamiento de energía que sean adecuadas para las redes eléctricas, para una variedad de aplicaciones en sistemas con y sin conexión a la red, y con capacidad de despliegue a gran escala y **la integración sectorial se posiciona como una de las alternativas que dan respuesta a las necesidades actuales crecientes (Secretaría de Estado de Energía, 2021).**

Cuando hablamos de **integración sectorial en el sistema energético se hace referencia a un enfoque que aborde de forma global y coherente los distintos sectores energéticos, y aproveche las sinergias entre la electricidad, el calor, el gas entes gubernamentales y sectores productivos diferentes a la prestación de servicios públicos domiciliarios (Secretaría de Estado de Energía, 2021).**

De entre todas las formas de integración sectorial habilitadas por el almacenamiento energético, se puede citar como ejemplo **la oportunidad que presenta el almacenamiento térmico para integrar sectores, incrementar la eficiencia energética y reducir las emisiones de CO2 del sistema en su conjunto.** Esto, además, no se restringe exclusivamente a sectores industriales. Por ejemplo, gran parte del consumo de la energía empleada en edificación para sistemas de calefacción, refrigeración o agua caliente sanitaria podría integrarse con sistemas de almacenamiento térmico a baja temperatura, procedente de procesos industriales geográficamente cercanos (Secretaría de Estado de Energía, 2021).

Adicionalmente, en conjunto con los sistemas de almacenamiento energético, **uno de los grandes habilitadores de la plena integración de sectores es el hidrógeno renovable, que permite, mediante el uso de electrolizadores, dar apoyo a la operación del sistema eléctrico, y que tiene un papel clave en la descarbonización de la industria.**

Sin embargo, la integración sectorial, y en particular el power to X (power to gas y power to liquid), se enfrenta a algunos retos específicos:

Reto 1



La desventaja del pionero: los desarrolladores de tecnologías de acoplamiento de sectores y gases renovables generalmente enfrentan altos costos de inversión

Reto 2



Los estándares de calidad y seguridad: los estándares desarrollados en un contexto en el que el único tipo de gas era el gas natural actualmente imponen condiciones o límites y el mercado enfrenta incertidumbre sobre la inyección segura para varios tipos de gases renovables. En este sentido, cabe mencionar que la regulación en algunos países permite una concentración en mezcla al 5% en volumen de hidrógeno procedente de fuentes no convencionales para su inyección en la red gasista (Secretaría de Estado de Energía, 2021).



✓ Líneas de acción para abordar la integración sectorial



Fomentar el hidrógeno renovable:

El hidrógeno renovable permite emplear la energía eléctrica procedente de fuentes renovables para la producción de hidrógeno limpio a través del proceso de electrólisis. Posteriormente, el hidrógeno renovable podrá emplearse en usos finales o como vector energético. En consecuencia, este producto puede contribuir potencialmente a reducir vertidos de tecnologías de generación no gestionables y a dotar de flexibilidad al sistema, al tiempo que aporta valor añadido a aquellas industrias intensivas en consumo de hidrógeno, reduciendo las emisiones asociadas al uso del hidrógeno procedente de reformado de gas natural (o también denominado hidrógeno gris). Identificando los grandes consumidores de hidrógeno, focalizados principalmente en el sector industrial, y facilitando el abastecimiento progresivo de hidrógeno de origen renovable, se fomentaría su descarbonización paulatina, al tiempo que se permite la maduración de la tecnología de electrólisis, hasta alcanzar una mayor eficiencia energética y un menor coste de instalación y operación (Secretaría de Estado de Energía, 2021).



Iniciativa pública de creación de un "clúster verde" para el desarrollo tecnológico e industrial del almacenamiento:

El clúster inicialmente puede ser abierto a la participación y con el propósito de integrar a diferentes empresas de la cadena de valor del sector energético, dando un impulso a la competitividad del tejido industrial y permitiendo, a través del uso de energías renovables y el almacenamiento energético, contribuir a la descarbonización en el ámbito de las empresas que lo conformen (Secretaría de Estado de Energía, 2021).



El potencial del desarrollo del power to X:

Los sistemas power-to-x (power to gas y power to liquid) permiten producir, a partir de electricidad, otros vectores energéticos en forma de gas o líquido donde se almacena la energía. Por ejemplo, la generación de hidrógeno renovable mediante electrólisis para su uso posterior en la industria, o para la producción de gas de síntesis, que a su vez puede ser empleado en usos térmicos, para transporte, o para su reconversión en electricidad. El proceso de electrólisis hace uso de instalaciones específicas dedicadas a su producción mediante generación renovable.



Aprovechar el liderazgo en almacenamiento térmico:

Actualmente, existe en las centrales termosolares una capacidad de almacenamiento renovable en tanques de sales fundidas que contribuye a la gestión del sistema eléctrico y a la reducción de los vertidos renovables. Esta tecnología de almacenamiento energético tiene diversas aplicaciones de integración sectorial, tales como el aprovechamiento del calor para la industria o para las redes de calor y frío, y se prevé un importante crecimiento de esta tecnología por su potencial en cuanto a los servicios que puede aportar. Los sistemas power to heat también pueden tener un papel considerable en la integración sectorial, conectando el sector eléctrico con industrias o distritos consumidores de calor (Secretaría de Estado de Energía, 2021)



A continuación, se mencionan algunos países que cuentan con alianzas e integración entre sectores y que han facilitado el desarrollo global del almacenamiento de energía, en ellos se pueden encontrar aspectos relevantes a la hora de buscar una integralidad de dicho almacenamiento a nivel país:



✓ Enfoque:

CNESA es una asociación industrial sin fines de lucro dedicada a promover la tecnología de almacenamiento de energía en China, cuenta con 4 líneas de acción las cuales son:

Investigar

CNESA mantiene la base de datos más completa de proyectos de almacenamiento de energía en China. También realiza un seguimiento de las implementaciones globales de almacenamiento de energía en todo el mundo para mantener a los miembros actualizados sobre las tecnologías y tendencias globales. El equipo de investigación de expertos está disponible para producir informes personalizados sobre sectores y temas específicos en la industria del almacenamiento de energía.

Asociaciones

CNESA organiza cada año la conferencia y exposición de almacenamiento de energía más actualizada de China. El evento es la mejor oportunidad del año para que los socios chinos e internacionales forjen asociaciones y conozcan las últimas tendencias en tecnología e industria.

Foro De La Industria Bimestral

Los miembros de CNESA obtienen acceso a los foros bimensuales de la industria que se llevan a cabo en Beijing. Los asistentes se reúnen con los principales legisladores y líderes de la industria responsables de dar forma al mercado de almacenamiento de energía de China para discutir las últimas tendencias.

Abogacía

Trabajan con funcionarios gubernamentales y operan proyectos piloto para mostrar por qué el almacenamiento de energía tiene sentido (China Energy Storage Alliance, 2019).

✓ Miembros:

Batería de flujo:

- W
- ZBEST
- ZDFH
- MN Energy Storage System
- HD
- Prudent Energy VRB System
- Rongke Power
- Sumitomo Electric
- Samrt Energy

Batería de iones de litio:

- Panasonic
- Pearson
- SAC
- Samsung SDI
- SAFT
- Menshine
- Hanloon
- LG Chem
- TSE Wegotse
- Hitachi Inspire de Next
- ZTT
- Uzenergy
- Yinlong Energy
- GB System
- E Power Energy
- Citic Goan MGL
- A123 System
- JD
- China Aviation Lithum Battery
- Pride
- CATL

Almacenamiento de energía de aire compartido:

- MAN
- IET

Pilas de combustible / Hidrógeno:

- MCPhy Energy
- CASC
- Precitone
- Pearl Hydrogen
- Wholw Win
- Nowogen

BMS / PCS:

- Hyper Strong
- ABB
- PW
- KLNE We Love Sunshine
- Sound Power
- JJE
- CPS Chint Power Systems
- Soaring
- Sunbird
- Parker
- NR Electric
- Sungrow

Nani / Térmico / NAS

- GE
- Today
- CGTE
- NGK
- Air Liquide
- Rayspower

Soluciones integradoras de almacenamiento de energía

- Ray Power
- Hanergy
- Alpha-ESS
- East Environment Energy
- TE
- Windmagics
- QunLing Energy Resources
- Suntech
- TB&A
- Etchwin
- Blue Solar
- NEC

Socios globales

- CESA
- GESA
- IESA
- Australian Energy Storage Alliance
- Energy Storage Association
- SC Energy
- BVES
- Clean Energy Council
- NEDO
- Dena
- US. Departement of Energy
- EASE



Energy Storage Alliance In India - IESA
País: India



✓ Enfoque:

Es la principal alianza que se centra en el progreso del almacenamiento de energía avanzado, el hidrógeno verde y las tecnologías de movilidad eléctrica en la India; han estado a la vanguardia para **contribuir al desarrollo de marcos de políticas habilitantes para la adopción de tecnologías de almacenamiento de energía**. Cuentan con miembros de todas las verticales de la industria que abarcan el almacenamiento de energía y fabricantes de vehículos eléctricos, infraestructura de carga, institutos de investigación y universidades, empresas de energías renovables, hidrógeno verde, microrredes, empresas emergentes y empresas de electrónica de potencia. Recientemente, uno de los logros de la Unionxxz Cabinet fue la aprobación del Esquema de Incentivo Vinculado a la Producción (PLI) del cual, la batería de Celdas de Química Avanzada (ACC) ha sido aprobada con un desembolso financiero de INR 18.100 millones de rupias. Los automóviles y los componentes de automóviles han sido aprobados por INR 57,042 millones de rupias (India Energy Storage Alliance, s.f.).

✓ Miembros:

- Australian Energy Storage Alliance
- Assocham
- BVES - CESA - EASE
- American Energy Society
- Alliance For Energy Efficient Economy
- CNESA
- BTC
- EESL
- ESA Energy Storage Association
- Energy Storage Canada
- Gesa Global Energy Storage Alliance
- IESA Irish Energy Storage Association
- NAAT BATT International
- Greenstay Making Green Happen
- IESA India Electronics and Semiconductor Association
- NSEFI Making Solar Energy Affordable
- TE Silicon Valley
- IEEMA
- IGEF
- NYBES+ New York Battery and Energy Storage
- US India Business Council



U.S. Energy Storage Association
País: Estados Unidos



✓ Enfoque:

La Asociación de Almacenamiento de Energía de EE. UU. ("ESA") es la asociación comercial nacional dedicada al almacenamiento de energía, que trabaja hacia una red eléctrica más resistente, eficiente, sostenible y asequible, como lo permite el almacenamiento de energía. Con más de 200 miembros, la ESA representa a un grupo diverso de empresas, incluidos productores de energía independientes, empresas de servicios eléctricos, empresas de servicios energéticos, financieras, aseguradoras, bufetes de abogados, instaladores, fabricantes, proveedores de componentes e integradores involucrados en la fabricación, implementación y operación de energía, sistemas de almacenamiento en todo el mundo (Energy Storage Association, 2021). Además, los miembros trabajan con todo tipo de tecnologías y químicas de almacenamiento de energía, que incluyen iones de litio, plomo-ácido avanzado, baterías de flujo, zinc-aire, aire líquido, aire comprimido y bombeo hidroeléctrico, entre otros. La organización representa un amplio espectro de tecnologías de almacenamiento de energía, que incluyen energía hidráulica mecánica, térmica, electroquímica y de bombeo.

✓ Objetivos principales

1. El almacenamiento de energía sirve como un catalizador central para modernizar y crear una red más confiable y resistente, eficiente, sostenible y asequible.
2. Debe haber una competencia abierta y justa entre todos los participantes del mercado, incluidos los proveedores externos y los servicios públicos, en la red y detrás del medidor, para implementar proyectos de almacenamiento de energía rentables y de alta calidad que beneficien a los consumidores. Esto requiere un acceso justo a los datos y la interconexión de todos los participantes para facilitar un campo de juego equitativo para la competencia.
3. El valor total proporcionado por el almacenamiento de energía debe reconocerse en los mercados y las estructuras regulatorias, y las barreras para la integración del almacenamiento de energía deben eliminarse a nivel de transmisión, distribución y consumo (Energy Storage Association, 2021).

✓ Miembros:

- Battery Council
- CESA California Energy Storage Alliance
- Consortium Energy Innovation
- EEI Edison Electric Institute
- Energy Storage Canada
- Able GRD
- Black Rock
- CON Edison Battery Storage
- Samsung SDI
- Doosan
- Duke Energy
- EDF Renewables
- EnCAP Investments L.P.
- EOS - Fluence - GE
- Google
- Highview Power
- East Point Energy
- Key Capture Energy
- Largo Clean Energy
- LG Energy Solution
- Lockheed Martin
- McCarthy
- Mortenson
- Shell - AES
- 174 Power Global
- 8Minute
- AE Advance Energy
- Agilitas Energy
- Amazon
- Ameresco
- Factory American Battery
- American Fire Technologies
- Ares
- Broad Reach Power
- California ISO
- Call 2 Recycle
- Catalyze
- CEA Clean Energy Associated
- Clean Peak Power
- Citizens Energy Corporation
- Clean Energy Counsel
- Clean Capital



✓ Enfoque:

CESA es la voz definitiva del almacenamiento de energía en California. Con más de 100 miembros, promueve el papel del almacenamiento de energía en el sector de la energía eléctrica. CESA es un grupo de defensa basado en membresías, **es neutral en cuanto a tecnología y modelo de negocio y se apoya únicamente en las contribuciones y actividades coordinadas de sus miembros** (California Energy Storage Alliance, s.f.).

La organización reúne todo el ecosistema de almacenamiento de energía, **creando diálogos y espacios para que los compradores se reúnan con proveedores y desarrolladores de soluciones tecnológicas y, en última instancia, conduzcan a la negociación, asimismo, crea condiciones de mercado que permiten oportunidades de adquisiciones que tienen sentido financiero y de ingeniería para los miembros interesados.** Brinda educación a los tomadores de decisiones clave a través de eventos y foros públicos para que puedan generar un éxito rentable para los desarrolladores. También crea actores del almacenamiento de energía en jurisdicciones clave, incluidas las tres principales empresas de servicios públicos de propiedad de inversores de California (IOU): Pacific Gas & Electric, San Diego Gas & Electric y Southern California Edison (SCE), así como organismos públicos como la Comisión de Servicios Públicos de California y la Legislatura de California.

CESA ha hecho del almacenamiento conectado a la red un área de enfoque líder para California y más allá. Los legisladores de California ahora comprenden el tremendo papel que puede desempeñar el almacenamiento de energía para optimizar el sistema de energía eléctrica (California Energy Storage Alliance, s.f.).

✓ El trabajo de política de CESA se basa en los siguientes principios:

1. Apoya y promueve todas las formas de almacenamiento de energía.
2. Fomenta y ayuda activamente a promover un mercado competitivo y transparente.
3. Promueve y practica activamente el compromiso colaborativo y constructivo con todas las partes interesadas y, en particular, con los campeones clave del almacenamiento de energía.

✓ Logros obtenidos:

- **La organización ayudó a expandir de manera importante las oportunidades de mercado a niveles históricos en California.**

- El Ayuntamiento de Glendale aprobó los planes del Departamento de Agua y Energía de Glendale para reemplazar una parte significativa de los planes originales de repotenciación con 75 MW de almacenamiento y 12,8 MW de recursos solares residenciales más almacenamiento.

- **SCE anunció la adquisición de 81 MW de almacenamiento de energía para abordar múltiples necesidades, incluido el alivio de la escasez de gas natural, el suministro de capacidad local en Moorpark y el apoyo para la resiliencia de la red en las áreas de Goleta-Santa Clara. Además, anunció la adquisición de 100 MW de almacenamiento de energía para abordar la necesidad de capacidad local en Moorpark que reemplaza las retiradas de plantas de combustibles fósiles.**

- Las CCA (Community Choice Aggregate) de Silicon Valley y Monterey Bay adquirieron 85 MW de almacenamiento combinados que se mezclan con energía solar (California Energy Storage Alliance, s.f.).

- East Bay CCA adquirió 20 MW de almacenamiento de energía como parte de la Iniciativa de Energía Limpia de Oakland en colaboración con PG&E para garantizar la confiabilidad de la transmisión.

- Todas las LSE (Entidades de servicio de carga) deberán adquirir al menos 3300 MW entre 2021 y 2023 para abordar las deficiencias de capacidad de RA (adecuación de recursos) del sistema.

- Tasas de incentivo para el Presupuesto de capital del Programa de incentivos de autogeneración (SGIP) revisado al alza para apoyar a los clientes de bajos ingresos y desfavorecidos y un nuevo Presupuesto de resiliencia de capital de \$100 millones establecido para respaldar las necesidades de resiliencia de los clientes.

- La normativa SB 676 (Bradford) se aprobó con el apoyo de CESA para establecer objetivos que se alcanzarán entre 2025 y 2030 para la integración de la red de vehículos eléctricos. Además, la SB 49 (Skinner) se aprobó con el apoyo de CESA para desarrollar estándares para electrodomésticos y edificios a fin de facilitar la gestión de la carga, incluidas las tecnologías de integración de la red, como el almacenamiento (California Energy Storage Alliance, s.f.).

- El Mecanismo de Subasta de Respuesta a la Demanda (DRAM) fue aprobado por una extensión de \$14 millones por año hasta 2022 que probará cómo la respuesta a la demanda operada por terceros y el almacenamiento de energía pueden proporcionar capacidad del sistema, local o flexible.

✓ CESA ayudó a California a reconocer y aumentar el valor del almacenamiento de energía:

- Participa activamente en los esfuerzos de modelado en la Comisión de Servicios Públicos de California (CPUC) para modelar y valorar adecuadamente el almacenamiento de energía, con más de 11,000 MW de almacenamiento de batería identificados como necesarios hasta 2030 para lograr los objetivos de descarbonización del estado, en comparación con los 2,000 MW identificados en la cartera anterior de sistemas preferidos 2017-2018.

- Modelar y promover el valor de la capacidad de las soluciones de almacenamiento adicional, lo que obliga a la CPUC a establecer una metodología provisional para respaldar los recursos híbridos en solicitudes competitivas.

- Abogó con éxito para que las empresas de servicios públicos sean dirigidas a realizar modelos relacionados con la capacidad en el programa RPS (Estándares de cartera renovable) para emparejamiento de almacenamiento de 1, 2 y 4 horas (California Energy Storage Alliance, s.f.).

- Adoptó nuevos requisitos de reducción de emisiones de Gases de efecto invernadero (GEI) que alinearon los sistemas de almacenamiento financiados por el Programa de incentivos para la autogeneración (SGIP) con los objetivos de GEI y, al mismo tiempo, equilibraron otros objetivos de transformación del mercado y de apoyo a la red que funcionan para diferentes tipos de proyectos de almacenamiento y clientes.

- Términos de contratación moldeados para el almacenamiento para proporcionar aplazamiento de distribución y aplicaciones de uso múltiple.

- Abogado por vías dinámicas basadas en el rendimiento para participación del almacenamiento térmico en SGIP (California Energy Storage Alliance, s.f.).

- CESA ayudó a reducir las barreras para el almacenamiento de energía. Se aseguró de que las barreras de interconexión de distribución mayorista sean justas y razonables. Vías optimizadas y aprobadas para interconexiones emparejadas con la política de medición de energía neta (NEM).

- Propuestas para la interconexión de vehículo a X (red, hogar, edificio) bajo la Regla 21 para proporcionar capacidades de almacenamiento móvil.

- Desarrollar herramientas de gestión de recursos de almacenamiento en CAISO (Operador de Sistema Independiente de California) para permitir una mejor participación en el almacenamiento, incluso para el almacenamiento como activos de transmisión (California Energy Storage Alliance, s.f.).



Australian Energy Storage Alliance
País: Australia



✓ **Enfoque:**

Australian Energy Storage Alliance (AESA) es un centro de información para la industria del almacenamiento de energía. Comparte las últimas noticias, desarrollos, estudios de casos y soluciones de almacenamiento de energía listas para la implementación. Involucra y conecta a sus lectores a través de boletines electrónicos mensuales y eventos de redes patrocinados.

AESA se fundó en 2014 con la misión de promover el papel del almacenamiento de energía seguro, limpio y rentable en Australia y Nueva Zelanda. El Comité Directivo voluntario guía la dirección de AESA, incluido su proyecto más grande: la base de datos australiana de almacenamiento de energía (Australian Energy Storage Alliance, 2016).

Los suscriptores de AESA provienen de una amplia gama de industrias como:

- Utilities
- Fabricantes
- Representantes de políticas gubernamentales
- Finanzas e inversiones.
- Proveedores y prestadores de servicios

La Australian Energy Storage Alliance (AESA) busca comprometerse con las partes interesadas e inversores para el despliegue de soluciones de almacenamiento de energía seguras y efectivas, lo que permite una mayor integración de la energía renovable a nivel de la red y fuera de la red. AESA también trabaja para el avance de microrredes urbanas y remotas, y promueve la adopción de vehículos eléctricos para la importante transición hacia una economía con bajas emisiones de carbono (Australian Energy Storage Alliance, 2016).

