

LOS MINERALES CRÍTICOS PARA LAS TRANSICIONES ENERGÉTICAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE



GASTON SIROIT

CREDITOS



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

Andrés Rebolledo Smitmans
Secretario Ejecutivo

Medardo Cadena
Director de Estudios, Proyectos e Información

Autor

Gaston Siroit

Las denominaciones utilizadas en los mapas y la forma en que se presentan los datos que contienen no implican, por parte de OLADE, juicio de valor alguno sobre la condición jurídica y la división político-administrativa de los países, territorios, ciudades o áreas, ni de sus autoridades, ni tampoco con respecto a la delimitación de sus fronteras o límites.

La información contenida en este documento surge de bases de datos, información pública, informes de la industria e investigación del autor. La información aquí contenida no necesariamente representa la opinión OLADE. El documento está sujeto a revisiones. OLADE renuncia a cualquier responsabilidad por errores de contenido y no es responsable de ninguna acción tomada por el "Destinatario" o cualquier tercero basada en la información contenida en este documento.

Primera Edición – Febrero 2024

Copyright © OLADE 2024

ISBN: 978-9978-70-156-0

Esta publicación puede ser reproducida en su totalidad o en parte en cualquier formato con fines educativos o sin fines de lucro sin permiso especial de los titulares de los derechos de autor, siempre y cuando se haga referencia a la fuente. Ningún uso de este documento puede ser utilizado para su reventa o cualquier otro propósito comercial sin permiso previo por escrito de OLADE.

Esta publicación debe citarse como: G. Siroit: "Los minerales críticos para las transiciones energéticas de América Latina y el Caribe", OLADE 2024

Contacto OLADE
Avenida Mariscal Antonio José de Sucre N58-63 y Fernández Salvador
Edificio OLADE – Sector San Carlos
Quito – Ecuador

Teléfonos: (593 – 2) 2598-122 / 2531-674
www.olade.org

CONTENIDO

3

Prólogo

- 4 Acerca de OLADE y la Minería
- Agradecimientos
- Sobre el autor

5

I. INTRODUCCIÓN

- 5 A. Estructura & abordaje
- 6 B. Contexto global
- 7 C. Escenarios Energéticos & Proyecciones

11

II. MINERALES CRÍTICOS

- 11 A. Definiciones
- 14 B. Principales usos
- 29 C. Producción minera

33

III. LOS MINERALES ESTRATÉGICOS PARA ALC

- 33 A. Metodología de Selección de Minerales
- 34 B. Conclusiones de la evaluación

37

IV. HOJA DE RUTA

- 37 A. Desafíos
- 40 B. Acciones & Recomendaciones
- 52 C. Próximos pasos

54

GLOSARIO

- 55 FIGURAS
- 55 GRÁFICOS
- 55 MAPAS
- 56 TABLAS

57

BIBLIOGRAFÍA

58

ANEXOS

- 59 Evaluación Metodológica
- 64 DESAFÍOS & RIESGOS



PRÓLOGO



Sin los minerales de América Latina no hay transición energética

OLADE presenta Estudio sobre Minerales Críticos en
la región

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) presenta investigación que muestra la contribución única de América Latina al mercado mundial de minerales críticos.

El mercado regional de minerales críticos es alrededor de US\$ 180.000 millones, esto es el 25% del mercado mundial. Los principales minerales son el cobre (US\$ 70.000 millones de dólares), el mineral de hierro (US\$ 50.000 millones de dólares), el oro (US\$ 30.000 millones de dólares) y la plata (US\$ 10.000 millones de dólares).

Para descarbonizar nuestras economías hacia el año 2050, América Latina deberá duplicar la producción de cobre e incrementar el reciclaje en el sector. El 20% del cobre refinado se produce mediante reciclaje, lo que ahorra hasta un 80% de energía en comparación con la energía de las minas. En cuanto al litio, la región posee casi el 60% de los recursos y se espera que la producción aumente al menos diez veces en los próximos 20 años.

A medida que aumenta la demanda mundial de minerales para tecnologías sostenibles y energías renovables, este estudio destaca la importancia de anticipar esta demanda para evitar desequilibrios en la oferta. Como exportador estratégico de minerales, América Latina enfrenta desafíos únicos y busca mejorar su situación socioeconómica a través de la inversión y el crecimiento económico sostenible.

En un contexto global que prioriza la energía sostenible y la movilidad limpia, América Latina tiene el potencial de avanzar gradualmente en las cadenas de producción a través de recursos extractivos. OLADE enfatiza la urgente necesidad de coordinar los pronósticos de la demanda energética global y crear una agenda común de extracción y elaboración de minerales estratégicos para promover el desarrollo socioeconómico de la región.

Andrés Rebolledo Smitmans,
Secretario Ejecutivo OLADE

Acerca de OLADE y la Minería

La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) es un organismo de cooperación, coordinación y asesoría técnica, de carácter público intergubernamental, constituido el 2 de noviembre de 1973 mediante la suscripción del Convenio de Lima, ratificado por 27 países de América Latina y El Caribe (ALC), con el objetivo fundamental de fomentar la integración, conservación, racional aprovechamiento, comercialización y defensa de los recursos energéticos de la Región.

OLADE lleva adelante un rol activo en la creación y disseminación de publicaciones relacionadas a los temas de energía en ALC. A finales del año 2022, tras la quincuagésima reunión de Ministros (LLI), se acordó avanzar por primera vez con un estudio y análisis sobre la situación de los minerales críticos necesarios para los procesos de transiciones energéticas hacia sistemas bajos en carbono en ALC.

Agradecimientos

4

Este documento de trabajo es el resultado de un trabajo en conjunto con la CEPAL Comision Económica para América Latina y el Caribe y la Dirección de Estudios, Proyectos e Información., a quien se agradece por su apoyo.

Además el autor agradece las sugerencias y comentarios recibidos tanto por la Dirección de Estudios de OLADE, como los aportes realizados por Martín Walter, Carlos Sucre y José Carlos de Pierola, que con sus conocimientos han refinado el contenido de este documento.

Sobre el autor

Gaston Siroit es consultor internacional y docente en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires, con casi 20 años experiencia en el sector minero energético, donde ocupó diversos roles en las áreas de planificación, proyectos y operaciones para los principales grupos internacionales en América Latina, África y Europa.

Tuvo el honor de revestir el puesto de Director de Recursos y Tecnología dentro de la Secretaría de Energía de Argentina colaborando con el despegue de las energías renovables en el país y durante los últimos años, orientó su carrera hacia la investigación y la consultoría, comenzando en el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) con agendas de fomento minero, género y de adecuación normativa.

Gastón es Ingeniero Industrial del ITBA e Mecánico egresado del INSA de Toulouse y cuenta con un Master en Gestión Industrial de l'Ecole des Mines de Paris y un curso de especialización en Logística Petrolera en el Instituto Francés de Petróleo (IFP). Actualmente asesora a la Secretaría Ejecutiva de la OLADE con los ejes de descarbonización, transición y minerales críticos y estratégicos.

Por cualquier consulta o sugerencia respecto al presente estudio, se pueden contactar a g.siroit@itba.edu.ar o gaston.siroit@olade.org.

I. INTRODUCCIÓN

A. Estructura & abordaje

América Latina y el Caribe cuenta con una producción sostenida e importantes reservas de minerales que serán fundamentales para el desarrollo y el cumplimiento de las metas de reducción de emisiones. ¿Es posible coordinar políticas y estrategias regionales que le permitan a nuestra región diversificar el rol que hoy tiene de proveedor de materia prima y comenzar a agregar valor localmente?

Este estudio estructurado en 4 capítulos abre un espacio para debatir esta nueva problemática, y elaborar propuestas para el desarrollo de los minerales estratégicos de Latinoamérica y el Caribe. El primer capítulo ofrece el marco introductorio para el documento, presenta el contexto global de los minerales críticos, y plantea una serie de definiciones que permitirán avanzar con los capítulos siguientes, muchas sobre las cuales hay consenso, como por ejemplo qué es un mineral crítico y cuáles son estos minerales y otras más disruptivas, que reflejan la mirada sobre los minerales críticos desde la óptica de los países productores.

El segundo capítulo, presenta una primera selección y descripción de 10 minerales críticos donde se detalla su producción y principales usos. Este capítulo ilustra la importancia de estos minerales, por un lado por sus aplicaciones y por

otro al estar vinculada con las reservas con las que cuenta nuestra región y la producción de la misma.

El siguiente capítulo está enfocado en la mirada específica de ALC y expone la situación respecto a los minerales críticos desde el punto de visto de los productores, reflejando el concepto de minerales estratégicos, introducido en el capítulo 2. Se expone también la metodología utilizada que permitió seleccionar esos primeros 10 minerales críticos (ahora enfocados como estratégicos) sobre una lista inicial de más de 50 minerales críticos. Es conveniente aclarar que esta selección es una primera propuesta para la región, y que cada país con su realidad puede tener una selección ligeramente diferente, dado su contexto, sus recursos, su producción y sus oportunidades.

El estudio concluye con una hoja de ruta que incluye acciones y propuestas para impulsar la exploración y producción de minerales críticos, que permitiría colaborar con el desarrollo socioeconómico de la región gracias mediante la minería de estos metales. Incluye a su vez, una mirada sobre los principales desafíos de este sector en nuestra región y los próximos pasos para asegurar la sostenibilidad y crecimiento de esta actividad.



B. Contexto global

Existe hoy en día un consenso global, respecto a la necesidad de ir hacia economías más limpias, sostenibles e inclusivas, y cada país está transitando su propia transición energética. Sin embargo, todas las soluciones tienen un punto en común: requieren de una cantidad de minerales mucho más importante que las soluciones energéticas basadas en combustibles fósiles.

Los avances tecnológicos han multiplicado el consumo de ciertos minerales como el níquel, litio, o cobre y esto aplica, no solamente para la generación eléctrica, sino también a la digitalización, la electrónica, al sector residencial, a la evolución de la industria automotriz, y a la movilidad sostenible en todas sus variantes y a casi todos los sectores de actividades.

