

NOTA TÉCNICA N° IDB-TN-3019

Cadenas de valor de energías renovables y almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe

Francisco Parés Olguín
Pablo Busch

Editores:
Natascha Nunes da Cunha
Juan Roberto Paredes
Carlos G. Sucre

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Energía

Octubre 2024



Cadenas de valor de energías renovables y almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe

Francisco Parés Olguín
Pablo Busch

Editores:
Natascha Nunes da Cunha
Juan Roberto Paredes
Carlos G. Sucre

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Energía

Octubre 2024

**Catalogación en la fuente proporcionada por la
Biblioteca Felipe Herrera del
Banco Interamericano de Desarrollo**

Parés Olguín, Francisco.

Cadenas de valor de energías renovables y almacenamiento de energía en América Latina y el Caribe / Francisco Parés Olguín, Pablo Busch; editores, Juan Roberto Paredes, Natascha Nunes da Cunha, Carlos Sucre.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 3019)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Renewable energy sources-Latin America. 2. Renewable energy sources-Caribbean Area. 3. Energy storage-Latin America. 4. Energy storage-Caribbean Area. 5. Mineral industries-Latin America. 6. Mineral industries-Caribbean Area. 7. Carbon dioxide mitigation-Latin America. 8. Carbon dioxide mitigation-Caribbean Area. I. Busch, Pablo. II. Paredes, Juan Roberto, editor. III. Nunes da Cunha, Natascha, editora. IV. Sucre, Carlos G., editor. V. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. VI. Título. VII. Serie. IDB-TN-3019

Códigos JEL: Q4, Q32, Q42, L72, O13, O14, O25

Palabras clave: energía renovable; almacenamiento de energía; cadenas de valor; minería; política industrial; transición energética; energía solar; energía eólica; batería; cadena de suministro; reciclaje; industria minera; energía y minería; industria extractiva

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



CADENAS DE VALOR
DE **ENERGÍAS**
RENOVABLES Y
ALMACENAMIENTO DE
ENERGÍA EN AMÉRICA
LATINA Y EL CARIBE



AGRADECIMIENTOS

Este informe es parte de la agenda de conocimiento desarrollada por la División de Energía del Banco Interamericano de Desarrollo que tiene por objetivo desarrollar nuevos productos de conocimiento y programas de asistencia técnica para los países de América Latina y el Caribe. Los productos de conocimiento generados tienen la intención de informar, guiar y ofrecer un menú de recomendaciones a los hacedores de políticas y participantes activos en los mercados energéticos, incluidos los consumidores, las empresas de servicios públicos y los reguladores.

El informe fue elaborado bajo la dirección general de Marcelino Madrigal (Jefe de la División de Energía) y coordinación de Natascha Nunes da Cunha, especialista líder en minería, Juan Paredes, especialista senior de energía renovable y Carlos Sucre, especialista en minería del BID. Los autores del informe son Francisco Parés Olguín y Pablo Busch de la Universidad de California en Davis.

El equipo agradece el apoyo del Instituto de Energía y Eficiencia de la Universidad de California en Davis en la elaboración de este informe y aprecia en particular los comentarios y revisiones de Lenin Balza, Carolina Ferreira y David Matías del BID.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
2	EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA	6
	2.1 Oportunidades	7
	2.2 Desafíos	9
	2.3 Recomendaciones	13
3	REFINADO	16
	3.1 Oportunidades	17
	3.2 Desafíos	18
	3.3 Recomendaciones	21
4	MANUFACTURA	23
	4.1 Oportunidades	25
	4.2 Desafíos	29
	4.3 Recomendaciones	32
5	MERCADO	34
	5.1 Oportunidades	36
	5.2 Desafíos	41
	5.3 Recomendaciones	42
6	FIN DE VIDA	45
	6.1 Oportunidades	47
	6.2 Desafíos	49
	6.3 Recomendaciones	51
7	CONCLUSIÓN	54
	REFERENCIAS	57



INTRODUCCIÓN

ALC parte con una ventaja comparativa al concentrar reservas importantes de minerales que son críticos para la transición energética (ver Figura 2). Se estiman más de 50 mil millones de dólares en beneficios al 2050 para ALC, principalmente en Chile y Perú, sólo a partir de la demanda generada por la transición energética de minerales como cobre, zinc y litio (BID, 2022). Múltiples países en ALC cuentan con reservas importantes de minerales. Cerca de la mitad de las reservas de litio (y más de la mitad de los recursos¹) están contenidas en el llamado Triángulo del Litio que conforman Argentina, Bolivia y Chile. Chile, México y Perú tienen más de un tercio de las reservas de cobre mundiales. México y Perú contienen 16% de las reservas de zinc. Adicionalmente, Brasil contiene entre 12 a 26% de las reservas mundiales de grafito, hierro, manganeso, tierras raras y níquel. Jamaica y Brasil tienen reservas considerables de bauxita (16%), materia prima principal para obtener aluminio. Brasil participa también en la extracción de silicio, componente principal para la fabricación de paneles solares. No obstante, para muchos minerales la participación de ALC en la producción global es bastante menor a su participación en las reservas globales, indicando que existe espacio y oportunidad para expandir la explotación minera en la región. El primer paso para ALC en su estrategia de profundizar su participación en la cadena de valor de tecnologías de descarbonización es promover una mayor, más eficiente y más responsable extracción de estos minerales críticos.

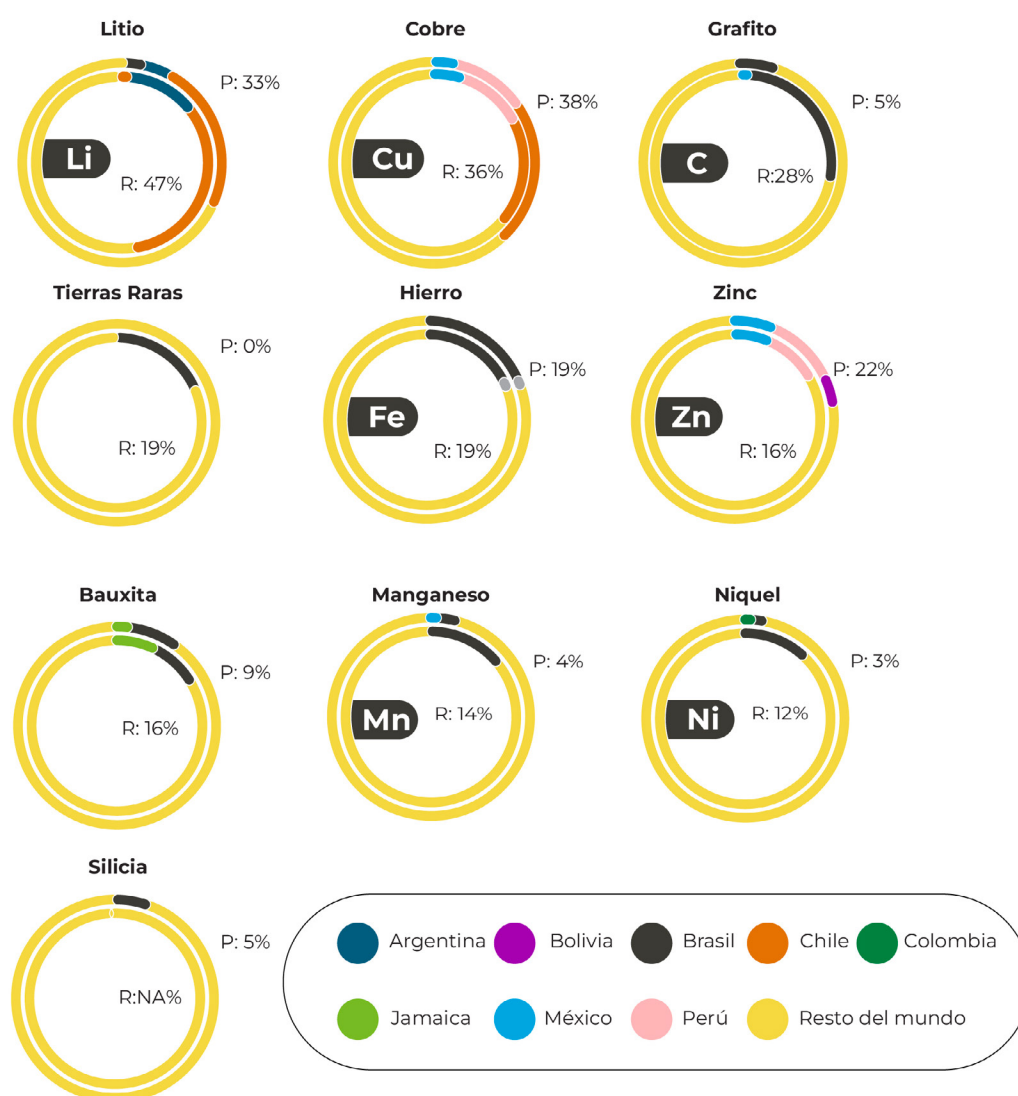


Figura 2 - Concentración de las reservas y de la producción de minerales críticos en ALC. **R:** Porcentaje de las reservas globales presentes en ALC, **P:** Porcentaje de la producción global presente en ALC. Fuente: USGS 2024 Mineral Commodity Summaries (USGS, 2024).

¹ El término recurso se refiere a la cantidad total de mineral que existe en un depósito que es potencialmente factible de extraer, y reservas se refiere a un subconjunto de los recursos que cumple con estándares físicos y químicos para que su extracción sea clasificada como económicamente factible (USGS, 2023).

ALC puede y debe apalancar sus ventajas comparativas en reservas minerales y extracción de materia prima para expandirse al refinado de minerales, como el refinado de cobre, silicio metálico o carbonato de litio, productos con mayor valor agregado. El paso inicial para avanzar en refinado es aumentar la producción de la materia prima, con mayor eficiencia de captura de mineral y capacidad de extracción en faenas mineras. De igual manera, a través de estrategias nacionales o de cooperación intra regional ALC puede desarrollar una industria de tecnologías de descarbonización en etapas más avanzadas de la cadena de valor, fomentado la producción en la región de paneles y celdas solares, turbinas eólicas, o celdas de baterías de litio; y así capturar mayor valor agregado en la región. Actualmente, la posición preponderante de ALC en reservas y extracción de minerales no se traduce en una posición dominante en refinación, donde China tiene el rol dominante. Por ejemplo, Chile lidera la extracción de cobre (con ~23% de la producción mundial), pero solo procesa ~8% (China lidera con 44% del procesamiento de cobre) (USGS, 2024), mientras que para el litio extrae y procesa alrededor del 25% de la producción mundial (Australia lidera la extracción de litio con ~45%, y China lidera el refinado de litio con ~65% a nivel mundial) (IEA, 2024). Chile lideró la refinación mundial de cobre

hasta 2005, antes del ascenso exponencial de China (CESCO, 2020). La pérdida de liderazgo del país en refinación de cobre se explica por la aparición de fundiciones más competitivas en China (con importantes subsidios), dando lugar a la priorización en Chile de la parte extractiva del negocio que era más rentable (CESCO, 2020). Esto requirió nuevas inversiones dado el deterioro en la calidad en sus yacimientos minerales, junto con mayores exigencias ambientales y sociales (CESCO, 2020). Brasil, pese a contar con 12% de las reservas mundiales de níquel, sólo extrae 2.5% de la demanda mundial de níquel, mientras que Indonesia extrae el 50% (USGS, 2024). La dominación de China en esta etapa de la cadena de valor (IEA, 2023a) se explica por las siguientes ventajas comparativas (Sanin et al., 2023): gran demanda local de VE y paneles solares, bajo costo de energía y mano de obra, economías de escala en la producción y disponibilidad tecnológica. ALC puede acortar brechas en estas áreas fortaleciendo la industria local mediante compras públicas, aprovechando el desarrollo de nuevos recursos energéticos renovables de bajo costo e impacto ambiental, promoviendo la capacitación y educación técnica para generar mano de obra especializada y fortaleciendo la cooperación comercial y tecnológica entre países de la región.



Para capturar los beneficios económicos de la transición energética, ALC requiere superar varias barreras en términos de cooperación intrarregional, financiamiento, regulación adecuada y mitigación de impactos socioambientales. En la primera etapa de la cadena de valor: extracción de materias primas, ALC tiene una posición privilegiada en concentrar reservas críticas, especialmente de cobre y litio, y mano de obra e industrias especializadas históricamente en minería. El factor limitante para la minería puede ser el conflicto con comunidades locales e impactos ambientales, por lo que es vital que la industria y regulación avancen hacia una licencia social de minería para operar, mitigando los impactos ambientales asociados y generando alianzas estratégicas con las comunidades locales. Si bien los países de ALC tienen políticas públicas con el objetivo de incentivar la transición e industria energética, los esfuerzos están desarticulados. Cada tecnología requiere de múltiples minerales en su cadena de valor, por lo que la colaboración entre países de la región es clave para desarrollar industrias más complejas con mayor valor agregado, como la producción de celdas solares o cátodos de batería.

Este documento hace un análisis crítico respecto al rol de ALC en la transición energética global y presenta recomendaciones para aprovechar la oportunidad de desarrollo que existe.

El documento aborda cada una de las cinco etapas de la cadena de valor, enfocándose en tres tecnologías clave: paneles solares, turbinas eólicas y baterías de litio. Para cada etapa de valor se definen oportunidades, desafíos y recomendaciones para ALC, enfocándose en particular en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Jamaica, México, Panamá, Perú y Venezuela; dado que estos países son los que tienen importantes reservas de minerales, industrias mineras o industria más avanzada que podría participar en etapas de manufactura de la cadena de valor. Este documento está basado en 4 reportes recientes elaborados por el BID (ver sección Reportes Destacados BID), donde se da cuenta del esfuerzo y trabajo realizado por el banco por impulsar y promover el desarrollo de ALC en esta área. Los principales mensajes del documento se resumen así:

- **La transición energética global presenta una oportunidad económica importante para el desarrollo de ALC**, a la vez que la producción de estas tecnologías contribuye a la lucha global contra el cambio climático.
- ALC tiene una ventaja única al **concentrar la mayoría de los minerales críticos** a nivel mundial, y además por su posición competitiva en costos de extracción de cobre, hierro (Spano et al., 2021) y litio (Greim et al., 2020; Ambrose y Kendall, 2020). Los países en ALC que con reservas minerales importantes son Argentina (litio), Bolivia (litio), Brasil (grafito, hierro, manganeso, tierras raras, níquel, bauxita y silicio) Chile (litio y cobre), Jamaica (bauxita), México (cobre y zinc) y Perú (cobre y zinc). ALC puede **capturar mayores beneficios en la cadena de valor**, para esto debe explotar y expandir sus ventajas comparativas: reservas de minerales, mano de obra calificada, posicionamiento estratégico como aliado comercial de Estados Unidos y Europa, y acceso a infraestructura portuaria para exportaciones. La capacitación y educación técnica es clave para desarrollar industrias más complejas y de mayor valor.
- La extracción minera requiere lograr y mantener una **licencia social** para operar, por lo que la industria necesita ir más allá de las legislaciones nacionales en temas ambientales y sociales.
- **Las alianzas estratégicas entre países de la región** son clave para competir globalmente en etapas más complejas de la cadena de valor.
- Para el **fin de vida** la ausencia de un marco regulatorio integral genera deficiencias en la valorización del recurso, falta de inversión privada, e incentiva la informalidad. Una mirada a largo plazo para desarrollar la industria de reciclaje permitiría evitar impactos ambientales y proveería una industria de minerales recuperados sostenible en el tiempo.



EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA

2.1 Oportunidades

Concentración de reservas mundiales

ALC parte con una gran ventaja competitiva en la extracción de materia prima gracias a que concentra la mayoría de reservas mundiales de minerales requeridos para la transición energética (ver Figura 2). Por ejemplo, para la fabricación de **paneles solares** ALC cuenta con el 36% de las reservas mundiales de cobre, 16% de las reservas de zinc y 5% de la producción de silicio metalúrgico. Para **turbinas eólicas**, además de reservas de cobre y zinc, ALC cuenta con el 14% de las reservas mundiales de manganeso, 12% de níquel, 19% de hierro y 19% de tierras raras. Para **baterías de litio**, además de las reservas de cobre, manganeso y níquel, ALC cuenta con el 47% de las reservas mundiales de litio, 28% de grafito y 16% de aluminio (bauxita). Lo anterior da cuenta de la existencia de recursos minerales en ALC requeridos para la producción de tecnologías de transición energética.

Cerca de la mitad de las reservas mundiales de litio se concentran en Argentina, Bolivia y Chile.

Estas reservas no sólo son altas en cantidad, sino también de alta concentración, bajo costo de extracción y menor impacto ambiental que otros reservorios de litio mundiales (Sanin et al., 2023). Lo anterior se explica porque las reservas en ALC ocurren mayoritariamente en depósitos de salmueras, que son reservorios de agua con sales minerales, como sodio y litio. El proceso de extracción consiste en bombear la salmuera, evaporar líquido para concentrar minerales y seleccionar minerales mediante procesos químicos, como adición de agentes para remover magnesio (Sanin et al., 2023). ALC también cuenta con litio en depósitos de roca, como Grota do Cirilo en Brasil, o depósitos sedimentarios de origen volcánico, como en Sonora México. La producción a partir de otros tipos de depósitos, como formaciones rocosas, se realiza con procesos mineros más tradicionales y generalmente de mayores costos e impactos (Greim et al., 2020; Ambrose y Kendall, 2020). A pesar del mayor costo de depósitos de roca, actualmente Australia domina la extracción de litio global. **El reporte del BID “Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe” (Sanin et al., 2023) contiene un análisis más detallado de la cadena de valor del litio y su potencial desarrollo en ALC.**

ALC ha liderado históricamente la extracción de cobre, principalmente en Chile, México y Perú, y su extracción representa la mayor ganancia en el suministro de minerales para tecnologías de transición energética a futuro (BID, 2022). Partiendo de un ya alto volumen de demanda actual, el cobre seguirá siendo un mineral fundamental para la transición energética y tecnológica, dado su uso fundamental como conductor energético, por lo que se espera un crecimiento importante a futuro. La larga experiencia en extracción de cobre que tiene ALC, junto a la gran cantidad de reservas que aún tiene presenta una ventaja comparativa para seguir explotando este mineral en la región. Suplir cobre para la creciente demanda que generará la transición energética supone beneficios a los productores en la región de más de 40 mil millones de dólares por año al 2050 (BID, 2022). Ergo, ALC debe priorizar mantener su liderazgo mundial en la extracción de cobre, y expandir su participación en la refinación de este.