✓ **Miembros:**

- Century Yuasa
- ECOULT Energy Storage Solutions
- Energy Synapse
- Hydrostor
- LG Chem
- Selectronic
- R Phillip Riley

En la Tabla 15, se puede observar de forma resumida cuales han sido los diferentes sectores que podrían articularse y servir como apoyo mutuo en el desarrollo, avance e implementación del negocio de almacenamiento de energía y lograr propósitos comunes como la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) y cumplir los objetivos de descarbonización de la red eléctrica.

El despliegue de las tecnologías de almacenamiento debe realizarse con un enfoque integral en la sostenibilidad, analizando sus potenciales impactos a lo largo de todo el ciclo de vida de dichas tecnologías, incluyendo impacto medioambiental y la huella de carbono, y minimizándolos, lo que complementa la integración sectorial al driver medioambiental que se desarrolla a continuación.

Tabla 15. Integración Sectorial, Fuente: Elaboración Propia

Integración sectorial	¿Quiénes participan?	Empresas de Energía Empresas Eléctricas Entidades Financieras Centros de Innovación	Aseguradoras Bufetes de abogados Fabricantes Gobiernos locales	Academia Startups Industria Gobiernos Internacionales
	¿Qué hacen?	Patrocinan Investigan Ofertan Propuestas legislativas	Perfilan mercados Informan Transferencia tecnológica	Foros y Eventos Mediadores de acuerdos económicos
	¿Cuál es el enfoque?	Investigación consultoría Brindar información	Participación conjunta en proyectos Desarrollo de proyectos piloto	Academia Startups Industria Gobiernos Internacionales
	¿Qué logros han obtenido?	Reformas normativas Reestructuración tarifaria Ampliar horizontes de servicios	Crear condiciones óptimas del mercado Aunar esfuerzos para reducción de GEI y CO2	

CAPÍTULO 4

Aspectos normativos y regulatorios

- Incentivos y subvenciones para la implementación de sistemas de almacenamiento
- Incentivos para las Fuentes de Energía No Convencionales
- Decretos reglamentarios de la Ley 1715 y regulación secundaria
- Almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala
- Almacenamiento de energía eléctrica a gran escala
- Tipos de tarifas horarias aplicadas al sector residencial
- Normatividad para la disposición final de baterías en Colombia



Ideas clave

- ✓ En Colombia empiezan a evidenciarse cambios significativos para enfrentar la transición energética. A nivel de reglamentación, en 2014 se promulgó la Ley 1715, la cual determina las políticas para la adopción de FNCER, convirtiéndose en el eje estratégico para el desarrollo de las tendencias que hoy observamos en materia de energía renovable y eficiencia energética.
- ✓ El decreto MME 1623 de 2015 establece los lineamientos de política para promover la creación de micro-redes como solución a problemas de cobertura del servicio en áreas aisladas, las cuales están en principio, en cabeza de los Operadores de Red. **Este decreto establece que los distribuidores puedan implementar programas de electrificación basados en micro-redes, para lo cual pueden hacer uso de los fondos destinados para ello** (Alejandro Gutiérrez, 2020).
- ✓ En Almacenamiento de energía eléctrica a gran Escala, la CREG emitió la Resolución 098 de 2019 (CREG, 2019), la cual define los mecanismos para incorporar sistemas de almacenamiento con el propósito de mitigar inconvenientes presentados por la falta o insuficiencia de redes de transporte de energía en el Sistema Interconectado Nacional.
- ✓ Se ha identificado que en América Latina se aplican de forma general tarifas planas o por bloques crecientes y de forma excepcional, las estáticas de Tiempo de Uso ToU. Es importante anotar que, no es usual mezclar Bloques de Tarifa Creciente (IBP) con las ToU, ya que éstas últimas buscan reflejar los costos económicos de prestar el suministro en cada bloque horario (Estudios Energéticos Consultores, 2020).
- ✓ Según el informe de convocatoria pública, publicado por la UPME el 29 de mayo del 2020 sobre la **disposición final**, manifiesta que el Inversionista de la presente convocatoria pública deberá contar con un plan que contenga todos los aspectos relacionados con la disposición final de los Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica con Baterías (SAEB) objeto de la presente convocatoria pública, el cual se deberá ajustar a los estándares internacionales sobre la materia y a las exigencias de la licencia ambiental y los demás permisos asociados. Dicho plan debe ser sometido a revisión de la Interventoría al menos dos (2) meses antes de la puesta en servicio de las obras objeto de la presente convocatoria pública (CREG, 2020).



Incentivos y subvenciones para la implementación de sistemas de almacenamiento

En Colombia empiezan a evidenciarse cambios significativos para enfrentar la transición energética. A nivel de reglamentación, en 2014 se promulgó la Ley 1715, la cual determina las políticas para la adopción de FN CER, convirtiéndose en el eje estratégico para el desarrollo de las tendencias que hoy observamos en materia de energía renovable y eficiencia energética (García & Gutiérrez, 2021). Ministerio de Minas y Energía en el 2018, con la Resolución 40072 estableció el marco de referencia para la implementación de Infraestructura en Medición Avanzada (AMI) en el Sistema Interconectado Nacional. Por su parte, la Comisión de Regulación de Energía y Gas, mediante las resoluciones 024 de 2015 y 030 de 2018, definió las condiciones de participación de los usuarios autogeneradores a pequeña y gran escala de la mano con la generación distribuida (aquella con capacidad menor o igual a 100 kW y conectada directamente al sistema interconectado); asimismo, mediante la resolución 038 de 2018 definió lo relativo a la actividad de autogeneración en Zonas no Interconectadas, todo lo anterior se puede considerar como grandes pasos a una transición energética en el país (García & Gutiérrez, 2021).

Por su parte, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) publicó el estudio "Smarts Grids Colombia: Visión 2030", en el que se plasma una **hoja de ruta para el desarrollo de los recursos energéticos distribuidos en el país**. En 2019, el Ministerio de Minas y Energía, acogiendo la directriz del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2020 (Ley 1955 de 2019), promulga la resolución 40715, mediante la cual establece que por lo menos el 10% de la energía

comprada en el mercado mayorista para atender a los usuarios regulados debe provenir de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FN CER), lo cual es un incentivo para impulsar los proyectos de dichas fuentes (García & Gutiérrez, 2021).

Así mismo, se realizó la segunda subasta de contratos de largo plazo de energía eléctrica, para un período de suministro de 15 años, el cual comienza el primero de enero de 2022, admitiendo solo proyectos de energía renovable. Esta subasta tuvo como resultado la asignación de 10.186 MWh-día, obteniendo un precio promedio de 95,65 COP/kWh. Los proyectos asignados corresponden en un 17,39% a generación solar fotovoltaica y un 82,61 a generación eólica (García & Gutiérrez, 2021).

Otro punto importante en el progreso y desarrollo de la regulación en el sector eléctrico colombiano fue la emisión de la resolución CREG 098 de 2019, la cual establece y define los mecanismos para incorporar sistemas de almacenamiento con el propósito de mitigar inconvenientes presentados por la falta o insuficiencia de redes de transporte de energía en el Sistema Interconectado Nacional. En junio de 2019, la UPME publicó los prepliegos correspondientes a un sistema de almacenamiento para aliviar congestiones en el área del Atlántico, convirtiéndose en el primer proyecto de este tipo en Latinoamérica (García & Gutiérrez, 2021).

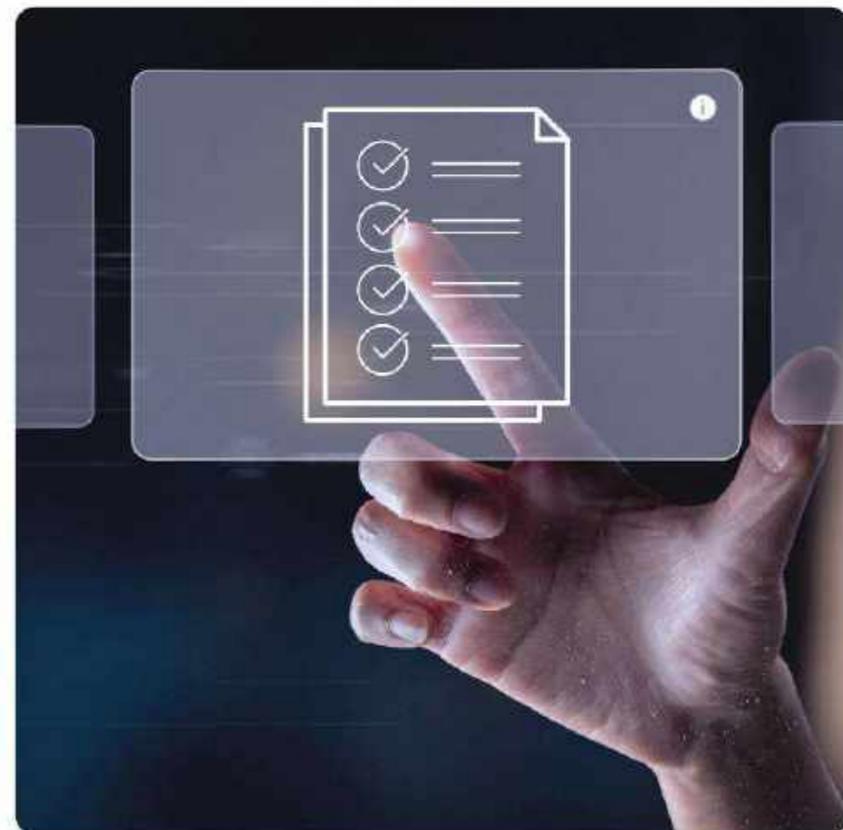
Con el fin de contar con una matriz energética con características de complementariedad y resiliencia, para incentivar la implementación de las FN CER y disminuir las emisiones de carbono; se redactó el artículo 296 de la Ley 1955 de 2019 el cual establece:



Artículo 296. Matriz Energética. En cumplimiento del objetivo de contar con una matriz energética complementaria, resiliente y comprometida con la reducción de emisiones de carbono, los agentes comercializadores del Mercado de Energía Mayorista estarán obligados a que entre el 8 y el 10% de sus compras de energía provengan de fuentes no convencionales de energía renovable, a través de contratos de largo plazo asignados en determinados mecanismos de mercado que la regulación establezca. Lo anterior, sin perjuicio de que los agentes comercializadores puedan tener un porcentaje superior al dispuesto en este artículo (Ministerio de Minas y Energía, 2019).

A partir de lo establecido en esta Ley, el Ministerio de Minas y Energía publicó la Resolución 0715 de septiembre 10 de 2019, que en su artículo 4 reglamenta la nueva obligación de los agentes comercializadores; a continuación, se presentan aspectos importantes de esta resolución:

- ✓ Al menos el 10% de la energía comprada en el mercado mayorista para atender a los usuarios regulados debe provenir de fuentes de energía renovables no convencionales.
- ✓ La energía debe ser adquirida mediante contratos de largo plazo de duración igual o superior a 10 años, registrados ante el Administrador del Sistema de Intercambios Comerciales -ASIC- (hoy en cabeza de XM).
- ✓ Los contratos de largo plazo podrán ser celebrados por cualquiera de los mecanismos actualmente vigentes para ello; es decir, las subastas de que trata el Decreto 0570 de 2018 (explicado más adelante) o los mecanismos de contratación para la atención del mercado regulado definidos por la CREG.
- ✓ Esta obligación solo será exigible anualmente a partir del año 2022 (Ministerio de Minas y Energía, 2021).



Incentivos para las Fuentes de Energía No Convencionales



Tabla 16. Incentivos Ley 1715 de 2014 (Gutiérrez & García, 2020)

Como ya se mencionó, la Ley 1715 de 2014 tiene como objetivo promover el desarrollo y uso de fuentes de energía no convencionales, principalmente de carácter renovable, en el sistema energético nacional, también la participación a sectores aislados y otros usos energéticos. Esta ley es un medio necesario para el desarrollo económico, sostenible, y de ayuda a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, asimismo puede brindar apoyo para garantizar el suministro de la energía, también, establece en términos de incentivos tributarios, la deducción en el impuesto a la renta, exclusión de IVA, exención de gravámenes arancelarios y depreciación acelerada.

Para una representación precisa de los incentivos y los requisitos para acceder a dichos incentivos se puede analizar el informe llamado "Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014" además hay que tener en cuenta la modificación de dicha ley, con el objetivo de modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía, la reactivación económica del país y dictar normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible, esta ley es la No. 2099 del 10 de julio de 2021. (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Artículo	Beneficio	Concepto	Límite	Requisitos
11	Renta	Gasto en I+D o inversión, en producción o utilización de fuentes de energía no convencional, podrá deducirse hasta el 50% del valor total de inversión por quince (15) años consecutivos en el impuesto de renta, siempre que sea contribuyente de este impuesto (modificación LEY No. 2099 10 JUL2021)	La deducción no podrá superar el 50% de la renta líquida gravable antes de restar el gasto	Certificación de la UPME, según lo establecido en el Decreto MHCP 829 de 2020. -Si la inversión es bajo leasing, debe ser financiero con opción de compra irrevocable
12	IVA	Toda adquisición de equipos o maquinaria nacional o importada para la producción o utilización de FNCE en la etapa de preinversión o inversión, estarán exentos de IVA	100% del impuesto a pagar	Equipos y Maquinaria certificados por la UPME (Resolución UPME 703 de 2018 y Decreto MHCP 829 de 2020). La Ley 1955 de 2019 (Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022, art. 180) establece la inclusión de los módulos solares, los inversores y los controladores, en el listado del artículo 424 del Estatuto Tributario (exclusión de IVA)
		Servicios necesarios para la producción o utilización de FNCE en la etapa de preinversión o inversión no causarán IVA		Equipos y Maquinaria certificados por la UPME (Resolución UPME 703 de 2018 y Decreto MHCP 819 de 2020)
13	Arancel	Toda persona natural o jurídica que importe maquinaria, equipos, materiales e insumos para la preinversión o inversión en nuevos proyectos en FNCE, estarán exentos de pagar derechos arancelarios	100% de los derechos arancelarios	Productos extranjeros que solo puedan adquirirse mediante importación. Procedimiento: Decreto MHCP 829 de 2020
14	Renta/contable	Se podrá depreciar de manera acelerada, los equipos, maquinaria y obras civiles necesarias para la preinversión, inversión y operación de la generación con FNCE	Hasta un 20% del valor en libro cada año	Hasta un 20% de la tasa anual de depreciación Artículo 196 y 197 del Estatuto Tributario. Procedimiento: Decreto MHCP 829 de 2020

Decretos reglamentarios de la Ley 1715 y regulación secundaria

La Ley 1715 de 2014 da los lineamientos para incentivar la incorporación de fuentes de energía no convencionales, pero no establece el detalle de cómo estos lineamientos pueden convertirse en acciones sintetizadas. A partir de la vigencia de la ley, se han emitido numerosos decretos, reglamentaciones ministeriales y resoluciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que han dado lineamientos claros sobre rutas e incentivos, los cuales definirán en gran medida la adopción de las fuentes renovables no convencionales en Colombia.

A continuación, se mencionan los aspectos más relevantes del decreto del Ministerio de Minas y Energía (MME) 2469 de 2014 en el cual se establecen los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración sobre las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), determinando los lineamientos para que la CREG defina los aspectos operativos y comerciales de participación de los autogeneradores en el mercado energético, en particular establece criterios para éstos a Gran Escala y más importante aún, define los parámetros para que un consumidor sea considerado autogenerador. Estos criterios definirán los modelos de participación en el mercado y determinarán en gran medida la penetración de las energías renovables como recursos distribuidos, a continuación, se resumen:

Para ser un Autogenerador en Colombia, según el informe "Fuentes de Energía Renovable, Recursos Energéticos Distribuidos y Almacenamiento en Colombia: una revisión de la normatividad" (García & Gutiérrez, 2021), se debe cumplir lo siguiente:

- ✓ La energía eléctrica producida debe entregarse en las redes internas del consumidor, sin necesidad de utilizar redes de distribución o transmisión públicas.
- ✓ El excedente que puede ser entregado a la red no tiene límite alguno.
- ✓ Los activos de generación pueden ser de propiedad del consumidor o de terceros. Asimismo, la operación de dichos activos puede ser desarrollada por el consumidor o por terceros.
- ✓ El Autogenerador a Gran Escala (resolución UPME 281 de 2015: la autogeneración a gran escala es aquella cuya capacidad instalada es superior a 1 MW) debe ser representado por un generador registrado en el Sistema de Intercambios Comerciales – SIC – para la venta de excedentes a la red pública. En este sentido, los excedentes de autogeneración hacen parte del portafolio de generación del agente generador que lo representa ante el mercado. Asimismo, establece los siguientes lineamientos para la Autogeneración a Gran Escala:
 - ✓ Los Autogeneradores a Gran Escala deben tener condiciones similares de participación en el mercado (venta de excedentes) a aquellas aplicables a los generadores, en relación con las cantidades de energía entregadas a la red. Además, incluye las condiciones de participación en el Cargo por Confiabilidad.
 - ✓ Estos Autogeneradores deben suscribir un contrato de respaldo por la disponibilidad de la red.
 - ✓ La UPME define el límite para ser Autogenerador a Pequeña Escala. Este límite no puede ser superior al del despacho central (actualmente en 1 MW – Resolución CREG 096 de 2019) (Gutiérrez & García, 2020).



Almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala

Si el almacenamiento de energía se usa posteriormente al medidor, tanto para el consumidor final como para el generador, no se requiere ajuste en la normatividad. En la experiencia, se recomienda no crear las condiciones para estos servicios y así, las empresas involucradas puedan desplegar de manera competitiva y sin obstáculos dichos proyectos de almacenamiento, sin embargo, cuando estos sistemas se utilizan en combinación con redes de distribución, su operación puede requerir regulación técnica y comercial, dado que, dependiendo de su tamaño, pueden afectar tanto el funcionamiento del sistema al que están conectados como las transacciones comerciales de sus propietarios, lo anterior no implica que la conexión de un sistema de almacenamiento a una red de distribución se considere perjudicial para las operaciones o para el mercado, pero deben tener en cuenta determinadas condiciones de funcionamiento para no comprometer la fiabilidad de la oferta ni dar lugar a situaciones de posición dominante de revendedores integrados verticalmente (Gutiérrez & García, 2020).