Durante los últimos 10 años, la bibliografía específica existente sobre esta temática ha crecido exponencialmente y hoy en día es tan vasta, que antes de comenzar cualquier nuevo estudio, es clave realizar una síntesis actualizada de la documentación disponible, para no repetir nuevos estudios, y presentar conclusiones similares sobre temáticas que ya han sido ampliamente abordadas.

El abordaje académico y de investigación sobre el suministro de materias primas es la consecuencia de los posicionamientos políticos. El suministro de materias primas siempre ha sido un punto de discusión en las relaciones geopolíticas mundiales, y cuando las proyecciones de demanda superan ampliamente la capacidad de oferta, se encienden estas alarmas.

Durante el siglo pasado, la necesidad de contar con reservas de hidrocarburos fue un tema crucial. Si bien no es comparable, la situación respecto los minerales críticos puede tener cierta similitud en la actualidad, y es el objeto de estudio de este documento.

Para los mercados industrializados, tener una restricción en los insumos es un punto crítico a analizar. El Banco Mundial¹ estima que serían necesarias más de 3000 millones de toneladas de minerales y metales para la implementación de

tecnologías limpias que permitan cumplir las metas de reducción de la temperatura por debajo de los 2 °C para el 2050. Estos volúmenes de producción y refinación pueden ser hasta 40 veces los valores de 2020 si tomamos por ejemplo el caso del litio y su proyección para cumplir con las metas del Escenario de Desarrollo Sostenible (SDS) elaborado por la Agencia Internacional de Energía (IEA)².

Los estudios que realizan los gobiernos de los países desarrollados y organizaciones multilaterales buscan justamente parametrizar esa problemática de faltante de materias primas para sus industrias y sectores y plantear en base a esos valores, una serie de soluciones para mitigar ese desabastecimiento a futuro y reducir la brecha entre oferta y demanda, sin reducir la expansión sostenible que se avecina en las próximas décadas.

Para ALC, los principales problemas a resolver son otros, y la priorización de urgencias es radicalmente distinta. ALC es una región netamente exportadora de minerales. En lugar de hablar de restricciones en la demanda, o puja de precios, se debe mencionar la necesidad de mayores esfuerzos en exploración, más inversión, y más producción. Los desafíos son diferentes y un potencial crecimiento en la producción, traería aparejada una necesidad imperiosa de mejorar nuestra capacidad para cuidar los recursos, el medioambiente y por sobre todo las comunidades aledañas a los proyectos o futuros proyectos.

Este estudio tiene un enfoque diferencial, que se centra en analizar cómo puede ALC, a través de sus recursos mineros estratégicos, mejorar la situación socioeconómica de su población, cuidando sus recursos, maximizando la canalización de inversiones y generando un crecimiento económico, un desarrollo de infraestructura que perdure en el tiempo. Esa es la problemática desde el punto de vista de ALC, que busca resolver este documento. La conformación de una agenda regional que incluya la producción escalada y coordinada de estos minerales estratégicos es una oportunidad que no debe ser desaprovechada y que le permitirá a ALC contribuir con el crecimiento socioeconómico de su población.

1.- Banco Mundial (2020) - Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition
2.- IEA (2021) - The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions

C. Escenarios Energéticos & Proyecciones

Todos los países elaboran una planificación energética a largo plazo ya que los plazos de inversión para el sector eléctrico (redes de distribución, líneas de alta tensión para la transmisión o nueva incorporación de potencia) son muy largos así como también los montos asociados muy altos.

El incremento de potencia, asociado al crecimiento demográfico e industrial, estuvo ligado en los últimos años íntimamente al crecimiento de la electrificación global, producto de la demanda tecnológica, y a futuro estará aún más vinculado con la movilidad sostenible y la descarbonización global.

Esta planificación energética se realiza en base a distintos escenarios que uno considera más realista, pesimista, o más económico, o con menor margen de error dependiendo de cómo se establezca dicha planificación. En todo caso, siempre tendrán cotas superiores e inferiores, márgenes de error e incertidumbres cuando se proyecten a 15 o 30 años.

En el caso de la demanda de algunos minerales, está sumamente ligada al incremento de potencia eléctrica de alguna tecnología en particular, como puede ser por ejemplo el neodimio, un Elemento de Tierras Raras (ETR), que es fundamental para la fabricación de imanes para los aerogeneradores eólicos.

Resulta evidente, que en una planificación energética, asociada a un incremento de potencia eólica, tendrá un impacto en los requerimientos de este mineral. Tal vez, el incremento de potencia eólica de un solo país de América Latina o del Caribe no altere el equilibrio oferta-demanda del neodimio, pero un incremento exponencial a nivel global de la instalación de parques eólicos si produce un enorme desequilibrio entre la producción de neodimio actual y el requerimiento que tendrán los tecnólogos de aerogeneradores en un futuro, y si ese incremento de demanda no está respaldado por exploración y proyectos de explotación, en algún momento, no se podrá garantizar la demanda de este mineral en su totalidad.

Este ejemplo grafica la importancia de consolidar las proyecciones de demanda de energía a nivel global y la necesidad de reportar, en toda la cadena de

suministro, mineral por mineral, los requerimientos de cada actor involucrado en esta proyección de demanda de energía, para poder correr distintos escenarios y evaluar como impactan los cambios en las proyecciones mundiales, en la demanda de los denominados minerales críticos.

Con esta inquietud latente, varios organismos no gubernamentales se lanzaron a la ardua tarea de complementar sus escenarios energéticos con una demanda minera asociada para poder anticipar rupturas de suministros de materias primas esenciales para la descarbonización, la reducción de gases de efecto y poder intentar cumplir con los objetivos del Acuerdo de París.

En línea con estos conceptos, la IEA elaboró para sus 3 escenarios presentes en el World Energy Outlook (WEO), apéndices o proyecciones para los distintos requerimientos de minerales. A título informativo, estos escenarios se diferencian principalmente por las hipótesis que plantean en relación con las políticas gubernamentales.

1. El escenario de Políticas Declaradas (Stated Policies Scenario o STEPS) muestra la trayectoria que las políticas actuales implican.
2. El escenario de Compromisos Anunciados (Announced Pledges Scenario o APS) asume que todos los objetivos anunciados por los gobiernos se cumplen por completo y en los plazos previstos, incluyendo sus objetivos de acceso a la energía y de cero emisiones a largo plazo.
3. El escenario Cero Emisiones Netas en 2050 (Net Zero Emissions by 2050 o NZE) traza el camino a seguir para lograr la estabilización del aumento de la temperatura mundial en 1,5 °C y el acceso universal a la electricidad y sistemas modernos de energía para 2030.

En el caso de las proyecciones del Panorama Energético para América Latina y el Caribe publicado anualmente por OLADE, este documento no incorpora la demanda de minerales para la región, lo que agrega un escalón adicional en la simulación de escenarios. Esta fue la razón

fundamental por la cual, escenarios energéticos como éste, u otros presentados por la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) son claves para entender las proyecciones a futuro de la demanda de energía, pero no para proyectar la demanda minera.

La dificultad que existe en la capacidad de traducir un programa de incorporación de potencia renovable y un crecimiento del parque de movilidad sostenible en una tabla de demanda de minerales, y que a su vez debe ser compilada a nivel mundial para contemplar la totalidad de las demandas y poder así corroborar la disponibilidad o no de una materia prima, esa dificultad adicional, que se genera al utilizar cualquier escenario o proyección que no cuente con un modelo de demanda de minerales asociados, fue la que motivó la utilización del modelo de Global Energy and Climate (GEC por sus siglas en inglés) de IEA y no otro programa de modelización energética.

En base a los escenarios anteriores, que la IEA ha simulado para obtener la matriz de generación, las emisiones, el crecimiento de la industria, entre otros, se obtuvieron también proyecciones de demanda para los principales minerales y metales necesarios para la transición.

Para realizar estos ejercicios, la IEA utilizó principalmente dos enfoques que permitieron estimar la demanda de minerales críticos en los distintos países. Un primer enfoque, conocido como bottom up (por su significado en inglés, que refiere a desde abajo hacia arriba) que implica estimar los requisitos de materiales para cada tecnología, y luego modelar el crecimiento de cada una de ellas y obtener a una proyección estimada de para cada uno de los minerales críticos cargados en el modelo durante el periodo proyectado. Por otro lado, el enfoque top bottom (que por su significado en inglés representa la lógica de arriba hacia abajo) implica estimar la tasa de crecimiento de cada tecnología y luego estimar los minerales demandados en base a este crecimiento.

Para ambas metodologías, se requiere parametrizar la demanda de minerales por tecnología, y sin esos datos, no se podría estimar correctamente la necesidad para las transiciones energéticas. Este es uno de los más grandes desafíos, y uno de los principales responsables de las divergencias entre los principales reportes.

Otra de las variaciones aparece en los reportes y más precisamente entre los distintos escenarios, es respecto a la proyección de la eficiencia en el uso de los minerales de acá al 2050. Esta proyección explica por qué en varios casos, la demanda de minerales disminuye en algunos escenarios más optimistas. Esto se debe en mayor medida al aumento de la eficiencia y a la reducción del consumo de estos minerales tan demandados y no a la desaceleración del crecimiento de las tecnologías sostenibles.