Además de litio y cobre, ALC cuenta con reservas importantes de minerales para la fabricación de baterías de litio, como níquel, grafito y manganeso. Las reservas de estos se encuentran principalmente en Brasil, con menor proporción en México. Para cada uno, las reservas relativas al total mundial son mayores a su producción relativa, indicando una oportunidad no aprovechada en su extracción. Diversos estudios han proyectado un crecimiento exponencial de la demanda por baterías de litio (IEA, 2023a; IEA, 2024; BNEF, 2023), lo que representa una oportunidad única para extraer níquel, grafito y manganeso en ALC y fomentar la producción regional de baterías de litio.

ALC también concentra reservas importantes de otros minerales e insumos requeridos para paneles solares y turbinas eólicas. Para paneles solares, hay disponibilidad y existencia de cadenas de producción de recursos primarios, como silicio, cobre, aluminio; y otros insumos como vidrio y etileno-vinil-acetato (BID, 2023; Solar Cluster, 2015). Para turbinas eólicas, ALC cuenta con mano de obra capacitada, disponibilidad y existencia de cadenas de producción de recursos primarios, como tierras raras (BID, 2023).

Crecimiento exponencial de la demanda futura por minerales

Las reservas de minerales de ALC son fundamentales para alcanzar las demandas proyectadas en los planes de descarbonización global (ver Tabla 1). Las reservas minerales representan no solo una oportunidad económica para la región, sino una oportunidad para colaborar mundialmente en la mitigación del cambio climático y disminuir sus impactos en la región (IPCC, 2022). La Tabla 1 muestra la producción mineral al 2023 y reservas de minerales conocidas en ALC, junto con proyecciones de demanda acumulada de la IEA y BNEF (IEA, 2023a; BNEF 2023). A partir de esto, calculamos la ratio entre reservas de ALC y demanda global, esto es la porción de la demanda acumulada al 2050 que puede suplir ALC. Para ciertos minerales las reservas de ALC son más que suficientes para suplir la demanda mundial, como es el caso de manganeso (reservas en ALC son entre 7.8-8.9x la demanda global acumulada), tierras raras (10.5x) o cobre (1.4-2.1x). La demanda global de otros minerales, como grafito (0.66-0.92x), litio (0.39-0.54x), níquel (0.20-0.28x) y zinc (0.83x), supera las reservas de ALC. Esto refuerza dos puntos clave:

- 01** La demanda por materiales para descarbonizar va a crecer exponencialmente, lo que provee buenos incentivos y garantías para la industria del suministro de materias primas. La ventana de oportunidad actual ofrece condiciones únicas de demanda para proyectos mineros de minerales críticos, como el litio, grafito y tierras raras.
- 02** ALC tiene la oportunidad de desarrollarse económicamente al extraer estas materias primas y aportar a la descarbonización del planeta, contribuyendo a mitigar el cambio climático y sus impactos. La meta de limitar el aumento de temperatura a 1.5°C evitará costos importantes a ALC, dado que es una región altamente vulnerable al cambio climático.

Mineral	Producción 2023 ALC	Reservas ALC	Demanda acumulada		Ratio Reservas ALC sobre Demanda acumulada	
			IEA 2023-2050	BNEF 2020-2050	IEA	BNEF
Cobre	8.35	363	973	262	0.37	1.39
Grafito	0.08	77	395	84	0.20	0.92
Litio	0.06	13	30	33	0.43	0.39
Manganeso	0.84	275	44	35	6.19	7.86
Níquel	0.09	16	154	58	0.10	0.28
Silicio	0.2		54			
Tierras Raras	0	21	4		4.81	
Hierro	311.6	16,200		72		225

Tabla 1 - Producción y reservas en ALC, junto con demanda acumulada global para distintos minerales críticos, todo en millones de toneladas métricas. La demanda acumulada se presenta según distintas proyecciones, con diferentes periodos de tiempo y minerales considerados. Se indica para cada proyección de demanda la ratio entre las reservas en ALC y la demanda acumulada global. (a): IEA Escenario de Net Zero 2050. Demanda acumulada de todos los sectores de la economía (se calculó mediante interpolación lineal de la demanda entre 2023, 2030, 2035, 2040, 2045 y 2050). (b) Net Zero Scenari Electric Vehicles outlook – Únicamente baterías de litio. Fuente: (USGS, 2024; IEA, 2024; BNEF 2023).

2.2 Desafíos

Altas reservas no se traducen necesariamente en alta producción

El valor agregado de los minerales críticos no se obtiene de la cantidad de reservas, sino que debe ser apalancado a partir de una mayor y mejor extracción de esta materia prima. Pese a contar con un porcentaje de reservas minerales importantes, ALC tiende a producir en menor proporción respecto al mundo (ver Figura 2). Los minerales con la mayor diferencia entre porción de reservas mundiales y porción de la producción global (en 2023) son el grafito (28% de las reservas globales, y sólo 5% de la producción global), manganeso (14% reservas, 4% producción), tierras raras (19% reservas, 0.02% producción), níquel (12% reservas, 2.5% producción) y bauxita (16% reservas, 9.3% producción). En mayor o menor grado, para cada uno de estos minerales ALC no ha capturado la oportunidad económica de su explotación.

Para la mayoría de los minerales críticos presentes en ALC, el nivel de producción actual permite continuar la extracción de reservas por más de 100 años (ver Tabla 2). La reserva mineral es un concepto geológico y económico que representa la cantidad de mineral que es económicamente viable de extraer dadas las tecnologías y condiciones de mercado actuales (USGS, 2023). Visto que el desarrollo tecnológico y los mercados cambian en el tiempo, las reservas no son estáticas sino dinámicas en la medida que se generan incentivos económicos y avances en la tecnología de exploración y explotación minera, aumentando así las reservas en el tiempo (Castillo & Eggert, 2020). Por ejemplo, las reservas mundiales de litio se han multiplicado 10 veces en los últimos 25 años (USGS 2024; USGS, 1996). Lo anterior refuerza el punto que una tasa de extracción de reservas menor al 1% anual, o 100 años restantes de explotación, es muy baja para aprovechar la oportunidad dado el futuro crecimiento de la demanda por estos minerales. Actualmente ALC explota poco litio, grafito y tierras raras en relación a su nivel de reservas. Brasil presenta un caso único de baja explotación de sus reservas de grafito, tierras raras, bauxita y níquel. Estos países podrían centrar esfuerzos en aumentar la explotación mineral. Ciertos países de ALC explotan sus reservas a tasas cercanas al 5% anual, como con el zinc en Perú y México, el manganeso en México o el níquel en Colombia. Para mantener los niveles de producción actuales estos países deben invertir en la exploración de estos recursos minerales.

Mineral	País	Producción 2023 [millones tons]	Reservas [millones tons]	Años restantes explotación
Litio	Brasil	0.0049	0.39	80
	Chile	0.044	9.3	211
	Argentina	0.0096	3.6	375
Cobre	Chile	5	190	38
	Perú	0.6	120	46
	México	0.75	53	71
Grafito	Brasil	0.073	74	1,014
	México	0.002	3	1,550
Tierras raras	Brasil	0.00008	21	262,500
Hierro	Brasil	280	15,000	54
	Perú	13	1,200	92
Zinc	Perú	1.4	21	15
	México	0.69	14	20
Bauxita	Brasil	31	2,700	87
	Jamaica	6	2,000	333
Manganeso	México	0.22	5	23
	Brasil	0.62	270	435
Níquel	Brasil	0.089	16	180
	Colombia	0.041	0.364	9

Tabla 2 - Producción 2023 y reservas en millones de toneladas para cada mineral y país. La métrica de años restantes de explotación se calcula según la ratio entre producción en 2023 y reservas.

Fuente: (USGS, 2024; South32, 2023).

Si bien ALC tiene las mayores reservas de litio del mundo, el líder global de producción de litio es Australia, cuyas reservas están en formaciones de roca, con un costo mayor de extracción. Dado que la demanda de litio puede aumentar hasta 40 veces (Sanin et al., 2023), la producción de litio en ALC debería aumentar considerablemente. En los últimos años SQM, empresa privada chilena, ha sido el mayor productor de litio en el mundo (Sanin et al., 2023), y en 2023, Chile publicó su Estrategia Nacional de Litio (ENL), mediante la cual busca, entre otros hitos, aumentar la explotación de litio en el país incorporando a Codelco, la empresa minera estatal que hasta ahora se ha enfocado en cobre, como productor de litio en el Salar de Atacama - donde operan tanto SQM como Albemarle, una empresa estadounidense - y dar concesiones a privados en otros salares con alto potencial de litio. Por su parte, en Argentina hay 38 proyectos de litio, con tres de ellos en producción y cinco en construcción (ArgentinaGob, 2024). Bolivia - que tiene los mayores recursos de litio del mundo (USGS, 2024) - ha comenzado a ejecutar planes piloto de extracción de litio en el Salar de Uyuni. Brasil extrae litio de su depósito de roca Grotta do Cirilo. México tiene recursos importantes de litio de origen volcánico sedimentario en el valle de Sonora, cuya explotación se anticipa en un futuro cercano (Bacanora Lithium, 2024). Por último, el proceso de extracción de litio mediante evaporación solar en piscinas presenta limitaciones físicas y temporales para acelerar aumentar los niveles de producción, tardando entre 18-24 meses en convertir la salmuera en carbonato de litio (Sanin et al., 2023). Tecnologías emergentes, como la extracción directa de litio (DLE, por sus siglas en inglés) tiene la ventaja, frente al método actual de piscinas de evaporación, de reducir los tiempos de producción al ser más rápida, capturar un mayor porcentaje del litio contenido en la salmuera, y disminuir los impactos ambientales, como el uso excesivo de agua, al permitir la inyección de la salmuera en el salar (Sanin et al., 2023). Los desafíos por superar del DLE son los mayores costos de inversión y extracción, necesidad de agua dulce en el proceso y requerimientos de adaptación a las características químicas de cada salar (Sanin et al., 2023)

La pérdida de calidad del recurso mineral y escasez hídrica genera desafíos importantes para mantener o expandir los niveles de extracción actuales. Un caso ejemplo es la extracción de cobre en Chile y Perú, donde se ha ido agotando las minas con leyes más altas, y existe escasez hídrica en la zona norte minera de Chile lo que dificulta mantener los niveles de extracción actuales. ALC puede invertir en tecnologías de extracción más eficientes y con menor uso de recursos hídricos, en exploración de nuevos recursos con mayor grado de concentración o en tecnologías para aumentar el recurso hídrico, como plantas desalinizadoras.



Brasil presenta diversidad de recursos minerales requeridos para la transición energética y puede aumentar su capacidad de explotación. Brasil tiene reservas minerales considerables de litio, grafito, tierras raras, hierro, bauxita, manganeso y níquel (ver Figura 2). De estos minerales, Brasil extrae con una tasa mayor al 1% de explotación anual, o 50 años de depleción, únicamente litio (1.25%), hierro (1.85%) y bauxita (1.15%) (ver Tabla 2). Para los demás minerales el nivel de explotación anual es muy bajo relativo al nivel de reservas conocidas, siendo 0.1% para el grafito, 0.0004% para tierras raras, 0.23% para manganeso y 0.56% para níquel. Brasil debe moverse hacia una estrategia de extracción y refinación de estos minerales críticos para aprovechar la oportunidad de suplir las nuevas tecnologías de descarbonización global.

Licencia social de las operaciones mineras

Un desafío importante para la extracción de materias primas es la licencia social para operar, la cual ayuda a garantizar un suministro responsable a largo plazo y a mejorar la percepción hacia la minería. La minería para la transición energética presenta importantes beneficios económicos y de descarbonización, pero la extracción de minerales también genera importantes y diversos impactos ambientales y sociales (BID, 2022). El permiso intangible de aprobación social que las comunidades le entregan a los proyectos mineros se denomina licencia social (Balza et al., 2021). Esta licencia social tiene componentes de gobernanza, justicia procesal, justicia distributiva y nacionalismo en la extracción de recursos naturales (Balza et al., 2021).

Es fundamental que las empresas y legislación promuevan una licencia social para la minería, necesaria para operar y atraer mayor inversión a la región (BID, 2022). Para que la extracción de minerales sea resiliente y confiable, debe hacerse protegiendo tanto a las comunidades como el medio ambiente, y debe existir un vínculo activo entre las mineras y las comunidades locales (IEA, 2023b).

Las empresas mineras a menudo operan con estándares socio ambientales más rigurosos que los requeridos por legislaciones nacionales, en pro de generar confianza en sus comunidades locales y poder así operar eficientemente (Rojas-Hayes et al., 2023). Un análisis comparativo entre estándares internacionales - a menudo adoptados por empresas mineras - y normativas nacionales en ALC reveló espacios de mejora donde las normativas son menos exigentes (Rojas-Hayes et al., 2023). Ejemplos de áreas de mejora son en los esquemas de gobernanza a través de mayor participación de las comunidades; fortalecer normativas en temas de relaves, cierre de minas o pasivos ambientales; o crear políticas para generar mayor diálogo y avanzar en la equidad de género en el sector (Rojas-Hayes et al., 2023).

Gobernanza y certezas a largo plazo

Otro desafío importante es la gobernanza de cada país respecto a sus recursos naturales y su explotación responsable. El valor agregado del recurso mineral también puede ser apropiado por empresas sin una adecuada regulación en términos de regalías (royalties) o impuestos a la extracción. Desafíos actuales en la gobernanza de extracción de minerales son (BID, 2020):

- Falta de una visión compartida sobre el rol del sector minero a largo plazo.
- Garantías de la captura y distribución de los recursos generados por la minería.
- Promoción de la igualdad de género.
- Fortalecimiento de las condiciones de seguridad laboral y salud.
- Conservación de la biodiversidad y seguridad hídrica.
- Cambio climático y huella de carbono.
- Modernización de la institucionalidad ambiental.
- Transparencia de información.



Para abordar estos aspectos es clave la adecuada gestión del recurso mineral y una institucionalidad fuerte y transparente. Una gobernanza adecuada debiera balancear la captura de beneficios para el país con un desarrollo minero más eficiente, junto con la mitigación de impactos ambientales asociados.

La instalación de nuevos proyectos mineros requiere de un alto capital inicial y de garantías a largo plazo para su operación. Los países deben dar garantías suficientes a largo plazo para que el sector privado encuentre atractivo invertir en proyectos de alto capital, compromiso y baja reversibilidad, como las operaciones mineras. Para ser competitivos a nivel mundial, la extracción de minerales requiere de acceso a energía barata, lo que implica inversiones adicionales en infraestructura de generación y transmisión eléctrica (IGF, 2021). El desarrollo de energías renovables, como solar y eólica, es una meta de transición energética de ALC que traería beneficios hacia una minería de menor costo y con menor huella de carbono.

2.3 Recomendaciones

ALC debe aprovechar la ventana de oportunidad y su concentración de reservas de minerales críticos para aumentar sus niveles de producción, protegiendo al medio ambiente y comunidades locales, fomentando la cooperación regional, formando capital humano avanzado y promoviendo inversiones mediante certezas institucionales a largo plazo.



Proteger a las comunidades locales y al medio ambiente

Las empresas mineras deben mantener su liderazgo en estándares ASG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza) (BID, 2022). Estos estándares contribuyen para obtener la licencia social para operar, disminuyen los riesgos de paralización de actividades por problemas ambientales o sociales y promueven la inversión por grupos económicos que exigen estos estándares (BID, 2022). Una extracción de minerales con una gestión adecuada en temas ambientales y responsable con las comunidades locales aumenta las certezas de la operación minera en el largo plazo (IEA, 2023b).

- **A nivel de empresa,** existen diversas acciones que se pueden tomar (BID, 2022), como mayor diálogo con las comunidades locales, inversión en el desarrollo local mediante proyectos colaborativos y empleando mano de obra local, trabajar en conjunto con las comunidades indígenas identificando y respetando sus derechos, desarrollar la infraestructura local, y fomentar economías que persistan post-cierre de las operaciones mineras.
- **A nivel de normativas,** se deben acercar las exigencias de normativas nacionales a los requerimientos de estándares internacionales, en especial en temas de relaves, cierre de minas y pasivos ambientales; participación ciudadana integral; diversidad de género y oportunidades; y transparencia - acceso a la información de manera simple y directa - hacia los gobiernos y comunidades locales (Rojas-Hayes et al., 2023).

ALC puede aumentar su participación en la extracción de materiales críticos actualizando los estándares normativos de explotación de minerales y estándares medioambientales (BID, 2022). ALC debe aprovechar la ventana de oportunidad respetando el medio ambiente y comunidades locales (Sanin et al., 2023). Para mejorar la gobernanza de los recursos minerales se debe fortalecer la coordinación público-privada (Sanin et al., 2023), aumentar las concesiones y desarrollar planes y programas estratégicos, considerando incentivos para la industria más avanzada en la cadena de

valor (Sanin et al., 2023). Al fortalecer la gobernanza e instituciones para el desarrollo económico, legal y social se promueve una mayor licencia social de la minería, lo cual disminuye el número de conflictos relacionados a la minería y entrega certezas en la operación a largo plazo (Balza et al., 2021).

La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) provee cinco recomendaciones para los gobiernos para asegurar una extracción de minerales de manera sustentable (IEA, 2023b), los cuales aplican especialmente para el caso de ALC:

- 01 Proveer un marco regulatorio robusto que proteja a las comunidades y promover una minería sustentable, junto con una fiscalización adecuada.
- 02 Dirigir el gasto público para fomentar buenas prácticas en la minería. Mediante el gasto público, como licitaciones, obras públicas, o concesiones, los gobiernos pueden incentivar compañías y tecnologías más sustentables.
- 03 Generar sistemas de levantamiento de datos estandarizados para comparar las compañías entre sí y promover un desarrollo adecuado y eficiente.
- 04 Promover la transparencia en la extracción de minerales, generando reportes públicos, comunicando riesgos y medidas de mitigación.
- 05 Apoyar el desarrollo de estándares de sostenibilidad voluntarios como rol complementario a las legislaciones locales.

Fomentar mayor cooperación regional en tecnología y desarrollo de capital humano

La cooperación regional en tecnología y capital humano es clave para impulsar el desarrollo minero en ALC. Las empresas mineras en ALC pueden beneficiarse mutuamente al compartir inversiones en desarrollos tecnológicos para una extracción más eficiente. Por ejemplo, la extracción y refinación de cobre requiere de altas tecnologías industriales, las cuales pueden perfeccionarse mediante la colaboración entre países mineros de cobre, como Chile y Perú. La extracción directa de litio es otra tecnología emergente que potencialmente permitirá a la región ser líder en la producción mundial al permitir la extracción de litio de salmuera más rápida y eficientemente, con menores impactos ambientales, pero a mayores costos de extracción (Sanin et al., 2023; Goldman Sachs, 2023). Argentina, Bolivia y Chile podrían potencialmente beneficiarse con esta tecnología, por lo que se pueden coordinar esfuerzos conjuntos - como recursos para investigación y planes piloto - para implementarla en la región.

