

07

NOTA TÉCNICA
ABRIL 2025

olade

ORGANIZACIÓN
LATINOAMERICANA
DE ENERGÍA

LATIN AMERICAN
ENERGY
ORGANIZATION

ORGANIZAÇÃO
LATINO-AMERICANA
DE ENERGIA

ORGANISATION
LATINO-AMERICAINE
D'ENERGIE



NOTA TÉCNICA N° 7

PANORAMA DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



Nos une la energía

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

Andrés Rebolledo Smitmans
Secretario Ejecutivo

Autora
Angela Livino

Primera Edición – abril 2025

Sumário

1. Introducción	2
2. Panorama mundial y en América Latina y el Caribe de la hidroelectricidad 5	
2.1. La hidroelectricidad en el mundo.....	5
2.2. La hidroelectricidad en ALC.....	8
3. Modernización y Ampliación de Hidroeléctricas.....	12
4. Sistemas de Almacenamiento Hidráulicos.....	13
4.1. Operación de plantas de bombeo reversible	14
4.2. Potencial en América Latina y el Caribe	14
4.3. Desafíos	15
4.4. Ejemplos y proyectos en la región.....	16
4.5. Perspectivas futuras.....	17
5. Desafíos	18
5.1. Sostenibilidad ambiental y social.....	18
5.2. Inversiones en hidroelectricidad	19
6. Conclusiones	20
7. Referencias	21

1. Introducción

La generación hidroeléctrica, que utiliza la energía del agua en movimiento para producir electricidad, ha sido una fuente clave de energía renovable durante décadas. A medida que el mundo se enfrenta a la necesidad de una transición energética y a la descarbonización de la matriz energética, esta tecnología cobra una relevancia aún mayor. Esta nota explora su importancia, su contribución a la generación eléctrica mundial y en la región de América Latina y el Caribe, así como los desafíos que enfrenta en el contexto actual.

La energía hidroeléctrica es una de las fuentes de energía más limpias y sostenibles, con capacidad de proporcionar grandes cantidades de energía de manera constante y confiable, lo que la convierte en un componente esencial de la infraestructura energética global.

En tiempos de transición energética, donde se busca reducir la dependencia de los combustibles fósiles y disminuir las emisiones de carbono, la energía hidroeléctrica juega un papel crucial. Su capacidad para generar energía sin emisiones directas de carbono la convierte en una herramienta vital en la lucha contra el cambio climático. Además, las plantas hidroeléctricas pueden ser usadas para almacenar energía, facilitando la integración de otras fuentes renovables intermitentes, como la solar y la eólica.

Otra gran ventaja de las centrales hidroeléctricas, especialmente aquellas con mayor capacidad de regulación, es la prestación de servicios de regulación de caudal para otros usos del agua, muchos de ellos esenciales, como el abastecimiento humano y el abrevadero de animales, pero también para servicios como el riego de cultivos agrícolas en tiempos de crisis hídricas cada vez más frecuentes.

También vale la pena señalar que varios estudios muestran que las naciones que tienen mayor capacidad de almacenamiento y, en consecuencia, son más resilientes a la variabilidad climática, también se benefician más económicamente.

A pesar de sus beneficios, la energía hidroeléctrica no está exenta de desafíos. Entre los principales se encuentran:

- **Impacto Ambiental:** La construcción de presas y embalses puede afectar los ecosistemas acuáticos y terrestres, así como desplazar comunidades locales.
- **Cambio Climático:** La variabilidad en los patrones de precipitación debido al cambio climático puede afectar la disponibilidad de agua y, por ende, la capacidad de generación.

- Inversiones y Costos: El desarrollo de proyectos hidroeléctricos requiere inversiones significativas y tiempos prolongados de construcción.
- Mantenimiento y Modernización: Muchas plantas hidroeléctricas existentes son antiguas y necesitan modernización para mejorar su eficiencia y reducir sus impactos ambientales.

La Agencia Internacional de Energía [1], en el Escenario de Políticas Declaradas (STEPS, por sus siglas en inglés), afirma que las necesidades de flexibilidad¹ del sistema eléctrico a corto plazo se triplicarán con creces a nivel mundial para 2050 en relación con la actualidad. En el Escenario de Compromisos Anunciados (APS, por sus siglas en inglés) se duplicarán para 2030 y aumentarán 4,5 veces para 2050.

La participación en rápido aumento de la energía solar fotovoltaica surge como el factor clave que incrementa las necesidades de flexibilidad a corto plazo: la energía eólica es menos variable en el corto plazo, pero puede variar significativamente a lo largo de las semanas o estaciones, y se convierte en un impulso importante de las necesidades de flexibilidad estacional a medida que aumenta su participación en los sistemas eléctricos de todo el mundo. Los patrones de producción eólica y solar pueden ser complementarios a las variaciones en la demanda de electricidad, pero su participación creciente tiende a aumentar las necesidades generales de flexibilidad del sistema.