Algunos de los siguientes gráficos se pueden obtener con los datos obtenidos



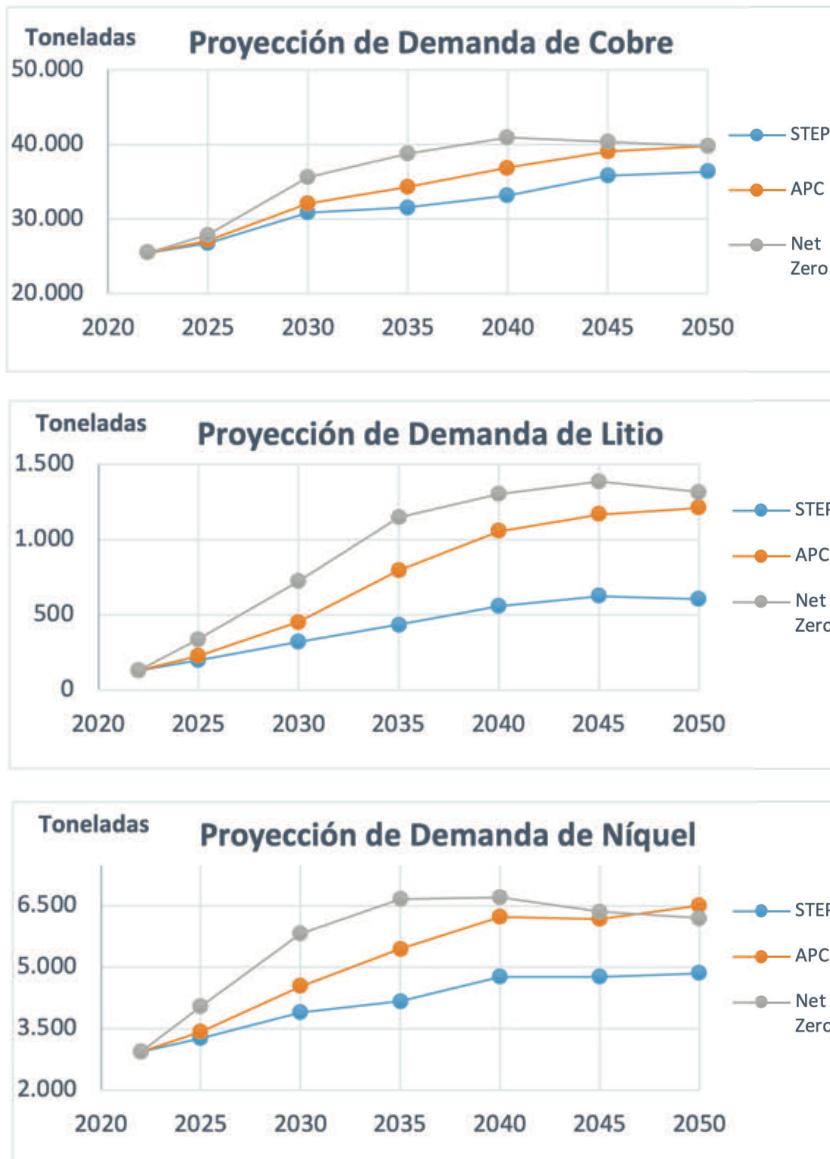
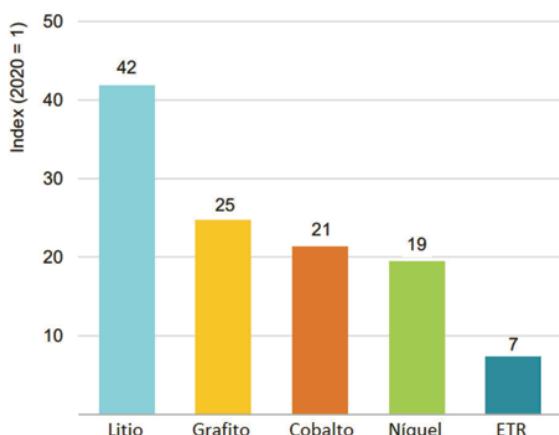


Gráfico 2 – Proyección de demanda (Elaboración en base a IEA 2021)



Estas son algunas de las proyecciones para el consumo global de cobre, litio y níquel, donde también es interesante comprender como varía esa demanda respecto a si misma. El crecimiento de la demanda del litio está íntimamente ligado a la producción de baterías, ya sea para la electromovilidad o para el almacenamiento eléctrico. Los demás usos del litio serán relativamente irrelevante respecto de este primero.

Gráfico 2 – Aumento de demanda minera (Elaboración en base a IEA 2021)



II. MINERALES CRÍTICOS

A. Definiciones

1. Minerales Críticos

A lo largo de este apartado, se propone una serie de definiciones que permitirían consensuar conceptos fundamentales a la hora de definir cuáles serán los minerales clave para la transición energética en los cuales ALC puede enfocarse. Es coherente concentrar los esfuerzos de la región en la exploración y producción de estos minerales, pero con el rumbo fijado hacia actividades con un valor agregado mayor localmente.

El adjetivo crítico hace referencia a una crisis. En este contexto, un mineral es crítico cuando, siendo esencial para el desarrollo de una industria, una actividad o de un sector, no esté garantizado su suministro de manera sostenida y segura: por lo tanto, se convierte en crítico. Esta definición toma en cuenta 3 aristas, y depende por lo tanto de:



11

- 1) La industria o sector de actividad
- 2) La disponibilidad del mineral
- 3) La región que emita el listado de criticidad.

Si se toma un mineral, cuya producción sea extremadamente escasa, y esté concentrada en un único país, o cuyo precio sea muy volátil, si no es vital para ninguna actividad, sector o industria puntual, no será considerado como crítico, ya que no es necesario para ningún desarrollo productivo o tecnológico.

Al mismo tiempo, si un mineral es sumamente necesario para una actividad, pero existe un abastecimiento local y/o su suministro no sea un cuello de botella, ni ahora ni en el futuro, además su producción esté geográficamente distribuida y no esté concentrado en unos pocos actores, su precio no presentó variaciones en sus proyecciones, pues si se cumplen estas condiciones, dicho mineral no será considerado crítico.

Por último, si un mineral es escaso, producido solamente por uno o por unos pocos países, y es vital para toda una industria o sector, pero la región que realiza el listado no está involucrada en esa actividad, y esta actividad no está relacionada o no está vinculada con la producción local o con las prioridades fijadas por esta región, pues dicha región no lo incluirá en su listado de materiales críticos.

La escasez de minerales críticos es un problema importante porque puede conducir a interrupciones en el suministro de estos productos. También puede hacer que estos productos sean más caros. Además, la escasez de minerales críticos puede aumentar la dependencia de las naciones de otros países para obtener estos recursos.

Esto muestra la diversidad de listados de minerales críticos que pueden generarse; se pueden encontrar tantos listados como mercados existan, donde cada región o país industrializado realice una ponderación interna y defina, según sus prioridades, cuáles serán los materiales y minerales que serán incluidos en un listado selecto, el listado de minerales críticos.

2. Principales listados de minerales críticos

Si bien estos listados se realizan desde hace décadas, ya que siempre existieron materias primas fundamentales para las economías locales, el formato actual y su diversificación se forjó en los últimos años. Como se introdujo al inicio de este documento, las materias primas como pudieron ser el níquel, el estaño, o también el petróleo, y desde algunos años (debido a la guerra entre Rusia y Ucrania), el gas natural, están en el centro de interés de la geopolítica internacional. Estudios de la ONU sostienen que más del 40% de los conflictos armados internos de los últimos 60 años están vinculados con los recursos naturales³.

Es por lo tanto interesante ver la evolución de los listados a lo largo de los años, según avance la historia y la relación entre los principales bloques económicos. Según el BID, desde la perspectiva de los consumidores y destinos de exportación de minerales críticos, entre ellos, EE. UU., China, Japón y Europa, hay un foco importante en cómo y dónde se producen estos minerales para sus industrias y que tan vulnerables son sus cadenas de suministro⁴.

El gobierno de EE.UU., a través de su Servicio Geológico (USGS por sus siglas en inglés) actualiza regularmente su listado de minerales críticos, que incluye en su última versión 50 minerales, entre los cuales están zinc, litio, magnesio, manganeso, níquel, platino, cobalto, aluminio, y grafito y agregó en su actualización de 2023⁵ un listado adicional de minerales críticos para el sector energético, que incluye aluminio, cobalto, cobre, disprosio, acero, flúor, galio, iridio, litio, magnesio, grafito, neodimio,

Claramente estos listados dependerán, cada uno de su propia industria y no serán críticos los mismos minerales en todos los mercados, ya que dependerá de que industria desarrolle cada país o región, sin embargo, existen varios minerales que se encuentran en más de un listado.

níquel, platino, praseodimio, silicio, carburo de silicio y terbio.

A su vez, la Unión Europea⁶ cuenta con su propio listado, que incluye 34 minerales y otras materias primas y se actualiza cada dos años. Japón en su última actualización identifica 32 minerales, y la lista de minerales críticos de China, elaborada hace varios años y sin actualizaciones recientes es la más breve con 28 minerales, de los cuales 16 son tierras raras.

A medida que avanzan la industria y la tecnología, se actualizan casi de manera automática los listados de minerales críticos. El consenso mundial⁷ sobre la necesidad de avanzar hacia sistemas energéticos más limpios, ha multiplicado la necesidad de varios minerales fundamentales para las tecnologías bajas en carbono como la solar o eólica. Actualmente existen varios minerales que se encuentran en la mayoría de los listados y la mayoría de ellos, se utilizan en el sector energético, para los desarrollos tecnológicos y/o para la electromovilidad.

Es por lo tanto interesante ver la evolución de los listados a lo largo de los años, según avance la historia y la relación entre los principales bloques económicos. Según el BID, desde la perspectiva de los consumidores y destinos de exportación de minerales críticos, entre ellos, EE. UU., China, Japón y Europa, hay un foco importante en cómo y dónde se producen estos minerales para sus industrias y que tan vulnerables son sus cadenas de suministro .

El gobierno de EE.UU., a través de su Servicio

3.- <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-conflicto-y-el-deterioro-del-medio-ambiente-en-el-sudan-van-de>

4.- <https://blogs.iadb.org/energia/es/america-latina-y-los-minerales-criticos-para-la-transicion-energetica/>

5.- <https://www.energy.gov/cmm/what-are-critical-materials-and-critical-minerals>

6.- <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/critical-raw-materials/>

7.- https://www.g20.org/content/dam/gttwenty/about_g20/previous_summit_documents/2018/Energy_communique.pdf - Comunicado de Ministros de Energía – G20 (2018)

Geológico (USGS por sus siglas en inglés) actualiza regularmente su listado de minerales críticos, que incluye en su última versión 50 minerales, entre los cuales están zinc, litio, magnesio, manganeso, níquel, platino, cobalto, aluminio, y grafito y agregó en su actualización de 2023 un listado adicional de minerales críticos para el sector energético, que incluye aluminio, cobalto, cobre, disposio, acero, flúor, galio, iridio, litio, magnesio, grafito, neodimio, níquel, platino, praseodimio, silicio, carburo de silicio y terbio.