Proveer certezas institucionales a largo plazo

ALC debe proveer certezas institucionales de largo plazo para atraer inversiones para grandes proyectos mineros. Los proyectos mineros requieren de grandes inversiones iniciales y tienen vidas útiles muy longevas - mayores a 30 años, dada la incapacidad de extraer todo el mineral inmediatamente (Vikström, 2013) - por lo que las empresas requieren certezas a largo plazo sobre la cantidad de reservas, demanda por minerales y permisos para extraerlos. La situación actual de mercado global provee dos grandes certezas para los inversionistas: ALC cuenta con reservas importantes de minerales y la demanda por estos va a crecer exponencialmente dado los planes de descarbonización globales. Los gobiernos pueden complementar esta oportunidad y fomentar la inversión entregando mayores certezas institucionales, fijando regulaciones consistentes, plazos adecuados en los permisos ambientales y reglas claras respecto a las cuotas y permisos de extracción a largo plazo. Para lo anterior, las leyes de gobernanza de recursos minerales son fundamentales, así también la historia de extracción minera en cada país. Lo anterior no implica remover variables impositivas en la minería, sino más bien asegurar reglas estables y predecibles a mediano y largo plazo. De igual manera, este apoyo del gobierno puede ser bajo la exigencia mínima que las empresas mineras se comprometan a desarrollar las comunidades locales, generar empleo, capacitar a los trabajadores y respetar la institucionalidad ambiental.

En los desafíos concretos de gobernanza, los gobiernos de ALC puede avanzar con varias acciones específicas (BID, 2020). Pueden convocar diálogos multilaterales entre los diversos actores de la industria minera para generar una visión común sobre el rol de la minería a largo plazo para ALC. Pueden también crear fondos de estabilización y promover un gasto público eficiente y efectivo a partir de los recursos generados por la explotación minera. Otra acción es adoptar prácticas para avanzar en equidad de género en la industria; y avanzar en estándares más rigurosos de seguridad laboral y salud. También pueden promover proyectos sostenibles con bajo impacto en la biodiversidad y recurso hídrico de la zona; e impulsar la reducción de emisiones de carbono en la industria minera, con metas de reducción de emisiones concretas y progresivas hacia la carbono-neutralidad. Finalmente pueden revisar y mejorar las normativas ambientales y los procesos de fiscalización; y crear plataformas de información simple, directa y actualizada para fortalecer la comunicación efectiva con gobiernos y comunidades.

REFINADO



3.1 Oportunidades

Apalancar avance en extracción de minerales con industria de refinación

ALC puede utilizar sus ventajas comparativas en reservas de minerales y extracción de materia prima para apalancar un mayor crecimiento en la industria de refinado de mineral, fomentando el *nearshoring*, o la producción conjunta de ambas etapas de la cadena de valor en una misma región. La exportación de mineral refinado aumenta el valor agregado de la industria minera y los beneficios económicos para cada país. Diversos estudios han mostrado que los proyectos de instalaciones de nuevas refinerías tienen una alta rentabilidad, por ejemplo 12.9% para cobre (CESCO, 2020), derivado por mayores ingresos en la venta y menores costos en transporte del mineral. El material refinado también puede ser utilizado como insumo principal para otras industrias en la cadena de valor, como la fabricación de paneles solares, turbinas eólicas o baterías de litio (ver Capítulo 4 - Manufactura para mayor detalle). Una estrategia conjunta en expandir la extracción de materia prima y su refinado permitiría un mayor desarrollo económico en ALC.

ALC cuenta con experiencia en la refinación de minerales de uso mundial, como el cobre en Chile. Actualmente Chile tiene 4 fundiciones de cobre - Caletones, Altonorte, Paipote y Chagres - y dos fundiciones-refinerías - Chuquicamata y Potrerillos (CESCO, 2020), luego que Ventanas cerrara operaciones en 2023. Otros países con extracción o reservas de cobre, como México o Perú, no participan actualmente en la refinación, por lo que tienen la oportunidad de incorporarse utilizando sus recursos minerales directamente.

Reservas en alta concentración facilitan el refinamiento de minerales

La ocurrencia geológica a elevadas concentraciones de ciertos minerales, como el litio, provee ventajas comparativas para la refinación directa del mineral. El litio proveniente de salmueras facilita la producción de carbonato de litio o hidróxido de litio, listo para ser utilizado en fabricación de cátodos para baterías eléctricas (Sanin et al., 2023).

Brasil tiene la oportunidad de producir silicio metalúrgico, componente fundamental en la fabricación de paneles solares. Brasil tiene las siguientes oportunidades para entrar en este mercado: se espera un aumento en la demanda por silicio metalúrgico, posee las materias primas para su elaboración - como cuarzo, carbón y madera - y tiene un bajo costo de electricidad, principalmente de origen hidroeléctrico (Solar Cluster, 2015). Brasil posee depósitos con reservas importantes de cuarzo de alta calidad, necesario para el silicio metalúrgico, en los estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Espírito Santo y Pará (Solar Cluster, 2015). En particular, Brasil también tiene la capacidad para expandirse en etapas más avanzadas de la cadena de valor, como en la fabricación de poli silicio, lingotes, células solares, y paneles solares.

Brasil puede participar en el refinado de grafito natural, dado su ocurrencia en grados altos, para ser utilizado como ánodo en las baterías de litio (Ramji y Dayemo, 2024). El grafito natural es comparativamente más barato de producir que el grafito sintético, pero tiene un rendimiento menor en su uso en baterías de litio debido a mayores impurezas (Ramji y Dayemo, 2024). Brasil posee reservas de grafito natural con alto grado, lo cual es una oportunidad para aumentar su capacidad de refinación y venderlo a mayor valor.

ALC tiene alianzas estratégicas con grandes mercados

Las recientes políticas industriales globales con enfoque en minerales críticos como el *Inflation Reduction Act (IRA)* de Estados Unidos (IRS, 2022) o el *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)* de Europa (EU, 2024), presentan una oportunidad para insertar a ALC como proveedor confiable de mineral refinado al mundo. El IRA provee incentivos para la industria de VE en Estados Unidos si 80% del valor de sus minerales críticos proviene de fuentes domésticas o países con alianzas de libre comercio (Trost y Dunn, 2023). Países de ALC con un tratado de libre comercio con Estados Unidos son: Chile, Colombia, México y Perú; y minerales considerados por el IRA existentes en ALC son el aluminio, grafito, litio, manganeso y níquel (USTR, 2024). Argentina y Brasil cuentan con reservas importantes de minerales críticos (Figura 1), lo que supone un beneficio en avanzar en las relaciones bilaterales con EEUU. El IRA conlleva oportunidades para países en ALC con reservas y tratados con EEUU de insertarse en su cadena de valor para nuevas tecnologías de descarbonización. El CBAM de Europa incluye el cobro de un impuesto a la huella carbono de bienes importados a la Unión Europea, que podría incluir VE con batería de litio, paneles solares y turbinas eólicas. ALC tiene la oportunidad de producir productos de minerales con baja huella de carbono -dada la alta calidad de sus recursos minerales y la disponibilidad de energías bajas en carbono, como solar, eólica o hidroeléctrica- lo cual le daría una ventaja comparativa frente al refinado de minerales con mayor huella de carbono, como en China. Ejemplos concretos de oportunidades en refinado de minerales son la extracción de litio en salmuera, con su menor huella de carbono vis-a-vis litio de otras formaciones (Khakmardan et al., 2023); y suministro de materia prima o componentes derivados desde Brasil por su matriz energética alta en energías renovables de menor costo y huella de carbono (Ember, 2023; GlobalPetrolPrices, 2023).

3.2 Desafíos

Posición dominante de China en refinación de minerales

China, mediante su estrategia industrial, tiene la mayor participación en la refinación de minerales (IEA, 2024), a pesar de no dominar la extracción de estos. Por ejemplo, Chile domina la extracción de cobre (~25% de porcentaje mundial) pero no el procesamiento (~10%), y para el litio extrae y procesa alrededor del 25% de la producción mundial (IEA, 2024; USGS, 2024). Perú participa en la extracción de cobre, pero no en su refinación, desaprovechando una oportunidad de mayor valor agregado. Brasil, pese a contar con 12% de las reservas mundiales de níquel, procesa 2.5% de la demanda mundial de níquel refinado. La dominación de China en esta etapa de la cadena de valor se explica por las siguientes ventajas comparativas (Sanin et al., 2023): gran demanda local de VE y paneles solares, bajo costo de energía y mano de obra, economías de escala en la producción y disponibilidad tecnológica.



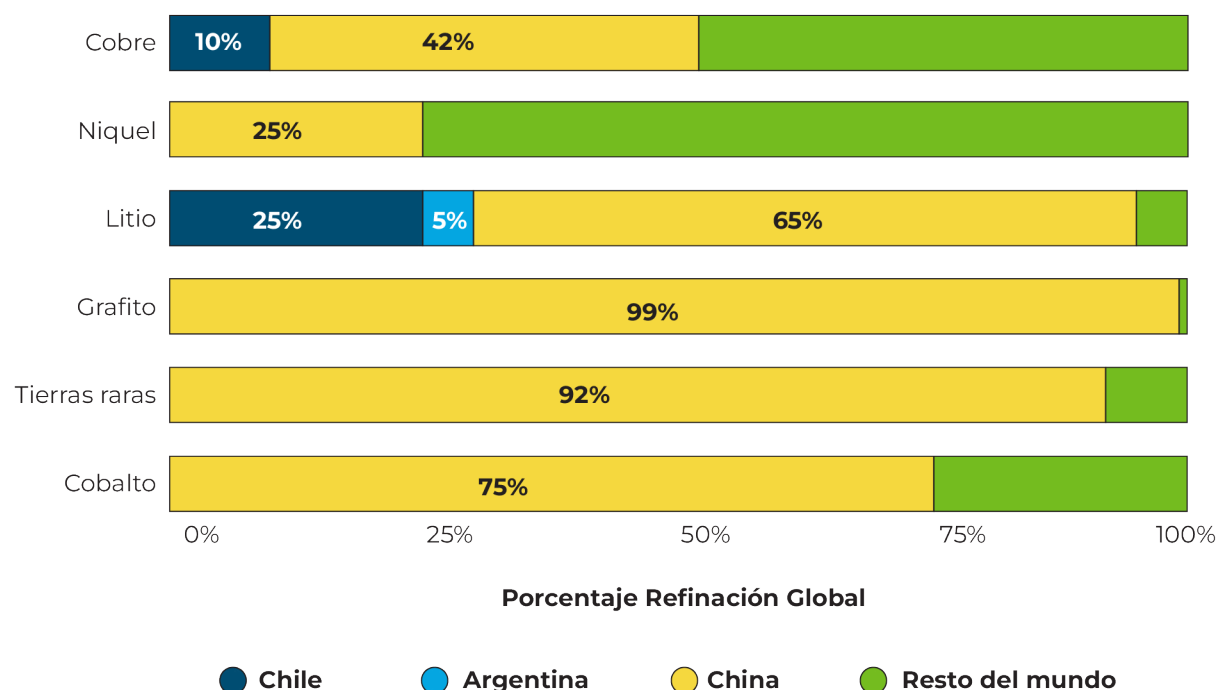


Figura 3 - Capacidad de refinado de minerales global, indicado países de ALC. Fuente: (IEA, 2024).

Volatilidad de precios minerales y pérdida de calidad de recurso

La volatilidad de precios en los minerales metálicos puede forzar el cierre de refinerías en el corto plazo. Por ejemplo, la refinería de níquel de Sao Miguel Paulista, que producía níquel de clase 1 adecuado para la conversión a cátodo, cerró en 2016 debido a una baja en el precio del níquel (Sanin et al., 2023). La operación industrial de una refinería puede protegerse financieramente ante cambios en el precio mediante ayudas económicas, contratos futuros o contratos de largo plazo, como con proveedores de fábricas de baterías de litio. Los gobiernos pueden apoyar a la industria en relaciones comerciales y aseguramiento de contratos de demanda a largo plazo.

En los últimos años ALC ha perdido liderazgo en el mercado mundial de cobre refinado, principalmente por la pérdida de ley en sus yacimientos minerales y por la emergencia de fundiciones en China, que mediante importantes subsidios lograron desarrollar nuevas tecnologías para disminuir costos (CESCO, 2020). Otros factores limitantes en la extracción de cobre de alta calidad son barreras físicas en los yacimientos, cuya estructura vertical impide aumentar las tasas de explotación, y mayores exigencias ambientales y sociales (CESCO, 2020). Lo anterior requiere de subsidios para el desarrollo de tecnologías de extracción y refinación más eficientes (como DLE para litio), exploración de recursos minerales de mayor grado, y en el aprovechamiento de minerales valiosos en relaves mineros - como cobalto y tierras raras en relaves de minería de cobre (Kottotoff, 2020). Las fundiciones de cobre en Chile pueden operar con márgenes rentables, tienen una menor huella de carbono que los competidores en China (CESCO, 2020), y se beneficiarían de subsidios estatales para desarrollo de tecnologías de refinación más costo-eficientes.

ALC debe invertir en tecnologías de extracción y refinamiento de minerales más eficientes y sustentables. Por ejemplo, la tecnología emergente de extracción directa de litio podría ser una ventaja competitiva para que ALC aumente su producción de carbonato de litio a partir de salmueras. China domina el refinado de litio principalmente utilizando como insumo óxido de litio proveniente de depósitos de roca de Australia, dado que los depósitos de salmuera, presentes en ALC, tienen limitaciones físicas en la tasa máxima de extracción de litio (Sanin et al., 2023). Mediante nuevas tecnologías, como DLE, ALC puede ser más eficiente en la extracción de litio y con menor impacto ambiental, y aumentar sus niveles productivos de carbonato de litio al 99%, un insumo de uso directo para la fabricación de cátodos de batería (Sanin et al., 2023).



Alto capital inicial



El refinado de silicio metálico para paneles solares requiere de alto gasto capital inicial, mano de obra calificada, logística de transporte y suministro de múltiples materiales (BID, 2023). Brasil, que cuenta con reservas importantes de silicio (cuarzo) de alta calidad, puede encontrar las formas adecuadas para superar estos desafíos y producir silicio metálico. Por ejemplo, la cooperación regional en ALC permitiría a Brasil obtener otras materias primas, como carbón y madera, requeridas en el proceso. El acceso a financiamiento más barato puede apoyar a la instalación de nuevas plantas de refinado para silicio metálico, y el desarrollo de nuevas energías renovables de menor costo aumentaría la competitividad en costo de refinación.

3.3 Recomendaciones

Aumentando la producción de minerales - dada sus altas reservas y bajos costos de extracción - ALC puede avanzar la industria de refinación y así potenciar sus ventajas comparativas y atender sus debilidades respecto a otros mercados refinadores. ALC debe proveer incentivos para mantener la industria de refinación en la región.



Aprovechar ventana de oportunidad y ventaja en extracción de minerales

Dado el crecimiento de la demanda mundial por minerales críticos, ALC tiene la oportunidad de expandir la producción de refinado de minerales, sin necesidad de competir con las refinerías actuales de China. La futura demanda por minerales críticos presenta una oportunidad única para abrir proyectos de refinado de minerales sin necesidad de competir con refinerías existentes. ALC debe potenciar sus ventajas comparativas, como tener a disposición directamente las reservas minerales y tener como aliados comerciales a las principales potencias mundiales, a la vez que debe acortar la brecha de las ventajas competitivas de China en demanda local, bajo costo de energía y mano de obra, economías de escala y disponibilidad tecnológica. Al respecto la región puede impulsar proyectos de refinado de minerales mediante:

- 01 Asegurar demanda para refinado de materiales en ALC dada la futura demanda local por paneles solares, turbinas eólicas y baterías de litio (ver capítulo de Mercado).
- 02 Aprovechar el bajo costo energético en ciertas regiones, como por ejemplo zonas de hidroeléctricas en Perú o Brasil, para instalar industrias de refinación competitivas. En sistemas de electricidad con baja huella de carbono, ALC puede tener una ventaja comparativa al producir refinado de minerales con menor impacto climático.
- 03 Aprovechar la mano de obra especializada en la región y fomentar la especialización en estas áreas tecnológicas mediante mayor capacitación y educación técnica.
- 04 Priorizar la explotación de mineral de alto grado para impulsar el refinamiento a bajo costo dentro de la región.

Incentivar la industria de refinación local

ALC puede proveer incentivos para la industria de refinación, siempre que se realicen respetando a las comunidades locales y al medio ambiente. Dado que la refinación de mineral provee mayor valor agregado, se pueden dar ayudas fiscales o promover acuerdos de precio futuro como incentivo a la apertura de nuevas plantas de refinación. ALC puede generar sinergias importantes con la industria de refinado de minerales - como asegurar demanda futura - si logra desarrollar una industria importante de manufactura de paneles solares, turbinas eólicas y baterías de litio (ver Capítulo 4). Esta sinergia debe ser aprovechada mediante la cooperación regional y alianzas comerciales entre países de ALC, dado que las reservas de cada mineral tienden a concentrarse en ciertos países, como cobre en Chile, litio en Argentina, Bolivia, Chile y grafito, níquel y silicio en Brasil (ver Figura 2). ALC puede aprovechar las oportunidades brindadas por las recientes políticas económicas de EEUU y Europa, aprovechando los mecanismos para insertarse en las emergentes cadenas de valor de estas regiones.



MANUFACTURA

América Latina y el Caribe tiene una posición estratégica para liderar en la manufactura de equipos para la transición energética global, aprovechando sus abundantes recursos naturales, su mano de obra calificada, su infraestructura y posicionamiento de comercio internacional y la creciente demanda mundial de tecnologías limpias. La fabricación local de tecnologías verdes y sus componentes, como las baterías de litio, los paneles solares y los generadores eólicos, trae consigo grandes oportunidades a la región. Aunque es importante tener en cuenta que la manufactura local puede tener un costo inicial más alto en comparación con la importación, este sobreprecio inicial se compensa con beneficios a largo plazo. En este contexto, no se trata de reemplazar directamente componentes importados, como celdas solares, con versiones locales más costosas, sino de ensamblar estos productos a nivel local utilizando componentes importados. Si bien este enfoque puede ralentizar temporalmente la transición energética debido a los costos más altos de los productos ensamblados localmente, es una decisión estratégica que prioriza los beneficios a largo plazo, como el crecimiento económico local, la creación de empleos y el fortalecimiento de la industria regional. Contribuye a la soberanía energética de la región al reducir la fortaleza de las cadenas de suministro regionales. Además, con el tiempo, el establecimiento de mercados regionales y cercanos puede disminuir los costos de transporte, compensando en parte más el aumento inicial de precios.