Las crecientes necesidades de flexibilidad y los cambios en el parque de centrales eléctricas mundiales (con la eliminación gradual del carbón sin reducción en muchas regiones) hacen que la proporción de flexibilidad a corto plazo proporcionada por las centrales térmicas caiga de alrededor del 60 % actual a un tercio en 2030 en la APS. Las centrales térmicas, incluidas las centrales de combustibles fósiles sin reducción y las tecnologías de bajas emisiones (como la nuclear, los combustibles fósiles con captura, utilización y almacenamiento de carbono, la bioenergía, el hidrógeno y el amoníaco), seguirán siendo importantes proveedores de flexibilidad estacional hasta 2040. Recién en 2050 su participación en la combinación de flexibilidad se reducirá a aproximadamente el 10 % [1]. La participación relativa de energía hidroeléctrica en el suministro de flexibilidad a corto plazo disminuye a medida que aumentan rápidamente la demanda, pero sigue siendo una fuente importante de flexibilidad estacional y es la principal fuente del equilibrio estacional requerido después de 2040. Los diseños y regulaciones del mercado deben garantizar que el suministro de almacenamiento por bombeo, energía hidroeléctrica de reservorio

¹ La flexibilidad, según AIE, se define como la capacidad de un sistema eléctrico para gestionar de manera confiable y rentable la variabilidad de la demanda y la oferta. Abarca desde garantizar la estabilidad instantánea del sistema eléctrico hasta respaldar la seguridad del suministro a largo plazo.

y otras formas de almacenamiento de energía a largo plazo estén alineado con las necesidades de flexibilidad a largo plazo del sistema.

Tanto por el objetivo global de triplicar las renovables, como también por los retos de dotar de flexibilidad a nuevos sistemas, las centrales hidroeléctricas deben participar de forma muy significativa en los planes de expansión energética de los países.

La energía hidroeléctrica es una fuente fundamental en la matriz energética global, especialmente en el contexto de la transición energética y la descarbonización. Si bien enfrenta desafíos significativos, sus beneficios en términos de sostenibilidad y capacidad de almacenamiento la posicionan como una pieza clave en la construcción de un futuro energético más limpio y seguro.

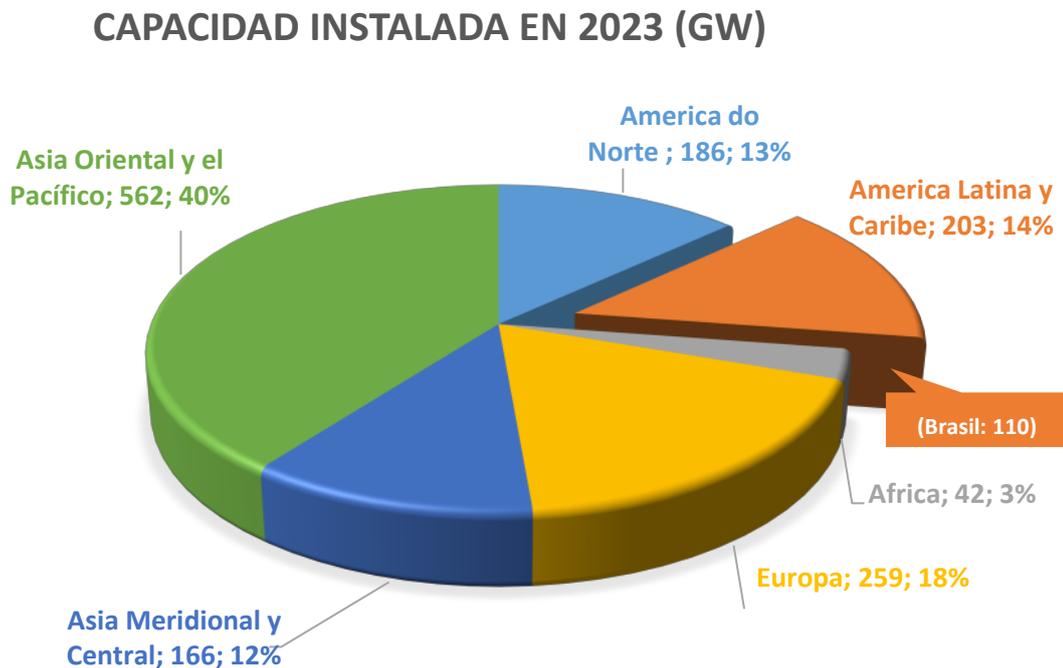
2. Panorama mundial y en América Latina y el Caribe de la hidroelectricidad

2.1. La hidroelectricidad en el mundo

A nivel mundial, la energía hidroeléctrica representa aproximadamente el 16% de la generación eléctrica total y alrededor del 70% de toda la energía renovable generada, en 2023 habría 1.416 GW de capacidad instalada [2]. Países como China, Brasil, Canadá, Estados Unidos y Rusia son líderes en capacidad instalada hidroeléctrica. La gran escala de muchas de estas plantas permite suministrar electricidad a millones de hogares y empresas, siendo un pilar esencial en la matriz energética de muchos países. En la Figura 1 se presenta la capacidad instalada mundial por subregiones al año 2023:

Un ejemplo de los grandes números que debería presentar sería este:

Figura 1: Capacidad instalada hidroeléctrica mundial para el año 2023



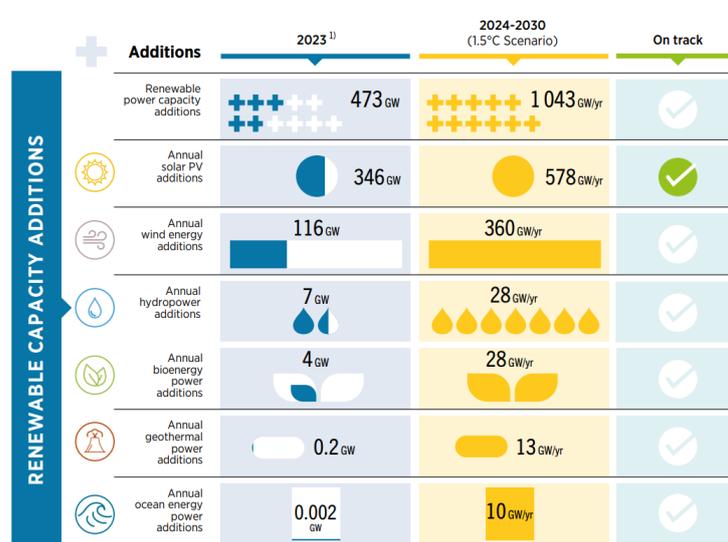
Fuente: Elaboración propia a partir de “Panorama mundial de la energía hidroeléctrica. Oportunidades para fomentar emisiones netas iguales a cero. IHA, 2024”[1], con los datos de OLADE para ALC(<https://sielac.olade.org>).