Las micro-redes son facilitadoras y deben tenerse en cuenta, para el almacenamiento de energía eléctrica en pequeña escala, hay que resaltar que sus aplicaciones pueden potenciar muchos modelos transaccionales, así como una participación realmente activa de los generadores y consumidores (prosumidores) en el mercado eléctrico, aunque son un tema en exploración en el sistema colombiano. A la par, pueden facilitar la solución a problemas de cobertura de electricidad cuando se da la integración de sistemas de generación de energía renovable no convencional y del almacenamiento, sin embargo, ya hay inicios de alguna reglamentación que puede facilitar su desarrollo y más que eso, su uso para resolver problemas reales del sector, de esta manera:



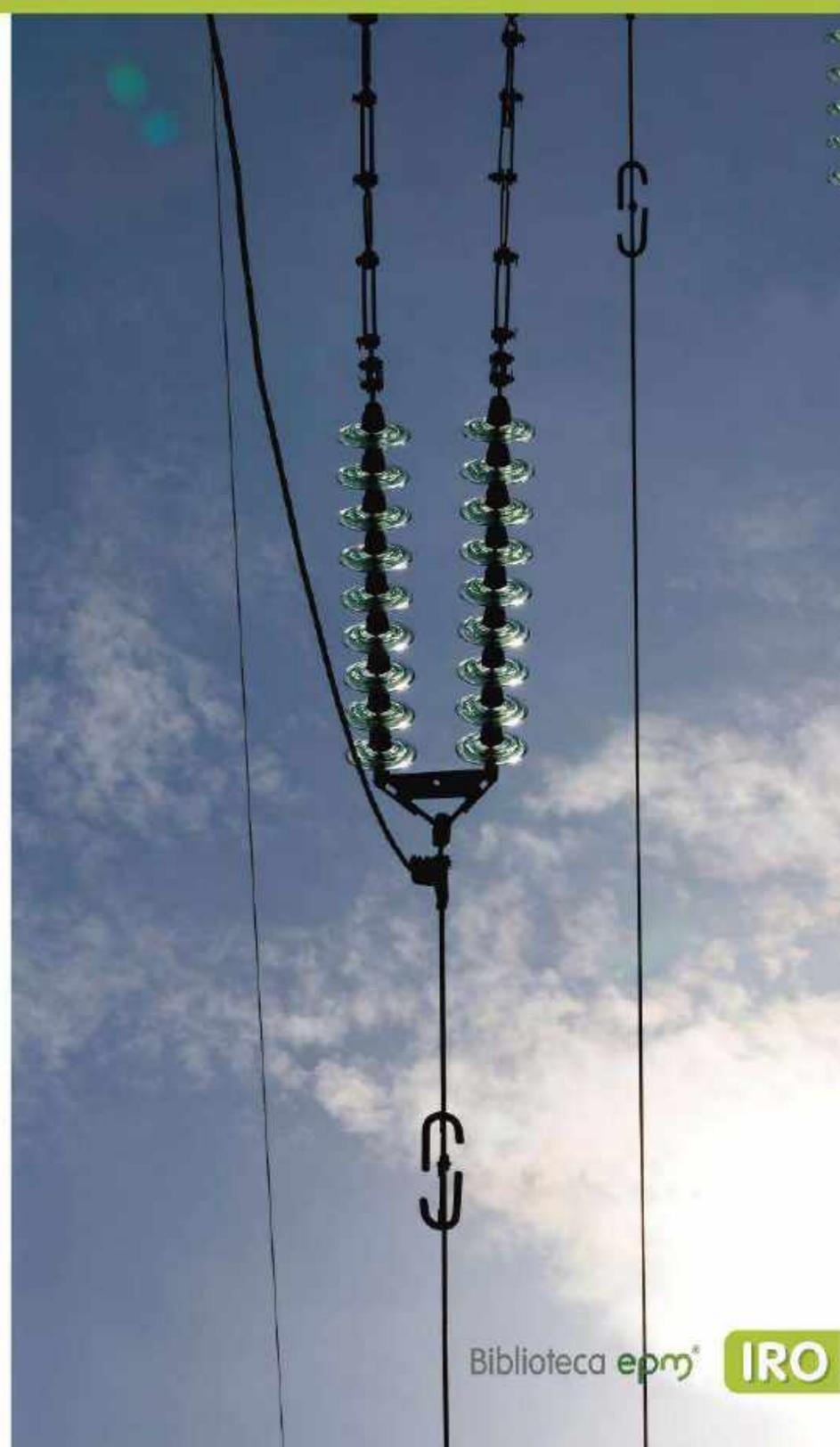
El decreto 884 de 2017, expide normas tendientes a la implementación del Plan Nacional de Electrificación Rural en el marco del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, establece que el Ministerio de Minas y Energía, con el apoyo del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas – IPSE - y de la UPME, debe elaborar cada dos años el Plan Nacional de Electrificación Rural (Gutiérrez & García, 2020)

Los aspectos más importantes para destacar en materia de regulación del sector eléctrico son:

- ✓ La determinación de que este plan debe tener en cuenta alternativas de electrificación individual o colectiva.
- ✓ Establecer el uso preferente de las FNCER como criterio de diseño de estos planes.

En este aspecto, lo que se está originando es **la creación e implementación de las micro-redes capaces de gestionar los recursos existentes en una zona definida para convertirla en autosostenible**, mejorando así la calidad de vida de las comunidades que las emplean. Esta destreza hará posible la utilización de alternativas de generación con fuentes de energía renovables no convencionales para la electrificación de comunidades que, aun estando en el área de influencia del Sistema Interconectado Nacional (SIN), no tienen servicio de energía o donde es transitorio o precario en cuanto a las condiciones de calidad, seguridad y confiabilidad; no obstante, es necesario el desarrollo regulatorio que elimine las barreras para la ejecución de nuevos proyectos (Gutiérrez & García, 2020).

Posiblemente la principal barrera para el desarrollo de estas fuentes con sus tecnologías sea la disposición regulatoria, que indica que los usuarios no pueden compartir su fuente de energía; es decir, un consumidor puede autogenerar y vender excedentes al sistema, más no beneficiar a sus vecinos. Un ejemplo de modelo de negocio posible es Peer to peer (P2P) que usa plataformas tecnológicas para facilitar el intercambio comercial entre vendedor – cliente, pero bajo la regulación actual, este generador debe vender la energía a la red y los usuarios -de una vereda, por ejemplo- deben comprarla a la red, perdiendo la oportunidad de usar la energía de su vecino antes de comprar a la red. Por otro lado, sobre el funcionamiento de estas tecnologías, el decreto MME 1623 de 2015 establece los lineamientos de política para promover la creación de micro-redes como solución a problemas de cobertura del servicio en áreas aisladas, las cuales están en principio, en cabeza de los Operadores de Red. **Este decreto establece que los distribuidores puedan implementar programas de electrificación basados en micro-redes, para lo cual pueden hacer uso de los fondos destinados para ello** (Gutiérrez & García, 2020).



Almacenamiento de energía eléctrica a gran escala

Pese a que no existía la reglamentación para la remuneración y/o retribución del almacenamiento de energía eléctrica, como alternativa de prestación de servicios a la red de transporte y para la expansión del sistema, la UPME identificó en el Plan de Expansión 2015-2029, que los sistemas de almacenamiento representan una alternativa eficiente y eficaz para resolver algunos problemas de expansión del sistema.

Consecuente con el tema, el área del Atlántico, tiende a tener altos costos en la implementación de infraestructura, especialmente a niveles de tensión de 220 kV, además la gran dificultad de construir redes a nivel de sub-transmisión principalmente en Barranquilla (niveles de tensión inferiores a 220 kV) ya que según estudios se requeriría implementarlas atravesando áreas o zonas residenciales, lo que conlleva que dichas redes sean subterráneas, generando unos costos elevados en términos económicos y en tiempos de ejecución de los proyectos (Gutiérrez & García, 2020).

Basado en esta y otras necesidades identificadas por la UPME, que requieren soluciones urgentes, la CREG emitió la Resolución 098 de 2019 (CREG, 2019c), la cual define los mecanismos para incorporar sistemas de almacenamiento con el propósito de mitigar inconvenientes presentados por la falta o insuficiencia de redes de transporte de energía en el Sistema Interconectado Nacional (Gutiérrez & García, 2020).

Para instalar Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica con Baterías (SAEB) en el Sistema Interconectado Nacional y lograr mitigar inconvenientes presentados por la falta o insuficiencia de redes de transporte de energía en este sistema:

A partir de la identificación de la necesidad por parte de un agente o por parte de la UPME, esta última recomienda la instalación de un SAEB,

indicando si se requiere para suplir necesidades del Sistema de Transmisión Nacional (STN), o de un Sistema de Transmisión Regional (STR); en los dos casos el SAEB puede conectarse en niveles de tensión inferiores a los que operan los sistemas mencionados.

Esta resolución determina que los SAEB solicitados para aliviar congestiones en el despacho de energía, serán desarrollados por los inversionistas que resulten seleccionados en procesos de la convocatoria. En los procesos de selección podrán participar los transmisores nacionales (TN), los operadores de red (OR), los transmisores regionales (TR), los generadores, los comercializadores y los terceros interesados nacionales o extranjeros, en los términos que defina la UPME y serán gestionados por el CND (Centro Nacional de Despacho) tomando las decisiones de carga, descarga y convirtiendo sus activos en un instrumento o herramienta más para el despacho.



“Es importante resaltar el hecho de que el CND deberá incorporar el SAEB a la operación del sistema con el objetivo de minimizar el costo de operación del SIN y el alivio de las congestiones respectivos. Esta forma de operar las baterías reporta grandes beneficios para los consumidores, puesto que disminuye el costo de la operación y, por tanto, de las componentes de Generación (compra de energía) y de Restricciones de la tarifa al usuario final. Esta resolución estará vigente hasta el 31 de diciembre de 2022, ya que la CREG se encuentra estudiando la regulación para la participación de los SAEB en otros servicios de red, tales como los servicios complementarios, principalmente la regulación de frecuencia” (Gutiérrez & García, 2020).



Tipos de tarifas horarias aplicadas al sector residencial

De acuerdo con la información analizada, la estructura tarifaria aplicada al sector residencial está conformada por varios tipos que van desde las tarifas planas, tarifas por bloques crecientes de tarifas hasta estructuras tarifarias estáticas de Tiempo de Uso (ToU) y de Precios de Pico Crítico (CPP), también se incluyen estructuras tarifarias de Tiempo de Uso Dinámicas (ToUd), híbridas, en Tiempo Real (RTP) y de Carga de Base del Cliente (CBL). Ver la Figura 21, donde se dan más detalles de cada tipo de tarifa (Estudios Energéticos Consultores, 2020).



Otro punto a tener en cuenta dentro de implementación de las tarifas es si se trata de tarifas horarias monomías o binomías. La buena práctica regulatoria recomienda el uso de tarifas binomías (Ruester et al., 2013).

- ✓ **Tarifas horarias monomías:** son la aplicación de un cargo único por energía distribuida.
- ✓ **Tarifas binomías:** consisten en la aplicación de cargos variables por energía y cargos fijos por potencia o capacidad contratada. Su ventaja es permitir la fijación de tarifas al costo marginal del servicio, recuperando los costos fijos a través de un cargo fijo (por potencia). Reduce significativamente la pérdida social de eficiencia propia de las industrias caracterizadas como monopolio natural (Estudios Energéticos Consultores, 2020).

Se ha identificado que en América Latina se aplican de forma general tarifas planas o por bloques crecientes y de forma excepcional, la tarifa ToU (tiempo de uso). Es importante anotar que, no es usual mezclar Bloques de Tarifas Crecientes (IBP) con las ToU, ya que éstas últimas buscan reflejar los costos económicos de prestar el suministro en cada bloque horario. Las estructuras de tarifa plana híbrida y CBL + ToU están diseñadas para proporcionar incentivos a los clientes para que reduzcan o cambien el consumo de los períodos de picos a los de baja, minimizando al mismo tiempo el impacto del costo de la transición de una tarifa plana a una tarifa variable en el tiempo.



Ambas estructuras tarifarias funcionan basando parte de la tarifa en el patrón de consumo histórico del cliente, denominado carga de base del cliente (CBL). Esta podría ser una propuesta de interés en Colombia, para impulsar la entrada de tarifas ToU, que sería viable con la instalación de medidores inteligentes y la gestión del consumo. Sin embargo, para la aplicación de tarifas más complejas como el ToU dinámicas, se requiere un nivel mayor de "alfabetización eléctrica", al que se presenta en Colombia actualmente (Estudios Energéticos Consultores, 2020).

Cabe señalar que las alternativas tarifarias se enfocan dependiendo del tipo de consumidor, es decir, si es residencial o comercial/industrial. Para ambos grupos aplican las tarifas planas (anytime) y ToU o flexible. Los planes de ToU tienen diferentes tarifas que reflejan el tiempo en que se consume la energía, pudiendo ser simplemente pico (peak) y fuera de pico (off Peak) o incluir también un bloque horario intermedia (shoulder) entre pico y fuera de pico, también hay muchas opciones con control de carga, y opciones pensadas para vehículos eléctricos o autogeneración solar (Estudios Energéticos Consultores, 2020).

En la siguiente tabla se presentan diferentes tipos de esquemas tarifarios para el sector residencial que va desde una tarifa plana (cargo unitario uniforme por kWh, independiente del nivel de consumo) hasta esquemas más complejos.

Figura 21. Tipos de tarifas horarias (Estudios Energéticos Consultores, 2020)

Tipo de tarifa	Descripción	Componentes del tipo de tarifa	Recomendable para la eficiencia energética
Plana	Tasa única	Fijo (\$) + tasa fija (\$/kWh)	No
Plana tipo Netflix	Monto fijo hasta un cierto nivel de consumo	Fijo (\$) hasta cierto nivel de consumo; tasa fija (\$/kWh) para los consumos por encima del consumo básico incluido en la tarifa tipo preferencial o <i>Netflix</i>	No
Bloques de tarifas crecientes (IBP)	Tasas más altas para un mayor consumo acumulado	Fijo (\$) + tasas fijas crecientes por bloques de consumo (\$/kWh)	Sí, en la medida que las tarifas reflejen los costos
ToU	Tasas más altas durante el pico, más bajas durante el período fuera de punta, tasa media durante el valle	Fijo (\$) + ToU 3 o 2 partes (punta, intermedio, fuera de punta)	Se recomienda para disminuir o desviar el pico de demanda, i.e., eficiencia en la potencia demandada
CPP	Tiempo de uso más días críticos pre-nominados que incurren en una tasa más alta	Fijo (\$) + ToU 3 o 2 partes (punta, intermedio, fuera de punta / crítico)	Sí
Plana híbrida	Consumos hasta cierto porcentaje del consumo base (CBL) es facturado a la tarifa plana; consumos arriba de un cierto porcentaje del CBL son facturados por ToU	Fijo (\$) + tasa fija CBL (\$/kWh) hasta cierto % del CBL, arriba de este porcentaje aplica ToU 3 o 2 partes (punta, intermedio, fuera de punta)	Parcialmente
CBL + ToU	El CBL es facturado a tarifa plana; consumos mayores al CBL son facturados por ToU	Fijo (\$) + tasa fija CBL (\$/kWh) hasta el CBL, consumos por encima del CBL son facturados por ToU	Parcialmente
CBL + CPP	El CBL es facturado a tarifa plana; consumos mayores al CBL son facturados por CPP	Fijo (\$) + tasa fija CBL (\$/kWh) + CPP 2 partes para desvío del CBL	Sí

Aspecto	Brasil	Uruguay	Perú
Tarifas	Tarifas planas Opción ToU: Tarifas blancas (500 mil clientes)	- Tarifas bloques crecientes: 46% de la energía facturada - Opción ToU, doble y triple horaria: 54% de la energía facturada	- Tarifas bloques crecientes: 5% de los usuarios en BT - Opción ToU: 95% usuarios BT (BT5B)
Usos			
Usuarios en situaciones especiales	Tarifa social para usuarios de bajos ingresos; descuentos con base en el consumo mensual	Tarifa de consumo básico residencial para hogares que llenen un consumo eléctrico mensual básico y estable a lo largo del año (<230 kWh mes)	La categoría BT5B presenta diferencias en función del consumo de subsistencia 100 kWh mes. Para consumos menores el esquema tarifario presenta dos bloques crecientes, hasta 300 kWh y desde 31 kWh hasta 100 kWh
Movilidad eléctrica	Tarifa de recarga eléctrica libremente acordada entre las partes	- ToU para residenciales para carga de vehículos - Carga de energía a vehículos eléctricos en puestos de la vía pública, sistema a través del uso de una tarjeta de identificación específica	A la fecha no fue implementado un esquema tarifario para la movilidad eléctrica
Prepago	No posee esquema de tarifas prepagos	A la fecha no fue implementado el esquema prepago de energía	La facturación de energía activa a usuarios prepago del servicio eléctrico contempla: - Cargo comercial del servicio prepago (CCSP) asociado a un monto mensual por mantenimiento y reposición - Importe por alumbrado público - Fondo de compensación social eléctrica - Aporte de los usuarios de electricidad al fondo de electrificación rural
Subsidios	Los consumidores residenciales de bajos ingresos se benefician de la exención del costo de la Cuenta de Desarrollo Energético - CDE - y del costo del Programa de Incentivos para Fuentes Alternativas de Energía Eléctrica PROINFA		
Incentivos a los usuarios	Adhesión a ToU es voluntaria. Costos de medidor a cargo de la empresa. El usuario puede regresar al esquema de tarifa plana.		
Otros elementos distintos a los aplicados en Colombia	Esquema de Banderas Tarifarias en función del nivel de los embalses		

Se presenta un resumen de diferentes experiencias internacionales, específicamente latinoamericanas para el caso de Brasil, Uruguay y Perú, con sus respectivos esquemas tarifarios implementados y algunos aspectos relevantes de ellos:

Aspecto	España	Italia	Canadá
Tarifas	ToU	ToU: tarifa bihorario o dual	ToU: con tres bloques horarios IBP: dos bloques, con diferencias por estación del año (invierno y verano)
Usos			
Usuarios en situaciones especiales	Para los usuarios de bajos ingresos hay un esquema de Bono Social (descuento sobre la cuenta de energía)	Se aplica Bono Social que consiste en un monto determinado en función del número de habitantes de los hogares que se descuenta de la factura residencial	OESP: Programa para bajos ingresos, crédito mensual a los clientes elegibles según los ingresos y el tamaño del hogar LEAP: Programa de emergencia que consiste en un pago anual único hasta de US\$500 en asistencia de emergencia para factura de electricidad (US\$600 en los casos de calefacción eléctrica) y US\$ 500 para factura de gas natural
Movilidad eléctrica	España presenta un significativo atraso en el desarrollo de EV. El esquema tarifario aplicado es ToU triple horario	La tarifa de movilidad eléctrica es una tarifa plana por los kWh consumidos Estas tarifas no incluyen los costos de suministro ni los costos del servicio de recarga	La carga de vehículos eléctricos es un uso final de la electricidad. No se requiere una licencia de la OEB para participar en esta actividad y, como resultado, los códigos, reglas y otros requisitos reglamentarios de la OEB no se aplican a ella. No está regulada por la OEB
Prepago	España está adoptando un esquema de tarjetas prepagos para el suministro de energía eléctrica		La adopción de esquemas prepagos debe ser solicitada por las empresas distribuidoras y aprobadas por OEB
Subsidios	El Bono Social es un subsidio explícito que se aplica a los usuarios con dificultades para pagar el servicio	El subsidio está dado por el esquema de Bono Social	Existen esquemas de apoyo a los usuarios de bajos ingresos (OESP y LEAP), además de créditos para el pago de impuestos y programas de asistencia a los habitantes sin techo



BRASIL

Desde 2018, Brasil ha adoptado un sistema de ToU para el sector residencial, conocido como "tarifa blanca". Antes de la llegada de la "tarifa blanca", existía solo una tarifa regular o una tarifa fija, con un valor único (en R \$ / kWh) calculado para la energía consumida por día y por hora. La "tarifa blanca" facilita a algunos consumidores cambiar el consumo del período pico al período fuera de la red. Aprobada en 2016, la aplicación del "tarifa blanca" sigue un esquema de incentivos para sustentar reclamos con las siguientes particularidades: 1 de enero de 2018, para nuevas conexiones y para usuarios con un consumo mensual promedio anual superior a 500 kWh/mes; 1 de enero de 2019 para usuarios con un consumo mensual promedio anual superior a 250 kWh/mes; 1 de enero de 2020 para todas las unidades de consumo (Estudios Energéticos Consultores, 2020).



URUGUAY

Más de 20 años de experiencia en las señales horarias y el aumento de las tasas de consumo de energía. Ha realizado grandes esfuerzos para "alfabetizar" a la población en energía eléctrica, con una estructura tarifaria para el sector residencial que incluye tarifa plana mensual (lectura, pago, peaje y servicio comercial), tarifas y cobros, cargo por potencia contratada, cargos crecientes de energía, y cargos de energía por bloques horarios, además del cargo por energía reactiva, 54 % de energía total facturada a tarifa con señal horaria y la tendencia de peso sigue en aumento, es decir 100 % de alta demanda con señal horaria, más de 50 % de alumbrado público y más de 10 % de consumo doméstico. También ha introducido señales de horarios para cargar vehículos eléctricos en estaciones de carga ubicadas en vías públicas.

En Uruguay existen tres tipos de tarifas para el sector residencial:

- Tarifa Residencial Simple (TRS), por bloques crecientes de consumo;
- Tarifa de Consumo Básico Residencial (TCBR)
- Tarifas Residenciales Horarias (Doble y Triple-Horario) (Estudios Energéticos Consultores, 2020).