Para el sector privado, la manufactura local de estas tecnologías puede representar un detonante de un ciclo virtuoso de crecimiento y desarrollo próspero ya que, a través de su implementación, las empresas podrán reducir de manera importante su consumo energético y emisiones GEI y, consecuentemente, reducir sus gastos operativos y su impacto ambiental. Esto no solo contribuirá a cumplir con regulaciones ambientales estrictas y atraer consumidores ecológicamente conscientes, sino que también aumenta la resiliencia de la cadena de suministro frente a fluctuaciones en los precios internacionales de combustibles fósiles, optimizando así la producción para ser más limpia y menos dependiente de energías contaminantes.

Es importante destacar que la medida más eficiente para impulsar el desarrollo regional de esta industria – así como para mejorar las capacidades tecnológicas de los países de ALC y posicionarse como líderes en el mercado de energías renovables – es la colaboración internacional y la integración regional, para sacar el máximo provecho de las fortalezas y los recursos de cada país (BID, 2023).



Sin embargo, participar en este mercado global presenta varios desafíos. La alta inversión inicial necesaria para aumentar la capacidad manufacturera, combinada con la dependencia de la importación de materiales críticos, expone a la región a vulnerabilidades en la cadena de suministro global. Además, la competencia con fabricantes globales establecidos plantea un obstáculo significativo para obtener una mayor participación en el mercado. Por lo tanto, **es crucial que ALC no sólo invierta en expandir su capacidad manufacturera, sino también en desarrollar estrategias de integración para combinar recursos y capacidades industriales que ayuden a mitigar estos riesgos y aprovechen las oportunidades emergentes en el sector de la energía renovable.**

4.1 Oportunidades

Producción de baterías de litio

Según estimaciones del BID, para 2035, la demanda de baterías para el almacenamiento de energía y los VE de ALC incrementará a 174 GW, un aumento de 500% respecto a 2023. Para poner esta cifra en perspectiva, la demanda de ALC representará 7% de la demanda mundial estimada, que será de 2,519 GW para el mismo año (BID, 2023).

ALC tiene una oportunidad significativa para aumentar su participación en los segmentos de alto valor de la cadena de suministro de baterías de litio, un componente crítico para la transición energética global. Esta oportunidad se debe principalmente a, se describió anteriormente, la abundancia de reservas de litio en países como Chile, Argentina o Bolivia, proporcionan una base sólida para el desarrollo de esta industria.

El proceso de la cadena de valor del litio involucra varias etapas, desde la extracción y procesamiento de materias primas hasta la fabricación de componentes avanzados y el ensamblaje final de las baterías. ALC tiene la oportunidad de mejorar su posición en esta cadena y de reducir la dependencia de otros mercados fuera de la región al invertir en procesos de fabricación con mayor valor agregado. Por ejemplo, aprovechando la creciente demanda de baterías de litio para VE para desarrollar las capacidades regionales de producción de precursores y cátodos, elementos esenciales en su fabricación.

Un potencial escenario de cooperación regional para la fabricación de baterías de litio podría basarse en las recientes inversiones en capacidad productiva en Chile y México, así como en la disponibilidad de yacimientos de minerales críticos de Argentina. Cada país enfocaría sus esfuerzos en diferentes etapas de la cadena de valor. Por un lado, aprovechando las extensas reservas de litio del país, Chile ha implementado una estrategia que incluye importantes inversiones para la producción de precursores y cátodos. Por otro lado, aprovechando la capacidad industrial, experiencia en manufactura y su posición estratégica para exportar a mercados norteamericanos, México ha comenzado a invertir en la instalación de plantas de ensamblaje de baterías (BID, 2023). Estas inversiones en capacidades de producción específicas no solo fortalecen sus propias industrias, sino que podrían dar pie a colaboraciones regionales, donde cada país se especializa en diferentes segmentos de la cadena de valor como se muestra en la Figura 4.

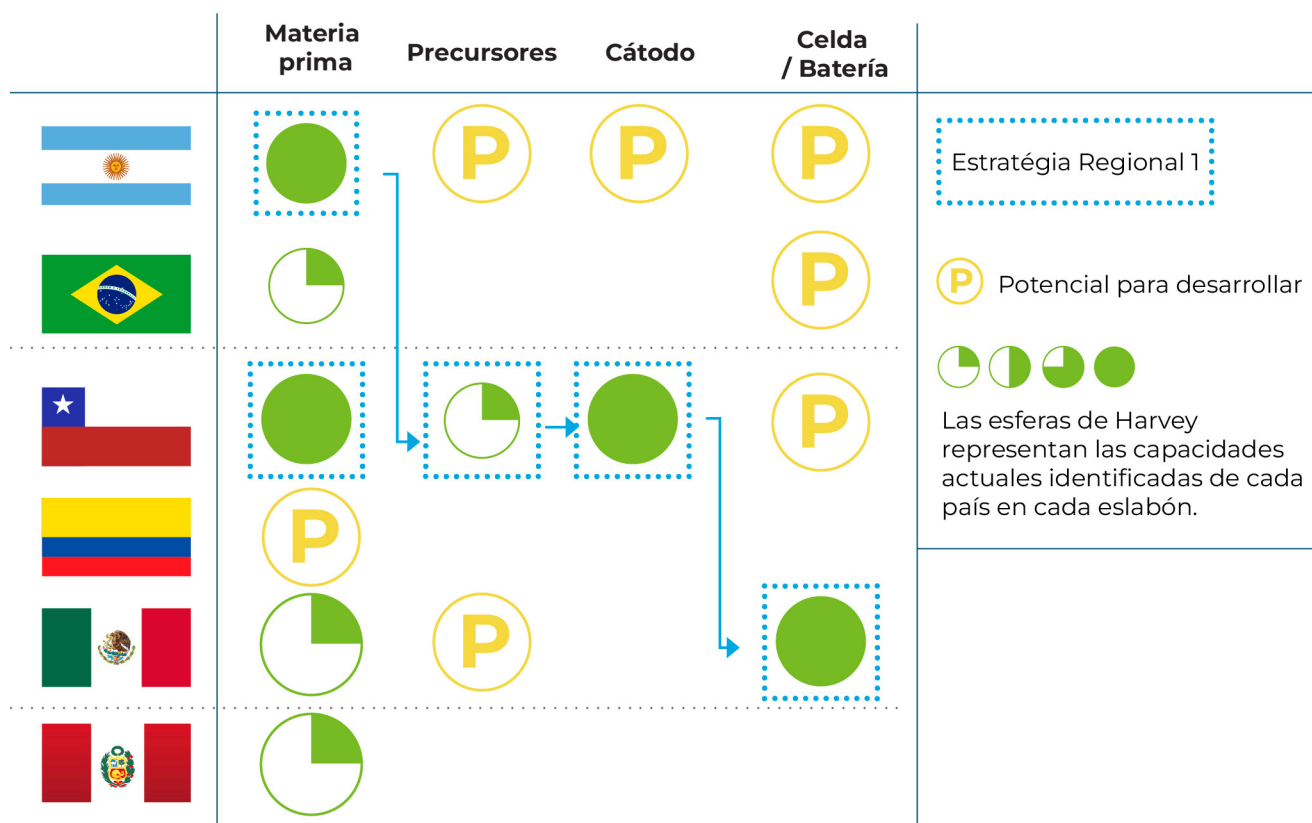


Figura 4 – Escenarios de cooperación regional para la producción de baterías. Fuente: (BID, 2023).

Este enfoque de integración regional tiene el potencial de promover la colaboración transfronteriza, optimizar los recursos y capacidades de manufactura existentes, y crear un ecosistema industrial más resiliente y competitivo a nivel global. Todo ello para responder de manera efectiva y aprovechar la creciente demanda de baterías para VE y sistemas de almacenamiento de energía renovable.

Producción de componentes para sistemas solares fotovoltaicos

En ALC se prevé que la capacidad de energía solar fotovoltaica aumente significativamente, casi triplicando para el año 2030 y alcanzando los 227 GW para el 2035. Este crecimiento se espera que se mantenga constante, con una tasa de crecimiento anual del 13.7%, representando un aumento de entre 7 y 20 GW de nueva capacidad cada año (BID, 2023).

Para capitalizar sobre este crecimiento, la principal oportunidad para la región reside en la participación en la cadena de valor completa. En la actualidad, los costos de insumos importados representan el 36% del total de los costos de producción en el sector en ALC, incluyendo subcomponentes como celdas solares ya manufacturadas (BID, 2023). Para reducir el impacto de estos costos y aumentar la competitividad, la región podría incrementar la producción de subcomponentes. Esto no solo disminuiría la dependencia de materiales importados costosos, sino que también promovería la autosuficiencia y reduciría la exposición a interrupciones en la cadena de suministro. Facilitar el comercio eficiente dentro de la región permitiría optimizar aún más los costos asociados con los materiales importados, mejorando así la competitividad general de la industria solar. Además, al obtener materias primas de proveedores locales con costos de transporte más bajos, se reducirían significativamente los gastos de ese rubro, contribuyendo al crecimiento económico regional.

Así como para el caso de las baterías, se plantean dos estrategias para la creación de redes de suministro regionales para fortalecer la industria solar en ALC, ver la Figura 5, basadas en el análisis presentado en BID, 2023.

Por un lado, aprovechando la capacidad productiva de Brasil se plantea reforzar su producción de paneles solares, a través de la creación de sinergias con países vecinos como Argentina y Chile para asegurar el suministro de materias primas esenciales como el silicio. Esta estrategia incluye la formación de alianzas estratégicas y la reducción de aranceles sobre materias primas, fomentando una mayor integración económica regional. Este enfoque no solo impulsa la industria solar en Brasil, sino que también promueve una utilización más eficiente de los recursos regionales.

Por otro lado, México también cuenta con una gran capacidad de manufactura y acceso a mercados norteamericanos, por lo que se propone integrar la producción de silicio con ayuda de países como Colombia y Perú, procesando luego este silicio en México para su incorporación en la cadena de valor de los paneles solares. Esta iniciativa incluye el desarrollo de la industria de polisilicio en territorio mexicano, con el objetivo de fortalecer la producción local y reducir la dependencia de importaciones.

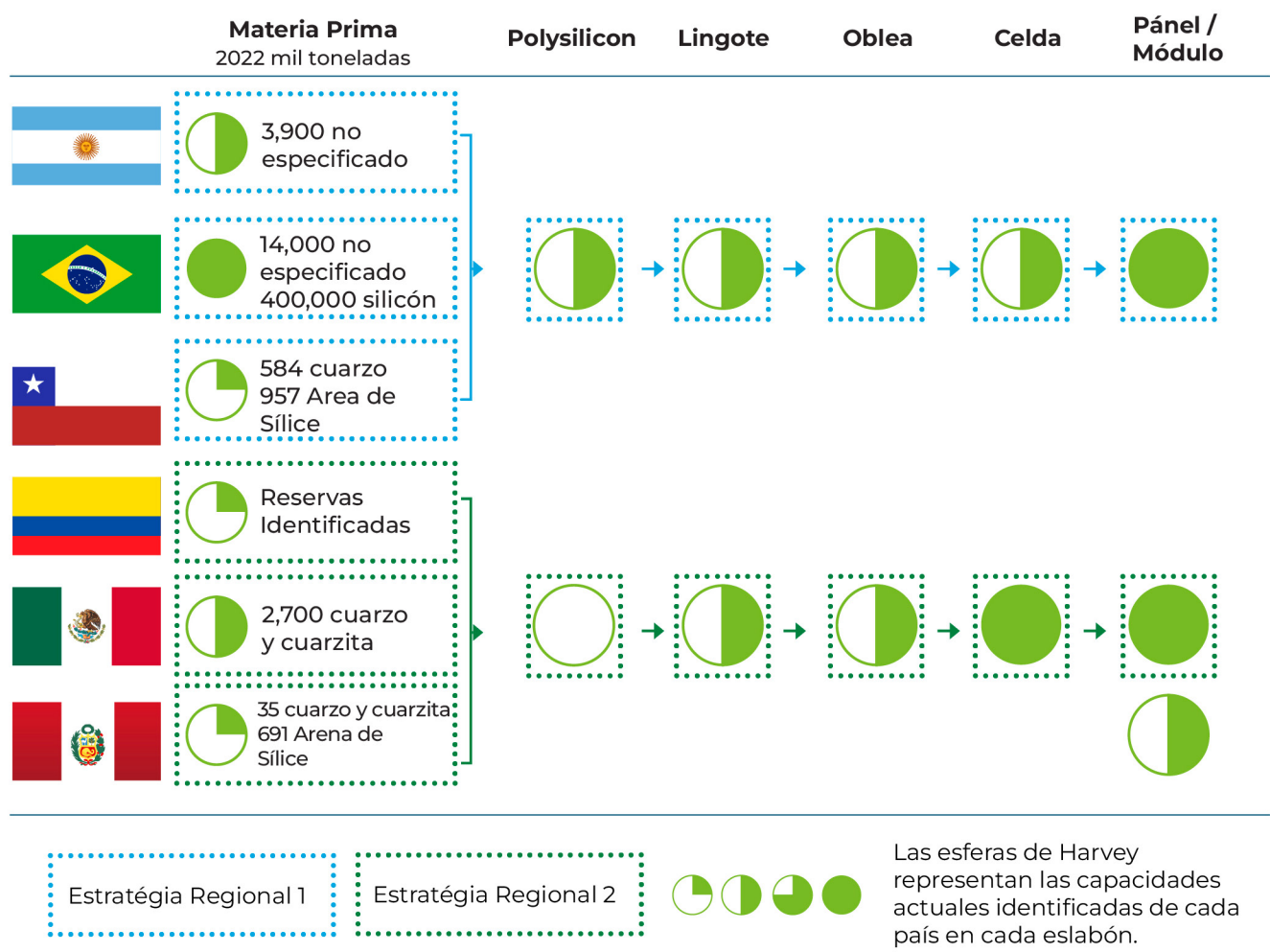


Figura 5 – Escenarios de cooperación para la producción de paneles solares. Fuente: (BID, 2023).

Las estrategias propuestas buscan establecer autosuficiencia regional en componentes clave para la industria solar y aumentar la competitividad frente a productos extranjeros. Además, se espera que la transferencia de tecnología y el intercambio de conocimientos entre fabricantes internacionales y locales mejoren las capacidades de manufactura en la región, posicionando a América Latina como un actor clave en el mercado global de energía renovable.

Producción de generadores eólicos

Actualmente, la región cuenta con una amplia disponibilidad de minerales y materiales necesarios para la producción de equipos y componentes para la generación de energía eólica. Entre estos recursos diversos se encuentran, por ejemplo, acero para las torres, cobre para el cableado, fibras de vidrio y carbono para las aspas, y concreto para cimentar las estructuras. Una excepción crítica es la escasa producción de tierras raras, esenciales para la fabricación de diferentes tecnologías, como los imanes utilizados en ciertos tipos de generadores eólicos y motores de vehículos eléctricos. Brasil es el único país de la región que produce tierras raras en cantidades sustanciales, contando con el 90% de las reservas globales de niobio y siendo responsable de aproximadamente el 86% de la producción global (USGS, 2024).

Los tres países con participación más significativa en la cadena de valor de componentes para la producción de energía eólica son Argentina, Brasil y México. Estos juegan roles activos y complementarios en la cadena de valor de la energía eólica en América Latina. **Argentina está expandiendo su capacidad de fabricación de componentes de turbinas eólicas, atrayendo inversiones y especializándose en aspectos específicos de la producción (BID, 2023). Brasil, con un mercado eólico bien establecido y eficientes procesos de desarrollo de proyectos, suministra energía eólica a su demanda eléctrica nacional y se beneficia de costos de instalación bajos.** México, por su parte, aprovecha su posición geográfica para exportar subcomponentes eólicos a Estados Unidos y trabaja en fortalecer su integración regional mediante la reducción de tarifas y el mejoramiento de la infraestructura logística.

Según estimaciones en BID, 2023, ALC actualmente cuenta con una capacidad instalada de energía eólica de 45 GW y se espera que para 2035 incremente 250%, representando una tasa de crecimiento anual de 4 a 8 GW de capacidad para alcanzar 114 GW.

Para responder a este crecimiento acelerado, se plantea que Argentina, Brasil y México fortalezcan su cooperación regional hacia optimizar la manufactura de equipos eólicos. Bajo este esquema, Argentina y Brasil focalizarían esfuerzos en reforzar sus capacidades de producción de turbinas eólicas, integrando materias primas regionales y aumentando la producción de tierras raras fundamentales para producir generadores. México, por su parte, se centraría en asegurar el suministro de materiales esenciales para después potenciar su producción de turbinas.

Como muestra la Figura 6, cada uno de estos países posee una posición estratégica dentro de la cadena de valor eólica, por lo que los esfuerzos conjuntos no solo podrían expandir la eficiencia productiva y la capacidad de manufactura, sino también consolidar a la región como un competidor líder en el mercado global de energía eólica, aprovechando conjuntamente las ventajas de su infraestructura industrial y recursos naturales.