Los esfuerzos por la transición energética también traen desafíos asociados al perfil de generación de nuevas fuentes y crecientes preocupaciones sobre la seguridad y soberanía energética, a medida que avanzan las fuentes renovables, también se incrementan las demandas de flexibilidad y crecen las discusiones sobre fuentes firmes de almacenamiento y generación.

Se proyecta que la demanda máxima aumentará más rápido que la demanda total de electricidad en todos los escenarios de la AIE, y hasta un 80 % más rápido en las economías de mercados emergentes y en desarrollo para 2035. Medidas de eficiencia, como un mejor aislamiento y electrodomésticos más eficientes, ayudan a evitar un aumento mayor, junto con medidas que permiten la flexibilidad de la demanda, como los medidores inteligentes y las tarifas dinámicas. Las baterías se vuelven esenciales para la capacidad despachable. Las plantas de gas natural y carbón mineral siguen desempeñando un papel importante en el suministro de capacidad despachable en las economías de mercados emergentes y en desarrollo, pero se prevé que la mayor parte de la flexibilidad a corto plazo se satisfaga con baterías y la demanda.

IRENA en [3] también presenta muchos desafíos para lograr los objetivos de descarbonización acordados. La siguiente tabla muestra los retos de instalación de capacidad instalada renovable en las próximas décadas.

Figura 2: Capacidad Adicional de Renovables



Fuente: IRENA, 2024

La inversión en energía limpia está aumentando, pero necesita intensificarse aún más para cumplir con los objetivos energéticos y climáticos establecidos por los países de ALC. En un año récord para las energías renovables, 2023 sumó 27 GW de capacidad solar fotovoltaica y eólica, liderada por instalaciones en Brasil (20 GW). [4]

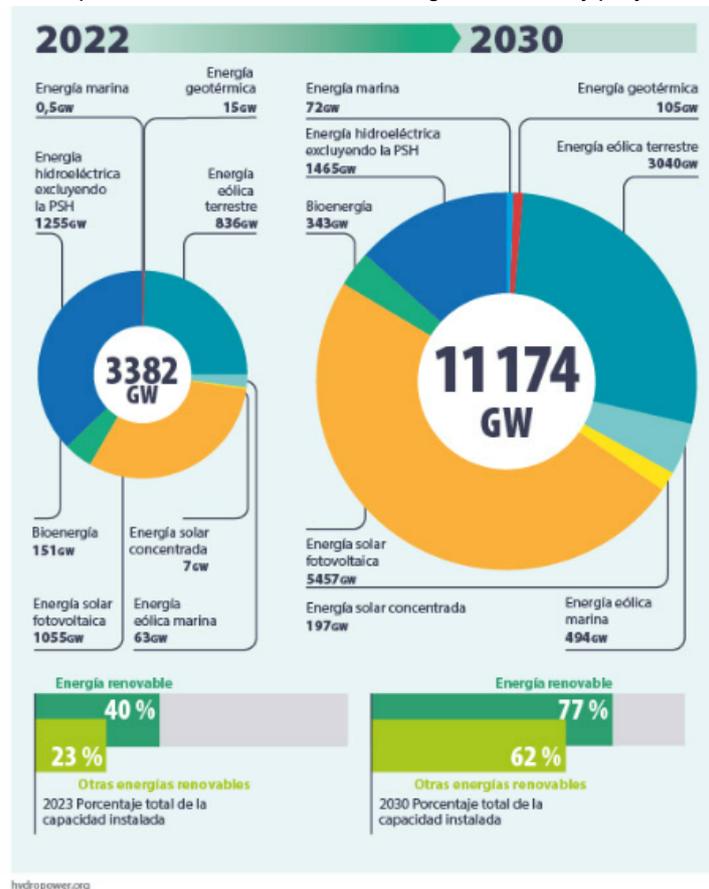
La Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica (del acrónimo IHA en inglés), proporciona una serie de recomendaciones para los tomadores de decisiones en [2]. Grandes esfuerzos deben ser seguidos en Planificación de energía hidroeléctrica sostenible, en obtener financiación para los proyectos y buscar innovaciones y nuevas tecnologías de energía hidroeléctrica.

Este importante documento presenta:

“Tanto la Agencia Internacional de la Energía (AIE) como la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) calculan que se necesitará aproximadamente el doble de la cantidad de energía hidroeléctrica instalada en la actualidad para cumplir con sus proyecciones de emisiones netas iguales a cero para 2050. Entonces, ¿cuál es el camino entre el presente y ese futuro? La proyección de emisiones netas iguales a cero de IRENA para 2050 contempla una capacidad total de energía hidroeléctrica de más de 2900 GW, de los cuales casi 420 GW corresponden a la PSH. Para salvar la distancia entre la capacidad instalada actual y estas cifras, tendríamos que añadir unos 46 GW al año. La proyección para 2030 que sirvió de base para la campaña de triplicar las energías renovables sugirió un menor crecimiento a corto plazo para la energía hidroeléctrica: de 1255 GW en 2022 a 1465 GW en 2030 (sin incluir la PSH), lo que exigiría un ritmo de crecimiento un poco superior a los 26 GW al año. Eso dejaría aproximadamente 1000 GW de capacidad no PSH para suministrar durante el periodo 2030-2050, o alrededor de 50 GW al año, además de cerca de 10 GW al año de PSH adicional.”