A su vez, la Unión Europea cuenta con su propio listado, que incluye 34 minerales y otras materias primas y se actualiza cada dos años. Japón en su última actualización identifica 32 minerales, y

la lista de minerales críticos de China, elaborada hace varios años y sin actualizaciones recientes es la más breve con 28 minerales, de los cuales 16 son tierras raras.

A medida que avanzan la industria y la tecnología, se actualizan casi de manera automática los listados de minerales críticos. El consenso mundial sobre la necesidad de avanzar hacia sistemas energéticos más limpios, ha multiplicado la necesidad de varios minerales fundamentales para las tecnologías bajas en carbono como la solar o eólica. Actualmente existen varios minerales que se encuentran en la mayoría de los listados y la mayoría de ellos, se utilizan en el sector energético, para los desarrollos tecnológicos y/o para la electromovilidad.

3. Minerales Estratégicos

De manera complementaria, al aparecer un listado de minerales críticos para un mercado, surge automáticamente un mercado de minerales estratégicos para quienes son capaces de suministrarlos. A diferencia de los minerales críticos, los minerales estratégicos para cada país o región, son aquellos minerales cuyas recursos, reservas o producción son lo suficientemente interesantes para poder ser considerados estratégicos. Del mismo modo que la clasificación de mineral crítico dependía de quién elaboraba el listado, en el caso de los minerales estratégicos

ocurrirá lo mismo. Serán estratégicos los minerales para una región o país según la valoración propia que se realicen. A lo largo de este documento, se propone seguir una metodología para elaborar un listado de minerales estratégicos para América Latina y el Caribe en función de los minerales críticos para los principales mercados industrializados. Mientras un mineral figure en más listados, mayor será su criticidad y por ende más estratégico se puede volver en caso de contar con recursos del mismo.



B. Principales usos

Los minerales críticos tienen distintos usos, muy seguido relacionados de manera directa y proporcional con el desarrollo de energías limpias y otros como el hierro o el acero, son fundamentales, de igual modo que lo son para muchas otras industrias.

El níquel, hoy en día son clave para la fabricación de acero inoxidable, pero durante las próximas

décadas, dependiendo del escenario elegido tendrá una participación más preponderante debido a su uso en las baterías a base de níquel. El siguiente cuadro resume los principales usos en las tecnologías limpias y fue preparado en base a los datos de IEA 2021.

MINERALES	SOLAR	Eólica	Hidroeléctrica	Red Eléctrica	Almacenamiento Electromovilidad	Hidrógeno
Cobre	Alta	Alta	Media	Alta	Alta	Media
Litio	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Baja
Plata	Alta	Baja	Baja	Baja	Media	Baja
Molibdeno	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Níquel	Media	Media	Baja	Baja	Alta	Media
Aluminio	Alta	Media	Media	Alta	Alta	Media
Oro	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Estaño	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
Zinc	Media	Alta	Media	Baja	Baja	Baja
Acero	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabla 1- Concentración de Minerales Críticos por Tecnología

1. Detalle por Mineral

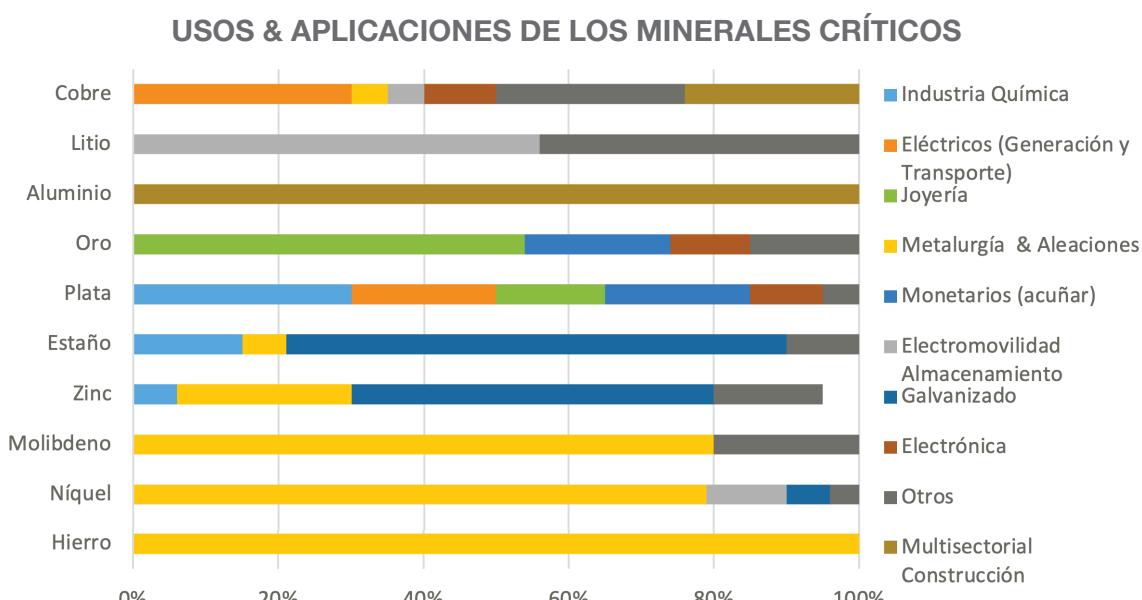


Gráfico 3 – Usos y Aplicaciones de los Minerales Críticos
(Elaboración propia)

Este gráfico presenta un resumen de los principales usos actuales de varios minerales estratégicos para ALC.

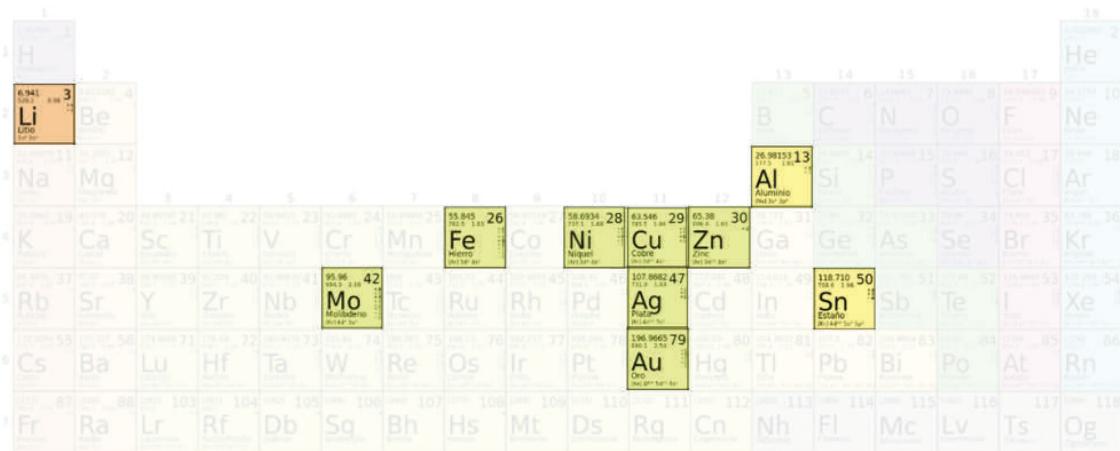


Figura 2 – Ubicación de los minerales críticos en la tabla periódica

15

Al ubicar esta selección de minerales estratégicos en la tabla periódica de Mendeleyev, a la izquierda se puede observar al litio, metal alcalino sumamente liviano, luego aparece el grupo de los minerales metálicos (hierro, níquel, cobre, zinc, molibdeno, plata, y oro) y por último a la derecha al grupo de los minerales de transición (que nada tiene que ver con la transición energética) como el aluminio y el estaño. Otros minerales críticos como el cobalto o los elementos de tierras raras, no se detallan en este primer estudio dado su poca producción actual en la región y su escaso conocimiento en términos de exploración. Queda como punto pendiente para los próximos estudios. En estas tablas y figuras, se coloca al aluminio, ya que la bauxita no es un elemento de la tabla periódica sino que esta, está principalmente compuesta por óxido de aluminio Al₂O₃, que luego se refina para obtener alúmina y luego mediante electrólisis se produce aluminio, ya que a diferencia de por ejemplo el oro o de la plata, el aluminio nunca se encuentra en estado puro, debido a su alto grado de reactividad.

El cobre es el elemento más utilizado para conducir la corriente eléctrica y se destina en promedio durante los últimos años cerca del 30% para el sector eléctrico (generación y transmisión y la electrificación) y 5% para el transporte y almacenamiento, 5% para la fabricación de bronce y latón, 10% a la electrónica y el resto se destina para la construcción, y para todas las demás industrias.

En el caso del litio, en la actualidad, su empleo en movilidad sostenible y almacenamiento para potencia, es de 56%. Sin embargo está proporción cambiará radicalmente en las próximas décadas, donde casi la totalidad del litio se destinará a estos usos.

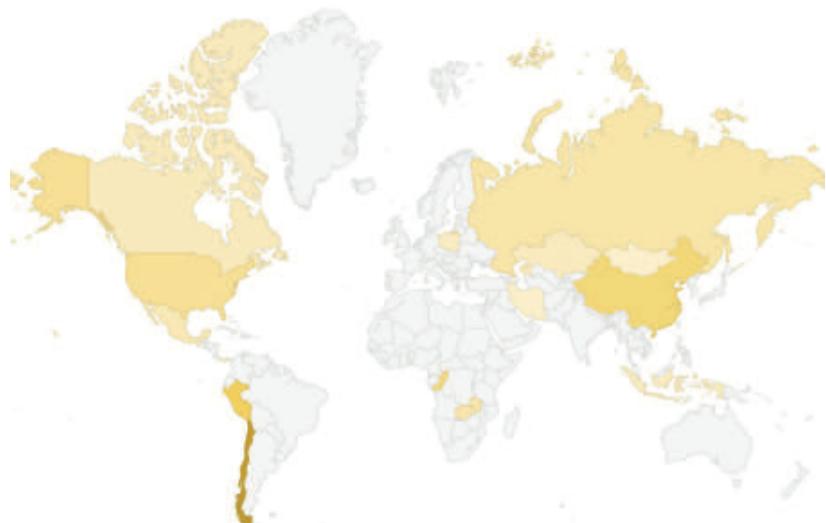
Para el aluminio y el hierro, se puede aplicar el mismo criterio. Son minerales estructurales, vitales para todas las industrias y sectores. El crecimiento de su demanda, en términos relativos, no está vinculado de manera directa con la generación renovable, y puede no ser exorbitante como en el caso del litio o el cobalto (que no se detalla en este estudio, al no ser un mineral estratégico para ALC, por más que sea uno de los minerales más críticos para los demás países debido a su concentración en la producción y a su aumento exponencial de demanda. Sin embargo en términos absolutos, el crecimiento de consumo de acero y aluminio esta en otra escala comparada con el resto de los minerales metálicos de este estudio.