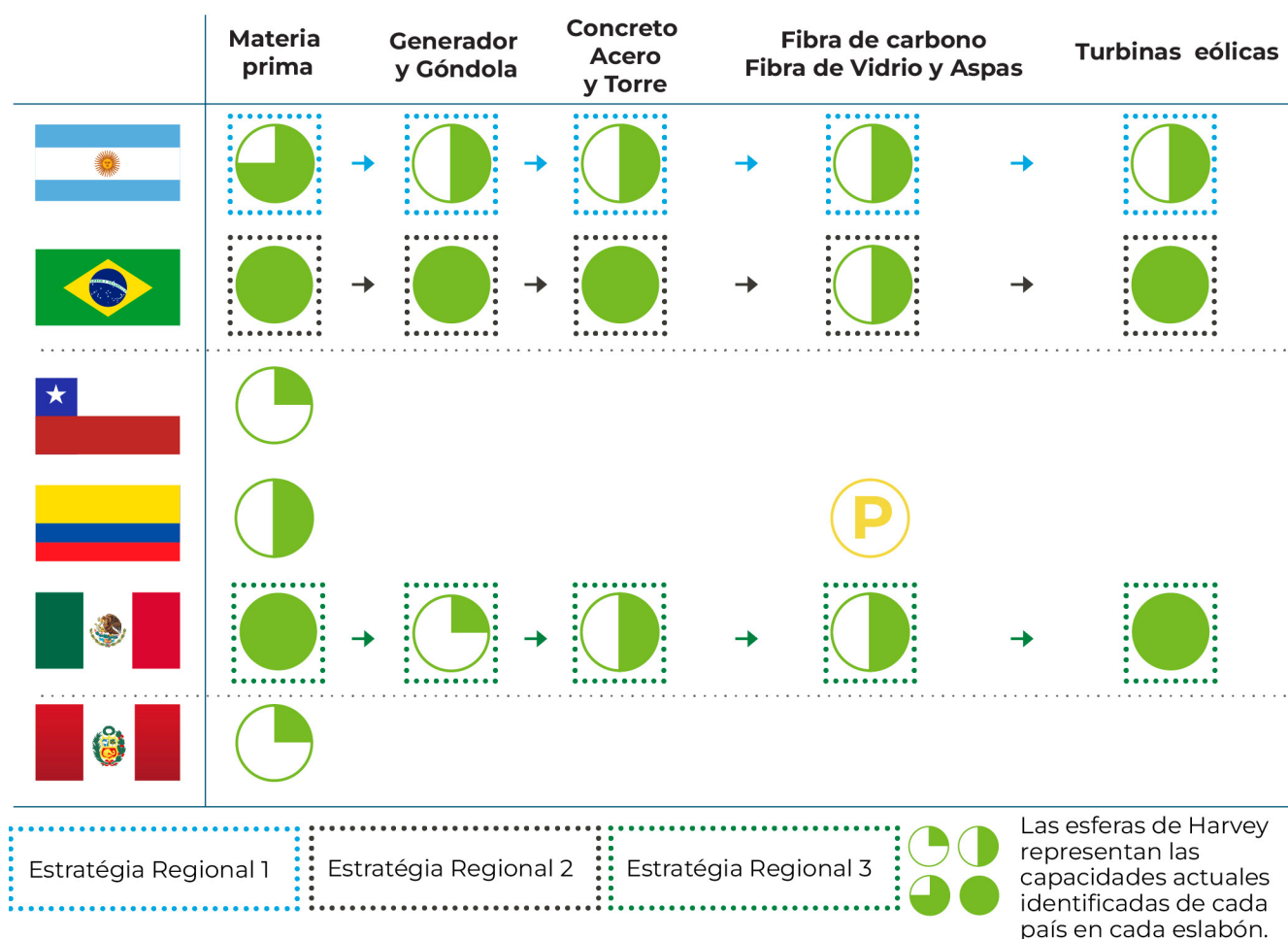


Figura 6 – Escenarios de cooperación para la producción de turbinas eólicas. Fuente: (BID, 2023).

4.2 Desafíos

Insuficiente capacidad en procesos de alto valor añadido



La falta de capacidad en procesos de alto valor añadido en las cadenas de valor de tecnologías como silicio para componentes solares y litio para baterías en ALC tiene implicaciones significativas para el desarrollo industrial y tecnológico de la región. Esta concentración en la producción de materias primas y en el ensamblaje final, sin invertir en procesos intermedios, limita la capacidad de la región para crear productos de mayor valor añadido. Tal situación no solo reduce los márgenes de ganancia potenciales para la industria local, sino que también perpetúa la dependencia de tecnologías y procesos avanzados de países más industrializados, debilitando la autonomía tecnológica regional.

Además, esta deficiencia en la cadena de valor dificulta la capacidad de respuesta de la región a las interrupciones globales del suministro, haciendo a la industria vulnerable a fluctuaciones en la disponibilidad y precio de los materiales importados. Esto puede tener efectos desestabilizadores en la producción local, aumentando los costos de producción y limitando la competitividad de los productos finales en el mercado global.

Falta de integración regional

La falta de integración regional en ALC afecta profundamente las cadenas de valor de las tecnologías eólica, solar y de almacenamiento de energía, limitando el desarrollo económico y tecnológico de la región. Esto impide que los países aprovechen las economías de escala, conduciendo a una eficiencia reducida y a mayores costos de producción, ya que cada país puede terminar replicando infraestructuras y capacidades que podrían ser más efectivamente desarrolladas y aprovechadas a nivel regional. Además, las barreras comerciales como aranceles y otros obstáculos regulatorios complican aún más la importación y exportación de materiales críticos y componentes tecnológicos, lo que restringe el flujo de innovaciones y reduce la competitividad global de la industria de tecnologías limpias en la región.

Estos desafíos no solo limitan la expansión de la industria de energías renovables, sino que también dificultan la capacidad de la región para responder de manera ágil a las demandas del mercado y a los cambios tecnológicos globales. La falta de integración regional puede dejar a América Latina y el Caribe en desventaja en la carrera global por la transición energética hacia fuentes más limpias y sostenibles, frenando el potencial de crecimiento económico y la creación de empleo en sectores tecnológicamente avanzados.

Falta de inversión

La falta de inversión en tecnologías avanzadas en ALC plantea desafíos significativos para el desarrollo y expansión de la infraestructura necesaria para la manufactura de tecnologías verdes. La dificultad para acceder a financiamiento accesible limita no solo la creación de nuevas instalaciones de producción, sino también la actualización y expansión de las capacidades productivas existentes. Esto retarda el desarrollo tecnológico en la región, impidiendo que ALC aproveche plenamente su potencial en sectores de rápido crecimiento como el de las energías renovables y la tecnología de baterías.

Además, la inversión inicial considerable requerida para establecer plantas de manufactura de tecnologías avanzadas puede ser prohibitiva para muchos posibles inversores, lo que frena la innovación y la expansión industrial. En un mercado global cada vez más competitivo, esta falta de inversión podría relegar a la región a un papel marginal, incapaz de competir con mercados más desarrollados que invierten significativamente en la modernización y eficiencia de la producción.

Riesgo en las cadenas de suministro de materiales críticos no disponibles en ALC

La escasez de materiales clave, como los elementos de tierras raras utilizados en la fabricación de ciertos tipos de generadores eólicos o el cobalto presente en las baterías de litio de químicas como las NMC (níquel, manganeso, cobalto), destaca la necesidad de fortalecer las cadenas de suministro globales en la región. Esta deficiencia puede ocasionar interrupciones en la producción y afectar la estabilidad y confiabilidad de las cadenas de suministro. Una excesiva dependencia en unos pocos

socios comerciales, proveedores de estos materiales críticos, expone a la industria a riesgos derivados de las fluctuaciones en los mercados globales, así como a tensiones políticas y económicas que podrían alterar la disponibilidad y los precios. Esto subraya la importancia de establecer relaciones con múltiples proveedores y profundizar en las relaciones comerciales existentes.

En el contexto de la energía renovable, donde la continuidad y la eficiencia de la producción son vitales, estos desafíos podrían obstaculizar los esfuerzos de la región para aumentar su capacidad energética sostenible.

Competencia global establecida

La competencia global establecida en las tecnologías de energía renovable presenta varios desafíos para los productores de ALC. Los fabricantes de la región enfrentan la dura tarea de competir con productores internacionales ya muy bien consolidados, como China, Europa o EEUU, que tienen ventajas en términos de economías de escala o acceso a tecnologías avanzadas y que cuentan con cadenas de suministro bien desarrolladas. Esto puede dificultar significativamente la capacidad de los productores de ALC para obtener una mayor cuota de mercado y expandirse en nuevos mercados, limitando así su crecimiento.

Además, la competencia intensa de los mercados establecidos puede presionar a los productores locales para que reduzcan los costos, lo que a menudo puede resultar en compromisos en la calidad o en la inversión en innovación. La falta de una base sólida en investigación y desarrollo dentro de la región puede dejar a estos productores vulnerables a quedarse atrás en términos de la evolución tecnológica necesaria para mantenerse competitivos en un mercado global que está en constante cambio.



4.3 Recomendaciones

A continuación, se plantea una serie de recomendaciones para hacer frente a los desafíos identificados en la sección anterior y aprovechar las oportunidades en para facilitar el desarrollo y fortalecimiento de la manufactura regional de equipos y componentes para la transición energética.



Acciones regionales para baterías

Para fortalecer e impulsar la manufactura de baterías de litio en ALC, **es fundamental adoptar una estrategia a corto plazo que aproveche las capacidades actuales de los países mientras se prepara para una transición hacia una cadena de valor regional integral**. Esto permitirá a la región responder eficazmente al crecimiento acelerado de la demanda de baterías de litio.

Sería estratégico **invertir en la manufactura de baterías completas y sus componentes, aprovechando la disponibilidad de materias primas regionales y desarrollando programas de diversificación de la cadena de suministro de baterías**. La región puede aprovechar la extracción regional de minerales y los bajos costos laborales de México, así como las capacidades de fabricación existentes para expandir el refinamiento de litio en países como Chile y Argentina. Por ejemplo, se puede buscar promover la instalación de fábricas de producción de cátodos en Chile, con alianzas comerciales para la industria de VE de México (BID, 2023).

Además, es necesario **diseñar nuevos esquemas de financiamiento regional que fomenten inversiones en cadenas de valor locales**, como préstamos preferenciales para empresas de fabricación de baterías, inversiones especiales en la producción de precursores y cátodos, o incentivos fiscales para maquinaria utilizada en la transformación de litio.

Acciones regionales para energía eólica

Para impulsar el desarrollo de la energía eólica en ALC **es crucial implementar acciones regionales que fortalezcan y aumenten la participación regional a lo largo de toda la cadena de valor**. Por ejemplo, **reducir las barreras comerciales intrarregionales existentes facilitaría el desarrollo de** una cadena de valor que consolide las fortalezas de la industria eólica regional, aprovechando las capacidades productivas existentes en países como Argentina, Brasil y México, así como las instalaciones de ensamblaje en Brasil.

Por otro lado, **la cooperación también es importante para el desarrollo de infraestructura logística regional para el transporte de los enormes componentes relacionados con la energía eólica**.

Esto es una consideración crítica para la exportación de turbinas eólicas dentro de la región ya que el tamaño y peso de las torres y palas presentan desafíos de carga sobredimensionada que podrían obstaculizar el abastecimiento eficiente de esta infraestructura.

Finalmente, Argentina, Brasil y México pueden expandir sus industrias de manufactura mediante alianzas con otros países de ALC para la extracción de materias primas clave, como cobre, zinc, manganeso, hierro y tierras raras. Estas acciones contribuirán a posicionar a ALC como un actor importante en el sector de la energía eólica y a promover un desarrollo sostenible en toda la región.

Acciones regionales para energía solar

Para promover el desarrollo de la energía solar en ALC, **es fundamental implementar acciones regionales que impulsen la diversificación y fortalecimiento de la cadena de suministro solar en la región.**

Una oportunidad importante consiste en **desarrollar un programa de diversificación de la cadena de suministro solar**, aprovechando las fortalezas y oportunidades de cada país, capitalizando el aumento proyectado en la demanda de energía solar, apoyándose en países de ALC para la extracción de materias primas clave como el silicio de Brasil, el cobre de Chile y Perú y el zinc de México y Perú.

Por otro lado, similar a el caso de las tecnologías anteriores, existe una gran oportunidad en **diseñar nuevos esquemas de financiamiento regional que fomenten las inversiones en las cadenas de valor local**. Por ejemplo, préstamos preferenciales e incentivos fiscales. Asimismo, se requiere la **reducción de aranceles y barreras no arancelarias en bienes y servicios asociados con la producción de energía solar**, para facilitar el comercio de materias primas y minerales clave de países productores a países con capacidades de procesamiento, o facilitar las transferencias de los productos para su ensamblaje final en Brasil y México y de ahí a su destino de exportación.

Por último, **trabajar en colaboración con los ministerios de energía y minas regionales, así como con las instituciones académicas y de investigación, es primordial para apoyar actividades de investigación y desarrollo con recursos regionales**, promoviendo el aumento de la productividad y la calidad de los productos solares en la región. Además, esto podría fortalecer la transferencia tecnológica, aumentar la capacitación de personal y promover el desarrollo de tecnologías adaptadas a las necesidades del mercado de ALC.



MERCADO

Como destacó el capítulo anterior, **el mercado global de tecnologías para la transición energética está experimentando un crecimiento acelerado, impulsado por una variedad de objetivos y estrategias tanto a nivel nacional como internacional para abordar el cambio climático.** Por un lado, se estima que para el 2030 la demanda de energía eléctrica en la región se duplique en comparación con el nivel de 2015 con una participación del 18.9% de energía solar y eólica (Graham et al., 2021), requiriendo una gran cantidad de almacenamiento en forma de baterías de litio. Por otro lado, la adopción de VE ya está en marcha en algunos mercados de la región. En 2021, se registraron 25,000 nuevos EV, duplicando los niveles de 2020 (BloombergNEF, 2022) y se espera que el mercado siga creciendo, respaldado por iniciativas y objetivos del sector público de los diferentes países de la región. Algunas de estas iniciativas incluyen el requerimiento de que nuevos automóviles vendidos sean eléctricos, la sustitución de flotas de autobuses urbanos con autobuses eléctricos y la introducción de trenes de pasajeros y de carga eléctricos.



Esta rápida evolución no solo genera oportunidades importantes, sino que también plantea desafíos regionales únicos. Aprovechar las ventajas naturales, infraestructurales y de capital humano se vuelve crucial para asegurar un lugar destacado en uno de los mercados global de mayor potencial.

5.1 Oportunidades

Mercados de exportación: oportunidad de corto plazo para financiar capacidad regional

ALC cuenta con capacidad productiva e infraestructura robusta y relaciones comerciales establecidas para la exportación de tecnologías para la transición energética, incluyendo energía solar, eólica y almacenamiento de energía. Mercados de exportación: oportunidad de corto plazo para financiar capacidad regional

ALC cuenta con capacidad productiva e infraestructura robusta y relaciones comerciales establecidas para la exportación de tecnologías para la transición energética. En particular, las economías más grandes de la región, como Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México y Perú, ya participan en un número de acuerdos y convenios comerciales, como el Mercosur, la Alianza del Pacífico y el T-MEC. Estas alianzas pueden apoyar las recomendaciones hechas en el en la sección anterior (manufactura), al facilitar la integración de mercados y la expansión de las exportaciones de energías limpias. .Las figuras 7, 8 y 9 presentan el valor acumulado de los mercados de exportación de ALC para paneles solares, baterías de litio y turbinas eólicas desde 2019 hasta 2023.

		Principales exportadores de ALC		
Principales destinos de importación		México	Chile	Brasil
	EEUU	80.2%	0.5%	1.1%
	Argentina	0.0%	3.1%	0.3%
	Honduras	0.0%	0.0%	0.0%
	Guatemala	0.0%	0.0%	0.0%
	Paraguay	0.0%	1.8%	0.2%
	Bolivia	0.0%	1.8%	0.1%
	Perú	0.0%	1.9%	0.0%
	Ecuador	0.0%	0.2%	0.2%
	Colombia	0.0%	0.0%	0.4%
	Uruguay	0.0%	0.0%	1.3%

Valor total de exportaciones 2022-23: \$7.6M

Tabla 3- Valor de los principales mercados de exportación de paneles solares de ALC y sus principales exportadores, 2022-2023. Los valores de los flujos se presentan como porcentaje del valor total del comercio, ubicado en la parte inferior de la tabla. Se consideran los valores de exportación reportados por los países exportadores bajo los códigos arancelarios del sistema armonizado HS 854143: Ensamblados en módulos o paneles de células fotovoltaicas. Fuente: (United Nations Statistics Division 2024).

		Principales exportadores de ALC			
Principales destinos de importación		Brasil	México	Chile	Argentina
	EEUU	69.2%	21.1%	1.6%	0.6%
	Alemania	1.6%	0.0%	0.0%	0.0%
	Brasil	0.0%	0.1%	0.0%	0.4%
	Chile	0.4%	0.0%	0.0%	0.2%
	Argentina	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%
	Colombia	0.2%	0.1%	0.0%	0.2%
	Perú	0.2%	0.0%	0.3%	0.0%
	Canada	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%
	China	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%
	México	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%

Valor total de exportaciones 2019-23: **\$604.1M**

Tabla 4- Valor de los principales mercados de exportación de góndolas, palas y cubos para aerogeneradores de ALC y sus principales exportadores, 2019-2023. Los valores de los flujos se presentan como porcentaje del valor total del comercio, ubicado en la parte inferior de la tabla. Se consideran los valores de exportación reportados por los países exportadores bajo los códigos arancelarios del sistema armonizado HS 850231: Aerogeneradores industriales con capacidad de generación de energía eléctrica, y 841290: Partes de motores motrices incluyendo palas y cubos para aerogenerador. Fuente: (United Nations Statistics Division 2024).

		Principales exportadores de ALC	
Principales destinos de importación		México	Panamá
	EEUU	96.4%	0.0%
	China	0.6%	0.0%
	Cuba	0.0%	0.5%
	Perú	0.0%	0.2%
	Haití	0.0%	0.0%
	Argentina	0.0%	0.0%

Valor total de exportaciones
2019-23: **\$175.1M**

Tabla 5- Valor de los principales mercados de exportación de baterías de ALC y sus principales exportadores, 2019-2023. Los valores de los flujos se presentan como porcentaje del valor total del comercio, ubicado en la parte inferior de la tabla. Se consideran los valores de exportación reportados por los países exportadores bajo los códigos arancelarios del sistema armonizado HS 850650: Celdas y baterías de litio. Fuente: (United Nations Statistics Division 2024).

Los mercados de exportación de América Latina y el Caribe (ALC), especialmente Estados Unidos y Europa, están experimentando una creciente demanda de equipos y componentes para la transición energética, motivada por las metas de mitigación del cambio climático. En el caso de EEUU, en 2021 la administración estableció como objetivo nacional que 80% del consumo de electricidad en el país se produjera utilizando fuentes renovables para 2035. Esto supone un aumento de 380% con respecto a los niveles de 2021, a una tasa de alrededor de 4.3% anual. Por su parte, en 2023, la Comisión Europea estableció la meta de que 42.5% de la energía utilizada en la UE provenga de fuentes renovables para 2030, lo que representa un incremento de 100% con respecto a los niveles de 2021, a una tasa de alrededor de 3.2% anual.

Cabe destacar que actualmente, EEUU recibe el 79% de las exportaciones de paneles solares, 98% de las exportaciones de generadores eólicos y 94% de las exportaciones de baterías de litio de ALC, representando el 5%, 15% y 10% respectivamente de las importaciones de estas tecnologías en aquel país. Por otro lado, mientras que Europa y ALC mantienen relaciones comerciales fuertes en muchos sectores, para el caso de las tecnologías para la transición energética analizadas, el comercio registrado hacia el bloque representa menos del 1% de las exportaciones de ALC para las tres tecnologías.