A continuación, se muestra una figura tomada de este documento de IHA que también aborda los desafíos de la expansión de las fuentes renovables.

Figura 3: Capacidad Instalada actual de energía renovable y proyección 2030



Fuente: IHA con datos de la IRENA.

Considerando estas referencias podemos confirmar la demanda de iniciativas que ayuden a un desarrollo más acelerado de las centrales hidroeléctricas, a nivel mundial, que pueda cumplir adecuadamente con los requisitos presentados.

2.2. La hidroelectricidad en ALC

Los 203 GW de capacidad hidroeléctrica en 2023 en ALC corresponden al 39 % del total instalado en la región [4], y esta fuente representó el 45% de la generación en 2023.

Tabla 1 – Capacidad Instalada para los países miembros de OLADE y potencial estimado.

Países Miembros de OLADE	Capacidad Instalada (MW)	Potencial Estimado (MW)
Argentina	11359	40400
Barbados	-	-
Belice	55	900
Bolivia	759	40000
Brasil	109922	172000*
Chile	7591	25156
Colombia	13206	56188
Costa Rica	2372	7034
Cuba	65	650
Ecuador	5192	21900
El Salvador	638	2258
Grenada	-	-
Guatemala	1514	5000
Guyana	-	7000
Haiti	78	207
Honduras	917	5000
Jamaica	29	86
México	12612	53000
Nicaragua	158	2000
Panamá	1845	2955
Paraguay	8760	13013
Perú	5544	69445
República Dominicana	623	2095
Suriname	189	2420
Trinidad & Tobago	-	-
Uruguay	1538	1815
Venezuela	18246	58000
TOTAL	203210	416522

Fuente: Elaboración propia. Capacidad Instalada a partir de datos de SIELAC, referencia: enero de 2023 y Potencial Estimado (sin sistemas de almacenamiento hidráulico) a partir de [5] de 2018, con datos actualizados de Brasil de EPE

El amplio potencial hidroeléctrico latinoamericano comenzó a ser explotado a fines del siglo XIX, inicialmente en Brasil (1883), Guatemala (1884) y Costa Rica (1884) como países pioneros, y luego en varios países de la región que entre 1890 y 1900 instalaron sus primeras plantas hidroeléctricas. [5] A partir de ese momento, ese aprovechamiento fomentó el establecimiento de empresas eléctricas, principalmente estatales, que fueron claves en el desarrollo hidroeléctrico latinoamericano, como la CFE de México (1937), ENDESA en Chile (1944), AyE en Argentina (1947), ICE en Costa Rica (1949), EPM en Colombia (1955), CHESF (1945), Furnas (1957) y ELETROBRAS (1962) en Brasil, ENDE en Bolivia (1962), ELECTROPERU en Perú (1972), entre otras.

La evolución de la generación hidroeléctrica no ha sido uniforme entre los países de la región, ni a lo largo de los años, pero su desarrollo permitió la extensión de los sistemas de transmisión, y la creación de capacidad técnica local. Vale la pena destacar que este periodo se caracterizó por una creciente participación pública y estatal en el desarrollo hidroeléctrico y su financiamiento. En ese contexto de amplia participación pública, esta etapa se caracterizó también por la elaboración de varios estudios de inventario hidroeléctrico, y el desarrollo de estudios de proyectos de gran envergadura, que habrían de implementarse en las décadas siguientes.

Después de la crisis del petróleo en la década de 1970, el crecimiento del sector hidroeléctrico recibió un nuevo impulso y se desarrollaron grandes proyectos (incluso binacionales), fue el gran momento de la expansión hidroeléctrica.

Como previsto en [5] el desarrollo histórico del sector hidroeléctrico de la región apuntó al aprovechamiento de los sitios de mayor rentabilidad económica, menor costo, y/o menor impacto socioambiental. No obstante, dada la extensión de varios países, los proyectos desarrollados también fueron determinados por la cercanía de estos aprovechamientos a los centros de demanda. Un buen ejemplo es el Brasil, donde el potencial hidroeléctrico de la región Sureste fue explotado desde un periodo inicial (cerca de los centros de demanda), mientras que el potencial amazónico solo comenzó a ser aprovechado en un segundo periodo (mediante la construcción de líneas de alta tensión).

El potencial hidroeléctrico estimado total para la región es de aproximadamente 416 GW. Este valor de potencial no debe tomarse como absoluto, sino como un orden de referencia, ya que las estimaciones de potencial de algunos países pueden ser más precisas que otra, dependiendo del grado de estudio, y la metodología utilizada para el inventario del recurso hidroeléctrico. Sin embargo, este valor aún no considera las estimaciones de potencial asociado a los sistemas