Lo mismo ocurre en la actualidad con el níquel, el estaño, el zinc y el molibdeno, cuyas aplicaciones están más vinculadas a la fabricación de acero, galvanizados y aleaciones para una multiplicidad de usos. Sin embargo, esta es una de las ecuaciones que cambia con la llegada masiva de la tecnología sostenible, virando los usos actuales, concentrados, diversificándolos.

a) Cobre

Según la USGS⁸, en 2022 se estima se refinaron más de 25 millones de toneladas de cobre a nivel mundial y una primera estimación arroja que más del 40% del consumo mundial de cobre está

destinado a aplicaciones eléctricas y electrónicas directas y cerca del 70% de ese consumo, se utiliza en aplicaciones de energía eléctrica, incluido todo el parque térmico.

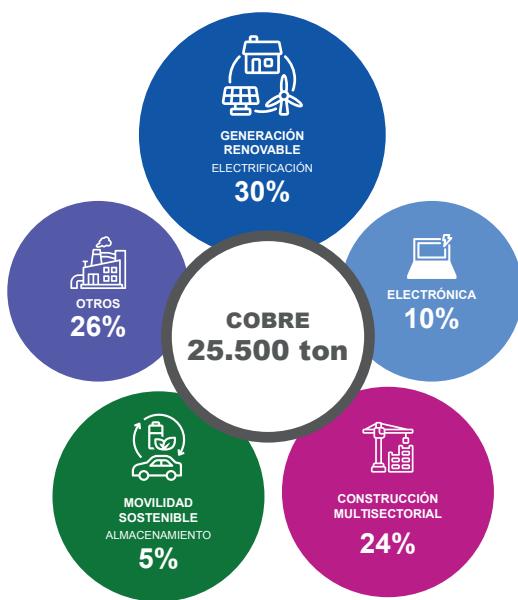


Mapa 1 - Producción de Cobre

16

El cobre es uno de los minerales estratégicos para ALC ya que juega un papel fundamental en la transición energética hacia un futuro más sostenible y neutral en carbono. Su conductividad eléctrica lo convierte en un material esencial en las tecnologías clave que impulsan esta transición,

como las energías renovables y la electrificación, y además cuenta con una amplia gama de utilización gracias a sus cualidades respecto a la conductividad térmica, resistencia a la corrosión y maleabilidad.



APLICACIONES (%)	
Generación Renovable	30%
Electrificación	
Construcción	24%
Multisectorial	
Electrónica	10%
Metalurgia	
Aleaciones (Bronce & Latón)	5%
Movilidad Sostenible	5%
Almacenamiento	
Otros	26%

Figura 3 – Principales usos del Cobre – Elaboración en base a investigación propia

8.- <https://www.usgs.gov/publications/mineral-commodity-summaries-2023>

Al aprovechar el potencial del cobre en una amplia gama de soluciones tecnológicas, se puede lograr una reducción significativa en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel mundial. Al mejorar la eficiencia energética en sistemas eléctricos y electrónicos, el cobre contribuye a reducir el consumo de energía y, por lo tanto, las emisiones de carbono asociadas a la generación de esa energía.

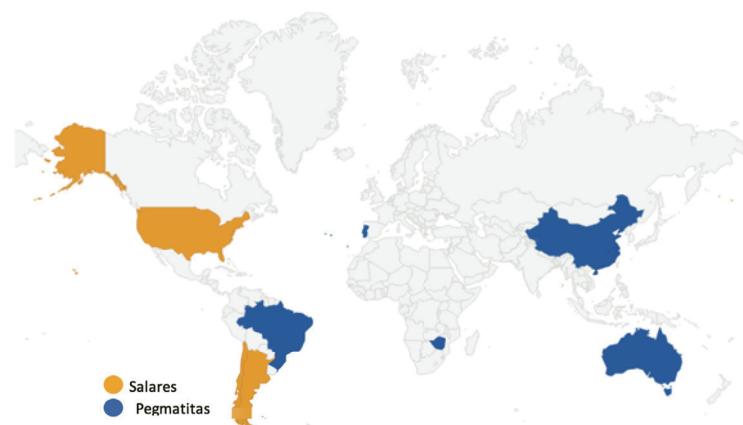
La industria del cobre incluye minas de cobre, fundiciones, refinerías, instalaciones de reciclaje y fabricantes de productos semielaborados de cobre y aleaciones de cobre, como tubos,

alambrón y barras. El cobre es un importante contribuyente a las economías internas de países desarrollados, recientemente desarrollados y en desarrollo. La minería, el procesamiento, el reciclaje y la transformación del metal en múltiples productos generan puestos de trabajo y genera riqueza. Casi un millón de personas trabajan directamente para la industria mundial del cobre, y al menos un millón de personas más están empleadas indirectamente⁹.

b) Litio

La producción mundial actual del litio está concentrada en pocos países. Se puede extraer de salares como en Bolivia, Chile y Argentina o de rocas (pegmatitas) como se realiza en Australia o

China. Entre los 4 primeros productores, Australia, Chile, China y Argentina, concentran más del 96% de la producción.



Mapa 2 - Producción de Litio

PAÍS	PRODUCCIÓN (ton)
Australia	61.000
Chile	39.000
China	19.000
Argentina	6.200
Brasil	2.200
Zimbabue	800
Portugal	500
Canadá	500
Bolivia	600

Figura 4 - Países Productores de Litio

Respecto a su uso, en la actualidad su destino más importante es la electromovilidad que ya abarca el 54%, que será a su vez la principal

razón por la cual la demanda de este mineral se multiplique por 40 según el escenario SCS de la IEA para el 2040, tomando como referencia 2020.

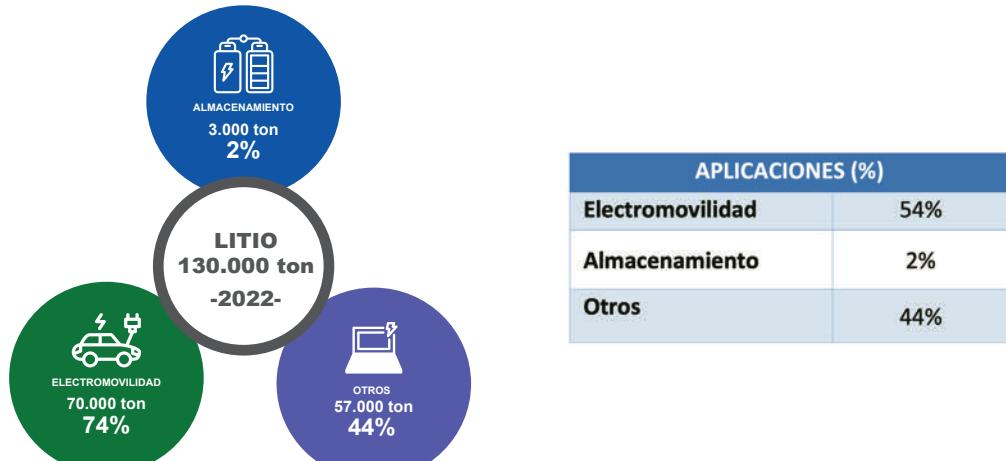


Figura 5 – Principales usos del Litio (Elaboración propia con datos IEA (2021)

c) Plata

18

A nivel mundial, se producen cerca de 25.000 toneladas de plata y en según las publicaciones anuales del Silver Metal Institute¹⁰, se destina el 19% a la industria electrónica, un 12% a fabricación de paneles solares (y en aumento año a año) y un 15% a otros usos industriales.

Por otra parte el uso para joyería ronda el 20% y su empleo como inversión se mantiene sobre el 28%. En cuanto a los destinos en declive, en las últimas décadas decayó notablemente el uso para platería de cubiertos y fotografía.

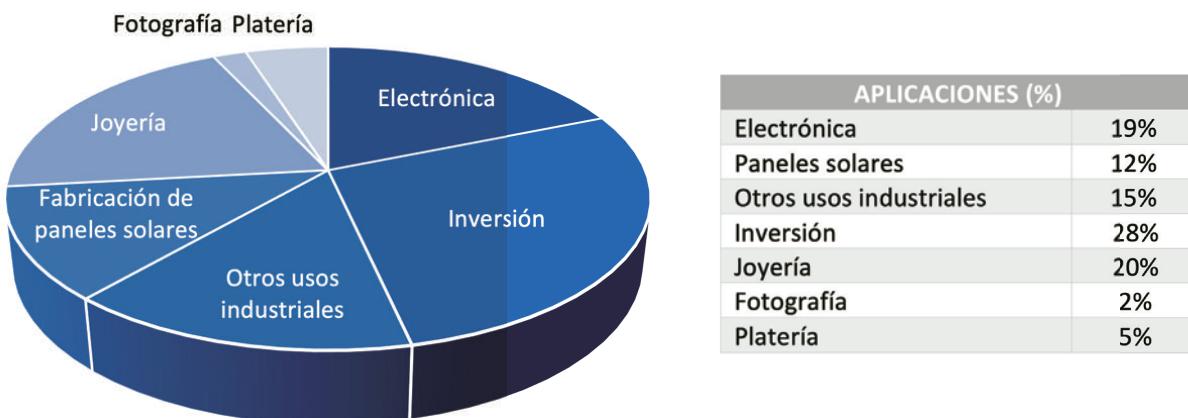
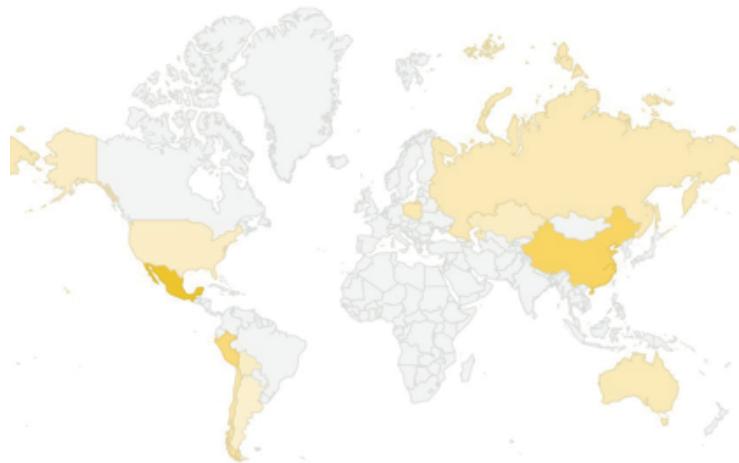


Figura 6 - Principales usos de la plata (Elaboración en base al World Silver Survey 2023)

La extracción de la plata se realiza en la mayor parte de los yacimientos como un subproducto minero de otro elemento principal. Esto quiere decir que existe solo un 25% de la plata explotada proviene de una mina cuyo principal producto es la plata. En el 75% restante, la plata viene combinada

con otros minerales, que son más relevantes para ese yacimiento. Este modelo diversifica al máximo la concentración de la producción, razón por la cual una gran cantidad de países de la región producen este mineral.