Acceso a mercados avanzados: Financiamiento y reducción de la brecha tecnológica

Como puede observarse en las figuras 7, 8 y 9, **el mercado norteamericano es, por mucho, el mayor consumidor de los productos exportados por la región. Es por esto que la relación de México en el Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) es un factor clave en el impulso a la industria de tecnologías verdes en ALC, ya que a través de éste acuerdo comercial la región puede acceder con condiciones privilegiadas a uno de los mercados de consumidores más grandes y pujantes del mundo.** Esto es particularmente así desde la adopción en EEUU del *nearshoring*, una política que busca fortalecer sus cadenas de suministro, acercándolas a países aliados. Para los socios del T-MEC, los resultados de esta estrategia se materializaron en el IRA , que proporciona diversos incentivos fiscales para la compra de componentes y tecnologías limpias con ensamblaje final en Norteamérica, impulsando así la manufactura regional.

La alta demanda y los precios favorables alcanzados en estas regiones ofrecen una oportunidad estratégica para justificar las inversiones en capital (CAPEX) necesarias para adaptar y expandir las capacidades regionales de fabricación de componentes de alto valor agregado. Al financiar la capacidad de producción tecnológica en ALC respaldado en prospectivas favorables de exportaciones a regiones desarrolladas, se podría facilitar la transferencia de conocimiento y tecnología avanzada hacia la región. **Esto podría ayudar a cerrar la brecha tecnológica y mejorar la capacidad de innovación de ALC en el campo de la transición energética.**

Además, aprovechando que se espera la adopción de estas tecnologías avance a un ritmo más moderado que en las economías avanzadas, **las mismas capacidades productivas instaladas, financiadas inicialmente por exportaciones de alto valor, podrían adaptarse fácilmente para desarrollar tecnologías que satisfagan las necesidades y el poder adquisitivo de la población en la región.** Esto podría impulsar la transición energética en ALC, así como contribuir al desarrollo sostenible y fomentar un mercado interno robusto en la región.

Mercados intrarregionales: Apostando al crecimiento limpio de ALC



Los mercados de tecnologías para la energía renovable en ALC, como se discutió en el capítulo anterior, se encuentran en una etapa incipiente, aunque se proyecta un crecimiento acelerado en la siguiente década. A la vez que la región aprovecha su abundancia de recursos naturales y desarrolla su infraestructura industrial para robustecer su producción, se ha visto un incremento en la integración de estas tecnologías en los mercados locales, lo que refleja un crecimiento sostenido y una aceptación más amplia de las energías renovables.

Las figuras 10, 11, y 12 presentan el valor acumulado de las importaciones a ALC de paneles solares, baterías de litio y turbinas eólicas desde 2019 hasta 2023. Destacan los grandes mercados de Brasil, Chile, Argentina y México y el gran potencial de crecimiento para el resto de la región.

Integración regional para reducir costos y tener mayor influencia en la producción

Existe un gran potencial para una mayor integración regional a través de acuerdos comerciales para fortalecer las industrias de tecnologías para la transición energética, aprovechando recursos colectivos y mercados. La colaboración entre los países de la región podría llevar a una mayor eficiencia y la reducción de costos para los usuarios a través del aprovechamiento compartido de infraestructura y capital humano.

		Principales exportadores a ALC			
Principales destinos de importación		China	Singapur	Vietnam	Japón
	Brasil	88.5%	0.2%	0.1%	0.1%
	Colombia	3.9%	0.0%	0.0%	0.0%
	Chile	3.7%	0.0%	0.0%	0.0%
	México	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%
	El Salvador	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%
	Perú	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%
	Panamá	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%
	Nicaragua	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
	Costa Rica	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
Valor total de importaciones 2022-23: \$8,880M					

Tabla 6- Valor de los principales mercados de importación de paneles solares de ALC y sus principales exportadores, 2022-2023. Los valores de los flujos se presentan como porcentaje del valor total del comercio, ubicado en la parte inferior de la tabla. Se consideran los valores de importación reportados por los países importadores bajo los códigos arancelarios del sistema armonizado HS 854143: Ensamblajes en módulos o paneles de células fotovoltaicas. Fuente: (United Nations Statistics Division 2024).

		Principales exportadores a ALC						
Principales destinos de importación		China	España	EEUU	Alemania	India	Vietnam	Brasil
	Chile	25.6%	4.5%	1.4%	4.3%	2.8%	0.9%	1.1%
	México	9.4%	2.5%	4.6%	0.4%	2.1%	0.4%	0.0%
	Brasil	8.1%	2.2%	1.7%	0.6%	0.6%	0.0%	0.0%
	Argentina	10.0%	0.2%	0.7%	0.4%	0.1%	0.0%	0.0%
	Colombia	5.9%	0.0%	0.4%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%
	Bolivia	1.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Valor total de importaciones a ALC 2019-23: \$6,236.8 M							

Tabla 7- Valor de los principales mercados de importación de góndolas, palas y cubos para aerogeneradores de ALC y sus principales exportadores, 2019-2023. Los valores de los flujos se presentan como porcentaje del valor total del comercio, ubicado en la parte inferior de la tabla. Se consideran los valores de importación reportados por los países importadores bajo los códigos arancelarios del sistema armonizado HS 850231: Aerogeneradores industriales con capacidad de generación de energía eléctrica, y 841290: Partes de motores motrices incluyendo palas y cubos para aerogenerador. Fuente:(United Nations Statistics Division 2024).

Principales exportadores de ALC

	China	EEUU	Corea del Sur	Japón	Israel	Indonesia
México	19.0%	18.9%	13.5%	11.6%	6.9%	5.6%
Brasil	6.7%	0.9%	0.2%	0.4%	0.1%	1.0%
Argentina	0.4%	0.4%	0.0%	0.1%	0.0%	0.3%
Chile	0.8%	0.4%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%
Colombia	0.7%	0.5%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%

Valor total de exportaciones 2019-23: **\$1,118.2M**

Tabla 8- Valor de los principales mercados de importación de baterías de ALC y sus principales exportadores, 2019-2023. Los valores de los flujos se presentan como porcentaje del valor total del comercio, ubicado en la parte inferior de la tabla. Se consideran los valores de importación reportados por los países importadores bajo los códigos arancelarios del sistema armonizado HS 850650: Celdas y baterías de litio. Fuente: (United Nations Statistics Division 2024).

Apalancamiento de las políticas públicas para el impulso al mercado

Las políticas públicas juegan un papel crucial en el impulso y desarrollo del mercado de tecnologías para la energía renovable. Al establecer un marco regulatorio claro y estable, los gobiernos pueden crear un ambiente propicio para las inversiones, tanto locales como extranjeras, en energías renovables. Estas políticas pueden incluir incentivos fiscales, subsidios, tarifas preferenciales para la generación de energía renovable, y la organización de licitaciones que garantizan un mercado para la energía producida. Además, pueden facilitar el desarrollo de infraestructura necesaria para la expansión de estas tecnologías, como mejoras en la red eléctrica y en los sistemas de almacenamiento de energía.

Por otro lado, un apoyo claro, económico y discursivo, desde el sector público puede promover la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, apoyar la educación y formación de profesionales en el sector, fomentar la colaboración entre el sector público y privado y reforzar una opinión favorable de los consumidores.

Fortalecer el mercado para reducir la huella de carbono y la contaminación

Al invertir y expandir el uso de tecnologías como la solar, eólica, y baterías, la región puede disminuir su dependencia de los combustibles fósiles y, por tanto, de emisiones de CO₂ y otros contaminantes. La popularización de estas tecnologías no solo ayuda a mitigar el cambio climático al reducir las emisiones, sino que también promueve la seguridad energética y la sostenibilidad. Un mercado de energías renovables bien desarrollado puede proporcionar energía limpia y accesible, lo que reduce la necesidad de importar combustibles fósiles y fortalece la economía local. Además, al mejorar la eficiencia energética y aumentar la proporción de energías renovables en su matriz energética, los países de ALC alcanzarán sus compromisos y metas climáticas más fácilmente.

5.2 Desafíos

Acceso desigual a los beneficios de los mercados

En ALC existe una variabilidad significativa en el nivel de desarrollo de mercado de las tecnologías para la transición energética entre los distintos países, como se observa en las figuras de este capítulo. Esto se debe a diversos factores como estabilidad económica, políticas gubernamentales, acceso a financiamiento, o disponibilidad de recursos naturales y humanos. Algunos países, como Brasil, Chile, y México han avanzado considerablemente en el desarrollo de sus mercados de energía solar y eólica, mientras que otros aún están en las etapas iniciales.

Estas desigualdades pueden afectar la capacidad para atraer inversiones, desarrollar infraestructura y limitar la capacidad de participar en una cooperación regional que podría facilitar una más eficiente distribución de recursos y tecnología.

Riesgo de un mercado dominado por proveedores internacionales

La gran dependencia de China y EEUU como principales proveedores de equipos y componentes para la región genera preocupaciones sobre una consolidación poco saludable del mercado y posibles riesgos para el crecimiento y la sostenibilidad futuros debido a posibles cambios en las políticas comerciales de cualquiera de los dos países. Especialmente ante el aumento de barreras comerciales impuestas entre ambas naciones en los últimos tiempos, potencialmente resultando en interrupciones críticas de la cadena de suministro.

Aunque las tecnologías producidas en el extranjero pueden ofrecer costos más bajos y una mayor disponibilidad a corto plazo, **la dependencia de las importaciones impide la transferencia de tecnología y el desarrollo de capacidades regionales para la producción de estas tecnologías, y en el peor de los casos podría incluso arriesgar la soberanía energética y la descarbonización en ALC.**

Las barreras comerciales rezagan los mercados

Barreras comerciales en la región tienen un impacto significativo en la transferencia eficaz de materiales y componentes críticos para la fabricación de tecnologías para la transición energética, así como en los productos terminados. Estas barreras incluyen tarifas elevadas y regulaciones restrictivas que afectan tanto la eficiencia como el costo de las operaciones transfronterizas, lo que aumenta considerablemente los costos de los componentes importados necesarios para la producción de tecnologías renovables. Esto no solo afecta la competitividad en el mercado de los productos finales producidos en ALC, sino que también obstaculiza la adopción de tecnologías renovables dentro de la región debido a precios más altos.

Por otro lado, **dichas medidas pueden debilitar los mercados y desalentar a inversores y empresas que busquen participar en la cadena de valor regional.** Esto podría complicar aún más el progreso de la transición energética en la región.

5.3 Recomendaciones

Políticas públicas internas, incentivos, deducciones y educación

Metas e incentivos para la producción de energía renovable:

El sector público en ALC puede fortalecer el mercado de tecnologías para las energías renovables a través de la implementación de metas para la producción y consumo de energías renovables bien sea de forma agregada o metas sectoriales más específicas para los sectores público, industrial y comercial. Un buen ejemplo de este tipo de esfuerzos es la iniciativa RELAC² (Renovables en Latinoamérica y el Caribe) donde 16 países de la región se han fijado como objetivo una meta voluntaria regional de al menos 80% de electricidad renovable en sus matrices eléctricas al 2030 y de 36% de energía renovable en la oferta total de energía también al 2030. También, esquemas tarifarios que incentiven energía generada por fuentes renovables pueden asegurar un retorno económico atractivo para los nuevos proyectos, fomentando así una mayor participación del sector privado. Esta recomendación sobre metas e incentivos está alineada con los principios de transparencia, diversificación, seguridad y sostenibilidad promovidos por el 2022 Supply Chain Ministerial, una iniciativa lanzada en 2022 que busca fortalecer la resiliencia de las cadenas de suministro globales mediante la cooperación internacional entre 31 economías, incluyendo Estados Unidos, la Unión Europea, Japón, México y varios países de América Latina, Europa y Asia. Además, se complementa con los objetivos del Americas Partnership for Economic Prosperity, también iniciado en 2022, que promueve el crecimiento económico inclusivo y resiliente en las Américas, enfocándose en fortalecer el comercio, la inversión y la cooperación en áreas clave como la energía y la infraestructura sostenible, generando así prosperidad compartida y desarrollo a largo plazo en la región.

Incentivos para el consumo de tecnologías para la transición energética:

El sector público puede promover el consumo local de tecnologías renovables mediante la implementación de incentivos fiscales para consumidores que opten por estas tecnologías. Incrementar los costos de las tecnologías convencionales a través de impuestos más altos sobre combustibles fósiles puede hacer que las energías renovables sean más competitivas. Adicionalmente, establecer estándares rigurosos de eficiencia energética y emisiones para vehículos, aparatos y edificaciones puede impulsar significativamente la adopción de soluciones limpias. Estas políticas, combinadas con una educación y sensibilización pública sobre los beneficios de estas tecnologías, pueden transformar el mercado y crear un entorno más sostenible y menos dependiente de fuentes de energía contaminantes.

Cooperación con el sector privado

Incentivos fiscales y marcos regulatorios favorables:

Diseñar incentivos fiscales que estimulen la inversión privada en proyectos de energía renovable, como créditos y exenciones. Éstos pueden ayudar a reducir los costos de capital y mejorar la rentabilidad de los proyectos, lo que a su vez puede atraer aún más la inversión. Además, se puede buscar trabajar con el sector privado para desarrollar marcos regulatorios claros que fomenten la inversión en estas tecnologías. Esto puede implicar la simplificación de los procedimientos de permisos, la reducción de procesos burocráticos y la creación de incentivos para participar en estos mercados.

² El BID tiene el rol de la Secretaría Técnica de la iniciativa. Más detalles se pueden encontrar en: <https://hubenergia.org/es/relac>

Creación de plataformas de diálogo público-privado:

Establecer plataformas de diálogo público-privado donde los actores gubernamentales y empresariales puedan colaborar en la identificación de oportunidades y desafíos en el mercado de las tecnologías para la transición energética. Estas plataformas pueden servir como espacios para la discusión de políticas, la identificación de áreas de cooperación y la promoción de asociaciones estratégicas entre el sector público y privado.

Licitaciones públicas y concesiones para impulsar del mercado

Apertura de la producción eléctrica y subastas:

Los gobiernos de ALC pueden hacer uso de su poder adquisitivo mediante la implementación estratégica de licitaciones públicas y concesiones. Por ejemplo, dando apertura a sus mercados de producción e implementando subastas de energía, pactando la compra futura de energía renovable. Este método garantiza un mercado estable para los productores de energía renovable, proporcionando seguridad y previsibilidad a los inversores para financiar proyectos de energía verde. Las subastas pueden diseñarse para priorizar o favorecer tecnologías específicas, como la solar o la eólica, adaptándose a las necesidades energéticas, los recursos y las prioridades de cada país.



Licitaciones públicas y concesiones:

Las licitaciones públicas y concesiones son herramientas poderosas que los gobiernos pueden utilizar para impulsar mercados emergentes relacionados con la transición energética, tales como VE, paneles solares y baterías residenciales o comerciales. A través de su capacidad adquisitiva, los gobiernos pueden establecer criterios de selección que favorezcan a empresas que no solo ofrezcan soluciones tecnológicas eficientes, sino que también cumplan con estándares ambientales rigurosos y contribuyan al desarrollo económico local. Esto podría incluir requisitos de contenido local, incentivos para la innovación en eficiencia energética, y compromisos de largo plazo que faciliten la planificación y expansión de infraestructuras críticas para apoyar estos nuevos mercados.

Cooperación regional para la integración económica y el desarrollo equitativo

Cooperación económica e integración comercial:

Los gobiernos ALC pueden fortalecer el mercado regional a través de una cooperación regional enfocada en la integración económica y el desarrollo equitativo. Una medida clave sería trabajar hacia una mayor integración comercial mediante la negociación de acuerdos comerciales regionales que faciliten la reducción de aranceles y la eliminación de barreras no arancelarias. Este enfoque promueve un mercado más abierto y colaborativo y aumenta la competitividad de los productos fabricados en la región. Inspirándose en acuerdos como el T-MEC, los países podrían adoptar provisiones que favorezcan la compra de productos regionales, como las Reglas de Origen³ y otros incentivos específicos, que ayudarían a consolidar la industria interna y protegerla de la competencia internacional.

³ Las Reglas de Origen establecidas en el T-MEC, son criterios que determinan si un producto es considerado originario de uno de los países miembros, garantizando que solo los productos regionales reciban tratamiento arancelario preferencial e impulsando la industria regional. El mecanismo principal consiste en definir el porcentaje mínimo del valor total de los productos que debe ser producido en alguno de los países miembros para que sea considerado regional. Por ejemplo, en el caso de los automóviles, el porcentaje mínimo de contenido regional para recibir tratamiento arancelario preferencial es del 75%.

Haciendo frente al desarrollo desigual:

Para abordar el acceso desigual a los beneficios de los mercados renovables, sería esencial implementar una colaboración regional más profunda que permita compartir conocimientos, tecnología y recursos de manera más efectiva. La implementación de políticas integradas y de incentivos fiscales a nivel regional podría uniformar el desarrollo del mercado en toda la región, fomentando un crecimiento equitativo. Además, establecer objetivos comunes para la adopción de energías renovables y crear marcos regulatorios armonizados podrían fortalecer la resiliencia de las cadenas de suministro y asegurar que todos los países miembros se beneficien de manera equitativa, promoviendo un desarrollo sostenible e inclusivo en toda la región.

Inversión en producción para desarrollar el mercado regional**Fortalecimiento de la producción local:**

Una de las acciones clave que los gobiernos de ALC pueden implementar es estimular la inversión en la producción local, a través de incentivos fiscales, subsidios y financiamiento preferencial, para abastecer la demanda local e internacional.

Apalancando las exportaciones:

Asegurar y fortalecer la posición en los mercados de exportación de ALC, como EE. UU., es una estrategia crucial para impulsar el crecimiento del sector. La alta demanda y los precios favorables alcanzados en estas regiones ofrecen una oportunidad estratégica para justificar los costos de inversión necesarios para adaptar y expandir las capacidades regionales de fabricación de componentes de alto valor agregado. La utilización de fondos superavitarios y perspectivas favorables de exportación podrían encausarse para impulsar la transferencia de conocimiento y tecnología avanzada hacia la región, así como para desarrollar tecnologías que satisfagan las necesidades y el poder adquisitivo de la población en la región.