PERÚ

En este país, el mes de noviembre de 2013 entró en vigencia la nueva norma de "Opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las Tarifas a Usuario Final", instituida mediante Resolución OSINERGMIN N° 206- 2013-OS/CD, Vigente para el período noviembre 2013 – octubre 2017. Esta norma se elaboró sobre la base de la Resolución OSINERGMIN N° 182-2009- OS/CD y se deben poner a disposición de los usuarios para que éstos puedan optar entre ellas (Estudios Energéticos Consultores, 2020). Las opciones incluyen varias alternativas de precios que las empresas de distribución deben poner a disposición de los usuarios para que puedan elegir entre ellas. Se destaca lo siguiente: **Definición de Bloques Horarios: Se define como horas de punta (HP), el período comprendido entre las 18:00 y las 23:00 horas de cada día de todos los meses del año.**

El mercado minorista español de energía eléctrica, de acuerdo con cifras oficiales de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC 2019), cuenta con más de 28 millones de consumidores, siendo que más del 60% es suministrado por un comercializador en régimen de mercado libre, representando 89% de la energía consumida. El 89% de los consumidores residenciales tiene una potencia contratada menor a 10 kW, para ilustrar los cargos tarifarios residenciales disponibles en España se tomó como ejemplo el caso del comercializador "Lucera" el cual se ilustra a continuación:



Se presenta un resumen de diferentes experiencias internacionales, para el caso de Nueva York y Australia con sus respectivos esquemas tarifarios:

Tabla 20. Experiencias internacionales: Nueva York y Australia (Estudios Energéticos Consultores, 2020)

Aspecto	Nueva York	Australia
Tarifas	ToU	ToU y Planas
Usos		
Usuarios en situaciones especiales	HEAP – <i>Home Energy Assistance Program</i> : consiste en descuentos sobre la cuenta final de energía eléctrica, calculados en función del bloque de consumo	Esquemas de Descuentos Condicionales, en función del grado de cumplimiento de los pagos, domiciliación bancaria, etc
Movilidad eléctrica	Las iniciativas en el estado de Nueva York son: - Charge NY (2017) : reembolsos para comprar vehículos eléctricos - Evolve NY , la PSC comprometió U\$250 millones (hasta 2025) para iniciativas para el desarrollo de infraestructura clave - Governor's Charge NY 2.0 para lanzar 10,000 estaciones de carga de vehículos eléctricos para 2021	Las iniciativas para la promoción de EV son: - Reducción en los cargos de registro - Inversión para el desarrollo de estaciones de carga - Establecimiento de metas de flota para vehículos eléctricos o de emisión cero - Programas de información - Acceso preferencial a carriles para vehículos eléctricos
	No hay tarifas predeterminadas para la carga de vehículos eléctricos (Direct Current Fast Charger – DCFC)	Las tarifas por la recarga de vehículos eléctricos no están reguladas por el AER. Actualmente, las opciones tarifarias ofrecidas por los comercializadores proporcionan una tarifa plana estándar o tarifas por tiempo de uso con productos o servicios adjuntos con valor agregado
Subsidios	Los subsidios están explícitos en el esquema HEAP	Los subsidios están orientados principalmente a la generación de energías limpias y no al consumo

En Italia se emplea, desde el año 2010, un esquema tarifario con distinción horaria para el sector residencial, denominando Tarifa Bihoraria o Dual, el propósito de la tarifa es generar ahorros para los usuarios cuyos consumos se concentran en más de dos terceras partes en el periodo fuera de punta, a la vez que se procura exponer la demanda residencial a los costos reales del suministro y sus variaciones en el tiempo, con la tarifa dual, el "precio de la electricidad" cambia según las horas del día y la semana. Las franjas horarias para la energía, establecidas por la Autoridad, son tres: F1, F2 y F3. Sin embargo, para la tarifa dual, las bandas F2 y F3 se agrupan en la banda F23, explicadas a continuación:

- **F1**: horario diurno de 8.00 a 19.00
- **F23**: horario vespertino y nocturno de 19.00 hs a 8.00 hs, fines de semana y festivos (Estudios Energéticos Consultores, 2020).

En la capital de la provincia de Ontario, el cargo por energía presenta dos modalidades tarifarias, cuyos valores son determinados por la OEB (Ontario Energy Board), y entre las cuales pueden optar los usuarios residenciales y comerciales de pequeña escala, a los cuales se les cobra utilizando tarifas de tiempo de uso (ToU), donde el precio de la energía depende del bloque horario en el que se utiliza la electricidad. Tarifas Tiempo de uso (ToU): a la mayoría de los clientes residenciales y de pequeñas empresas se les cobra utilizando tarifas de tiempo de uso, donde el precio de la energía depende del bloque horario en el que se utiliza la electricidad (Estudios Energéticos Consultores, 2020).

En el caso de Estados Unidos, el servicio de electricidad está con falencias regulatorias por lo que incluso los usuarios residenciales pueden elegir sus propios proveedores, al igual que los usuarios comerciales e industriales. Así, en general, la factura eléctrica final de un usuario se compone de tres elementos:

- Suministro que remunera la generación y comercialización;
- Componente de red, para remunerar las actividades reguladas de transmisión y distribución;
- Impuestos.

En este esquema, las tarifas de la red están reguladas, independientemente del operador del mercado, mientras que los precios de oferta pueden negociarse con diferentes operadores de comercialización. La compra y venta de energía en el mercado mayorista la realizan los comerciantes, no directamente los usuarios (Estudios Energéticos Consultores, 2020).

Las opciones de tarifas se dividen en dos grupos principales: Residencial y Comercial / Industrial (Business), para ambos grupos, hay tarifas planas (anytime) y ToU o precio flexible. Los paquetes ToU tienen diferentes costos que reflejan el tiempo de energía consumida y pueden ser simplemente Punta (peak) y Fuera de Punta (off Peak) o también incluir un bloque intermedio de horas (shoulder) entre Punta y Fuera de Punta, También hay muchas opciones con el control de carga y opciones diseñadas para vehículos eléctricos o que producen su propia energía solar. **Para el caso de Sydney, los periodos de punta y fuera de punta depende de la época del año, estos son:**

- Punta: 14:00-20:00 (1º noviembre a 31 marzo), y 17:00-21:00 (1º junio a 31 de agosto), excluyendo fines de semana y feriados.
- Fuera de Punta: 22:00-07:00.
- Intermedio: todas restantes horas. (Estudios Energéticos Consultores, 2020).



Normatividad para la disposición final de baterías en Colombia

Según el informe de convocatoria pública, publicado por la UPME el 29 de mayo del 2020 sobre la disposición final, manifiesta que el Inversionista de la presente convocatoria pública deberá contar con un plan que contenga todos los aspectos relacionados con la disposición final de los Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica con Baterías (SAEB) objeto de la presente convocatoria pública, el cual se deberá ajustar a los estándares internacionales sobre la materia y a las exigencias de la licencia ambiental y los demás permisos asociados. Dicho plan debe ser sometido a revisión de la Interventoría al menos dos (2) meses antes de la puesta en servicio de las obras objeto de la presente convocatoria pública (CREG, 2020).



Artículo 6.1.2.2. compromiso con el medio ambiente:

La evaluación de todas y cada una de las condiciones ambientales necesarias para la ejecución del proyecto estará a cargo de los agentes interesados en ejecutarlo. El agente adjudicatario será responsable de las gestiones para la consecución de la licencia ambiental o de permisos que, en general, se requieran para la ejecución del proyecto. Como parte importante de los compromisos ambientales debe tenerse en cuenta el relacionado con la disposición final de las baterías y los demás equipos utilizados (Ministerio de Minas y Energía, 2018)

Un aspecto a tener en cuenta es el de las disposiciones de los SAEB, en la Ley 1672 de 2013, el Congreso de la República decreta los lineamientos para la política pública de gestión integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), generados en el territorio nacional.

Como antecedentes normativos de la implementación de sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de los RAEE, se encuentran las siguientes resoluciones:

- ✓ Resolución 1511 de 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) "por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas y se adoptan otras disposiciones".
- ✓ Resolución 1512 de 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) "por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de computadores y periféricos y se adoptan otras disposiciones".
- ✓ Resolución 1297 de 2010 (Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) "por la cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de pilas y acumuladores y se adoptan otras disposiciones" (Minambiente, 2017).

CAPÍTULO 5

Contribución ambiental

- Descarbonización
- Economía Circular en la cadena de valor del almacenamiento
- Desafíos económicos de la gestión de residuos de baterías de Ion-Litio
- Segunda vida de las baterías
- Costos asociados a la recuperación de baterías



Ideas clave

- ✓ Cuando se habla del almacenamiento de energía eléctrica y su aporte a la disminución de impactos negativos ambientales, se hace referencia al papel que podría desempeñar la descarbonización del sector eléctrico al ofrecer una nueva fuente de flexibilidad operativa libre de carbono, mejorando el uso de activos de generación y la integración de fuentes variables de energía renovable.
- ✓ La implementación planificada del almacenamiento de energía con meta de emisiones cero está dominada por las tecnologías de baterías electroquímicas de iones de litio y el almacenamiento hidráulico por bombeo mecánico (PHS), dos tecnologías que, en muchos sentidos, se encuentran en extremos opuestos del radar de opciones de almacenamiento actualmente establecidas (Porter, Motyka, & Thomson, 2020).
- ✓ Surgen oportunidades de especial relevancia en torno a la segunda vida de las baterías y la recuperación de materiales, y nuevos modelos de negocio dedicados a cerrar el ciclo de vida de los sistemas, orientados a la valorización de los residuos procedentes de las tecnologías de almacenamiento energético (Vicepresidencia Cuarta del Gobierno de España, 2021).
- ✓ Se estima que el valor total que se puede recuperar de las baterías NMC (óxido de litio, níquel cobalto y manganeso) es superior a los US \$7000/tonelada de residuo, con una eficacia del 90% de recuperación (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, & Mahon, A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling, 2021).



Con el avance en la investigación y la introducción de nuevas tecnologías y materiales a lo largo de la cadena de valor del negocio de almacenamiento de energía, se han encontrado varios aspectos de carácter ambiental que se vuelven llamativos, bien sea por los impactos positivos y negativos que puedan ocasionar, como por las posibilidades de circularidad de materias y nuevos negocios que puedan desprenderse de la cadena de valor hasta la disposición final adecuada que se les pueda dar, es por eso que en esta sección se amplía el panorama global de estos aspectos, tendencias y posibles mercados.

Descarbonización

Cuando se habla del almacenamiento de energía eléctrica y su aporte a la disminución de impactos negativos ambientales, se hace referencia al papel que podría desempeñar la descarbonización del sector eléctrico al ofrecer una nueva fuente de flexibilidad operativa libre de carbono, mejorando el uso de activos de generación y la integración de fuentes variables de energía renovable.

Las tecnologías para el almacenamiento de energía tienen diferentes características y aplicaciones potenciales, como tal, ninguna tecnología sobresale en todas las particularidades que puedan tener en común, que dependen de requisitos puntuales como la ubicación, rendimientos y características propias del sistema de almacenamiento usado. Para alcanzar la descarbonización de las empresas prestadoras de servicios públicos se deben analizar 3 tendencias que se presentan en el sector; estas tendencias ya han comenzado a dar forma a las oportunidades.

Primero, se está **produciendo un desabastecimiento de los combustibles fósiles**, ya que todas las emisiones deberán eliminarse gradualmente si el sector eléctrico se descarboniza por completo, lo que permitirá a las empresas de servicios públicos alcanzar su objetivo declarado de emisiones netas cero para 2050. En segundo lugar, un **barrido solar y eólico** está aumentando rápidamente la proporción de recursos renovables variables en la red. Mirando hacia atrás, la participación de las energías renovables en la capacidad de generación ya ha aumentado del 12,8% al 23,1% durante la última década. Y mirando hacia el futuro, la energía eólica y solar están en camino de representar más de las tres cuartas partes de las adiciones de capacidad de generación eléctrica previstas (Porter, Molyka, & Thomson, 2020).

En tercer lugar, la innovación en infraestructura está ayudando a mejorar la capacidad del sistema eléctrico y de gas para respaldar la descarbonización. Específicamente, se necesitará flexibilidad adicional para integrar el crecimiento en recursos intermitentes, recursos energéticos distribuidos (DER) y nuevos combustibles como se muestra en la Tabla 21 (Porter, Molyka, & Thomson, 2020).

Tabla 21. Estrategias de creación de valor para copilar las tres tendencias. Fuente: (Porter, Molyka, & Thomson, 2020)

	Renovar el suministro "cargando de base" fuentes libres de carbono	Reformar la demanda aprovechando las fuentes detrás del medidor	Reposar los usos finales mediante la conversión de fuentes de combustible
Desabastecimiento de los combustibles fósiles	La renovación se puede caracterizar primero en forma negativa: significa retirar o convertir plantas no renovables y capturar o mitigar las emisiones de cualquier planta restante o adicional de combustibles fósiles	La respuesta a la demanda (DR) se puede utilizar para evitar las emisiones de carbono de los picos de consumo de los combustibles fósiles mediante la reducción y el cambio de la demanda	La electricidad podría necesitar eventualmente reemplazar la mayor parte del petróleo y el gas natural en los sectores de transporte, calefacción e industrial para lograr la descarbonización en todo el sistema
Barrido solar y eólico	Las "jubilaciones" pueden allanar el camino para el despliegue récord continuo de energía solar y eólica a escala de servicios públicos, como fuentes de energía sin combustible, sin carbono y de menor costo	Los DER, como la energía solar en los tejados, pueden reducir la demanda al mismo tiempo que proporcionan a las empresas de servicios públicos una nueva fuente de electrones libres de carbono si están conectadas a la red	Maximizar el uso de energías renovables en altos niveles de penetración, mientras se minimiza la sobre- construcción y la reducción del desperdicio de energía, lo que requeriría de su almacenamiento estacional o través de la conversión a hidrógeno o combustibles térmicos
Innovación de infraestructura	La afluencia de energías renovables intermitentes puede requerir el despliegue de almacenamiento en la red para proporcionar una mayor flexibilidad del sistema	Las medidas de eficiencia energética impulsadas por los servicios públicos pueden complementar aún más la flexibilidad proporcionada por DR y DER al evitar la producción de electrones superfluos. La combinación de los tres puede producir una alternativa sin cables a la construcción de centrales eléctricas	En las áreas que serán más difíciles de electrificar, puede ser más rentable convertir la infraestructura en combustible libre de carbono

Los niveles actuales de reducción de carbono a cero no alcanzan todo su potencial en las 9 áreas de acción que se encuentran en las intersecciones de las 3 tendencias y las estrategias propuestas para renovar, remodelar y reposar presentadas en la Tabla 22, lo que hace que exista una brecha significativa entre los objetivos de descarbonización y los retiros programados de las plantas tradicionales, las adiciones de energías renovables y el cumplimiento de la flexibilidad necesaria para lograr una completa descarbonización, en términos numéricos aun no cuadran. Lo que posiciona las tecnologías establecidas, en evolución y emergentes como fundamentales para cerrar esta brecha (ver tabla 22):

	RENOVAR 2020-2030	REMODELAR 2030-2040	REPOSAR 2040-2050
Desabastecimiento de los combustibles fósiles	Jubilación/retiro del carbono Captura y almacenamiento de carbono	Respuesta a la demanda Ecosistema inteligente en el hogar	Red interactiva de vehículos
Barrido solar y eólico	Solar eólico	Energía solar de techo Inversores de energía	Almacenamiento estacional: hidrógeno y térmico
Innovación en la infraestructura	Almacenamiento: batería, hidráulico por bombeo, aire comprimido	Eficiencia energética Edificios eficientes de red interactiva	Gases renovables Captura de aire directa

Tabla 22. Tecnologías establecidas, en evolución y emergentes (Porter, Molyka, & Thomson, 2020)

● Tecnología establecida ● Tecnología en evolución ● Tecnología emergente

El ritmo de los planes y metas establecidos por las empresas prestadoras del servicio público para disminuir la brecha de la descarbonización de la red con el almacenamiento se puede reevaluar a medida que las tecnologías se comercializan y actualizan, teniendo en cuenta un factor que en gran medida hace reevaluar los objetivos trazados como lo es el recurso económico, el costo de las tecnologías de reducción de carbono podría influir en gran medida en las perspectivas de su implementación en el plazo inmediato, medio y plazo neto cero.

Estos costos varían drásticamente entre tecnologías, que van desde ahorros netos con respecto al carbón para las cinco tecnologías más rentables (eficiencia energética, energía solar fotovoltaica, energía eólica terrestre y las dos últimas combinadas con almacenamiento), hasta costos en cientos de dólares por tonelada de CO₂ para algunas tecnologías emergentes y en evolución como se aprecia en la Figura 23.

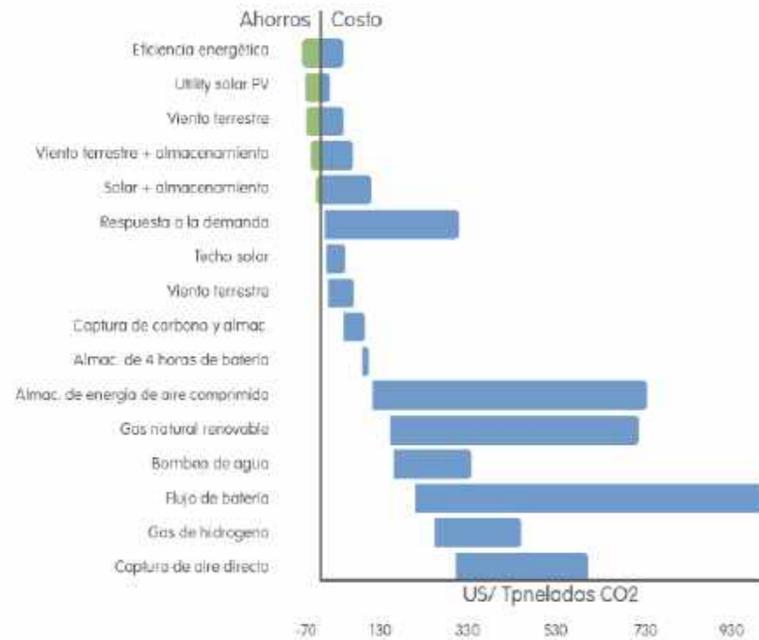


Figura 23. Valores de reducción de carbono entre tecnologías, (Porter, Malyka, & Thomson, 2020)

Haciendo un énfasis más profundo y con lo mencionado anteriormente, un participante importante en la ruta de la descarbonización de la red es el almacenamiento, y la combinación de este con energías como la eólica y solar; estas energías renovables no solo se han convertido en la fuente de nueva generación de menor costo en muchas áreas, sino que, su implementación también está impulsada por la demanda de los clientes y los estándares estatales de cartera renovable que establecen objetivos de generación de energía renovable.

Si bien las instalaciones solares y eólicas están creciendo, es posible que las adiciones de capacidad total deban superar su capacidad máxima de generación eléctrica existente para compensar la parte de carbón que debe reemplazarse, así como también el del gas natural planificado y retirado. La energía eólica y solar también requieren soluciones como el emparejamiento con el almacenamiento o la implementación de DR desechable para igualar la confiabilidad de las plantas de gas y carbón. Y es aquí donde la innovación tecnológica del sector eléctrico debe apoyarse del almacenamiento, ya que el aumento de las energías renovables requiere de él para mejorar la flexibilidad del sistema.

La implementación planificada del almacenamiento de energía con meta de emisiones cero, está dominada por las tecnologías de baterías electroquímicas de iones de litio y el almacenamiento hidráulico por bombeo mecánico (PHS), dos tecnologías que, en muchos sentidos, se encuentran en extremos opuestos del radar de opciones de almacenamiento actualmente establecidas.

La tecnología dinámica de baterías de iones de litio puede proporcionar de manera competitiva almacenamiento de cuatro horas en casi cualquier lugar y está experimentando una rápida caída de los costos, un aumento de la densidad y otros avances en aspectos químicos y de materiales. Mientras tanto, PHS es una tecnología de larga data, pero restringida geográficamente con costos más altos y estables que recientemente ha experimentado un repunte en las implementaciones, ya que puede proporcionar un almacenamiento de mayor duración (incluso estacionalmente, aunque las restricciones de capacidad probablemente limitarán su función al soporte de la red).

Entre estos dos tipos de tecnologías de almacenamiento de energía hay una serie de tecnologías de almacenamiento mecánico y de batería en evolución que ofrecen almacenamiento por horas, intradiarias, interdiarias e incluso semanales, y respaldan la red de diferentes maneras. A continuación, en la Tabla 23, se muestran algunas generalidades del almacenamiento en relación con la descarbonización y las tecnologías.

Tabla 23. Generalidades del almacenamiento de energía (Porter, Malyka, & Thomson, 2020)

Costo de madurez y reducción de CO₂ la tecnología	Electroquímica: Baterías de ion-litio (establecida) Costo de reducción por 101 tCO ₂ aprox US\$ 88 Baterías de Flujo (evolución) Costo de reducción por 1,007 tCO ₂ aprox US\$ 203 Mecánica: Hidroeléctrica de bombeo (establecida) Costo de reducción por 332 tCO ₂ aprox US\$ 160 Aire Comprimido (evolución) Costo de reducción por 739 tCO ₂ aprox US\$ 114
Obstáculos para el despliegue	*Costos *Complejidad tecnológica para el flujo *Ubicación geográfica *Regulación estatal
Habilitadores del despliegue	*Múltiples oportunidades de flujo de ingresos *Limitación en la participación de los mercados de almacenamiento de energía
Aceptación social	Variable, ya que depende de las especificaciones tecnológicas, por ejemplo, las baterías de flujo y algunas baterías químicas cuentan con un mejor perfil de seguridad en comparación con las de iones de litio y el impacto que se genere por las PHS varía según la configuración de estos.

Si bien las tecnologías de baterías de iones de litio sobresalen en respuesta primaria (regulación y control de frecuencia), arbitraje de energía y reemplazo de picos, las baterías de flujo son más competitivas para duraciones superiores a seis horas y más adecuadas para respuesta secundaria (reservas de seguimiento, giro y no giro, e integración de energías renovables) y aplazamiento de distribución y transmisión.