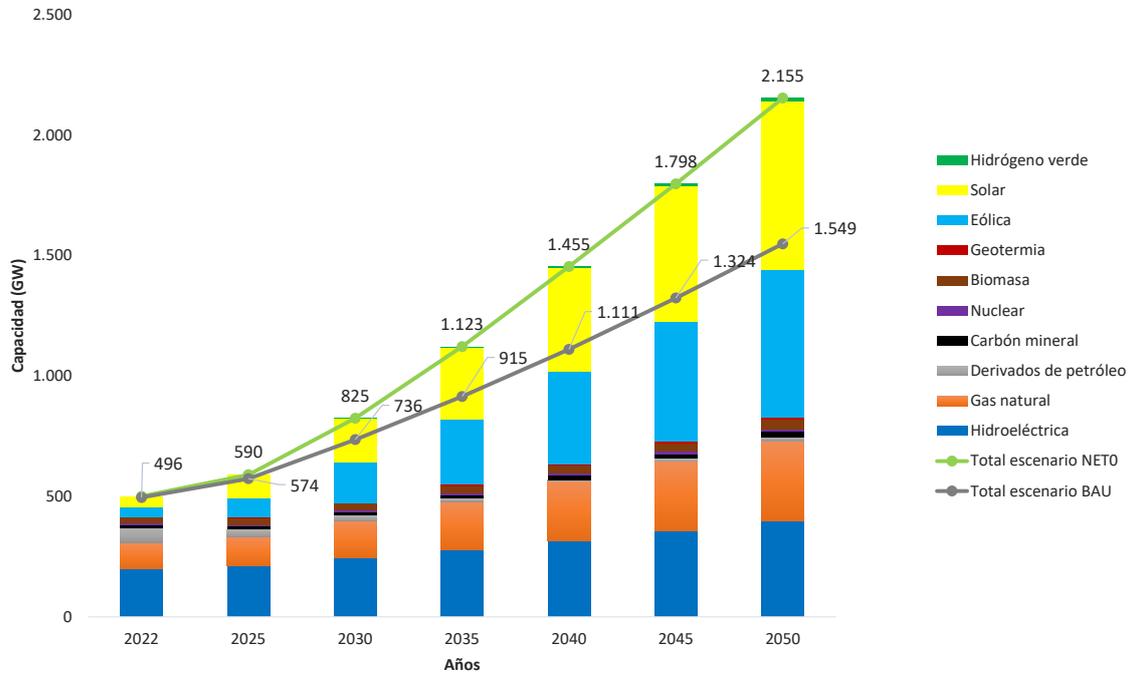
de almacenamiento hidráulico, ya que aún no contamos con estudios actualizados y además porque existen numerosas posibles disposiciones de cascadas y embalses a construir.

Según la IHA en [2], hay grandes proyectos en desarrollo, incluyendo el proyecto Manseriche de 7.550 MW que se está desarrollando en Perú, el proyecto Zamora G8 de 3.600 MW anunciado en Ecuador y el proyecto Ituango de 2.400 MW en construcción en Colombia. Sin embargo, es necesario priorizar el desarrollo de políticas para aprovechar las oportunidades.

Una discusión necesaria es la adecuación de la remuneración de las centrales hidroeléctricas de acuerdo con los nuevos servicios prestados en modulación de carga para complementar la generación intermitente de energía eólica y solar. Este nuevo modo de operación, con mayor variabilidad, no siempre está alineado con el diseño de las centrales hidroeléctricas existentes, muchas de las cuales fueron diseñadas y dimensionadas para actuar como generación de base (con una potencia de salida constante) y para producir energía en su punto óptimo de eficiencia (dada cierta altura y condiciones de caudal). La operación de centrales hidroeléctricas en otras condiciones, fuera de su punto óptimo de eficiencia y principalmente con cambios constantes en su producción, puede tener un efecto sobre los elementos mecánicos, aumentando los esfuerzos y desgastes, acelerando su envejecimiento y reduciendo la eficiencia. [5]. Sin mencionar los posibles costos ambientales de revisar las condiciones de flujo aguas abajo de las plantas que comienzan a generar olas de inundaciones más frecuentes y pronunciadas que pueden perjudicar otros usos del agua. Numerosas negociaciones con agencias ambientales, de recursos hídricos, de defensa civil, municipios, etc. se hacen necesarias y pueden generar procedimientos legales que sean perjudiciales para los concesionarios de las plantas.

En su publicación del Panorama Energético de ALC de 2024 [4], OLADE presenta estudios de escenarios de descarbonización para 2050 (NET0) y la evolución de la capacidad instalada en este escenario. La expansión de la capacidad instalada de generación eléctrica en ALC, corresponde principalmente al incremento en la capacidad de centrales eólicas, solares fotovoltaicas y térmicas a gas natural. Debido a la mayor demanda de electricidad en los sectores de consumo final y en la industria de producción de hidrógeno verde, la capacidad instalada en ALC en el año 2050, es en el escenario NET0, 39% superior al valor proyectado en el escenario BAU para ese mismo año. La Figura 4 a continuación muestra el resultado de esta expansión prevista para un escenario NET0. Para este escenario de descarbonización profunda del sector energético para América Latina y el Caribe apunta a un crecimiento del 96% en la capacidad instalada de las hidroeléctricas al 2050.

Figura 4: Proyección de la capacidad instalada de generación eléctrica, ALC



3. Modernización y Ampliación de Hidroeléctricas

Considerando que más del 50% de la capacidad instalada en la región de ALC tiene más de 30 años, existe la oportunidad de modernizar estos activos para aumentar su capacidad y resiliencia climática.

Según [6], con el tiempo, el desgaste de la maquinaria hidroeléctrica se acumula y afectar el rendimiento de la generación al reducir la eficiencia e interferir con el suministro de energía. Esta tendencia se puede revertir mediante acciones para repotenciación/modernización y ampliación de plantas existentes.

La repotenciación/modernización comienza con intervenciones en la maquinaria de plantas destinadas a aumentar la potencia instalada, aumentar la eficiencia, entre otras mejoras.

La expansión se puede realizar añadiendo nuevas máquinas o construcción de una nueva central eléctrica.

La declaración de San José sobre energía hidroeléctrica sostenible [7], manifiesto final del Congreso Mundial de la Energía Hidroeléctrica 2021, llama a invertir en modernizar el parque hidroeléctrico existente como parte esencial para la transición energética global además de reconocer y compensar los servicios de flexibilidad, fiabilidad y de almacenamiento.