FIN DE VIDA

Las baterías de ion de litio (LIB, por sus siglas en inglés) son fundamentales para alcanzar las metas planteadas por estrategias de transición energética nacionales e internacionales. **En ALC, la demanda de baterías ha experimentado un crecimiento constante debido al incremento acelerado de la venta de dispositivos electrónicos, así como al impulso a energías renovables y VE** (López Soto et al., 2022). Esto ha provocado un aumento proporcional, aunque desfasado, en la cantidad de LIB que comienzan a ser desechadas en la región. Se estima que **entre el periodo de 2024 a 2050, se generarán entre 6 y 7 millones de toneladas de baterías usadas en la región.**⁴

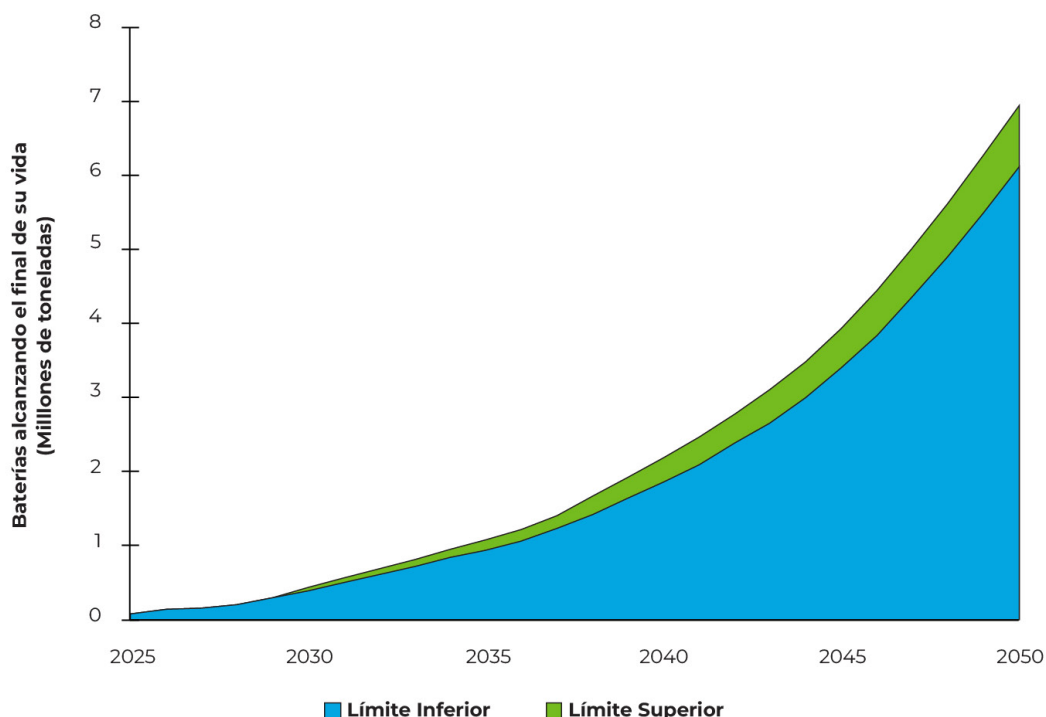


Figura 10. Proyección del crecimiento de la masa total de baterías alcanzando el final de su vida útil en ALC, provenientes de dispositivos electrónicos, VE y almacenamiento eléctrico. Fuente: (López Hernández et al., 2024).

Este incremento hace que la gestión adecuada de las LIBs al final de su vida útil sea cada vez más crítica, requiriendo la adopción de prácticas de reutilización y reciclaje a corto plazo, así como la creación de cadenas de valor regionales para la valorización de este nuevo tipo de insumo. Sin embargo, **en la actualidad solo el 55% de la totalidad de residuos sólidos producidos en ALC reciben una gestión adecuada.** Esto, junto con la falta de marcos regulatorios robustos enfocados en gestionar las baterías usadas (ULIB, por sus siglas en inglés), revela importantes áreas de oportunidad para la implementación de estrategias coordinadas que mejoren la gestión de los residuos y maximicen su aprovechamiento.

Las tres actividades fundamentales para la gestión del fin de vida de las ULIB, cuyo impulso resultará crítico, son la **recolección**, la **reutilización** y el **reciclaje**. La **recolección** de baterías usadas implica establecer sistemas de logística inversa para recogerlas de manera segura y eficiente, minimizando la cantidad de baterías usadas que se desechan inapropiadamente. La **reutilización** se trata de darle un nuevo propósito a las baterías una vez que ya no son adecuadas para su uso original. Por ejemplo, baterías de vehículos eléctricos para emplearse en sistemas de almacenamiento de energía, prolongando así su vida útil y reduciendo la necesidad de baterías nuevas. Por último, el **reciclaje** implica desarmar y procesar las baterías para recuperar materiales valiosos que pueden ser utilizados en la fabricación de nuevos productos. Los principales materiales recuperables derivados de las ULIB son aluminio, cobre, cobalto, níquel, litio y manganeso.

⁴ Para un análisis más detallado de estrategias de fin de vida para baterías de litio ver "Revisión Analítica de Prácticas Globales y Regionales en América Latina y el Caribe para el Reuso y el Reciclaje de Baterías de Iones de Litio" (López Hernández et al., 2024)

6.1 Oportunidades

Una respuesta regulatoria y legislativa adecuada y oportuna, promoviendo el manejo adecuado, el reúso y el reciclaje de las LIB, puede tener numerosos impactos ambientales, sociales y económicos positivos a largo plazo para la región.

Nuestras estimaciones indican que para el 2050 la implementación de medidas para promover el manejo adecuado, **el reúso y el reciclaje de las baterías tiene el potencial de aumentar la vida útil de hasta 2.1 millones de toneladas de ULIB**, postergando su desecho, y de reciclar hasta 2.3 millones de toneladas de ULIB, aprovechando la valorización regional de sus componentes. Basado en estas estimaciones, para el 2050, el reciclaje de ULIB en ALC podría representar entre 3,000 y 5,000 millones de dólares, tomando como referencia el precio de mercado de los diferentes componentes metálicos de las baterías en 2021. Así mismo, tomando en cuenta el valor unitario de LIB nuevas, los costos asociados a la recolección y manejo y el valor estimado de mercado de las baterías reusadas, el reúso de las ULIB podría representar un valor de hasta 11,300 millones de dólares para ALC.

De esta manera, fomentar el manejo adecuado de fin de vida de las baterías en ALC, no solo ayudaría a reducir y gestionar el volumen de baterías de desecho, sino que representa una oportunidad para la creación de una cadena de valor sostenible para este material, aprovechando nuevas oportunidades de crecimiento en el mercado global de materiales críticos. Sin embargo, además del potencial valor logístico y económico directo, existen importantes áreas de oportunidad y beneficios socio ambientales indirectos que resultan difíciles de cuantificar pero que resultan enormemente valiosos.

Reducción de impactos ambientales y de salud pública



Las ULIB contienen sustancias tóxicas que, de no estar almacenadas de manera apropiada y expuestas a los elementos, pueden comenzar a fugar sustancias que contaminan el suelo, las fuentes de agua y resultar nocivas para la salud humana (Sojka et al. 2020; Stahl et al. 2018). Además, las ULIB que presenten alguna carga residual pueden sufrir sobrecalentamiento, lo que puede provocar incendios o explosiones (Dragonfly Energy 2022). Se ha reportado que estos incendios llevan a la pérdida de otros materiales reciclables, así como a la emisión de gases de efecto invernadero y la formación y liberación de una amplia gama de contaminantes y gases tóxicos que representan una amenaza directa para la salud humana y otros organismos (Mrozik et al. 2021). Por lo tanto, asegurar un manejo adecuado a la hora de su disposición, así como el reúso y el reciclaje de estas, puede reducir de manera importante el impacto ambiental y en la salud humana de un flujo desordenado de este tipo de baterías.

Reducción de presión sobre el sector minero y la explotación de minerales primarios

Como hemos visto antes, se espera que la explotación de los recursos de litio aumente rápidamente en ALC. Por lo tanto, **hacer uso de las baterías de desecho, podría reducir la demanda de litio virgen**, reduciendo así la presión sobre el crecimiento de la industria minera regional y los impactos ambientales asociados.

Desarrollo de cadena de valor sostenible y generación de empleo

El desarrollo de una industria robusta de reúso y reciclaje de ULIB puede generar oportunidades de empleo directo e indirecto en diversos sectores, incluida la logística inversa de recolección de baterías, el reciclaje, la gestión de residuos y la aplicación de materiales reciclados. Aumentará la necesidad de mano de obra especializada no solo en la parte operativa, sino también en áreas de conocimiento académico y técnico, incluyendo economistas, expertos en medio ambiente, personal técnico e ingenieros en electromovilidad, almacenamiento estacionario, sistemas de gestión de baterías, control de baterías e integración de sistemas, pruebas de baterías, aplicación de baterías, manejo de baterías y seguridad, entre otros (Fraunhofer; EIT Raw Materials 2021).



A nivel global, se estima que una industria sólida de reúso y reciclaje de ULIB generaría hasta 10 millones de empleos para 2030, especialmente en países en desarrollo (Global Battery Alliance; WEF 2019). De esta manera, fomentar el manejo adecuado y el reúso y el reciclaje de baterías en ALC, no solo ayudaría a mitigar sus riesgos ambientales y de salud pública, sino que representa una oportunidad para la creación de una amplia gama de empleos especializados y no especializados para servir una naciente industria que aproveche el crecimiento del mercado global de materiales críticos.

Cooperación regional para fortalecer capacidades de reúso y reciclaje

La cooperación regional en el desarrollo de la estrategia de manejo de baterías al final de su vida útil en ALC es fundamental para abordar los desafíos comunes que enfrentan los países de la región. Un enfoque colaborativo permitirá mejorar las capacidades, facilitar el movimiento transfronterizo de baterías y promover inversiones para una recolección, reciclaje y reúso más eficientes de ULIB, especialmente en países de menor tamaño que carecen de los volúmenes de ULIB necesarios para justificar inversiones en infraestructura y desarrollo de capacidades propias. De esta manera, adoptar regulaciones y sistemas de gestión intrarregionales para el manejo de ULIB, así como priorizar una industria de reúso y reciclaje sostenible, no sólo mitigará riesgos ambientales, sino que también desacelerará la explotación de yacimientos minerales y permitiría valorizar localmente estos productos al final de su vida útil, promoviendo así el crecimiento económico sostenible en ALC.

6.2 Desafíos

ALC está en una posición favorable para iniciar el desarrollo de una cadena de valor centrada en el reciclaje de baterías usadas. Esto se debe a que cuenta con abundante capital humano capacitado en extracción de minerales, relaciones comerciales establecidas, y una incipiente industria de refinamiento que pudieran adaptarse para la valorización de los minerales de las ULIB. Sin embargo, para garantizar el éxito de estas cadenas de valor, se deben abordar desafíos significativos que aún enfrenta la región.

Falta de marcos regulatorios sólidos

Existen pocas regulaciones específicas para la gestión y procesamiento de ULIB en la región.

En su mayoría, las regulaciones existentes se refieren a las baterías de desecho provenientes de dispositivos eléctricos y electrónicos, como teléfonos celulares y computadoras, y no son adecuadas para abordar la gestión de baterías de mayor envergadura, como las vehiculares o las industriales. Aunado a lo anterior, **los marcos regulatorios existentes se basan en medidas voluntarias carentes de requisitos obligatorios** y, aquellas escasas medidas que sí son obligatorias y están en vigor, a menudo no son fiscalizadas de manera efectiva. Esto es crítico, ya que, bajo las condiciones actuales, el reciclaje de ULIB no es suficientemente rentable para justificar inversiones desde el sector privado y, por tanto, la existencia de marcos regulatorios que creen los incentivos para volver viable la valorización de las ULIB son una necesarios para el desarrollo de una cadena de valor.

Varios países de ALC cuentan con **estrategias nacionales de electromovilidad**, para incrementar la demanda de VE y reducir el impacto ambiental del transporte. Sin embargo, **el enfoque principal es la demanda y el uso de los automóviles eléctricos, omitiendo la gestión de sus componentes al final de su vida útil.**

Escasa cooperación regional

La cooperación regional en ALC desempeña un papel fundamental en la gestión adecuada de las ULIB. La región alberga las mayores reservas globales de litio y otros minerales estratégicos, por lo que maximizar la valorización local de las ULIB sería enormemente beneficioso, ya que reduciría la necesidad de explotar nuevos yacimientos y su impacto socioambiental.

Sin embargo, **la falta de un marco regulatorio robusto y coordinado para la gestión de este recurso representa un desafío crítico** para mejorar las capacidades de recolección y procesamiento, facilitar y rastrear movimientos transfronterizos de baterías y promover inversiones entre países para una gestión más eficiente de las ULIB.

El enfoque regional es particularmente importante para países pequeños, que carecen de volúmenes suficientes de ULIB para justificar inversiones en sus propias capacidades de gestión. **La cooperación regional puede ayudar a alcanzar la economía de escala necesaria para hacer viables las inversiones en infraestructura de reciclaje y reúso.**

Actualmente, la **cooperación regional para mejorar las prácticas de gestión de ULIB es mínima**, con la excepción de algunos acuerdos comerciales bilaterales en curso.

Finalmente, **el cumplimiento con las normatividades del Convenio de Basilea resulta excesivamente complicado y costoso para pequeñas y medianas empresas**, lo cual obstaculiza la cooperación regional en materia de ULIB.

Las pequeñas y medianas empresas, formales e informales, que se dedican a la recolección y venta de residuos automovilísticos o de residuos y aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), quienes podrían dar manejo a las ULIB, no tienen la capacidad administrativa de cumplir con los requisitos legales del procedimiento de Consentimiento Previo Informado para realizar movimientos transfronterizos de baterías. Esto reduce el incentivo para recolectar ULIB en países que no tienen capacidades propias de reciclaje. Además, la posibilidad de exportar baterías usadas a empresas de reciclaje en la región, que podrían procesar volúmenes más altos, también se ve limitada por estos obstáculos administrativos.

Falta de inversión

La falta de inversión en el desarrollo de la gestión de ULIB presenta una serie de desafíos que limitan la capacidad de la región para gestionar adecuadamente estas baterías.

En primer lugar, **la gran mayoría de los recicladores de ULIB que existen en ALC se limitan a las etapas mecánicas iniciales, como la trituración y la separación.** Por tanto, existe una gran dependencia de las capacidades de refinamiento y recuperación de materiales valiosos de regiones más desarrolladas como EEUU, Europa y Asia. **Esta dependencia externa reduce la autonomía y la capacidad de valorización de la región,** obstaculizando el desarrollo de una cadena de valor sostenible de las ULIB en la región.

Por ejemplo, **la ausencia de procesos de recuperación de litio en ALC resulta en que los recolectores tengan que enviar grandes cargamentos de baterías usadas, íntegras o trituradas, a otras regiones que cuentan con una industria más desarrollada donde cuentan con la capacidad de procesar y refinarlas.** Esto hace que el potencial para la producción secundaria de litio se desplace a dichas regiones y se cree una brecha tecnológica y de conocimiento en la región que obstaculice el desarrollo de una economía circular.

Otro problema importante que se avecina es el cambio en la composición de las baterías hacia tecnologías de menor valor material como las baterías de litio ferrofosfato (LFP, por sus siglas en inglés). Este tipo de baterías reducen el contenido de cobalto con respecto a las tecnologías más establecidas en la región como baterías de iones de litio de óxido de manganeso (LMO, por sus siglas en inglés), de litio, níquel, manganeso, y cobalto (NMC, por sus siglas en inglés) y de litio, níquel, cobalto y aluminio (NCA, por sus siglas en inglés), por lo que son bastante menos costosas, resultando muy atractivas para el mercado primario. Sin embargo, **para el mercado secundario la reducción de los materiales valiosos podría hacer que los procesos de reciclaje sean menos rentables,** requiriendo inversiones adicionales o la implementación de instrumentos financieros para garantizar la viabilidad económica de esta industria en la región.

Finalmente, la falta de inversión y el enfoque a corto plazo de los inversores en ALC constituyen una barrera adicional para el desarrollo de capacidades de reciclaje de ULIB. **Por ser un recurso incipiente, aún no existen volúmenes suficientes de baterías, ni marcos regulatorios bien definidos que motiven la inversión en esta industria.** La falta de compromiso a largo plazo y la búsqueda de remuneración inmediata limitan la disponibilidad de fondos para establecer o expandir plantas de reciclaje en la región, lo que obstaculiza aún más los esfuerzos para desarrollar una gestión adecuada de las ULIB.

En resumen, la falta de inversión en el desarrollo de la gestión de ULIB en ALC presenta desafíos significativos que requieren una respuesta coordinada y estratégica para superarlos y avanzar hacia una gestión sostenible de estas baterías al final de su vida útil.

6.3 Recomendaciones

A continuación, se propone una serie de recomendaciones para hacer frente a los desafíos identificados en la sección anterior y facilitar el desarrollo de un sistema robusto de manejo de ULIB en ALC.

Marcos regulatorios

Aplicación de marcos normativos de carácter obligatorio en materia de reúso y reciclaje:

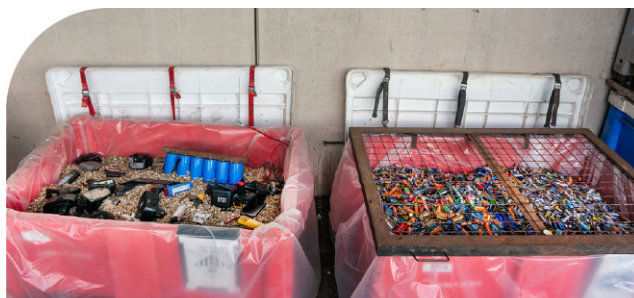
Ayudar a las entidades del sector público a integrar requisitos para las LIB en las regulaciones nacionales de gestión de residuos, incluyendo la elaboración de estrategias nacionales para una gestión segura y ambientalmente responsable de estas baterías a largo plazo.

Sistemas de Responsabilidad Extendida del Productor (REP):

Apoyar a los principales actores involucrados, como los productores de baterías, agencias gubernamentales y empresas de gestión de residuos, en establecer y mejorar sistemas obligatorios de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) para las baterías, con metas claras de recolección, reúso y reciclaje, además de definir incentivos y sanciones para su implementación práctica.

Requisitos mínimos de calidad de baterías usadas:

Crear disposiciones específicas para regular el uso de baterías de segunda vida que garanticen que estas baterías sean sometidas a pruebas para cumplir con estándares de calidad antes de ser revendidas. Esta regulación asegurará a los usuarios finales que las baterías de segunda vida cumplen con requisitos mínimos de calidad.



Requisitos mínimos de materiales reciclados:

Apoyar a las entidades públicas en la introducción de tasas de recuperación obligatorias y en la elaboración de regulaciones que aseguren que las nuevas baterías puestas en el mercado en ALC contengan una cierta proporción de materiales reciclados.