La apertura de fuentes de ingresos adicionales en estos casos de uso podría ayudar a acelerar la implementación del almacenamiento en la red. Estas nuevas oportunidades de ingresos incluyen DR, lo que lleva a una nueva estrategia.

Economía Circular en la Cadena de valor del almacenamiento

Cuando se habla de la cadena de valor en el almacenamiento de energía, se hace referencia a varias fases en las cuales existe una gran cabida al impulso de diferentes industrias y la generación de diversas oportunidades alrededor de ella.

La economía circular ha logrado que las cadenas de valor industriales pasen de tener un carácter lineal, basado en la extracción, transformación, uso y desecho de los sistemas, a un modelo circular en el que la reutilización y el reciclaje adoptan un papel muy relevante, reduciendo al máximo las entradas y salidas de elementos dentro de dicha cadena y cerrando el ciclo de vida de los productos. el informe de la secretaria de estado y energía "Estrategia de Almacenamiento Energético" del año 2021 (Secretaría de Estado de Energía, 2021), la cadena de valor de la industria del almacenamiento energético se compone de las siguientes fases o eslabones:



Suministro de materiales y componentes	Esta fase incluye proveedores de materias primas y fabricantes de piezas y componentes electrónicos necesarios para la producción de los sistemas de almacenamiento energético. En línea con la economía circular, muchos de estos componentes y materias primas procederán, en su caso, de otros sistemas que han alcanzado el final de su vida útil. El detalle de las industrias integradas en esta fase de la cadena varía con la tecnología de almacenamiento energético. En el caso de almacenamiento electroquímico mediante baterías, por ejemplo, se descompone, a su vez, en extracción de materias primas y/o recuperación de materiales de sistemas en desuso, obtención de materiales activos y fabricación de celdas para su posterior uso en la producción de baterías
Producción de los sistemas de almacenamiento	Esta etapa contempla la fabricación de los diferentes dispositivos para el almacenamiento energético, según la tecnología, mediante el ensamblaje de los diferentes componentes, constituyendo los sistemas principales y los auxiliares. Retomando el ejemplo de la fabricación de baterías, esta fase estaría integrada por la producción de módulos y packs de baterías a partir de las celdas, así como los sistemas de gestión asociados
Integración y desarrollo	Los dispositivos fabricados en la fase anterior son dotados de los componentes electrónicos necesarios para satisfacer los requerimientos de su aplicación final, así como el desarrollo de soluciones integradas y aplicaciones para la operación y gestión de los sistemas de almacenamiento en todas sus aplicaciones sectoriales
Producción de los sistemas de almacenamiento	Esta fase integra a los prestadores de los diferentes servicios relacionados con el almacenamiento y la gestión de la energía, abarcando desde la comercialización e instaladores de sistemas hasta la operación y mantenimiento de estos, teniendo en cuenta, además, a los propios consumidores, que actualmente están adoptando un rol cada vez más activo, implicándose directamente en diversas tareas relativas al almacenamiento de la energía. En esta fase de la cadena de valor el espectro de aplicaciones es muy amplio y el tipo de servicio varía con la tecnología y el uso final, englobando servicios que van desde la integración de sistemas de almacenamiento a gran escala para aportar servicios de flexibilidad a la red de transporte, sistemas híbridos con plantas de generación renovable, y sistemas integrados en las redes de distribución, hasta otros servicios orientados al uso en instalaciones de autoconsumo, redes inteligentes o movilidad, entre otros. En esta etapa, además, tienen cabida multitud de nuevos modelos de negocio, tales como son los agregadores independientes o las comunidades de energías renovables, y permiten, a su vez, impulsar el papel activo de los consumidores, participando directamente en la gestión de su energía
Producción de los sistemas de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Es la etapa que cierra el ciclo de vida de los sistemas de almacenamiento energético. Cada componente, en función de sus características, seguirá una vía de gestión distinta - El modelo actual, basado en la economía circular, prioriza la reutilización de estos si es viable. De no serlo, se tratará de reciclar o, en su caso, gestionar como desecho sin uso previsto, maximizando en todo caso los recursos reutilizables procedentes de este. Haciendo uso del ejemplo de las baterías, existe un gran potencial en el desarrollo de modelos de negocio relacionados con la segunda vida de estos sistemas - En el caso de las sales fundidas empleados como sistema de almacenamiento térmico en las plantas termosolares, entre otras, tras su vida útil se pueden utilizar para la elaboración de fertilizantes para uso agrícola, contribuyendo a un menor impacto medioambiental tras el desmantelamiento de dichas plantas - En relación también con el almacenamiento térmico, hay tecnologías pioneras donde se reutilizan escorias de acería, dotándolas de una segunda vida. Estos sistemas ya están en plantas piloto a escala relevante. Por otro lado, se están desarrollando materiales de almacenamiento térmico de cambio de fase provenientes de residuos de la industria de alimentación. A gran escala, el modelo de reutilización se puede trasladar a grandes instalaciones en desuso, para su transformación en infraestructuras relacionadas con el almacenamiento de energía. En este sentido, existe un gran potencial de reconversión de, por ejemplo, antiguas centrales de generación basadas en combustibles fósiles, que han cesado su operación para dar paso a tecnologías más limpias y que pueden ser reaprovechadas, al menos parcialmente, abriendo nuevas oportunidades derivadas de la transición energética y acercando sus beneficios a las regiones donde se ubican

Como se pudo observar anteriormente, el refuerzo de la cadena de valor se extiende a todo el ciclo de vida de las soluciones tecnológicas gracias al impulso de la economía circular. En este sentido, surgen oportunidades de especial relevancia en torno a la segunda vida de las baterías y la recuperación de materiales, y nuevos modelos de negocio dedicados a cerrar el ciclo de vida de los sistemas, orientados a la valorización de los residuos procedentes de las tecnologías de almacenamiento energético. Esto permitirá reducir la dependencia existente de los denominados materiales críticos, al tiempo que se genera una oportunidad de negocio derivada de su reutilización y se reduce el impacto ambiental producido por la extracción de recursos. A una mayor escala, el almacenamiento energético ofrece la oportunidad de reconvertir y reutilizar instalaciones energéticas en desuso que hayan sido sustituidas por tecnologías más limpias, fruto de la transición energética, lo que redundará en la reactivación económica de sus entornos (Vicepresidencia Cuarta del Gobierno de España, 2021).

Gestión de residuos de baterías Ion- Litio y Plomo

Actualmente los residuos de baterías forman parte de la amplia gama de desechos eléctricos y electrónicos y muchos de los recuperadores de baterías también pertenecen a dicho segmento.

El fin de vida de las baterías de pequeños consumidores tradicionalmente se eliminan en vertederos o según la capacidad tecnológica del país mediante la incineración, con el propósito de obtener componentes metálicos; sin embargo, estas prácticas no son consideradas ambientalmente benéficas, por lo que se debe contemplar el reciclaje y reuso de baterías o los compuestos que la conforman, por esta razón, es importante tener un contexto general de su estructura como se muestra a continuación:



Tabla 25. Características y componentes de las baterías plomo-ácido y ion-litio (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, & Mahon, A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling, 2021)

Batería Plomo - ácido

- A pesar de tener una relación energía-peso muy baja y una capacidad de energía baja con relación al volumen, su potencial para suministrar altas corrientes de sobrefensión junto con un bajo costo, la hace atractivo para su uso en muchos campos
- Los LAB siguen siendo la copia de seguridad más preferida y con rendimiento comprobada y una solución de energía para la mayoría de las aplicaciones industriales tradicionales
- La vida útil de la batería de plomo ha aumentado entre un 30% y un 35% en los últimos 20 años
- Los usos principales de los LAB son como batería de arranque, batería de potencia motriz y batería de carga
- Baterías automotrices para arranque, iluminación y encendido (SLI) y tracción
- Las baterías estacionarias (utilizadas para el suministro de energía de emergencia y de reserva) representan aproximadamente el 75% y el 25% del uso total de plomo de la batería, respectivamente
- Basados en las diferencias estructurales de las placas de la batería, los LAB se clasifican como baterías de ciclo profundo o sistemas de arranque
- La batería de ciclo profundo incluye dos subcategorías distintas que incluyen baterías de plomo-ácido inundadas (FLA) y de plomo-ácido reguladas por válvula (VRLA), la VRLA se divide en dos, estera de vidrio absorbido (AGM) y gel
- Los LAB contienen ácido sulfúrico altamente corrosivo y grandes cantidades de plomo metálico que es un elemento pesado, altamente tóxico y que pueden acumularse en el medio ambiente y producir una serie de efectos adversos para la salud
- Con el uso continuo de LAB, es de vital importancia minimizar la contaminación del medio ambiente en la EoL (fin de vida) mediante la recogida eficaz de estas baterías y el reciclaje de materiales de estos sistemas. Mientras que LAB se pueden reciclar prácticamente en todo el mundo y se ha convertido en una "historia de éxito del reciclaje", no se puede decir lo mismo para las baterías de litio

Baterías de Litio

- Las baterías de metal de litio (LMB) son baterías primarias no recargables que tienen litio como ánodo
- Las LIB, emplean un ánodo a base de grafito, tienen alta energía específica (~ 150 Wh / kg), alta densidad de energía (~ 400 Wh / L), un ciclo de vida largo (> 1000 ciclos) y un amplio rango de función de temperatura (carga a - 20 °C a 60 °C, y descarga a - 40 °C a 65 °C) y baja autodescarga del (2-8% por mes)
- La batería de polímero de iones de litio, una variante de los LIB, utiliza un electrolito de polímero en su lugar de un electrolito líquido para aplicaciones de seguridad y sensibilidad al peso
- La tecnología LIB se ha convertido en la química de baterías más dominante y de más rápido crecimiento en el mercado de almacenamiento de energía.
- Las ventajas de los LIB incluyen:
Una larga vida útil, menos mantenimiento, carga y descargas rápidas, escalabilidad y se puede ubicar cerca de donde se encuentra el consumidor final, son de fácil fabricación y rápido despliegue
- **Las desventajas de las LIB incluyen:**
Requieren circuito de protección y dispositivos de desconexión para evitar sobrecargas o temperaturas fuera de control, degradación a alta temperatura y cuando se almacena a alto voltaje puede cargar de forma lenta a temperaturas bajo cero, riesgo de incendio y restricciones de transporte como resultado de la seguridad y control en el manejo de residuos
- Los LIB se fabrican en tres arquitecturas: celdas cilíndricas, prismáticas y de bolsa
- A parte del grafito, el titanato de litio (LTO) y silicio / carbono son los materiales de ánodos alternativos comúnmente utilizados y generalmente se utilizan fosfato de hierro y litio (LFP), níquel cobalto aluminio (NCA), níquel manganeso de cobalto (NCM) y óxido de manganeso de litio (LMO), como materiales de cátodo

La gestión de las baterías de plomo-ácido para el año 2018, representó el 86,14% del reciclaje mundial de baterías secundarias y se estima que liderará el mercado de reciclaje en términos de valor a partir del año 2020. Debido al diseño del producto y sus compuestos químicos, los productos de plomo son fácilmente identificables, económicos de recolectar y reciclar, lo que posiciona al plomo como el compuesto con la tasa de reciclaje más alta después de su vida útil, en comparación con todos los metales de uso común en el sector.

En economías ampliamente desarrolladas como las de Europa y Norteamérica, las baterías de plomo usadas son gestionadas con sistemas eficientes de devolución al punto de venta, transportado y reciclado con operaciones reguladas y seguras, tanto para el traslado como para el manejo interno. Sin embargo, en muchas otras regiones o países en vía de desarrollo, hasta el 50% de las baterías de plomo son recicladas en instalaciones informales, o por debajo de estándares sanitarios que gestionen adecuadamente la liberación del plomo al medio ambiente (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, & Mahon, A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling, 2021).



Países como China, con el propósito de proteger el medio ambiente, han implementado el proceso pirometalúrgico (fundición) para el proceso de reciclaje de las baterías, y prueban métodos más innovadores como la calcinación con ácido cítrico, método atómico de membrana directa, electrolisis y separación electrocinética, las cuales demuestran ventajas económicas sobre el método de reciclaje tradicional y para reducir la contaminación ambiental.

En comparación con las baterías de plomo-ácido, las LIB, se consideran técnicamente "verdes", ya que tienen menos contenido de metales tóxicos, el término de reciclaje puede quedar corto para este tipo de baterías, ya que la proporción de un paquete de baterías está compuesto por el activo del material mismo, y otros componentes compartidos como el litio y el cobalto. En una batería NMC, por ejemplo, el litio es alrededor del 11% del peso total del cátodo, mientras que el cobalto es de alrededor del 18%.

Como se mencionó anteriormente las baterías de ion litio tienen una gran variedad de diseños y diferentes tipos de cátodos con composiciones diferentes dependiendo del fabricante, al igual que con la demanda primaria para los materiales en sí, el atractivo de reciclar ion-litio son los materiales y componentes que dependerán de la mezcla de químicos, así como en el surgimiento de fundamentalmente diferentes tecnologías como litio-aire o baterías de estado sólido.

Algunas baterías de ion-litio son construidas de forma compleja y compacta y no permiten ser desarmadas por lo que la gestión se debe considerar de forma unificada, a diferencia de otras como las de vehículos eléctricos que son más grandes y están compuestas por miles de celdas, así como sensores, dispositivos de seguridad, gestión térmica y otros circuitos que controlan el funcionamiento de la batería, lo que le agrega un poco más de complejidad a la gestión final de los residuos (IEA, 2020).

Como gestión de los residuos de las baterías de ion-litio, se destacan tres alternativas que es la pirometalurgia (fundición) en la que recuperan el cobre, níquel y cobalto, y la hidrometalurgia también conocida como la lixiviación química, en la cual se recupera el litio, pero este proceso puede depender de grandes volúmenes de sustancias químicas nocivas para la salud y el medio ambiente (Hossain, y otros, 2019).

Y la alternativa que no requiere de sustancias químicas, ni grandes emisiones atmosféricas producto de la fundición es el reciclaje por separado de componentes físicos, por ejemplo, triturando la celda y recuperando materiales basados en la densidad, lo que posibilita una ruta más rápida para la reutilización de las partes; este proceso de separación y recuperación de componentes se puede facilitar con la adopción de tecnologías para la automatización volviendo el proceso aún más eficiente.



Desafíos económicos de la gestión de residuos de baterías de Ion-Litio

A nivel mundial, aun no se logra una aceptación a gran escala del ion-litio debido a las barreras económicas, lo que plantea dos opiniones opuestas respecto a los retos futuros en el final de la vida útil, por un lado el reciclaje se considera menos atractivo debido a la complejidad del diseño de algunas baterías, la composición química y la falta de stock de residuos obtenidos del reciclaje que permita un proceso económicamente viable, y por el otro lado se considera que el reciclaje de baterías de litio es rentable y conveniente dado el reciente auge de los vehículos eléctricos, ya que se estima que el valor total que se puede recuperar de las baterías NMC es superior a los US \$7000/tonelada de residuo, con una eficacia del 90% de recuperación (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, & Mahon, A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling, 2021).

Una encuesta realizada a 50 empresas de reciclaje de LIB de todo el mundo reportaron que alrededor de 100.000 toneladas de LIB se reciclaron en todo el mundo en 2018, de las cuales 67.000 toneladas se reciclaron en China y otras 18.000 toneladas en Corea del Sur que es una de las regiones más grandes donde se realiza el reciclaje de LIB, y la cual adoptó una política de responsabilidad extendida del producto para la gestión del residuo de batería, y se analizó la economía de la infraestructura asociada al reciclaje y se concluyó que, para que la recolección y reciclaje funcionen bien y sea económicamente viable, se deben generar grandes cantidades de LIB (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, & Mahon, A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling, 2021).

Un aspecto que debe ser tenido en cuenta para la elección adecuada de gestión de final de vida útil de una batería de ion litio es el costo (Tabla 26) de extracción de la materia prima que la compone; este aspecto se vuelve relevante en términos de ahorro de costos, si se les da una segunda vida a las baterías antes de elegir una disposición definitiva de las mismas u otra alternativa de aprovechamiento menos rentable para la persona o entidad que se encargue de dicha gestión.

Tabla 26. Costos de las materias primas (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, & Mahon, A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling, 2021)

Componente	Composición %	Costo del producto US/ton
Cobalto	5-20	33000
Níquel	5-15	11846
Litio	1-7	6170
Manganeso	10-15	47
Hierro	5 - 25	87
Aluminio	4-24	1611
Cobre	5-10	5183

Segunda vida de las baterías

El crecimiento actual de la demanda, la producción y venta de baterías para satisfacer diversas aplicaciones, como el aumento en comercialización de vehículos eléctricos y los sistemas de almacenamiento de energía, están dando lugar a escenarios adversos para el tratamiento, disposición final, desecho y eliminación de residuos provenientes de las mismas, tendiendo a volverse una problemática aún más significativa con el paso de los años.

Un caso similar que puede servir de ejemplo fue cuando las baterías de teléfonos celulares y computadoras portátiles se comenzaron a desechar, se planteó la posibilidad de un segundo uso, ya que las formas en que se manejaban los residuos eran inadecuadas. Y en el negocio del almacenamiento, aunque el reciclaje de baterías de plomo-ácido (Pb-ácido) es relativamente maduro, la tecnología de iones de litio, la cual predomina actualmente no cuenta con este privilegio (Hossain, y otros, 2019).

El aumento en la adopción de vehículos eléctricos (EV) durante la última década está significando una gran cantidad de baterías de tracción proveniente de los primeros lotes de vehículos eléctricos y vehículos eléctricos híbridos que pronto llegarán al final de su vida útil (end of Life-EoL), sumándose así a los otros tipos de baterías provenientes de otras aplicaciones.

Estas baterías se consideran EoL para su primer uso, aunque, como se explica más adelante, una aplicación de segunda vida puede ser relevante y útil para algunas baterías antes de que se haga una disposición final. Aunque algunas baterías EoL no pueden continuar alimentando suficientemente una aplicación o un dispositivo designado, todavía contienen una cantidad significativa de energía almacenada. Por ejemplo, una batería de iones de litio para vehículos eléctricos contiene entre el 70% y el 80% de la energía inicial y existe la posibilidad de utilizar esta capacidad para aplicaciones alternativas antes de que las baterías terminen en corrientes de residuos.

Teniendo en cuenta que se prevé que la capacidad de la batería de los vehículos eléctricos supere los 3,6 GWh anuales para 2030 y en el mejor de los casos sea de 17,6 GWh, ahora bien, según, Neubauer et al. citado por Hossain et al. (Hossain, y otros, 2019), en el peor de los escenarios será de 5 GWh en 2030, y según su proyección, llegará a 32,3 GWh en 2063 y si las condiciones continúan siendo favorables será de 1010 GWh, si se plantea la existencia de una opción de uso y comercial viable para implementar una segunda vida de estas baterías (Zhao, Pohl, Bhatt, Collis, & Mahon, A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling, 2021).

Desaprovechar el potencial energético que brinda la segunda vida de baterías al llevarlas a una disposición final definitiva, se convertiría en un error tanto económico como medioambiental, ya que las horas de trabajo e inversiones financieras de una batería no se están aprovechando en su totalidad. La disponibilidad de baterías de segundo uso (BSU) y un mayor equilibrio de reducciones de costos del sistema daría un nuevo impulso a la competitividad del almacenamiento de baterías. En un escenario en el que el potencial técnico para un segundo uso se utiliza plenamente, el costo de las reducciones llevaría a que las baterías fueran un 70% más baratas en el año 2040 y que el almacenamiento de batería llegué alrededor de 540 GW para el mismo año.

Para verificar la viabilidad y/o estado de la segunda vida de las baterías, se han implementado estudios y diferentes modelaciones en las cuales se crea un circuito equivalente con parámetros que representan el voltaje y resistencias internas de los cables, y las capacidades de las celdas; dentro de las ecuaciones usadas para las modelaciones, se reflejan las relaciones existentes con la temperatura, estado de salud (SOH), estado de carga (SOC) y flujo de corriente, mientras se replica el comportamiento no lineal de la batería (Hossain, y otros, 2019).

Una batería vieja muestra signos de degradación por pérdida gradual de capacidad de reserva y aumento de la resistencia interna, que reduce aún más el voltaje, por otro lado, el modelado de una batería de segunda vida requiere determinar cómo cambian los valores de los parámetros y cuáles son los factores que afectan estos cambios.