Mapa 3 – Producción de Plata

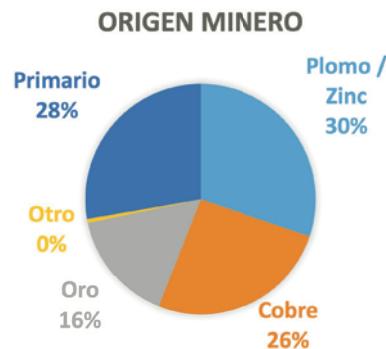


Figura 7 – Origen minero de la plata

19

El crecimiento exponencial de la industria solar, llevará a concentraciones mucho más importantes en cuanto al destino de la plata en la industria de los paneles.

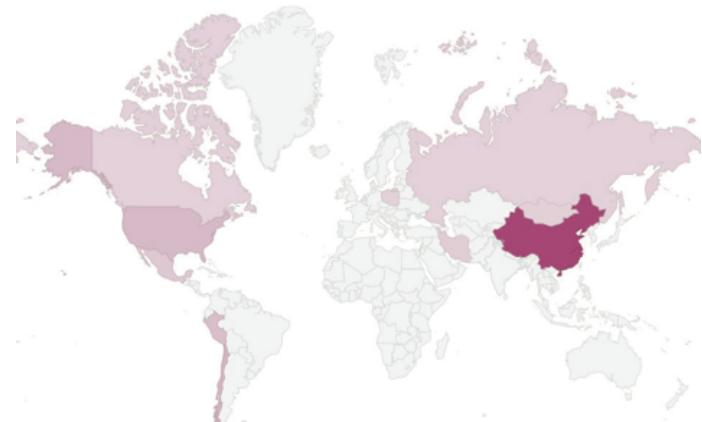
d) Molibdeno

El molibdeno es un mineral extremadamente común en América Latina y el Caribe (ALC). La región cuenta con casi el 40% de las reservas a nivel mundial, colocándose por detrás de Cobre y

del Litio en términos de reservas. Los países con mayores reservas en ALC son Chile, Perú, México y Brasil.

APLICACIONES (%)	
Metalurgia	80%
Otros	20%

Tabla 2 - Principales usos del Cobre – Elaboración en base a investigación propia



Mapa 4 - Producción de Molibdeno

La producción de molibdeno a menudo ocurre como subproducto de la minería de otros metales (en ALC como subproducto del cobre), y su producción es fluctuante en función de las condiciones del mercado y las inversiones en la industria minera.

Más de dos tercios de la producción de molibdeno se destinan a la fabricación de las aleaciones de acero, por lo tanto a medida que crece la demanda de hierro, crece la del molibdeno. Su presencia en el acero lo vuelve más resistente. Se emplea

además componente de super aleaciones, de aleaciones con níquel, y en otras industrias químicas en menor medida, como catalizador para eliminar el azufre.

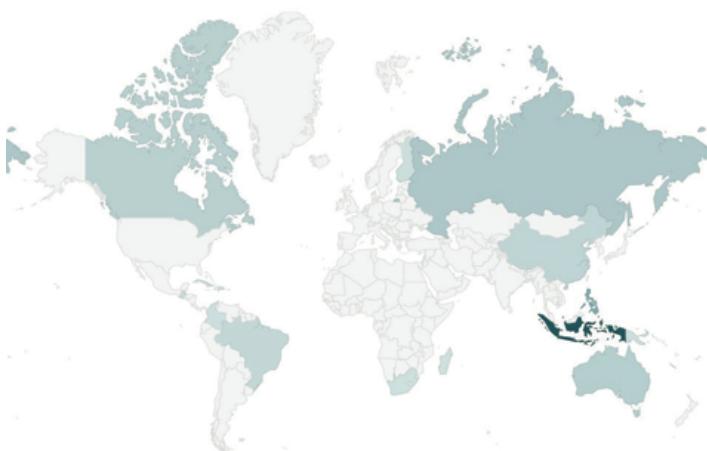
En la actualidad, no es un mineral estratégico que tenga vínculo directo y exclusivo con una tecnología limpia, pero a su vez es clave para todas ellas, al ser el acero un componente estructural de todo proyecto energético.

20

e) Níquel

El níquel tiene numerosas propiedades físicas y químicas que lo convierten en un mineral clave para una amplia gama de aplicaciones. Es fundamental para las aleaciones de acero inoxidable, para la fabricación de equipos médicos, teléfonos celulares, turbinas eólicas y cada vez más, para

las baterías. Este elemento tiene una excelente resistencia a la corrosión y por lo tanto, se utiliza para recubrir otros metales y así protegerlos. El níquel es un metal duro, maleable y dúctil, con buena conductividad térmica y eléctrica.



Mapa 4 - Producción de Molibdeno

A nivel del mercado, se proyecta que el mercado mundial del níquel crezca de \$ 37,7 mil millones en 2021 a \$ 59,14 mil millones en 2028 en el período de pronóstico, 2023-2028

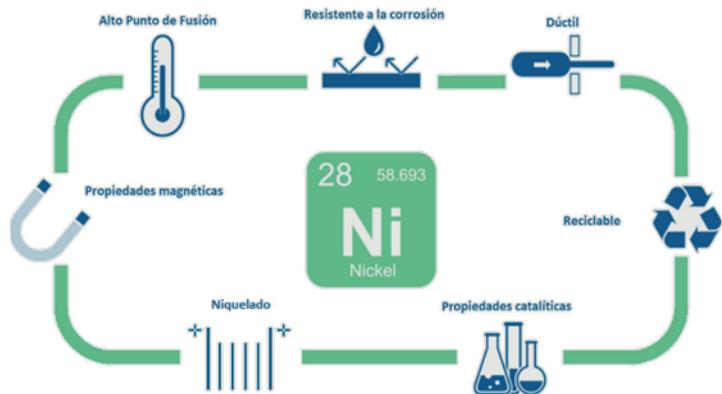


Figura 8 - Principales características del níquel

APLICACIONES (%)	
Metalurgia Acero Inoxidable, Aleación y Fundiciones	77%
Galvanizado	9%
Almacenamiento Baterías	3%
Otros	1%

Tabla 3 – Principales usos del níquel

(Elaboración en base al NickelSearch)

21

El principal destino del níquel es la industria del acero, donde junto al cromo son fundamentales para el acero inoxidable que actualmente representa el 68% del mercado de este mineral. Luego también se emplea en menor medida para la realización de otras aleaciones, para el

galvanizado y también es fundamental para varios tipos de baterías. Si bien actualmente, sólo el 3% se emplea para las baterías, este uso crecerá notablemente.

f) Bauxita

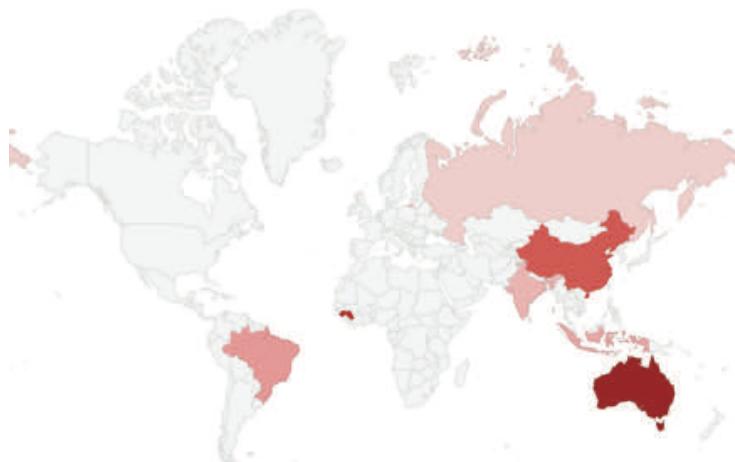
La bauxita es el mineral a partir del cual se obtiene el aluminio. Está compuesta principalmente por óxidos de aluminio. Los recursos no están concentrados en un solo país o una sola región, sin embargo las mayores reservas suelen encontrarse en regiones tropicales y subtropicales.

El aluminio es ampliamente utilizado en una variedad de aplicaciones industriales y de consumo, como la construcción de estructuras ligeras, la producción de envases, elementos de cocina, entre otros. Durante el proceso extracción y purificación de la bauxita se obtiene álumina (óxido de aluminio) y luego se realiza la electrólisis de esta última para obtener aluminio metálico.

Durante estos procesos se consumen grandes cantidades de energía, por lo que en muchos casos, la fabricación de aluminio no se encuentra ligado geográficamente de manera directa a la extracción de bauxita, siendo el precio de la energía el factor determinante junto al mercado para la localización de las plantas de refinación y producción de aluminio.

Al igual que el molibdeno, el oro, el estaño y el hierro, son minerales estratégicos (y críticos por ende), cuya demanda crecerá en el futuro a medida que crece el desarrollo mundial, pero al no estar íntimamente ligada a una única industria verde en particular o una única tecnología, su crecimiento será más constante y menos volátil.