Actualmente se observan importantes desafíos relacionados con la gestión del parque hidroeléctrico y pocas inversiones para viabilizar lo aumento de la capacidad y mejora del rendimiento de la planta existente.

4. Sistemas de Almacenamiento Hidráulicos

Los Sistemas de Almacenamiento Hidráulicos o como también son llamadas las centrales hidroeléctricas de almacenamiento por bombeo (en adelante SAH) son una tecnología prometedora para el almacenamiento de energía y la gestión de la red, especialmente en regiones con una alta proporción de fuentes renovables intermitentes, como la solar y la eólica. En América Latina, donde la matriz energética ya se basa en gran medida en la energía hidroeléctrica convencional, esta tecnología puede jugar un papel crucial en la transición hacia una energía más limpia y sostenible. Los SAH permiten el almacenamiento de energía bombeando agua desde un reservorio inferior a un reservorio superior en horas de baja demanda de electricidad (o de exceso de generación, con bajos costos), para ser posteriormente utilizada para generar electricidad en horas de alta demanda de energía eléctrica.

En el mundo la potencia total instalada mediante SAH alcanzó en el 2023 los 179 GW [2].

A continuación, se presentan algunos aspectos relevantes sobre el potencial de estas plantas en la región:

- América Latina tiene una de las matrices energéticas más renovables del mundo, con alrededor del 45% de la electricidad generada a partir de fuentes hidroeléctricas.
- Sin embargo, la creciente incorporación de energía solar y eólica, que son intermitentes, requiere soluciones de almacenamiento para garantizar la estabilidad de la red.
- Los SAH son una de las formas más eficientes, maduras y bajo en carbono de almacenamiento de energía a gran escala.
- La modernización de las hidroeléctricas existentes, muchas de las cuales llevan décadas operando, podría permitir la incorporación de sistemas de bombeo, maximizando su eficiencia y capacidad de almacenamiento. Esto prolongaría la vida útil de las instalaciones y desempeñaría un papel clave en la integración de las energías renovables en la región.

En cuanto a las oportunidades, los SAH podrían impulsarse si se consideran los siguientes aspectos. En primer lugar, existen ventajas geográficas, como los acantilados costeros y montañosos en muchos países, que proporcionan las diferencias de elevación necesarias para la generación hidroeléctrica. Además, la proximidad al mar en muchos países permite disponer de recursos hídricos para la captación y descarga, e incluso podría proporcionar servicios de desalinización. En tercer lugar, un marco regulatorio mejorado que permita

señales de precios más precisas probablemente impulsaría el desarrollo de la tecnología.

4.1. Operación de plantas de bombeo reversible

Estas plantas funcionan con dos depósitos de agua a diferentes altitudes. Durante los períodos de baja demanda de energía, se bombea agua desde el depósito inferior al depósito superior, almacenando energía potencial.

Cuando aumenta la demanda de energía, el agua se libera del embalse superior al inferior, pasando por turbinas que generan electricidad.

Este sistema permite almacenar el exceso de energía y liberarlo cuando sea necesario, actuando como una "batería de agua gigante".

La energía almacenada es proporcional al volumen de agua almacenado en el reservorio superior y la diferencia de altura entre los reservorios.

Los sistemas de almacenamiento pueden actuar proporcionando un servicio de absorción del exceso de energía de la red. Un servicio que incluso podría pagarse, sobre todo si hubiera un precio negativo.

Además de almacenamiento de energía, las centrales de bombeo reversibles tienen la capacidad de proveer servicios complementarios al sistema eléctrico interconectado, que permiten establecer un determinado nivel de seguridad, calidad y eficiencia en el suministro eléctrico, como por ejemplo la regulación de frecuencia (primaria, secundaria, terciaria), el control de tensión (suministro de reactivos, regulación de voltaje), reserva de giro, aseguramiento de inercia de la red, y capacidad de arranque autónomo (*black-start*), entre otros.

4.2. Potencial en América Latina y el Caribe

La región cuenta con una geografía favorable con relieve montañoso y abundancia de recursos hídricos, lo que facilita la construcción de plantas reversibles.

Países como Brasil, Chile, México y Argentina están ampliando sus capacidades eólicas y solares. Las centrales reversibles pueden equilibrar la intermitencia de estas fuentes.

La tecnología puede ayudar a almacenar energía durante períodos de alta generación (por ejemplo, durante el día con energía solar) y liberarla por la noche o durante períodos de máxima demanda.

A diferencia de las baterías químicas, las plantas reversibles tienen una vida útil más larga y un menor impacto ambiental cuando están bien planificadas.

4.3. Desafíos

La construcción de plantas reversibles requiere importantes inversiones en infraestructura, lo que implica altos costos iniciales.

La construcción de nuevos reservorios puede afectar los ecosistemas y las comunidades locales, requiriendo estudios de impacto ambientales y sociales rigurosos.

La falta de políticas específicas y mecanismos de remuneración para el almacenamiento de energía puede dificultar su implementación. Por lo tanto, existe una necesidad de avanzar en regulación y mercado. Un ejemplo es Brasil con su masivo avance de energía eólica y fotovoltaica reciente (más de 70GW ya en operación) no hay desarrollado proyectos de SAH. Dentro de las principales barreras para una adopción masiva del almacenamiento de energía en Brasil se encuentran la falta de un mercado de servicios auxiliares y los abundantes reservorios de agua de las hidroeléctricas ya existentes.