Los resultados obtenidos de dichas modelaciones arrojan los siguientes resultados:

Tabla 27. Comparativo entre batería nueva VS batería de segunda vida (Hossain, y otros, 2019)

Categoría	Batería nueva	Batería de segunda vida
Nivel de Voltaje Nominal	~ 400V	~ 800V – 1000V
Horas de operación	~ 16.800 h (an)	Max 87.600 h (an)
Temperatura Ambiente	~ 40 a 60°C (en operación)	10 a 35 °C (en operación)
Gestión térmica	Activa (aire o líquido)	Pasiva (activa para aire o líquido solo para casos de uso específico con temperaturas críticas)
SoH (capacidad al inicio del uso)	100%	70%-90%
Control técnico	EV gestión del sistema de baterías: depende del modo de conducción, tienen frenado regenerativo	ESS control: dependerá de la aplicación: regulación de frecuencia, regulación de voltaje, afeitado de pico
Mantenimiento	Casi libre de mantenimiento	Requiere mantenimiento y revisiones preventivas frecuentes
Capacidad de desvanecimiento		~20%
Aplicación	Vehículos eléctricos	Uso estacionario

Una vez analizada la viabilidad y el potencial que presentan las baterías de Ion- Litio se debe contar con un proceso de clasificación general para la segunda vida de las mismas, los pasos sugeridos a continuación deben seguirse secuencialmente para que la segunda vida de las baterías funcione correctamente, ya que una de las barreras que se encuentran en el mercado es la falta de una celda universal al momento de restaurar una batería, debido a que cada fabricante cuenta con un tipo de celda diferente, por esto se requiere de un módulo único.

Estos módulos son mutuamente excluyentes en términos de compatibilidad. Por lo tanto, incluso si optamos por ignorar las diferentes químicas celulares empleadas, el proceso de mezclar y combinar que sigue al desmontar las baterías usadas es bastante arbitrario.



Figura 24. Proceso de desmontaje de baterías usadas para nueva implementación (Hossain, y otros, 2019)

Costos asociados a la recuperación de baterías

Al igual que el costo de cualquier otro producto, para la segunda de vida de las baterías debe determinarse por los costos asociados a la producción y los márgenes de servicios requeridos. En un estudio realizado por el Laboratorio Nacional de Sandia, se discutió en detalle los sectores que contribuyen a este costo, donde el dinero necesario para una segunda vida de baterías se asocian a los gastos de mano de obra, gastos generales, administrativos, el costo de los materiales de empaque y el tamaño del módulo; Todos estos factores contribuyen al precio de la batería de segundo uso. Por ejemplo para una batería de capacidad aproximada a los 24KWh el costo de compra fue más bajo con la tasa de falla más alta, que es del 1%, pero el costo de producción de una segunda vida de la batería con algunas celdas defectuosas se evidenció que los costos eran más altos, ya que demandó más trabajo en la fase de prueba, obteniendo tasas de falla de 0.01% dando un costo más bajo (~ US \$ 30 /KWh) (Hossain, y otros, 2019).

✓ Mercado Potencial para las baterías de segundo uso (BSU)

Según la literatura analizada, la aplicación de la segunda vida de las baterías puede ser categorizada en dos opciones de negocio:

1. Uso de las baterías para grandes aplicaciones como la prestación de servicios de apoyo a las fuentes de energías renovables como la eólica y la solar.
 2. Aplicaciones a pequeña escala, donde se incluyen los consumidores residenciales, comerciales como empresas de telecomunicaciones, entre otros.
- Debido a la naturaleza intermitente de las fuentes de energía renovables, emplear baterías de segundo uso puede justificarse, ya que los gestores de dichas tecnologías cuentan con experiencia y el apoyo de personal necesario para una operación segura y eficiente, lo que puede motivar a dichas empresas a ser pioneras en el negocio y a tener una mayor introducción en el mercado solar y eólico. Para las aplicaciones a baja escala se vuelven prometedoras por la necesidad de almacenamiento de energía in situ, sin embargo, requiere una alta confiabilidad, lo cual se convierte en una ardua tarea.

Los resultados obtenidos de dichas modelaciones arrojan los siguientes resultados:

Tabla 28. Diferentes aplicaciones de BSU en almacenamiento (Hossain, y otros, 2019)

Almacenamiento	Aplicación	Capacidad
Residencial	Carga continua	* Una descarga profunda y varias descargas superficiales por día * Tasa de descarga típica de C / 3
	Sistema de respaldo	* Hasta 25 kWh para fuera de la red * Descarga diaria moderadamente profunda (>50% DoD)
Comercial	Carga Continua	* 75 a 100 KWh * Tasa de descarga típica C/3 * Una descarga profunda y varias descargas superficiales por día
	Sistema de Respaldo	* Reserva de energía * Descarga C/5, infrecuente
	Aplanado de la demanda	* 3,000 a 4,000 KWh * Descarga C/2 a C, diaria
Industrial	Nivelación de Carga	* 100,000 KWh
	Realimante de energías renovables	* 1,000 a 10,000 kWh * Descarga C/5, frecuente
	Reserva para spinning/ regulación de área	* 5,000 a 7,500 kWh * Descarga de C/2 a c, infrecuente
	Aplanado de la demanda	* 3,000 a 4,000 kWh * Descarga C/2 a C, diaria
	Estabilización de transmisión	* 140 kWh, 5,000 kW * 5 a 10 pulsos por segundo, una vez/mes

✓ Estrategia de Negocio para BSU (Baterías de segundo uso)

Para que la ideas de negocio de los BSU sobrevivan se debe tener un costo menor que los nuevos sistemas de almacenamiento disponible, y este costo se debe justificar por los servicios que proporciona, si se considera el reciclaje después de la fase de reutilización de una batería se convertiría en un componente clave para aprovechar al máximo los beneficios económicos y ambientales del concepto de BSU, y en este sentido, en términos de costos asociados a los materiales reciclados son más bajos que la materia prima disponibles en el mercado.

Según la literatura analizada se muestra que, el precio de las baterías nuevas pudo verse reducido a la mitad para 2020 en comparación con 2015, y las empresas de BSU deben planearse teniendo en cuenta estos eventos. Evitando tales escenarios pueden ser comparativamente más fáciles para las empresas que se encuentran en el negocio del Almacenamiento de energía o vehículos eléctricos, si también inician empresas con BSU, ya que tienen fácil acceso a la línea de suministro contando con la experiencia y equipos disponibles para producir almacenamiento con baterías de segundo uso.

La viabilidad de una empresa depende de matrices como el valor actual neto, la tasa interna de retorno y retorno de inversión. Las empresas BSU deben ser capaces de puntuar satisfactoriamente en estas matrices para mostrar su competencia y así salir fuertes al mercado.

Otra estrategia para generar ingresos es que las empresas BSU también pueden recibir, o pueden solicitar recibir auxilios monetarios por los servicios adicionales que generan, como por ejemplo reducir los costos de gestión de residuos y minimización de pasivos ambientales.

✔ Obstáculos y soluciones en el uso de BSU

Por muy beneficioso y sensato que sea el uso de BSU, existen varios obstáculos que deben ser considerados y superados para que esta práctica se vuelva rentable. Para sobrevivir como producto, debe tener un suministro seguro de baterías usadas, líneas de producción capaces y eficientes, y cadenas de suministro adecuadas para entregar el sistema de almacenamiento de BSU a los mercados.

Además, para crear suficiente demanda de un producto de este tipo, debe desarrollarse una conciencia general de esta tecnología y el costo debe mantenerse bajo control todo el tiempo para sostener la demanda, también, debe contarse con políticas adecuadas y los incentivos necesarios, así como los modelos de negocio deben ser desarrollado de forma óptima y eficiente.

Tabla 29. Barreras para la implementación de BSU y posibles soluciones (Hossain, y otros, 2019)

Barrera	Grado del impacto	Posible solución
Escases de materiales	Bajo	Recolección adecuada de las baterías usadas para la gestión de residuos
Escases de suministro	Alto	Implementar metodologías de recolección y producción
Escases de la demanda	Bajo	Investigar comportamiento del mercado
Escases de público interesado	Medio	Capacitación, entrenamiento, realización de seminarios, simposios, y proyectos piloto
Escases de tecnología	Bajo	Invertir en investigación y desarrollo
Creación de una estructura de mercado	Medio	Invertir en desarrollo de mercados
Creación de una política de negocio y estructuración	Medio	Investigación organizacional, participación en políticas y garantizar la disponibilidad de datos
Asegurar la cadena de suministro y distribución	Medio	Análisis de mercado y oferta
Mantener un precio y rendimiento razonable	Bajo (con posibilidad de incrementar en el futuro)	Análisis de mercado y desarrollo de nuevas tecnologías

Debido a las posibilidades y el mercado que se genera alrededor del almacenamiento de energía con el uso de baterías de segunda vida, en algunos países se han implementado proyectos bajo asociaciones de industriales y productores de baterías, que sirven como referencia en el momento de tomar una decisión de inversión o adopción del BSU.

Tabla 30. Proyectos destacados de baterías de segundo uso (Hossain, y otros, 2019)

Empresas Asociadas	Descripción	Localización
Daimler GETEC / La casa remondis de movilidad / EnBW	Unidad de almacenamiento de batería con una capacidad total de 13 MWh utilizando baterías degradadas de vehículos eléctrico modelos Daimler	Luenen, Alemania
BMW/PG&E	Proyecto piloto de 18 meses para verificar la carga inteligente de vehículos eléctricos y la optimización de la eficiencia de la red con la participación de 100 propietarios de BMW i3	San Francisco, Estados Unidos
Nissan Sumitomo I4R energy/ Green Charge network	Sistema (600 kWh/ 400kWh): 16 Baterías de Ion-litio regulan la energía de una planta solar	Osaka, Japón
BMW/Vattenfall/Bosch	2.600 módulos de batería de 100 carros eléctricos para proveer 2MW de producción y 2.8 MWh de capacidad	Hamburgo, Alemania
Renault/Connected Energy Ltd	"E-STOR": proporciona almacenamiento de energía que evita la sobrecarga de la red eléctrica y equilibra la oferta y la demanda	Reino Unido, Europa
Mitsubishi/PSA/EDF/Forsee Power/MMC	Optimización del consumo de energía de la batería bidireccional a partir de baterías retiradas	París, Francia
General Motors/ ABB	5 baterías de Ion-Litio de los Chevrolet Volt, 74 kW de energía por un panel solar y 2 kW por turbinas eólicas suministran energía a el edificio de General Motors	Estados Unidos



CAPÍTULO 6

Casos de estudio y/o proyectos
a nivel mundial

- Proyectos emblemáticos de almacenamiento de energía
en América Latina y el Caribe



Ideas clave

- ✓ Existe una base de datos del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) que proporciona información global a nivel de investigación, sobre proyectos de almacenamiento de energía conectados a la red, políticas estatales y federales relevantes a nivel mundial, con un total de 1693 proyectos registrados. La base de datos es de fácil consulta y validación, además, se encuentran datos de los proyectos tales como nombre, ubicación, tamaño, costo, e información adicional como especificaciones del sistema / subsistema (DOE, 2021).
- ✓ América Latina y el Caribe (ALC) tienen una oportunidad a nivel tecnológico, de aumentar su participación en la cadena de valor para la fabricación de baterías. Argentina, Bolivia y Chile suman cerca del 60% de las reservas identificadas de litio. EL BID se encuentra apoyando a estos tres países mediante asistencia técnica (Malagón, 2021).



Casos de estudio y/o proyectos a nivel mundial

El escenario energético global está cambiando con la entrada del almacenamiento de energía con baterías, esta tecnología está ganando atención mundial como un método económico que puede ayudar a cerrar la brecha energética global mientras se aborda el cambio climático. En el este capítulo se presentan proyectos de sistemas de almacenamiento de energía instalados en todo el mundo. Existe una base de datos del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) que proporciona información global a nivel de investigación, sobre proyectos de almacenamiento de energía conectados a la red, políticas estatales y federales relevantes a nivel mundial, con un total de 1693 proyectos registrados. La base de datos es de fácil consulta y validación, además, se encuentran datos de los proyectos tales como nombre, ubicación, tamaño, costo, e información adicional como especificaciones del sistema / subsistema. A continuación, se muestra en la figura, un ejemplo de navegación de los proyectos a nivel mundial (DOE, 2021).



Figura 25: Proyectos a nivel global de los sistemas de almacenamiento de energía (link de navegación: <https://sonda.gov/ees-asl/gesdb/public/projects.html>)

La mayoría de los sistemas de almacenamiento actuales en todo el mundo, utilizan y le están apostando a las baterías de litio, por su costo y efectividad, a continuación, se destacan dos proyectos, uno en California y otro en Australia donde utilizan dicha tecnología.

Tabla 31. Proyectos de almacenamiento en Estados Unidos y Australia. (Modificación, 2021)

Alamitos

 Long Beach, California

Tecnología:

Baterías de Ion de litio

Descripción: actualmente, el sistema cuenta con aproximadamente 500 MW de baterías e informan que próximamente estarán alcanzando los 2,000 MW de capacidad de almacenamiento de energía, consiste en celdas de iones de litio que permiten almacenar energía eléctrica hasta por 4 horas, para un total de 400MWh. más allá de ser uno de los proyectos de baterías más grandes de Estados Unidos

Hornsedale Power Reserve

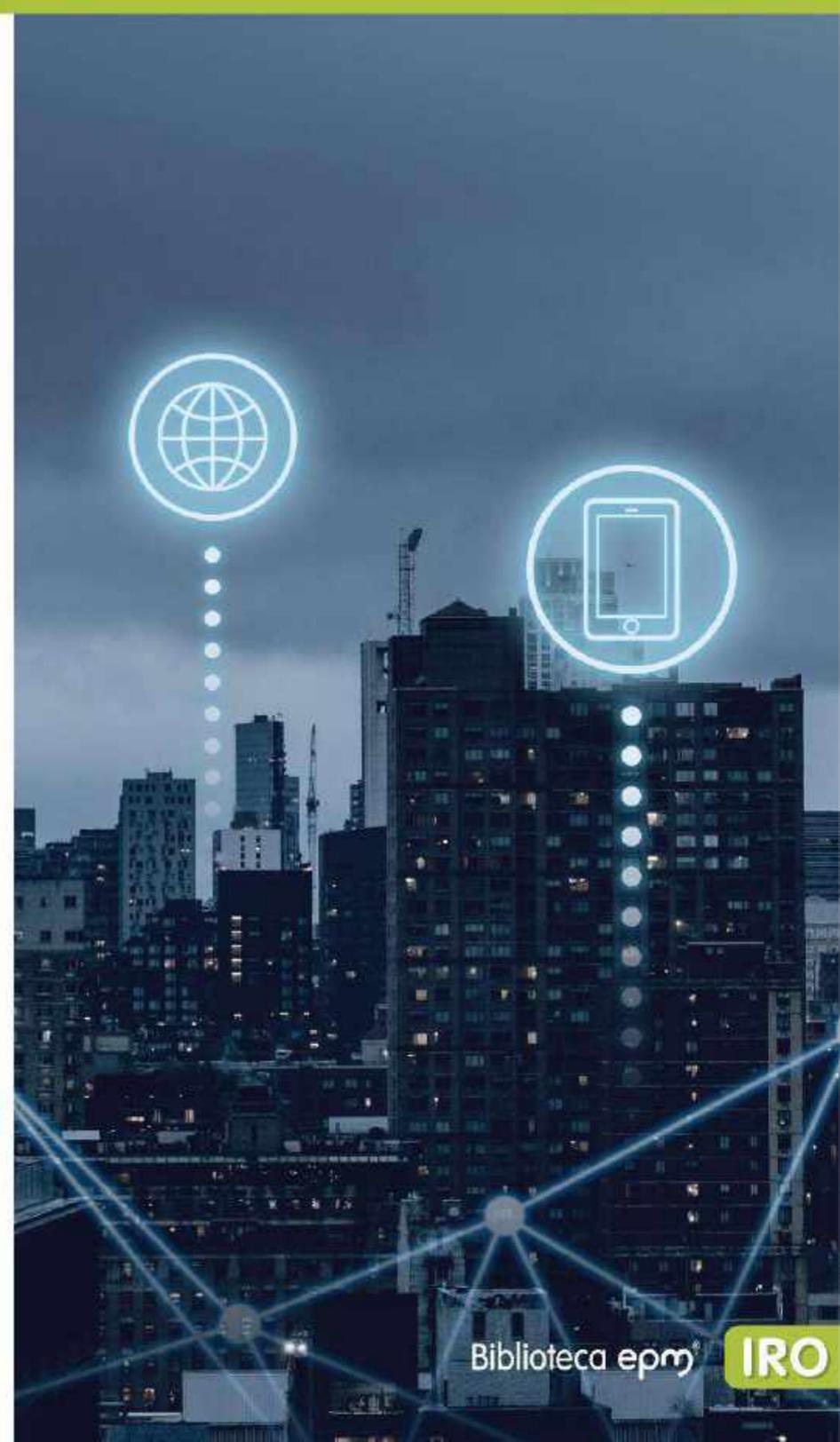
 Australia

Tecnología:

Baterías de Ion de litio

Descripción: la expansión de 50MW / 64.5MWh, (actualmente en construcción), mostrará aún más los beneficios completos que las baterías a escala de red pueden brindar al mercado nacional de electricidad (NEM) y a los consumidores australianos, operada por la compañía energética francesa Neoen, la batería ya ha reducido los costos de estabilización de la red en aproximadamente 40 millones de dólares en su primer año de operación, y ha ahorrado a los consumidores 116 millones de dólares durante 2019, según los medios locales, la batería cubre aproximadamente una hectárea de tierra, y se sitúa en el parque eólico Hornsdale, a 15 km al norte de Jamestown. Este parque eólico es actualmente el mayor generador de energía renovable del sur de Australia, y suministra la electricidad que almacena esta enorme batería

Existe una fuerte demanda a nivel mundial sobre el almacenamiento de energía. América Latina le apuesta a esta transformación y tecnología para dar soluciones energéticas que no solo aumenten el consumo de energía limpia, sino que también estabilicen y fortalezcan las redes existentes, posibilitando la adopción de energías limpias y la mitigación del cambio climático.



Proyectos emblemáticos de almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe

En la siguiente tabla se muestran algunos proyectos representativos de la región de Latinoamérica y el Caribe, destacando proyectos como la estación de bombeo Rio Grande de 750 MW en Córdoba, Argentina, este proyecto es uno de los Sistemas de Almacenamiento de Energía (SAE) más grandes de la región y existe desde hace 35 años. Otro proyecto para destacar en el territorio es La Central Termosolar del Cerro Dominador, ubicada en Chile y recientemente puesta en marcha con una capacidad de almacenamiento de 110 MW en sales fundidas. En algunos proyectos que utilizan baterías de litio, se observan esquemas innovadores, enmarcados en la cuarta revolución industrial, uno de estos es el "embalse virtual" de la planta Alfafal I, ubicado en Chile (Malagón, 2021).

A continuación, se hace referencia a algunos de los principales proyectos de almacenamiento de Latinoamérica, la región caribe.