APLICACIÓN MULTISECTORIAL



Mapa¹¹ 6 - Producción del Bauxita

g) Oro

22

El oro es un metal precioso utilizado desde hace miles de años como moneda, objeto de adorno y símbolo de riqueza y poder en diversas culturas a lo largo de la historia. Incluso hoy en día, el oro se considera una inversión segura y se utiliza en la fabricación de joyas y objetos de valor.

Además de su empleo principal que es la joyería con un 54%, el oro también se utiliza como reserva de valor (20%) donde algunos bancos centrales mantienen reservas de oro como respaldo para sus monedas y estabilidad económica.

Por último, también se emplea como un mineral fundamental en la fabricación de componentes electrónicos (11%) ya que tiene cualidades físicas que lo vuelven sumamente importante al ser un excelente conductor eléctrico y por último, un 15% restante que se reparte entre aplicaciones aeronáuticas, odontológicas, medicinales, y de otras industrias.

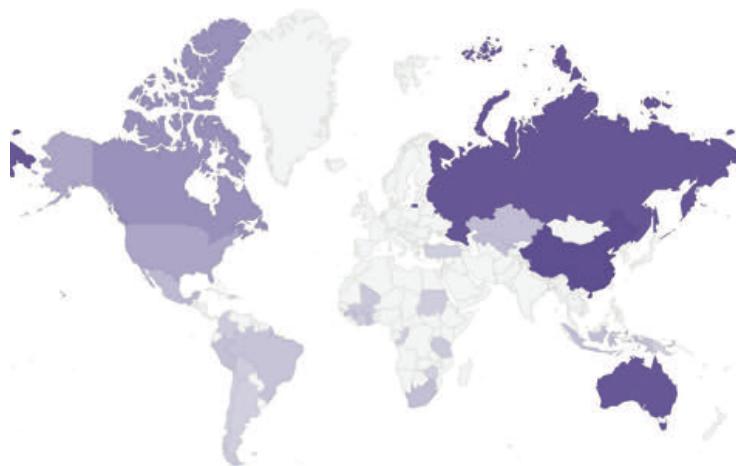
PRINCIPALES USOS (%)	
Joyería	54%
Reserva de valor	20%
Componente electrónicos	11%
Otros	15%
Total	100%

Tabla 4 - Estimaciones Propias en base a los promedios anuales

La extracción de oro en América Latina es una actividad económica de gran relevancia en varios países de la región como son Perú, México, Brasil, Chile, Colombia y Argentina. La minería del oro es versátil, ya que se puede encontrar en forma de pepitas o vetas en depósitos subterráneos y aluviales, y su actividad extractiva se puede llevar

a cabo mediante diversas técnicas que van desde la minería a gran escala, con maquinaria pesada y tecnología avanzada, hasta la minería artesanal y de pequeña escala, que emplea métodos más simples y menos eficientes pero da trabajo a un gran número de personas.

11.- Los mapas y reportes de producción minera fueron preparados para el cobre, litio, plata, molibdeno, níquel, bauxita, oro, estaño, zinc y hierro y elaborados en base a los reportes mineros publicados por los países de ALC, y con aportes del World Mineral Production 2017-2021 preparado por el Servicio Geológico Británico (BGS), y del Mineral Commodity Summaries 2023 publicado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para los países de Europa, Asia, África y Oceanía.



Mapa 7 - Producción del Oro

Un tema no menor con la explotación aurífera es que su extracción también conlleva importantes desafíos políticos pero sobre todo socioambientales, con riesgos latentes como la degradación del suelo y el agua, la deforestación,

la contaminación por mercurio, y otros riesgos asociados a los conflictos y tensiones sociales, por reubicación forzada de comunidades locales o migraciones no deseadas por la aparición de actividad extractiva ilegal.

h) Estaño

23

El estaño es un metal de transición (a no confundir con minerales críticos para la transición energética) que se encuentra en la naturaleza en varias formas, siendo la casiterita (óxido de

estaño, SnO_2) el que se explota para la extracción del estaño.



Mapa 8 - Producción del Estaño

Este es un metal conocido desde la antigüedad y que ha sido muy utilizado a lo largo de la historia para fabricar objetos y aleaciones, como el bronce. El estaño es muy utilizado en aleaciones (bronce), como galvanizado (hojalata), y por su bajo punto de fusión como metal para soldar en

múltiples aplicaciones (industriales o electrónicas). Las aleaciones con estaño y plomo son las que se utilizan para unir metales en aplicaciones como la electrónica y la plomería.

APLICACIONES (%)	
Aleaciones para soldar	54%
Industria química	15%
Galvanizado (hojalata)	15%
Otros	10%
Bronce	6%

Tabla 5 - Principales aplicaciones del estaño
(Estimaciones Propias en base a los promedios anuales)

Por último, el estaño también se emplea en la industria química, donde se emplea en la fabricación de pigmentos para pinturas y esmaltes cerámicos, catalizadores.

La demanda creciente del estaño, al igual que la del hierro, oro, o aluminio estará más correlacionada con el desarrollo socioeconómico que con alguna tecnología en particular.

i) Zinc

El zinc presenta una gran variedad de aplicaciones industriales y biológicas. Tiene propiedades de resistencia a la corrosión y se usa mayoritariamente en la galvanización para proteger otros metales de la corrosión. También se utiliza en aleaciones

para fabricar el latón (con el cobre), para realizar fundiciones, en la industria química, y también se está comenzando a utilizar en baterías. Tiene otros usos médicos, en la industria aeroespacial.

APLICACIONES (%)	
Aleaciones para soldar	54%
Industria química	15%
Galvanizado (hojalata)	15%
Otros	10%
Bronce	6%

Tabla 6 - Principales aplicaciones del estaño



Mapa 9 - Producción de Zinc

j) Hierro

El hierro es un uno de los elementos más abundantes en la Tierra y se encuentra en minerales como la hematita, la magnetita y la siderita. El conocimiento y uso del hierro se remontan a tiempos prehistóricos, con evidencia de objetos de hierro forjado que datan de alrededor del 2000 a.C. Es un metal de transición con propiedades físicas como maleabilidad, conductividad eléctrica y ferromagnetismo. El

hierro se utiliza en la fabricación de acero, que es esencial en la construcción, la industria automotriz y muchas otras aplicaciones industriales.

La producción mundial es en promedio cerca a las 3.000 millones de toneladas, donde China es el mayor productor, seguido por Australia, Brasil, India y Rusia.



25

Mapa 10 - Producción de Hierro



k) Elementos de Tierras Raras

Los elementos de tierras raras, también conocidos como lantánidos, son un grupo de elementos químicos con propiedades únicas. Hay un total de 17 elementos de tierras raras, que incluyen al escandio, itrio¹² y los 15 elementos del grupo

de los lantánidos (lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometeo, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio).

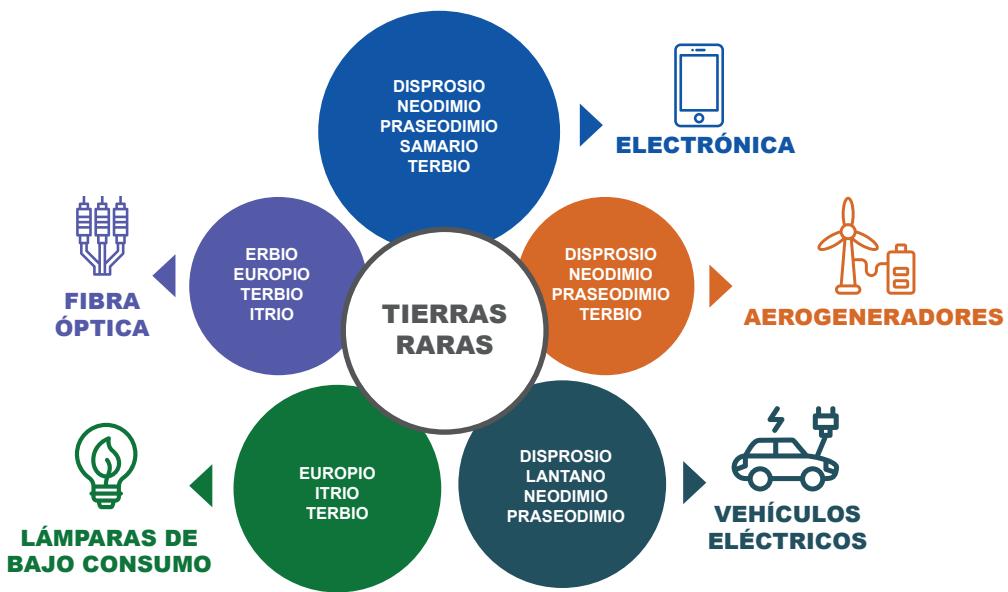


Figura 9 – Principales usos de los elementos de tierras raras (Elaboración propia)

En ALC, Chile y Brasil están avanzando con estudios de prospección de algunos de estos elementos.

l) Otros minerales críticos

El listado de minerales críticos se extiende, cobalto, cromo, manganeso, grafito y es posible obtener más detalle en los documentos enunciados en la bibliografía de este documento.

12.- El escandio y el itrio se incluyen entre las tierras raras porque aparecen frecuentemente mezclados con los lantánidos en los mismos yacimientos.

2. Generación Eléctrica

Los minerales críticos son esenciales para las transiciones energéticas, con una amplia diversificación de usos, que abarcan la fabricación de equipos de generación de todas las tecnologías

y almacenamiento de electricidad para usos de potencia o para movilidad sostenible.