Existen varias razones que explican la falta de desarrollo de la SAH en ALC. En primer lugar, existen numerosas centrales hidroeléctricas con grandes embalses que ofrecen una robusta capacidad de almacenamiento de energía. La región ha desarrollado numerosas centrales hidroeléctricas importantes en las últimas décadas, con embalses que permiten el almacenamiento de energía a corto, mediano y largo plazo, y aún existe un importante potencial hidroeléctrico remanente que podría permitir la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas a precios competitivos, proporcionando almacenamiento adicional a los sistemas. Además, los proyectos de modernización también podrían prolongar la vida útil de las centrales hidroeléctricas de gran escala existentes asociadas a estos embalses, permitiendo así que los sistemas eléctricos sigan teniendo capacidad de almacenamiento disponible.

En segundo lugar, existe una falta de regulación adecuada para el almacenamiento de energía en la región. Son pocos los casos de sistemas energéticos con diferencias significativas entre precios de hora punta y de noche. Asimismo, la mayoría de los marcos regulatorios carecen de pagos por capacidad que podrían dar viabilidad económica al desarrollo de la PSH. Asimismo, los mercados para servicios auxiliares o complementarios, necesarios para que este tipo de proyectos sea competitivo, son inexistentes.

Es posible que los promotores no estén dispuestos a invertir o requieran un alto retorno de la inversión para desarrollar un proyecto con alto riesgo derivado de una regulación poco clara, un flujo de ingresos incierto y con el que no están bien familiarizados. Por lo tanto, se debe identificar una solución regulatoria que convierta SAH en una opción de inversión atractiva para la mayoría de los promotores. Sin embargo, la necesidad de cambios importantes en la normativa del sector eléctrico puede ser un gran obstáculo para el desarrollo de cualquier

proyecto de almacenamiento, incluyendo SAH. Por lo tanto, se recomienda identificar primero la forma de menor impacto para integrar el almacenamiento en la normativa actual de la red, a fin de acelerar su desarrollo.

Otra barrera está relacionada con la limitada experiencia y conocimiento local sobre almacenamiento de energía. Si bien SAH es la única tecnología probada, y con diferencia la más ampliamente adoptada, para el almacenamiento de energía a gran escala en el mundo, el conocimiento sobre las oportunidades en la región es menor que el de otras tecnologías, lo que limita su enorme potencial. Los proyectos de SAH no figuran en las carteras de planificación pública y la información sobre el acceso a financiación asequible no está ampliamente disponible. Otros proyectos energéticos, especialmente las renovables, compiten actualmente por los fondos que podrían utilizarse para desarrollar proyectos de SAH.

Finalmente, existen posibles barreras relacionadas con la oposición social y política, de naturaleza similar a las que se presentan en las centrales hidroeléctricas de nueva construcción. Existe un desafío relacionado con la falta de participación de las partes interesadas en las etapas apropiadas del proceso de planificación. Es necesario desarrollar proyectos socialmente responsables para mitigar este tipo de barreras. De no considerarse, la aceptabilidad política puede convertirse en un factor importante que frene el desarrollo de la tecnología. Además, otras tecnologías de almacenamiento que se perciben con menor impacto social y ambiental podrían verse favorecidas en los procesos de planificación.

4.4. Ejemplos y proyectos en la región

Brasil: El país ya cuenta con algunas plantas reversibles, como la de Pedreira (SP), pero actualmente, las instalaciones restantes se utilizan para controlar las inundaciones en los ríos y equilibrar la calidad del agua en las regiones metropolitanas de las grandes ciudades. Su uso para la generación de energía ha caído en desuso. Brasil estudia las adaptaciones necesarias en materia de regulación y comercialización para viabilizar nuevas instalaciones.

Chile: Con su potencial solar en el desierto de Atacama y su potencial eólico en el sur, Chile está interesado en desarrollar plantas reversibles para equilibrar su red.

México: El país está explorando opciones de almacenamiento para apoyar su expansión en energía renovable.

4.5. Perspectivas futuras

Con el avance de las energías renovables y la necesidad de descarbonización, se espera que las plantas de almacenamiento por bombeo ganen más atención en América Latina.

La cooperación regional y el financiamiento internacional pueden impulsar proyectos, especialmente en países con menor capacidad de inversión.

La integración de tecnologías complementarias, como las baterías y el hidrógeno verde, puede ampliar aún más el potencial de estas plantas.

En resumen, las centrales hidroeléctricas de bombeo tienen un gran potencial en América Latina para apoyar la transición energética, garantizando estabilidad y confiabilidad en la red eléctrica. Sin embargo, es necesario superar desafíos técnicos, económicos y regulatorios para aprovechar plenamente esta tecnología.

5. Desafíos

Podemos dividir los desafíos para el avance de proyectos hidroeléctricos en la región ALC en dos grandes grupos: la necesidad de avanzar en temas socioambientales y la viabilidad económico-financiera en un momento en que el Estado ya no invierte con tanto vigor. Los grandes proyectos hidroeléctricos de la región a menudo se construyeron en otro contexto, sin grandes exigencias socioambientales y con importante participación estatal. Sin embargo, hoy podemos proponer soluciones para afrontar estos desafíos.

5.1. Sostenibilidad ambiental y social

Se debe fomentar la búsqueda de ejemplos de construcciones exitosas y períodos operativos para aprender de las mejores prácticas en nuestra región.

Un protocolo para seguir y que se ha utilizado con éxito es el Estándar de Sostenibilidad Hidroeléctrica [8], que es un marco sólido de evaluación y certificación que garantiza la responsabilidad en el desarrollo de la energía hidroeléctrica. Traza un camino para aprovechar el potencial de la energía hidroeléctrica para generar un impacto positivo, beneficiando tanto a las comunidades como a nuestro medio ambiente. El Estándar impulsa el crecimiento responsable de esta fuente de energía esencial, equilibrando el progreso con la protección de nuestro mundo.