Complejo Hidroeléctrico Rio Grande

 Córdoba, Argentina

Tecnología:

Central hidroeléctrica de bombeo

Descripción: el complejo Hidroeléctrico Rio Grande es la mayor central hidroeléctrica de generación y bombeo de América del Sur. Su rasgo distintivo es la capacidad de bombear agua desde un embalse inferior hacia uno superior, para luego generar energía, tiene capacidad de 750 MW, puede operar en modo de generación o bombeo. Cuenta con un embalse superior y uno inferior ubicado a 12 km aguas abajo, con un desnivel de 185 m. Transforma la energía de base y bajo costo marginal, en energía de punta en las horas de mayor demanda

Planta Termosolar Cerro Dominador

 Antofagasta, Chile

Tecnología:

Termosolar de concentración (CSP) con sales fundidas

Descripción: planta termosolar de torre de 110 MW con capacidad de almacenamiento de 17,5 horas mediante el sistema de térmico que se compone de tanques para sales frías y sales calientes, este sistema permite producir electricidad durante la noche permitiendo gestionar la energía producida e inyectar energía durante la noche. La energía se capta a través de heliostatos, megaspejos que siguen la trayectoria del solar con un movimiento en dos ejes. Estos apuntan al receptor ubicado en lo alto de la torre

Central Hidroeléctrica Alfafal I

 San José del Maipó, Chile

Tecnología:

Baterías de ion de litio

Descripción: el sistema de almacenamiento de 10MW/50MWh acompaña a la central hidroeléctrica de pasada de 178 MW, constituyéndose un embalse virtual (Virtual Reservoir) es una gran revolución, porque almacena en las baterías la energía generada por la caída del agua durante las horas de menor demanda, para entregarla al sistema eléctrico en las horas que más la necesita. La iniciativa piloto de 10 MW por 5 horas está compuesta por un total de 3.894 baterías industriales de ion litio

Termozipa

 Zipaquirá, Colombia

Tecnología:

Baterías de ion de litio

Descripción: esta infraestructura permite a la central térmica Termozipa, incrementar su capacidad de generación al almacenar 7 MW de potencia y 3,9 MWh de energía, la cual podrá ser entregada cuando el sistema eléctrico Nacional la necesite y permitirá iluminar el equivalente a 70.000 hogares

Tabla 32. Proyectos de almacenamiento en Latinoamérica. (Malagón, 2021)

Plantas Fotovoltaicas Albireo 1 y 2

 Usulután, El Salvador

Tecnología:

Baterías de ion de litio

Descripción: el sistema de baterías de ion de litio de 3 MW/1,5 MWh acompaña a dos plantas fotovoltaicas de 140 MWp de capacidad instalada total incluidas una línea de transmisión de 8,7 kilómetros y otras instalaciones de interconexión, situadas en los municipios de Puerto del Triunfo, Jiquilisco y Ozatlán, departamento de Usulután, El Salvador (el "Proyecto"). El Proyecto se beneficiará de contratos de compraventa de energía a 20 años de plazo denominados en dólares estadounidenses, a un precio de alrededor de US\$49,6/MWh, suscritos con las siete empresas de distribución. El almacenamiento en la planta fotovoltaica estará basado en un sistema de almacenamiento de energía de batería de 3 MW/1,5 MWh garantizado, a fin de cumplir el código de redes eléctricas de El Salvador que contempla un servicio de reserva primaria de 3% para reglamentación primaria

Aura Solar III

 Baja California Sur, México

Tecnología:

Baterías de ion de litio

Descripción: El SAE de 10.5 MW acompaña la planta solar fotovoltaica de 32MWp y provee regulación primaria de frecuencia, y está en capacidad de proveer otros servicios complementarios. Con una inversión de US\$45 millones correspondientes a la instalación de 92 mil módulos fotovoltaicos monocristalinos montados en estructura fija y vida útil de 30 años. Está construido en una superficie de 50 hectáreas. Aura Solar III cuenta con un permiso de generación legado otorgado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) bajo el esquema de Pequeña Producción, la energía producida por esta central, 65 GWh/año, se destina de manera exclusiva a CFE, mediante un contrato de compra-venta de energía (PPA) por 20 años. CFE retribuye la energía suministrada por el proyecto con base en el Precio Marginal Local (PML) del nodo de La Paz

Central Hidroeléctrica Alfafal I

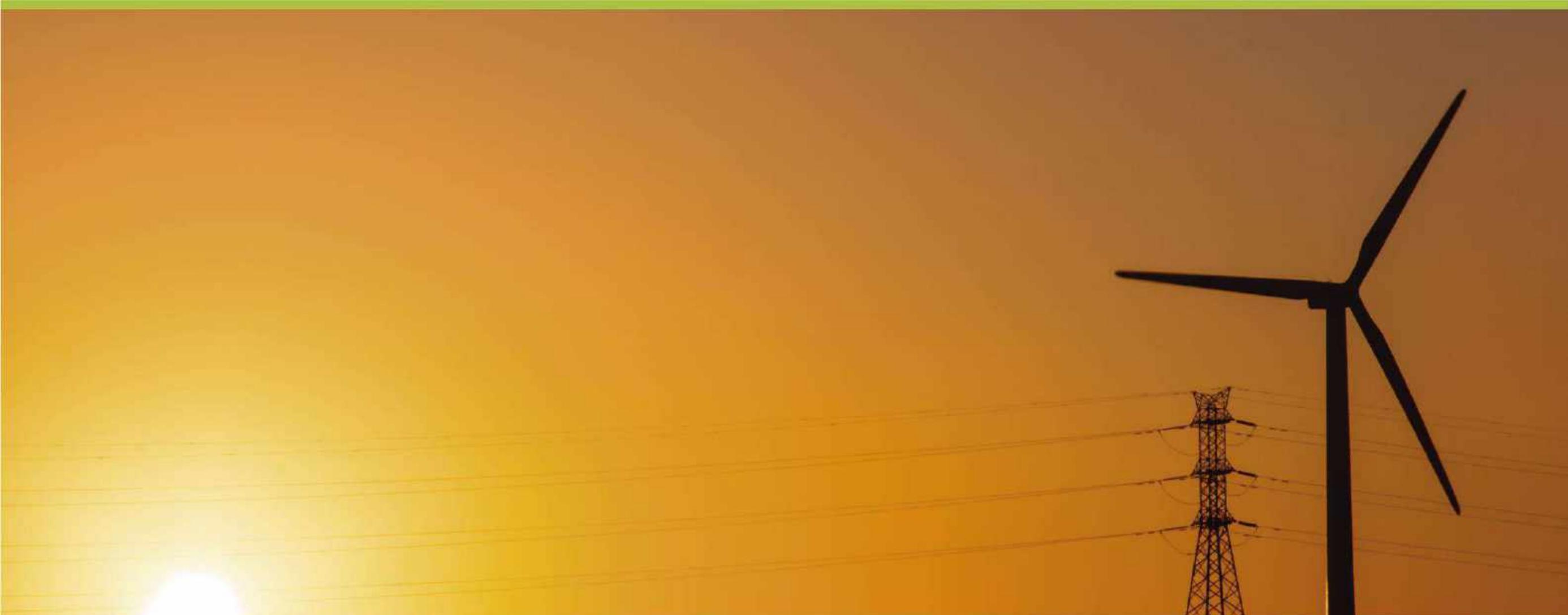
 República Dominicana

Tecnología:

Baterías de ion de litio

Descripción: proveen regulación de frecuencia primaria a dos plantas de generación eléctrica a base de gas para este proyecto se instaló un sistema de almacenamiento de energía utilizando baterías que equivalen aproximadamente al 3% de la capacidad instalada de generación para la unidad de AES DPP, tiene una autonomía de regulación de 30 minutos, y está diseñado de forma modular de 4 núcleos de 2.5MW cada uno y la posibilidad de aumentar la capacidad del sistema operan de forma continua y estable, verificándose la entrega del margen completo de 10 MW, en cada una, tanto para descarga (entrega de 10MW) como para carga (consumo 10 MW) equivalente a 40 MW

América Latina y el Caribe (ALC) tienen una oportunidad a nivel tecnológico, de aumentar su participación en la cadena de valor para la fabricación de baterías. Argentina, Bolivia y Chile suman cerca del 60% de las reservas identificadas de litio. EL BID se encuentra apoyando a estos tres países mediante asistencia técnica (Malagón, 2021).



CAPÍTULO 7

Almacenamiento de energía en Colombia

- La UPME y su rol ante la subasta de almacenamiento de energía con baterías en Colombia
- Proyección del almacenamiento de energía en Colombia



Ideas clave

- ✓ En Colombia el almacenamiento de energía está dando sus primeros pasos. Este año se inauguró el primer sistema de almacenamiento de energía a gran escala ejecutado por Enel-Emgesa, proyecto que se desarrolló en la Central Termozipa en el municipio de Tocancipá (Cundinamarca), el cual se encuentra conectado al sistema de transmisión regional en la sabana de Bogotá y funciona mediante el uso de baterías de litio. Su potencia instalada es de 7 MW y de 3.9 MWh en energía, suficiente para alumbrar a aproximadamente 70000 viviendas.
- ✓ La tecnología de almacenamiento de energía con baterías de litio continúa estando en etapas tempranas de desarrollo e implementación. Dicha tecnología continúa abriendo camino en el mercado global con un valor comercial limitado en numerosos países, en el mercado latinoamericano, el país de Chile tiene el mercado más prometedor de la región en términos de almacenamiento de energía. Wood Mackenzie pronostica que el CAPEX para tecnología de almacenamiento en América Latina se iguale mucho más a cifras globales del orden de US 0,7 millones/MW hacia 2030. Esto implica una reducción del 50% con respecto a los costos de 2019. Colombia va por buen camino, entrando en los límites promedios a nivel global (BID, 2019).





En Colombia el almacenamiento de energía está dando sus primeros pasos. Este año se inauguró el primer sistema de almacenamiento de energía a gran escala ejecutado por Enel-Emgesa, proyecto que se desarrolló en la Central Termozipa en el municipio de Tocancipá (Cundinamarca), el cual se encuentra conectado al sistema de transmisión regional en la sabana de Bogotá y funciona mediante el uso de baterías de litio. Su potencia instalada es de 7 MW y de 3.9 MWh en energía, suficiente para alumbrar a aproximadamente 70000 viviendas.

Las baterías son integradas al sistema eléctrico nacional a través de un conjunto de equipos que permiten realizar el intercambio de energía y maximizar la entrega de potencia de las unidades de generación, con el fin de respaldar la estabilidad de la red eléctrica almacenando los excedentes de energía en momentos de baja demanda y brindando operabilidad al entregarlos en la red.

Según Enel-Emgesa la estructura de almacenamiento de energía instalada en Colombia, incluye:

- ✓ Transformadores de potencia de entrada y de salida
- ✓ Una sala eléctrica que contiene dos transformadores de 500 kVs y un sistema de distribución de corriente continua
- ✓ Siete contenedores donde está la zona de baterías, lugar en el que se almacena la energía para generar una potencia aproximada de 7MW
- ✓ Una zona de inversores donde se convierte la corriente continua a corriente alterna de manera bidireccional
- ✓ Un sistema de control en el que se gestiona o controla la energía y el almacenamiento, además desde allí se monitorean voltajes, corriente o temperaturas para proteger las baterías (Enel, 2021)

✓ "De la mano de Enel-Emgesa damos un nuevo paso en la transición energética con la inauguración de este el primer sistema de almacenamiento de energía con batería de gran capacidad que se instala en el país. Este se suma a la primera convocatoria en Colombia y en Latinoamérica para almacenamiento de energía con baterías a gran escala que se desarrollará en el Atlántico y tendrá una capacidad de 50 megavatios (MW) y con el cual seremos pioneros en América Latina" (Enel, 2021)

Figura 26. Termozipa en el municipio de Tocancipá, Cundinamarca. Fuente: (Enel, 2021)

En una entrevista que se le realizó al ministro de Minas y Energía de Colombia, Diego Mesa, recalcó sobre el almacenamiento de energía lo siguiente:

La UPME y su rol ante la subasta de almacenamiento de energía con baterías en Colombia

La Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el 22 de junio de 2021, llevó a cabo la audiencia de presentación de propuestas de la Convocatoria Pública (UPME STR 01-2021) mediante la cual se procura elegir un inversionista y un interventor para el diseño y construcción, operación y mantenimiento de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica por 50MW con baterías en el Departamento de Atlántico (Zapata & Vesga, 2021).

En la convocatoria se realizaron las inscripciones de las siguientes empresas:

- NG Colombia Energía SAS.
- Proeléctrica SAS.
- Celsia Colombia SA.
- Interconexión Eléctrica SA.
- Sociedad Instincts Terpel
- Canadian Social Energy Colombia SAS.
- Grupo Energía de Bogotá SA.
- ABO Wind Renovables (Proyecto Diez SAS)
- Aire SAS.
- Saeb Atlántic

Canadian Solar Energy Group fue la ganadora de la primera subasta de almacenamiento, dando cumplimiento a todos los requisitos propuestos en la convocatoria motivo por el cual se le adjudicó, el desarrollo del sistema de almacenamiento de energía eléctrica con baterías en Atlántico, el valor propuesto por la compañía fue de \$72.066 millones, dividido en 15 anualidades de \$10.300 millones (Analitik Valora, 2021).

Durante el evento de la subasta en Colombia, se dan a conocer las propuestas de las compañías que participaron:

1		Engie Colombia Primera hasta la 15 anualidad: \$16.739 millones Valor presente del ingreso anual: \$117.118 millones
2		Proeléctrica Primera hasta la 15 anualidad: \$11.998 millones Valor presente del ingreso anual: \$63.946 millones
3		Celsia Colombia Primera hasta la 15 anualidad: \$11.498 millones Valor presente del ingreso anual: \$80.448 millones
4		Interconexión Eléctrica SA (ISA) Primera hasta la 15 anualidad: \$18.255 millones Valor presente del ingreso anual: \$127.724 millones
5		Stem Terpel Primera hasta la 15 anualidad: \$17.530 millones Valor presente del ingreso anual: \$122.652 millones
6		Canadian Solar Energy Colombia (ganadora) Primera hasta la 15 anualidad: \$10.300 millones Valor presente del ingreso anual: \$72.066 millones
7		Grupo Energía Bogotá Primera hasta la 15 anualidad: \$14.062 millones Valor presente del ingreso anual: \$98.387 millones
8		ABO Wind Renovables Proyecto Diez Primera hasta la 15 anualidad: \$14.246 millones Valor presente del ingreso anual: \$99.681 millones
9		Air-E Primera hasta la 15 anualidad: \$13.220 millones Valor presente del ingreso anual: \$92.498 millones

* Nota: Saeb Atlantic se retiró.

Analitik Valora, 2021

Proyección del almacenamiento de energía en Colombia

El almacenamiento de energía no solo es una realidad, es una solución tecnológica que sin duda tendrá un mercado fundamental en la creación de un futuro energético más confiable y sostenible alrededor del mundo. En un estudio llamado **Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina** (BID, 2019) apoyado por el BID y por los analistas de investigación de Wood Mackenzi; el estudio, brinda un análisis internacional sobre las tendencias actuales de costos de la energía eólica (terrestre y marina), solar fotovoltaica y en el almacenamiento de energía, se enfocan en los sistemas de baterías con iones de litio, asimismo se destaca el análisis realizado para el país de Colombia, donde manifiestan que: "se prevé que los niveles de CAPEX coincidan con los niveles globales para el año 2023, y que Colombia sea uno de los primeros países latinoamericanos con un costo todo incluido del sistema menor a USD 1 millón/MW." exponiéndolo en la siguiente figura:

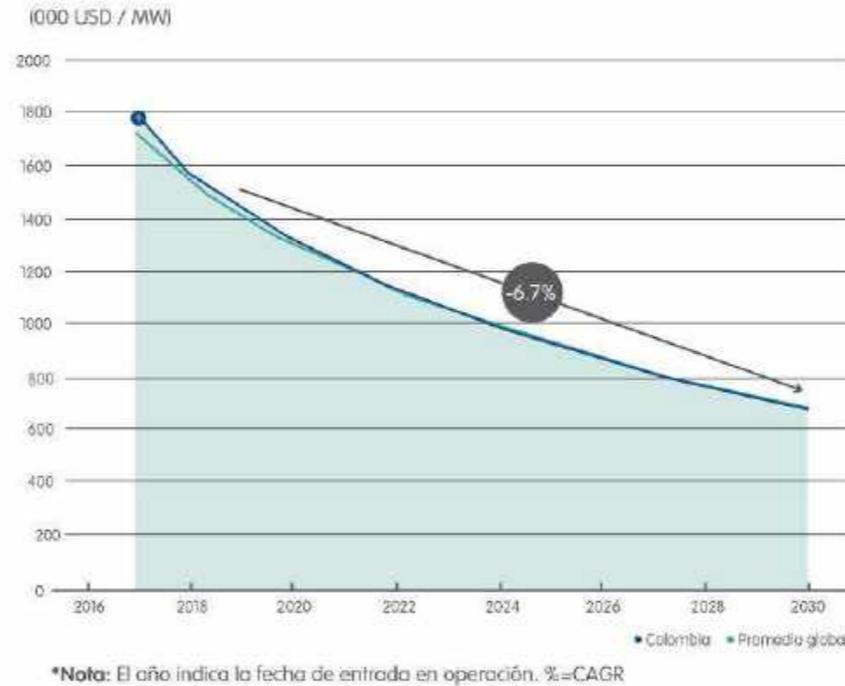


Figura 27. Estimación de CAPEX Almacenamiento durante 2019-2030e, kUSD/MW (BID, 2019)

Según el análisis presentado y de acuerdo con la tasa de crecimiento anual compuesto, Colombia alcanzará al 2030 una reducción del 6.7 % en su CAPEX, según esta evaluación de impacto sobre los factores para reducción de CAPEX, destacan: (Ver Figura 28) (BID, 2019).

- No hay impuestos o aranceles de importación e Incentivos para la producción parcial.
- Un ambiente regulatorio favorable para la energía eólica: por ejemplo, subastas y metas de energía renovable.

También resaltan 3 puntos desfavorables para el crecimiento de este:

- Cadena de suministro local (el país no cuenta con plantas de producción de energía renovable no convencional para su almacenamiento).
- Tecnología.
- Capacidad instalada (capacidad instalada baja y presencia local limitada de empresas de contratación llave en mano).

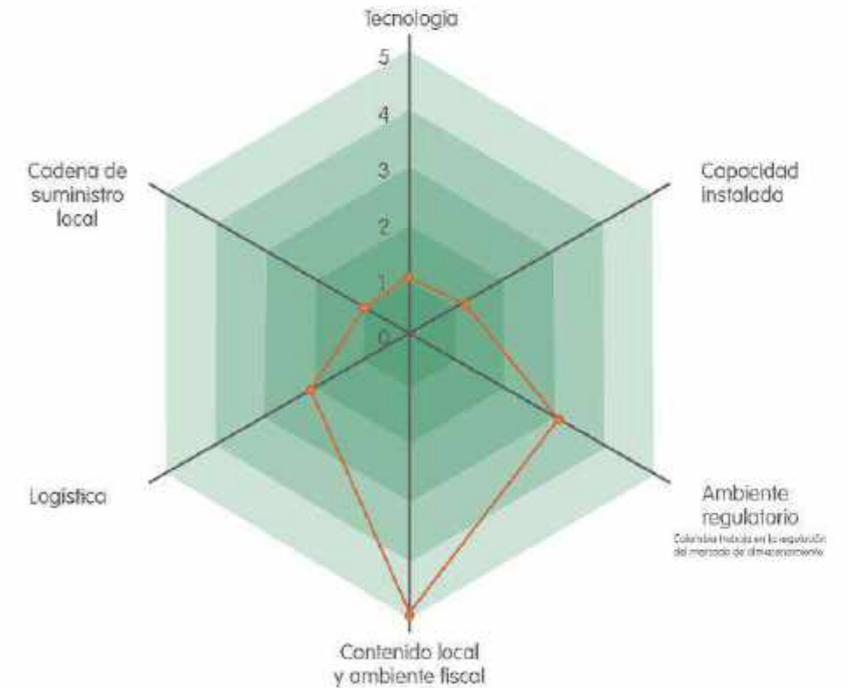


Figura 28. Factores claves para la reducción del CAPEX en almacenamiento (BID, 2019)

La tecnología de almacenamiento de energía con baterías de litio continúa estando en etapas tempranas de desarrollo e implementación. Dicha tecnología continúa abriendo camino en el mercado global con un valor comercial limitado en numerosos países, en el mercado latinoamericano, el país de Chile tiene el mercado más prometedor de la región en términos de almacenamiento de energía. Wood Mackenzie pronostica que el CAPEX para tecnología de almacenamiento en América Latina se iguale mucho más a cifras globales del orden de USD 0,7 millones/MW hacia 2030. Esto implica una reducción del 50% con respecto a los costos de 2019. Colombia va por buen camino, entrando en los límites promedios a nivel global, como se observa la siguiente figura y la tabla presentadas a continuación.

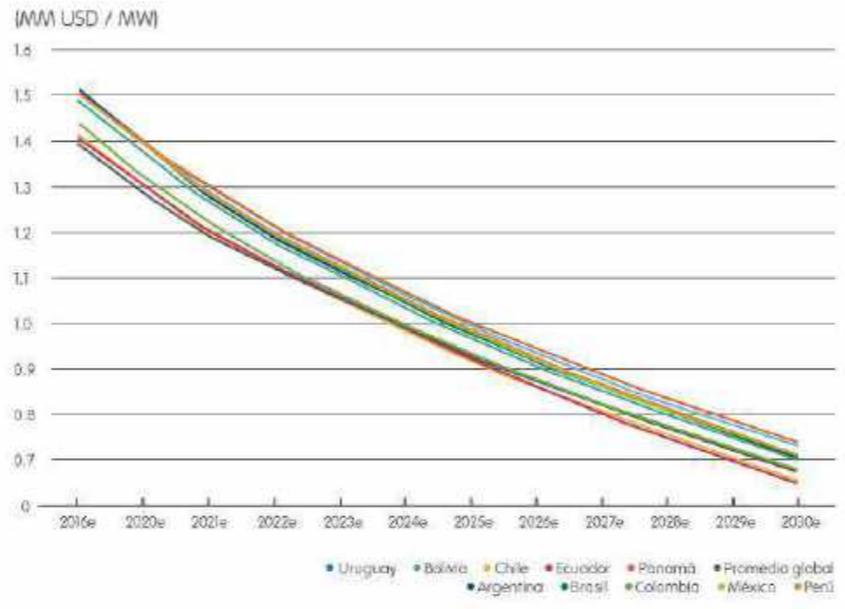


Figura 29. Estimación de costos de capital para el almacenamiento de energía en el período 2019-2030e; MM USD/MW (BID, 2019)

Tabla 33. Evolución del CAPEX del almacenamiento de energía en Latinoamérica (BID, 2019)

	2019e	2020e	2021e	2022e	2023e	2024e	2025e	2026e	2027e	2028e	2029e	2030e
Global	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.0	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.8	\$0.7	\$0.7
Argentina	\$1.5	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.0	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.7	\$0.7
Bolivia	\$1.5	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.0	\$1.0	\$0.9	\$0.8	\$0.8	\$0.7	\$0.7
Brasil	\$1.5	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.1	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.8	\$0.7
Chile	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.0	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.7	\$0.7	\$0.7
Colombia	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.1	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.8	\$0.7	\$0.7
Ecuador	\$1.5	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.1	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.8	\$0.7
México	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.1	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.7	\$0.7	\$0.6
Panamá	\$1.5	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.1	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.8	\$0.7
Perú	\$1.5	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.0	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.8	\$0.7
Uruguay	\$1.5	\$1.4	\$1.3	\$1.2	\$1.1	\$1.1	\$1.0	\$0.9	\$0.9	\$0.8	\$0.8	\$0.7



APARTADO FINAL

Análisis IRO – Implicaciones,
Riesgos y Oportunidades

El almacenamiento de energía con baterías ha permitido aumentar la generación renovable en varios países, pero hay que tener en cuenta que cada proyecto de almacenamiento es distinto y acorde a la necesidad de implementación, su inversión dependerá de cómo se quiera monetizar la solución y la tecnología disponible. A continuación, se presentan los principales riesgos y oportunidades identificados durante la elaboración del presente informe para la gestión de proyectos asociados con el almacenamiento de energía. Vale aclarar que el lector puede identificar otros aspectos de acuerdo con su contexto.