Cumplimiento con el Convenio de Basilea:

El convenio establece sanciones que restringen las transferencias transfronterizas de materiales peligrosos, incluyendo los derivados de las ULIB, evitando la acumulación de impactos ambientales, especialmente en países menos desarrollados que podrían ser más vulnerables. Una región comprometida con el convenio y con una fiscalización regional robusta puede promover una cadena de suministro más sostenible, generando confianza en los mercados e inversores al respaldar una industria con prácticas ambientales responsables.

Transparencia de datos e información de los sectores público y privado:

Implementar infraestructura legislativa y tecnológica, alineada con el Pasaporte de Baterías de la UE⁵, para facilitar la requisición de datos acerca de los volúmenes, tipos y características de las ULIB generadas por los sectores público y privado de los diferentes países de la región. El objetivo de esta medida es mejorar la trazabilidad y la transparencia en la cadena de suministro de las ULIB, promoviendo la circularidad de los materiales y minimizando el impacto ambiental de su reuso y desecho. Además, la transparencia contribuiría a generar confianza en los mercados e inversores, fomentando así el desarrollo sostenible de la industria en la región.

Divulgación

Creación de redes regionales con actores del sector público, la industria y la investigación:

Realización de conferencias regionales para compartir prácticas y tecnologías sobre gestión de ULIB y fomentar la creación de grupos nacionales y locales para encontrar soluciones circulares para las baterías, especialmente donde se espera un aumento de ULIB y la regulación actual es insuficiente. Estos grupos facilitarían la cooperación entre el sector público y privado, promoviendo el intercambio de conocimientos y apoyando el desarrollo de regulaciones específicas para la gestión de ULIB.

Promover la divulgación, educación y capacitación acerca del recurso:

Diseño de una estrategia de comunicación para promover la importancia del manejo adecuado de las baterías de litio y los esquemas de recolección disponibles.

Desarrollo de infraestructura de reciclaje y reuso

Apoyo para proyectos piloto:

Apoyar proyectos piloto nuevos y existentes para el reuso y reciclaje de baterías en la región. Esto puede incluir asistencia técnica para transferencia de conocimientos y desarrollo de capacidades, en colaboración con socios de cooperación nacionales e internacionales, universidades y actores del sector privado.

Inversión para fortalecer proyectos existentes:

Movilizar la inversión y financiamiento para ampliar las operaciones de pequeñas y medianas empresas con capacidad de reciclaje o reuso ambientalmente sostenible. Al mismo tiempo, proporcionar asistencia técnica para garantizar la transferencia de tecnología y conocimientos sobre las mejores prácticas operativas para la gestión de las ULIB.

Fortalecer redes de intercambio de conocimiento:

Apoyar asociaciones industriales para el intercambio de conocimientos proporcionando asistencia técnica para ampliar su alcance.

Estándares operativos:

Establecer normas obligatorias que delinee operaciones de reciclaje y reuso adecuadas, garantizando que solo las instalaciones que operen de manera adecuada sean aprobadas y respaldadas.

⁵El Pasaporte de Baterías de la Unión Europea es un marco normativo que establece estándares para la trazabilidad y la transparencia en la cadena de suministro de baterías en la Unión Europea. Este sistema busca facilitar el intercambio de información sobre las baterías y sus componentes a lo largo de su ciclo de vida, desde la producción hasta el reciclaje. La enmienda a la Regulación de Baterías de la UE se adoptó en julio del 2023, estableciendo que a partir de febrero del 2027 todas las baterías de más de 2kWh que se vendan en la UE requerirán contar con su pasaporte de batería, un registro digital que incluye todas las características relevantes para la gestión óptima de LIBs (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea 2023).

Apoyo a la formación y capacitación de recursos humanos

Capacitación de tomadores de decisiones:

Ofrecer capacitaciones específicas para actores clave de los sectores público, privado y de organizaciones civiles relacionadas con la recolección y transporte de LIB sobre pautas y procedimientos para un transporte seguro.

Apoyo a la investigación y desarrollo:

Apoyar iniciativas de investigación y desarrollo, así como proyectos piloto, para identificar mecanismos, metodologías y enfoques innovadores para la gestión segura y ambientalmente sostenible de las ULIB.

Fortalecer redes de intercambio de conocimiento:

Capacitar a autoridades nacionales e instituciones ambientales en las mejores prácticas para la gestión de ULIB, así como en los criterios de monitoreo e informe para la fiscalización de estas prácticas a través de marcos regulatorios nacionales.

Capacitación de operadores del sector:

Implementar programas para la capacitación de recolectores, transportistas y otros actores clave del sector público en los requisitos necesarios para el cumplimiento de la Convención de Basilea para el movimiento transfronterizo de residuos, con el objetivo de agilizar y respaldar el proceso y facilitar el movimiento de las ULIB a instalaciones apropiadas que pudieran estar localizadas en otras partes de la región.



CONCLUSIÓN

Las estrategias globales de descarbonización requieren de un mucho mayor uso de baterías de litio, paneles solares y turbinas eólicas, abriéndole a ALC de una oportunidad única para impulsar sosteniblemente su desarrollo socioeconómico.

ALC **concentra porciones muy relevantes y significativas de muchos de minerales críticos** del mundo, en especial litio, cobre, grafito y tierras raras. La explotación de estos minerales requiere que las empresas cuenten con una **licencia social**, por lo que el sector minero debe ir más allá de las legislaciones nacionales en temas ambientales y sociales, y comunicar constantemente con las comunidades locales. Los factores ambientales y sociales, más que los económicos, pueden ser la gran limitante en la captura de beneficios para ALC.

ALC puede y debe expandir su influencia global y **capturar mayores beneficios en la cadena de valor**. Para esto debe explotar sus ventajas comparativas: reservas de minerales, mano de obra calificada, posicionamiento estratégico como aliado comercial de Estados Unidos y Europa, y acceso a infraestructura portuaria para exportaciones. A la vez que ALC consolida su posición dominante en la extracción de minerales, puede desarrollar mayor capacidad de refinamiento aprovechando así la producción local de mineral a altos grados, el potencial de energías renovables a menor costo y menor huella de carbono, y promoviendo mayor capacitación y educación en áreas técnicas. De igual manera, las alianzas estratégicas entre países de la región son clave para competir globalmente en las cadenas de valor de las tecnologías de descarbonización.



Con abundantes recursos naturales, mano de obra calificada y capacidad productiva y de exportación ya establecida en algunos países, ALC se encuentra en una buena posición capitalizar la creciente demanda mundial de tecnología para la transición energética. Sin embargo, a pesar de su potencial, **la región debe buscar aumentar la inversión en tecnologías avanzadas, promover la integración regional para aumentar la resiliencia en sus cadenas de suministro y desarrollar sus capacidades industriales, para consolidarse como un actor clave en el mercado global de energía renovable**. La fabricación en la región de tecnologías renovables y sus componentes ofrece grandes oportunidades para el desarrollo económico sostenible y la creación de empleos, al tiempo que fortalece la soberanía energética de la región y ayuda a mitigar del cambio climático a nivel mundial.

La demanda global de tecnologías para la transición energética se encuentra en un período de crecimiento acelerado, impulsado por iniciativas nacionales e internacionales para hacer frente al cambio climático. Con una duplicación estimada en la demanda de energía eléctrica para 2030, junto con un aumento significativo en la adopción de vehículos eléctricos, tanto **el mercado interno de ALC como sus principales mercados de exportación presentan importantes oportunidades de crecimiento que la industria regional debería estar preparada para atender**. Sin embargo, **desafíos como la desigualdad en acceso a beneficios del mercado y la dependencia de proveedores internacionales destacan la necesidad de políticas concertadas para fortalecer la capacidad regional y asegurar una transición energética sostenible y equitativa en toda la región**. La cooperación regional y las políticas públicas pueden impulsar aún más el desarrollo del mercado, reduciendo las barreras comerciales y promoviendo la producción local.

Finalmente, con un creciente volumen de baterías litio usadas en ALC, impulsado por el auge de los dispositivos electrónicos, las energías renovables y los vehículos eléctricos, **la región debe abordar de manera proactiva el desafío del fin de vida útil de estas baterías.** Mediante la implementación de prácticas de reúso y reciclaje, así como la creación de cadenas de valor regionales para el procesamiento y la valorización de los componentes y materiales críticos, ALC puede no solo gestionar de manera eficiente y segura el volumen creciente de LIB desechadas, sino también aprovechar una nueva oportunidad de crecimiento económico. **Con la aplicación de marcos regulatorios obligatorios, el fortalecimiento de la cooperación regional, el fomento de la inversión en infraestructura de reciclaje y reúso, y la capacitación de capital humano, ALC puede reducir los impactos ambientales de este producto de desecho mientras promueve el empleo, el desarrollo industrial y el crecimiento económico en la región.**

En resumen, ALC tiene la oportunidad de contribuir a la descarbonización global participando activamente en las emergentes cadenas de valor de los minerales críticos y las tecnologías para la transición energética. Para aprovechar al máximo esta oportunidad de desarrollo industrial, económico y social se deben superar múltiples barreras económicas, de inversión, ambientales y sociales. La cooperación regional, la participación proactiva de gobiernos y el sector privado, la inversión en capacidad y la educación y capacitación a todos los niveles son clave para fortalecer las cadenas de valor y competir globalmente como polo de desarrollo de minerales críticos y las tecnologías necesarias para la transición energética. Es imperante que ALC actúe con las políticas públicas e inversión adecuada para dar un paso definitivo hacia el desarrollo de la región en las siguientes décadas.

Referencias bibliográficas

- Ambrose, H.; Kendall, A. (2020). Understanding the future of lithium: Part 1, resource model. *Journal of Industrial Ecology*, 24(1), 80-89.
- ArgentinaGob. (2024). Tablero global del litio – Proyectos mineros de litio. <https://www.argentina.gob.ar/economia/mineria/siacam/tablero-global-del-litio>. Fecha de consulta: 10/05/2024.
- Bacanora Lithium. (2024). Sonora Lithium Project - Overview. https://bacanoralithium.com/sonora_lithium_project/default.aspx. Fecha de consulta: 10/05/2024.
- BID. (2020). Hacia una nueva visión compartida sobre el sector extractivo y su rol en el desarrollo sostenible de América Latina y el Caribe. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Spano, C.; Natali, P.; Cannon, C.; Greene, S.; Urzúa, O.; Sucre, C.; Unzueta, A.. (2021). América Latina y el Caribe 2050: convirtiéndose en un centro global de soluciones y metales bajos en carbono. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Balza, L.; Díaz, L.; Gómez-Parra, N.; Manzano, O. (2021). La licencia no escrita: licencia social para operar en el sector extractivo de América Latina. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- BID. (2022). Apalancando el Crecimiento de la Demanda en Minerales y Metales por la Transición a una Economía Baja en Carbono. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Sanin, M.E.; Snyder, V.; Walter, M.; Balza, L. (2023). Del litio al vehículo eléctrico en América Latina y el Caribe. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- BID. (2023). La transición energética como oportunidad para el desarrollo industrial verde en América Latina y el Caribe: Recomendaciones políticas y hoja de ruta. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- López Hernández, V.; Hilbert, I.; Gascón Castellero, L.; Manhart, A.; García, D.; Nkongdem, B.; Dumitrescu, R.; Sucre, C.; Ferreira Herrera, C. (2024). Reciclaje y Reuso de Baterías de Litio en América Latina y el Caribe: Revisión analítica de prácticas globales y regionales. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- Rojas-Hayes, C.; Casas, E.J.; Sucre, C. (2023). Minería verde en América Latina y el Caribe: Análisis comparativo de políticas públicas y estándares industriales para impulsar la sustentabilidad en minería. *Banco Interamericano de Desarrollo*.
- BloombergNEF (2022): Electric Vehicles Start Gaining Traction in Latin America. Online available at <https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-start-gaining-traction-in-latin-america/>
- BNEF. (2023). Electric Vehicle Outlook 2023. *BloombergNEF*. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>
- Castillo, E.; Eggert, R. (2020). Reconciling diverging views on mineral depletion: a modified cumulative availability curve applied to copper resources. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104896.
- CESCO. (2020). Cobre refinado: Un buen negocio para Chile. <https://www.cesco.cl/wp-content/uploads/2021/07/Cobre-refinado-Un-buen-negocio-para-Chile.pdf>
- Dragonfly Energy (2022): What Is Thermal Runaway in Batteries? Online available at <https://dragonflyenergy.com/thermal-runaway/>
- EL PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA. 2023. "REGLAMENTO (UE) 2023/1542 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 12 de Julio de 2023 Relativo a Las Pilas y Baterías y Sus Residuos y Por El Que Se Modifican La Directiva 2008/98/CE y El (UE) 2019/1020 y Se Deroja La Directiva 2006/66/CE." Diario Oficial de La Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1542/oj>
- Ember. (2023). Yearly Electricity Data (2023). Ember - European Electricity Review (2022); Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023) – with major processing by Our World in Data. <https://ourworldindata.org/grapher/carbon-intensity-electricity>
- EU. (2024). Carbon Border Adjustment Mechanism. European Union. https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en
- Fraunhofer; EIT Raw Materials (2021): Future expert needs in the battery sector.
- Global Battery Alliance; WEF - World Economic Forum (2019): A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030 - Unlocking the Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation. Geneva.
- GlobalPetrolPrices. (2023). Electricity prices. https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/
- Goldman Sachs. (2023). Direct Lithium Extraction: A potential game changing technology. <https://www.goldmansachs.com/intelligence/pages/gs-research/direct-lithium-extraction/report.pdf>.
- Graham, N.; Malagón, E.; Viscidi, L.; Yépez, A. (2021): State of Charge: Energy Storage in Latin America and the Caribbean: Inter-American Development Bank. Online available at <https://publications.iadb.org/en/node/30110>
- Greim, P.; Solomon, A. A.; Breyer, C. (2020). Assessment of lithium criticality in the global energy transition and addressing policy gaps in transportation. *Nature communications*, 11(1), 4570.
- Ritchie, H. (2020). Sector by sector: where do global greenhouse gas emissions come from? <https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector>.
- IEA. (2023a). Critical Minerals Market Review 2023. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/reports/critical-minerals-market-review-2023>

- IEA. (2023b). Sustainable and Responsible Critical Mineral Supply Chains. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/reports/sustainable-and-responsible-critical-mineral-supply-chains>, License: CC BY 4.0
- IEA. (2024). Global Critical Minerals Outlook 2024. *International Energy Agency*. <https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2024>
- IGF. (2021). Three Emerging Policy Trends for Critical Minerals in Latin America. Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development. <https://www.igfmining.org/three-emerging-policy-trends-for-critical-minerals-in-latin-america/>
- IPCC. (2022). Chapter 12: Central and South America. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1689–1816, doi:10.1017/9781009325844.014.
- IRS. (2022). Inflation Reduction Act of 2022. United States Government. <https://www.irs.gov/inflation-reduction-act-of-2022>
- Khakmardan, S.; Rolinck, M.; Cerdas, F.; Herrmann, C.; Giurco, D.; Crawford, R.; Li, W. (2023). Comparative Life Cycle Assessment of Lithium Mining, Extraction, and Refining Technologies: a Global Perspective. *Procedia CIRP*, 116, 606–611.
- Kottohoff, K. (2020). Mineralogía de depósitos de relave en Chile y relación con yacimientos de origen: potencial para la recuperación de elementos de valor. *Universidad de Chile, Departamento de Geología*.
- López Soto, D.; Mejdalani, A.; Chueca Monteruga, E.; Hallack, M. (2022): La Ruta Energética de América Latina y El Caribe. Inter-American Development Bank (IDB). Online available at <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-ruta-energetica-de-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Mrozik, W.; Rajaeifar, M. A.; Heidrich, O.; Christensen, P. (2021): Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries. In: *Energy Environ. Sci.* 14 (12), pp. 6099–6121. DOI: 10.1039/D1EE00691F
- Ramji, A.; Dayemo, K. (2024). Releasing the Pressure: Understanding Upstream Graphite Value Chains and Implications for Supply Diversification. *UC Davis Institute of Transportation Studies*. <https://escholarship.org/uc/item/Qq83t5fd>
- Sojka, R.; Pan, Q.; Billmann, L. (2020): Comparative study of Lithium-ion battery recycling processes. ACCUREC Recycling GmbH (ed.). Online available at <https://accurec.de/wp-content/uploads/2021/04/Accurec-Comparative-study.pdf>
- Solar Cluster. (2015). Silicio Verde: Viabilidad de la producción vertical totalmente integrada de módulos fotovoltaicos en Brasil y Paraguay
- South32. (2023). Annual Report 2023. <https://www.south32.net/docs/default-source/annual-reporting-suite/2023/annual-report-2023.pdf>
- Stahl, H.; Baron, Y.; Hay, D.; Hermann, A.; Mehlhart, G.; Baroni, L.; Rademaekers, K.; Williams, R.; Pahel, S. (2018): Study report in support of evaluation of the Directive 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators, Final Evaluation Report. European Commission (ed.). Online available at <https://op.europa.eu/o/opportal-service/download-handler?identifier=d2141777-dc01-11e8-afb301aa75ed71a1&format=pdf&language=en&productionSystem=cellar&part=>
- Trost, J. N.; Dunn, J. B. (2023). Assessing the feasibility of the Inflation Reduction Act's EV critical mineral targets. *Nature sustainability*, 6(6), 639–643.
- United Nations Statistics Division. 2024. "UN Comtrade Database [Online Database] <https://comtrade.un.org/data/>
- USGS. (1996). Mineral Commodity Summaries 1996. *United States Geological Survey*. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries>
- USGS. (2023). Mineral Commodity Summaries 2023: Appendix C Reserve and Resources. *United States Geological Survey*. In Mineral Commodity Summaries 2023. <https://doi.org/10.3133/mcs2023>
- USGS. (2024). Mineral Commodity Summaries (Bauxite, Copper, Graphite, Iron-ore, Lithium, Manganese, Nickel, Rare earths, Silicon, Zinc). *United States Geological Survey*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/>
- USTR. (2024). Free Trade Agreements. Office of the United States Trade Representative. *United States Geological Survey*. <https://ustr.gov/trade-agreements/free-trade-agreements>
- Vikström, H.; Davidsson, S.; Höök, M. (2013). Lithium availability and future production outlooks. *Applied energy*, 110, 252–266.
- Zhang, C.; Yan, J.; You, F. (2023). Critical metal requirement for clean energy transition: a quantitative review on the case of transportation electrification. *Advances in Applied Energy*, 9, 100116.