Contamos con ocho centrales hidroeléctricas en diferentes fases de implementación del protocolo que podrían ayudar al desarrollo futuro:

- Chaglla Hydroelectric Power Plant de 456MW en Peru.
- Chorreritas Hydropower Project de 19,9MW en Colombia
- Ituango Hydroelectric Project de 2.400MW en Colombia
- Jirau Hydropower Plant de 3.750MW en Brasil
- Mascarenhas Hydropower Plant de 198MW en Brasil
- Reventazón Hydroelectric Power Project de 306MW en Costa Rica
- Santo Antônio Hydroelectric Power Plant de 3.568MW en Brasil
- São Simão Hydroelectric Power Plant de 1.710MW en Brasil

Por último, cabe destacar la importancia de involucrar a las distintas partes implicadas desde las etapas iniciales de planificación del proyecto. Por ejemplo, en Brasil existe una previsión de evaluaciones ambientales estratégicas desde las etapas iniciales del inventario del potencial hidroeléctrico de una cuenca hidrográfica.

5.2. Inversiones en hidroelectricidad

Las medidas políticas que brindan mayor certeza sobre los ingresos futuros pueden reducir los riesgos de inversión y garantizar la viabilidad económica de los proyectos hidroeléctricos. Desde la década de 1950, más del 90% de las centrales hidroeléctricas se han desarrollado en condiciones que brindan certeza de ingresos mediante garantías de compra de energía o contratos a largo plazo. Esto ha sucedido tanto en mercados eléctricos integrados verticalmente como liberalizados. Hoy en día, las dificultades relacionadas con los complejos procedimientos de permisos, la aceptación ambiental y social, y los largos períodos de construcción pueden generar mayores riesgos de inversión. En las economías avanzadas, la viabilidad económica de las centrales hidroeléctricas se ha deteriorado debido a la caída de los precios de la electricidad y la falta de certeza de ingresos a largo plazo. La visibilidad a largo plazo de los ingresos, especialmente para proyectos hidroeléctricos a gran escala con plazos de ejecución largos, reduce significativamente los costos de financiamiento y aumenta la viabilidad del proyecto, facilitando así la inversión. Esto es particularmente importante cuando participa el sector privado.[9]

Sin embargo, como ya se ha comentado, la realidad operativa de los sistemas eléctricos actualmente dotados de fuentes de despacho variable carece de generación controlable y, por tanto, las centrales hidroeléctricas deben volver a configurarse como buenas soluciones, en un contexto de descarbonización.

Para ello, es necesario revisar el marco regulatorio de remuneración de las centrales hidroeléctricas en varios países, permitiendo remunerar no sólo la energía de base, sino especialmente la flexibilidad de otros servicios prestados por las centrales hidroeléctricas.

6. Conclusiones

La energía hidroeléctrica se erige como una piedra angular en la transición hacia un futuro energético más limpio y resiliente, especialmente en América Latina y el Caribe, una región bendecida con un vasto potencial hídrico. Sin embargo, los retos que enfrentamos exigen un compromiso inmediato y colectivo para maximizar su impacto positivo.

Con la necesidad global de duplicar la capacidad instalada de hidroelectricidad para 2050, la región tiene la oportunidad histórica de liderar este esfuerzo. Invertir en modernización, almacenamiento hidráulico y nuevas tecnologías no solo garantizará la seguridad energética, sino que también fortalecerá la capacidad de enfrentar los desafíos climáticos y socioeconómicos que afectan a nuestras comunidades.

Este es el momento para que gobiernos, instituciones y el sector privado prioricen la hidroelectricidad como eje estratégico. Es mucho más que energía; es el legado que dejaremos a las próximas generaciones. Con visión y acción, podemos transformar los desafíos en oportunidades, y construir juntos un futuro más sostenible, equitativo y próspero para todos.

7. Referencias

- [1] World Energy Outlook 2024. IEA, 2024. [World Energy Outlook 2024 – Analysis - IEA](#)
- [2] Panorama mundial de la energía hidroeléctrica. Oportunidades para fomentar emisiones netas iguales a cero. IHA, 2024. [2024 World Hydropower Outlook](#)
- [3] Tripling renewable power by 2030: The role of the G7 in turning targets into action. IRENA, 2024. [Tripling renewable power by 2030: The role of the G7 in turning targets into action \(irena.org\)](#)
- [4] Panorama Energético de América Latina y el Caribe, 2024. OLADE. [Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2024 - OLADE](#)
- [5] Alarcon Rodriguez, A. D. (2018). *El sector hidroeléctrico en Latinoamérica: Desarrollo, potencial y perspectivas*. <https://doi.org/10.18235/0001149>
- [6] “Um olhar para as usinas hidrelétricas. Desafios e oportunidades para o aproveitamento hidrelétricobrasileiro”. CD-EPE-DEA-SMA-001-2025, Caderno de Estudos da EPE, Jan 2025. [PDE 2030](#).
- [7] [San José Declaration on Sustainable Hydropower](#)
- [8] [Hydropower Sustainability Standard | Global Certification](#)
- [9] Schmidt, R., Romero, E., Iparraguirre, D., y Burger, F. (2024). *Identificación de oportunidades de proyectos de almacenamiento por bombeo en Latinoamérica y estudio conceptual del proyecto piloto Pisagua*. <https://doi.org/10.18235/0013326>
- [10] IEA, 2021. *Hydropower Special Market Report. Analysis and forecast to 2030*. [Hydropower Special Market Report](#)

olade

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