Riesgos Oportunidades

- ⚠ La implementación masiva de sistemas de energía solar fotovoltaica con la articulación del almacenamiento de energía ocasionará la retirada de unos usuarios de la red eléctrica lo que aumentará el costo asociado a mantenimiento y operación a los demás usuarios que se quedan para suministro por la misma.
- ⚠ Baja capacidad de respuesta para clasificación y disposición de residuos sólidos asociados a las baterías que salen de circulación.
- ⚠ Costos/ Beneficio de las tecnologías.
- ⚠ La devaluación actual del peso colombiano con respecto a otras monedas, tiende a encarecer la adquisición de tecnologías para la implementación de proyectos en el país.
- ⚠ Vacíos normativos y regulatorios que dificultan la implementación y operación del almacenamiento de energía.
- ⚠ Limitación de áreas necesarias para el despliegue de proyectos de almacenamiento de energía con baterías debido a que requiere de bastante espacio.
- ⚠ Pérdida de control sobre el manejo y disposición final de baterías que salen de circulación por la alta demanda.

- 💎 Apertura a nuevos negocios y proyectos asociados al segundo uso de las baterías.
- 💎 Alianza intersectorial para el desarrollo de nuevos negocios, creación e impulso de nuevas políticas que permitan la rápida adopción del almacenamiento.
- 💎 Mayor despliegue y fomento de energías renovables.
- 💎 Baja incertidumbre en la participación del mercado energético.
- 💎 Mayor despliegue para la implementación de redes inteligentes y microrredes.
- 💎 Aporte a la descarbonización del sector eléctrico. (facilita el cumplimiento de metas asociadas a la reducción del CO2).
- 💎 Posibilidad de almacenar fuentes de energía asíncronas con el fin de aprovechar la disponibilidad del recurso especialmente en zonas no interconectadas (ZNI).
- 💎 Las organizaciones que se dedican al almacenamiento de energía, o fabricación de vehículos eléctricos, cuentan con la experiencia y equipos necesarios para iniciarse en el negocio de Baterías de segundo Uso.
- 💎 Para la implementación de incentivos económicos adicionales para el despliegue de baterías de segundo uso para el almacenamiento, las organizaciones deben posicionarse como mayores impulsores normativos para la inclusión de estas tecnologías.
- 💎 Articulación Intersectorial para el desarrollo y la investigación de tecnologías más eficientes tendientes a la reducción de costos por elaboración.
- 💎 Mejora la seguridad y confiabilidad de la red eléctrica y la calidad de energía en cuanto a servicios para balance del sistema eléctrico brindando soporte a la infraestructura y como servicios auxiliares de transporte y distribución.
- 💎 Implementación de proyectos piloto para los "embalses virtuales" instalando un sistema de baterías para el almacenamiento de energía en centrales hidráulicas de pasada permitiendo contar con un reservorio de energía y no de agua, dando una mayor seguridad y flexibilidad al sistema eléctrico nacional (SEN)
- 💎 De acuerdo con la proyección para Colombia en el año 2030 de la reducción del 6.7 % en su CAPEX, se abre la oportunidad de atraer mayores inversionistas para la ejecución de nuevos proyectos volviéndose más atractivos para diversos actores del sector energético nacional e internacional.
- 💎 Mejora de la prestación del servicio de energía, ya que hay una continuidad del servicio en momentos de fallas técnicas.

referencias

- ✓ 8minute Solar Energy. (2021). Shaping the Future of Energy. Retrieved from <https://www.8minute.com/>
- ✓ Analitik Valora. (2021, Julio 02). Adjudican a Cadadian Solar convocatoria de almacenamiento con baterías en Atlántico. Analitik Valora. Retrieved from <https://www.valoraanalitik.com/2021/07/02/adjudican-canadian-solar-convocatoria-almacenamiento-baterias-atlantico/>
- ✓ Arteaga, F. (2019, Julio 9). Ciberseguridad y seguridad integral en el sector energético. Real instituto El Alcano. Retrieved from http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano_es/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/ciberseguridad/ari83-2019-arteaga-ciberseguridad-y-seguridad-integral-en-el-sector-energetico
- ✓ Australian Energy Storage Alliance. (2016). Australian Energy Storage Alliance. Retrieved from <https://energystoragealliance.com.au/>
- ✓ BID. (2019, Diciembre). Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina. Retrieved from <https://publications.iadb.org/es/evolucion-futura-de-costos-de-las-energias-renovables-y-almacenamiento-en-america-latina>
- ✓ BID. (2019, 12). Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina. Retrieved from <https://publications.iadb.org/es/evolucion-futura-de-costos-de-las-energias-renovables-y-almacenamiento-en-america-latina>
- ✓ Bloomberg NEF. (2020, Octubre 16). China Dominates the Lithium-ion Battery Supply Chain, but Europe is on the Rise. Retrieved from <https://about.bnef.com/blog/china-dominates-the-lithium-ion-battery-supply-chain-but-europe-is-on-the-rise/>
- ✓ BloombergNEF. (2020). Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh. Retrieved 08 2021, from <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-be-low-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>
- ✓ California Energy Storage Alliance. (n.d.). Mission. Retrieved Agosto 12, 2021, from <https://www.storagealliance.org/about/mission>
- ✓ Chalmers University of Technology. (2021, Mayo 19). Química.es. Retrieved from <https://www.quimica.es/noticias/1171135/primer-concepto-mundial-de-bateras-recargables-a-base-de-cemento.html>
- ✓ China Energy Storage Alliance. (2019). China Energy Storage Alliance. Retrieved from <http://en.cnesa.org/>
- ✓ CREG. (2020). Baterías - BESS: Convocatoria pública . Colombia: Upme. Retrieved from https://www1.upme.gov.co/PromocionSector/InformacionInversionistas/Documents/UPME-STR-01-2020/Socializaci%c3%b3n_STR_01_2020_SAEB.pdf
- ✓ Deloitte. (2020). Ciberseguridad en el sector eléctrico: Amenazas para sistemas TI y OT. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pe/Documents/risk/cl-ciberseguridad-en-el-sector-electrico-diciembre-2020.pdf>
- ✓ Digiteum. (2021, Mayo 13). Retrieved from <https://www.digiteum.com/internet-of-things-energy-management/>
- ✓ DOE. (2020). Energy Storage Grand Challenge Energy Storage Market Report 2020. Retrieved Agosto 20, 2021, from https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/12/f81/Energy%20Storage%20Market%20Report%202020_0.pdf

referencias

- ✓ DOE. (2020). Energy Storage Grand Challenge Energy Storage Market Report 2020. Retrieved 08 2021, from https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/12/f81/Energy%20Storage%20Market%20Report%202020_0.pdf
- ✓ DOE. (2020). Energy Storage Grand Challenge Roadmap. Departamento de Energía de los Estados Unidos. Retrieved Agosto 20, 2021, from <https://www.energy.gov/sites/default/files/2020/12/f81/Energy%20Storage%20Grand%20Challenge%20Roadmap.pdf>
- ✓ DOE. (2021). Retrieved from <https://sandia.gov/ess-ssl/gesdb/public/index.html>
- ✓ DOE. (2021). Global Energy Storage Database. Retrieved from <https://sandia.gov/ess-ssl/gesdb/public/index.html>
- ✓ ENDESA. (2017). El almacenamiento de energía en la distribución eléctrica del futuro (Observatorio energía e innovación). España: Grafilia, S.L. doi:ISBN: 978-84-95662-56-9
- ✓ Enel. (2021, Abril 20). Enel-Emgesa inaugura el primer sistema de baterías de almacenamiento de energía de Colombia. Enel. Retrieved from <https://www.enel.com.co/es/prensa/news/d202104-inauguracion-primer-sistema-baterias-de-almacenamiento.html>
- ✓ Enel X. (2020, Diciembre 10). ¿Por qué estamos en el mejor momento para afianzar el sistema de almacenamiento de energía?: Existen incentivos gubernamentales para acelerar el desarrollo tecnológico de las baterías, un elemento vital hacia una economía baja en carbono. Retrieved from El almacenamiento: <https://corporate.enelx.com/es/stories/2020/12/energy-storage-incentives>
- ✓ Enel X. (2020, Diciembre 15). Enel X y la estrategia de la transición energética de la UE: Una oportunidad histórica. Retrieved from <https://corporate.enelx.com/es/stories/2020/12/eu-strategy-energy-transition>
- ✓ Energinet. (2018). System plan 2018. Retrieved from <https://en.energinet.dk/About-our-reports/Reports/System-Plan-2018>
- ✓ Energy Storage Association. (2021). ESA Energy Storage Association. Retrieved from <https://energystorage.org/>
- ✓ Estudios Energéticos Consultores. (2020). Estrategias para la implementación de esquemas de señales de precios y cargos horarios de los usuarios finales en el SIN. Colombia. Retrieved from [http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/5d44ab7a34e3a42a052586620063ceab/\\$FILE/Circular001-2021%20Informe.pdf](http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/52188526a7290f8505256eee0072eba7/5d44ab7a34e3a42a052586620063ceab/$FILE/Circular001-2021%20Informe.pdf)
- ✓ Felix , B., Gunther, G., & Alexander, R. (2020). Buisness Models and Profitability of Energy Sorage. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/334508706_Business_Models_and_Profitability_of_Energy_Storage
- ✓ Fundación ITMA, Universidad de Oviedo, INCAR. (2008). Aplicaciones Industriales de la nanotecnología. España: Tresalia Comunicación. Retrieved from <https://www.idepa.es/documents/20147/163848/AplicacionesIndustriales.pdf/6c110c65-76ef-fdfb-15dd-38c072d6e2ee>
- ✓ García, J. J., & Gutiérrez, A. (2021). Fuentes de Energía Renovable, Recursos Energéticos Distribuidos y Almacenamiento en Colombia: una revisión de la normatividad. Colombia: CIEF. Retrieved from <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/24809/WP-2021-01-%20Jhon%20Garcia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

referencias

- ✓ González, M. (2018, octubre 15). Láminas y Aceros. Retrieved from <https://blog.laminasyaceros.com/blog/conoce-the-edge-un-edificio-sustentable-y-m%C3%A1s-inteligente-del-mundo>
- ✓ Guillén, A. (2020). Ciberseguridad en el sector energético y vulnerabilidad en las instalaciones de energía renovable. AMER. Retrieved from <https://amer.org/wp-content/uploads/2020/05/Ciberseguridad-en-el-sector-energ%C3%A9tico-y-vulnerabilidades-en-las-instalaciones-renovables-preliminar.pdf>
- ✓ Gutiérrez, A., & García, J. (2020). Fuentes de Energía Renovable, Recursos Energéticos Distribuidos y Almacenamiento en Colombia. Universidad EAFIT. Retrieved from <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/24809/WP-2021-01-%20Jhon%20Garcia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- ✓ Hassain, E., Murtaugh, D., Mody, J., Faruque, H., Haque Sunny, M., & Mohammad, N. (2019). A Comprehensive Review on Second-Life Batteries: Current State, Manufacturing Considerations, Applications, Impacts, Barriers & Potential Solutions, Business Strategies, and Policies. IEEE Acces, 7, 73215-73252. doi:10.1109/ACCESS.2019.2917859
- ✓ Iberdrola. (s.f.). Almacenamiento de energía: la clave de un futuro descarbonizado. Retrieved 2021, from <https://www.iberdrola.com/medio-ambiente/almacenamiento-de-energia-eficiente>
- ✓ IEA. (2019). Capital cost of utility-scale battery storage systems in the New Policies Scenario, 2017-2040. Paris. Retrieved Agosto 31, 2021, from <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/capital-cost-of-utility-escalar-sistemas-de-almacenamiento-de-bateria-en-el-escenario-de-nuevas-politicas-2017-2040>
- ✓ IEA. (2019). Capital cost of utility-scale battery storage systems in the New Policies Scenario, 2017-2040. Paris. Retrieved 08 31, 2021, from <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/capital-cost-of-utility-escalar-sistemas-de-almacenamiento-de-bateria-en-el-escenario-de-nuevas-politicas-2017-2040>
- ✓ IEA. (2020). Almacenamiento de energía. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/energy-storage>
- ✓ IEA. (2020). Innovation in batteries and electricity storage: A global analysis based on patent data. Retrieved Agosto 16, 2021, from https://iea.blob.core.windows.net/assets/77b25f20-397e-4c2f-8538-741734f6c5c3/battery_study_en.pdf
- ✓ IEA. (2020). Innovation in batteries and electricity storage: A global analysis based on patent data. Retrieved from https://iea.blob.core.windows.net/assets/77b25f20-397e-4c2f-8538-741734f6c5c3/battery_study_en.pdf
- ✓ IEA. (2020). Innovation in batteries and electricity storage: A global analysis based on patent data . Retrieved from https://iea.blob.core.windows.net/assets/77b25f20-397e-4c2f-8538-741734f6c5c3/battery_study_en.pdf
- ✓ IEA. (2020). Innovation in batteries and electricity storage: A global analysis based on patent data . Retrieved 08 2021, from https://iea.blob.core.windows.net/assets/77b25f20-397e-4c2f-8538-741734f6c5c3/battery_study_en.pdf
- ✓ IHS Markit. (2021, Abril 18). Sunday read: Strong growth ahead for storage. PV Magazine. Retrieved Septiembre 24, 2021, from <https://www.pv-magazine-australia.com/2021/04/18/sunday-read-strong-growth-ahead-for-storage/>

referencias

- ✓ India Energy Storage Alliance. (n.d.). Energy Storage Alliance in India. Retrieved Agosto 2021, from <https://indiaesa.info/>
- ✓ Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático . (2020). Catálogo de Tecnologías de Almacenamiento de energía. In Technology Roadmap and Mitigation Potential of Utility-scale Electricity Storage in Mexico. México. Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/590035/11_INFORME_D2_Catalogo_de_Tecnologias_Almacenamiento_Energia_ESPANOL_CGMCC.pdf
- ✓ IRENA. (2017). Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030. Abu Dhabi.: International Renewable Energy Agency. Retrieved from <https://www.irena.org/publications/2017/oct/electricity-storage-and-renewables-costs-and-markets>
- ✓ Johan Cruyff Institute. (2021, abril 23). Johan Cruyff Institute. Retrieved from <https://johancruyffinstitute.com/es/blog-es/gestion-deportiva/johan-cruyff-arena-un-estadio-inteligente/>
- ✓ Lucera. (2021). Tarifas de luz. Retrieved from <https://lucera.es/tarifas-luz>
- ✓ Malagón, E. (2021, Julio 20). Energía para el futuro - BID. Retrieved from <https://blogs.iadb.org/energia/es/sistemas-de-almacenamiento-de-energia-descarbonizacion/>
- ✓ Minambiente. (2017). Política Nacional. Retrieved from https://www.minambiente.gov.co/Images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/e-book_rae_/contenido_2_2_1.html
- ✓ Ministerio de Minas y Energía. (2018). Resolución CREG 098 art. 6. Retrieved from <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5-ffb5b05256eee00709c02/e290022edb98a385052582f1005a620d?OpenDocument>
- ✓ Ministerio de Minas y Energía. (2019). Ley 1955, artículo 296. Colombia. Retrieved from https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24255815/301220_140121_Res_Reglamenta+el+art%C3%ADculo+296+de+la+Ley+1955+de+2019.pdf/4cfcb409-49fc-4abd-8571-91db3ad8d3b8
- ✓ Ministerio de Minas y Energía. (2021). Ley 2099. Retrieved from <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202099%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202021.pdf>
- ✓ Ministerio de Minas y Energía. (2021). Resolución 075. Retrieved from <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/a0544f39e0d2ae43052586f900034efb/5FILE/Creg075-2021.pdf>
- ✓ Ojea, L. (2019, Septiembre 19). Las nueve tecnologías de almacenamiento que ya pueden ser rentables para una red 100% renovable. El Periódico de la Energía. Retrieved from <https://elperiodicodelaenergia.com/las-nueve-tecnologias-de-almacenamiento-que-ya-pueden-ser-rentables-para-una-red-100-renovable/>
- ✓ Pacific Northwest National Laboratory - PNNL. (2020). 2020 Grid Energy Storage Technology Cost and Performance Assessment. U.S. Department of Energy. Retrieved from <https://www.pnnl.gov/sites/default/files/media/file/Final%20-%20ESGC%20Cost%20Performance%20Report%2012-11-2020.pdf>
- ✓ Pacific Northwest National Laboratory- PNNL (2021, Septiembre 09). Base de datos de costes y rendimiento del almacenamiento de energía. Retrieved from <https://www.pnnl.gov/ESGC-cost-performance>

referencias

- ✓ Porter, S., Molyka, M., & Thomson, J. (2020). Utility decarbonization strategies: Renew, reshape, and refuel to zero. Deloitte. Retrieved from <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/utility-decarbonization-strategies.html>
- ✓ Qingnan Zhang, E., & Tang, L. (2021). Rechargeable Concrete Battery. *Buildings* , 103. doi:<https://doi.org/10.3390/buildings11030103>
- ✓ Secretaría de Estado de Energía. (2021, Febrero). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Retrieved from https://www.miteco.-gob.es/es/prensa/estrategiaalmacenamiento_tcm30-522655.pdf
- ✓ Secretaría de Estado de Energía. (2021, 02). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Retrieved from https://www.miteco.-gob.es/es/prensa/estrategiaalmacenamiento_tcm30-522655.pdf
- ✓ Structuralia. (2020, agosto 17). Structuralia Blog. Retrieved from <https://blog.structuralia.com/smart-building>
- ✓ U.S. Department of Energy -DOE. (2016, Septiembre). Advanced metering infrastructure and customer systems: Results from the smart grid investment grant program. Retrieved from https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/12/f34/AMI%20Summary%20Report_09-26-16.pdf
- ✓ Vicepresidencia Cuarta del Gobierno de España. (2021). Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Retrieved from https://www.miteco.gob.es/es/prensa/estrategiaalmacenamiento_tcm30-522655.pdf
- ✓ Zapata, J. V., & Vesga, I. E. (2021, Julio 30). UPME da inicio a subasta de almacenamiento de energía con baterías en Colombia. Holland & Knight. Retrieved from <https://www.hklaw.com/en/insights/publications/2021/06/upme-da-inicio-a-subasta-de-almacenamiento-de-energia-con-baterias>
- ✓ Zhao, Y., Pohl, O., Bhatt, A., Collis, G., & Mahon, P. (2021). A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling. *Sustainable Chemistry* , 2(1), 167-205. doi:<https://doi.org/10.3390/suschem2010011>
- ✓ Zhao, Y., Pohl, O., Bhatt, A., Collis, G., & Mahon, P. (2021). A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling. doi:<https://doi.org/10.3390/suschem2010011>
- ✓ Ziegler, M., Mueller, J., Pereira, G., Song, J., Ferrara, M., Chiang, Y.-M., & Trancik, J. (2019). Storage Requirements and Costs of Shaping Renewable Energy Toward Grid Decarbonization. *Joule*, 3(9), 2134-2153. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.06.012>



Referencia Bibliográfica

Sugerimos se referencie el documento de la siguiente forma:

Vigilancia Estratégica - Biblioteca EPM (2021). IRO: Ciudades inteligentes: Soluciones distribuidas descentralizadas para la gestión eficiente de la energía con énfasis en almacenamiento

Recuperado desde: www.grupo-epm.com/site/bibliotecaepm/

IRO



Biblioteca epm®