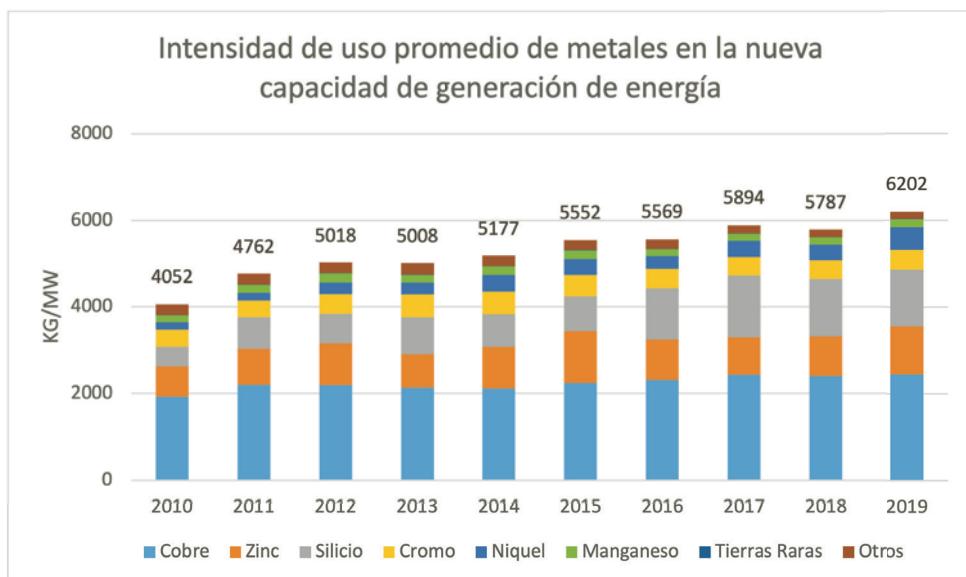


Gráfico 4 – Intensidad media en la nueva capacidad de generación (en base a IEA)

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la IEA

27

La implementación de nuevas tecnologías limpias y sostenibles, es un pilar indiscutido de las transiciones energéticas, sin embargo como se puede analizar en el gráfico anterior, este crecimiento renovable, trae aparejado una mayor necesidad de minerales críticos, medido en la cantidad por potencia instalada (kg/MW)¹³ Entre 2010 y 2019, la necesidad de minerales aumentó más de un 50%.

Por ejemplo, dentro de los elementos denominados tierras raras, el neodimio y el praseodimio, son indispensables para la producción de imanes permanentes utilizados en turbinas eólicas y motores eléctricos de alta eficiencia. En este trabajo se ha adentrado en el detalle de implementación para la minería de estos elementos, siendo sin embargo de relevante importancia para Brasil.

Existen en desarrollo, varias alternativas químicas para el diseño de baterías eléctricas. El litio es un

componente crítico para la mayoría. Además, el cobalto también es utilizado en baterías de iones de litio y es un elemento clave en la electrónica de potencia.

En el campo de la energía solar, el silicio es el material principal utilizado en las células fotovoltaicas de paneles solares que convierten la luz solar en electricidad. Además, otros minerales, como el telurio e indio, se emplean en células solares de película delgada.

La demanda de minerales críticos también se extiende a la industria de la electrónica, donde las tierras raras, como el cerio y el europio, son esenciales para diversos dispositivos y componentes. El grafito, materia prima para fabricar el grafeno, es un material compuesto de carbono, y está siendo investigado para mejorar la eficiencia y capacidad de las baterías, lo que lo convierte en un mineral con un potencial impacto importante en la generación eléctrica.

13.- Ashby M. (2013) – Material and the Environment

Con el crecimiento de las energías renovables, también el cobre ha asumido un papel aún más vital. Las turbinas eólicas utilizadas para generar energía eólica dependen en gran medida de cables y componentes de cobre para transmitir la electricidad generada por las aspas hasta los transformadores y, finalmente, a la red eléctrica.

3. Vehículos Eléctrico // electromovilidad // Baterías

Además del litio, el cobre es esencial en las tecnologías de almacenamiento de energía. Las baterías de iones de litio, ampliamente utilizadas para almacenar energía en sistemas de respaldo y vehículos eléctricos, emplean cobre en sus electrodos y conexiones. La conductividad y durabilidad del cobre ayudan a mejorar la eficiencia y la vida útil de estas baterías cruciales para la estabilidad de la red eléctrica.

Además, el cobre también juega un papel crucial en las plantas solares fotovoltaicas, donde se utiliza en las conexiones eléctricas de los paneles solares para garantizar la transferencia eficiente de la energía capturada del sol.

Existe una multiplicidad de baterías en desarrollo que emplean níquel, cadmio, y hasta estaño, por lo que dependiendo cual sea la tecnología que se termine imponiendo, junto a las baterías de litio, recién ahí se tendrá una proyección más certera.

No quedan dudas que será la movilidad sostenible y su tasa de penetración en los mercados

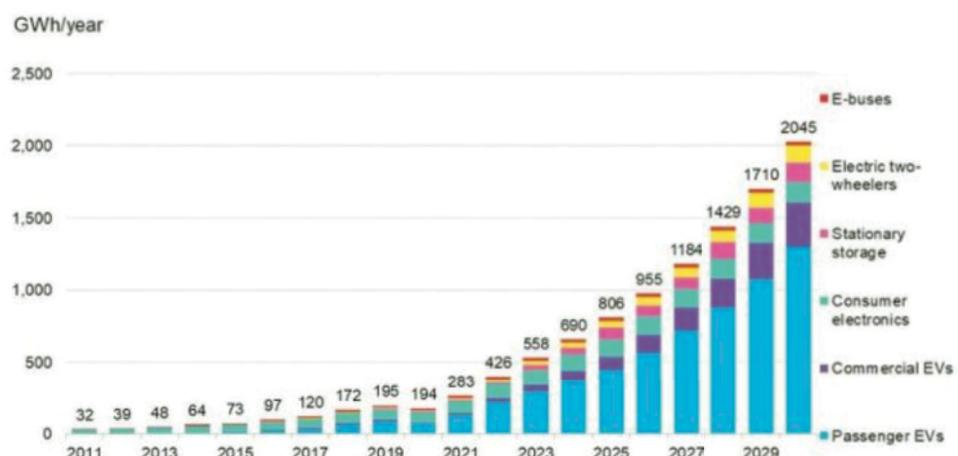


Gráfico 5 - Proyección del crecimiento de la electromovilidad (Fuente: Bloomberg NEF)

4. Electrificación

Cuando se menciona la electrificación, se hace referencia principalmente de cobre. El cobre es uno de los metales más antiguos conocidos y ha sido utilizado durante miles de años. Los primeros indicios de su uso datan de alrededor del 9000 a.C. en lo que hoy es el Medio Oriente. A lo largo de la historia, diversas culturas han aprovechado las propiedades únicas del cobre para fabricar herramientas, utensilios y joyas. En el antiguo Egipto, el cobre se usaba ampliamente en la fabricación de objetos decorativos, joyas y herramientas, y fue uno de los primeros metales en ser trabajado y utilizado en la metalurgia.

Hoy en día, este metal rojizo es vital para el desarrollo de la generación eléctrica moderna y su electrificación. Su excelente conductividad eléctrica lo convierte en un material insustituible para la infraestructura eléctrica y diversas tecnologías de transmisión y distribución de energía, debido a su alta conductividad eléctrica y a su capacidad para transportar corrientes eléctricas con poca resistencia.

C. Producción minera

1. Contexto

El PBI mundial para 2022 fue de 103 billones de dólares, de los cuales un cuarto corresponde al PBI de los Estados Unidos, y entre las 3 primeras potencias suman casi el 50%. ALC cuenta con una superficie de cerca de 20 millones de km², que representa el 13% de la superficie mundial, y con el 8% de la población solamente produce el 6% del PBI mundial (según las proyecciones del IMF para 2023). La minería es una actividad primaria clave en para el desarrollo sostenible y esta región tiene un gran potencial para su crecimiento y desarrollo. Es clave entender cuáles son los distintos ejes que le permitirían crecer, y claramente la minería es una de esas herramientas aquí en la región.

Según el BID casi el 4% del Producto Interno Bruto (PIB) de América Latina y el Caribe procede del sector extractivo, una cifra equivalente al

valor generado por la agricultura y se espera que crezcan aún más en un futuro próximo, ya que ninguna transición energética será posible sin la mayor disponibilidad de muchos más minerales, especialmente el cobre y el litio.

En primer lugar, antes de adentrarse en los detalles de la producción de cada mineral, es importante contar con órdenes de magnitud de la producción minera metálica mundial, para entender luego las dinámicas de mercado y la importancia actual de cada mineral. Este primer cuadro no representa la producción de un año en particular, y tampoco contempla las proyecciones que son muy disímiles, según el mineral seleccionado, pero es extremadamente útil para entender dimensiones de producción.

29

Mineral	Producción (ton)
Hierro	3.000.000.000
Bauxita	350.000.000
Cobre	25.000.000
Níquel	2.500.000
Litio	150.000
Plata	25.000
Oro	3.000
Indio	900

Tabla 7 – Orden de magnitud de la minería metálica
(Elaboración en base a promedios estadísticos)

En América Latina y el Caribe, los principales países productores y exportadores de minerales críticos son Chile, Brasil, México, Perú y Bolivia. En Colombia y Argentina es también una actividad relevante, pero en ambos casos, la producción de hidrocarburos y en el caso de Colombia la de carbón es más relevante.

El siguiente cuadro presenta los principales productores mundiales de estos 10 minerales.

MINERAL	Productor Mundial		
	PRIMERO	SEGUNDO	TERCERO
Cobre	Chile	Perú	China
Litio	Australia	China	Chile
Plata	México	China	Perú
Molibdeno	China	Chile	USA
Níquel	Indonesia	Filipinas	Rusia
Bauxita	Australia	Guinea	China
Oro	China	Rusia	Australia
Estaño	China	Perú	Congo
Zinc	China	Perú	Australia
Hierro	Australia	China	Brasil

Tabla 8 - Principales países productores (Fuente USGS)

Para cada uno de estos 10 minerales, fueron listados los primeros 3 productores a nivel mundial en base a los datos de producción del 2022 y

30

MINERAL	Reservas ALC (%)	Principales productores ALC				
		1er	2ndo	3er	Otros	
Cobre	38%	Chile	Perú	México	BR, PN, AR	
Litio	52%	Chile	Argentina	Brasil	BO	
Plata	39%	México	Perú	Chile	BO, AR	
Molibdeno	38%	Chile	Perú	México		
Níquel	17%	Brasil	Guatemala	Cuba	CO, RD	
Bauxita	15%	Brasil	Jamaica	Guyana	VE, CO	
Oro	14%	México	Perú	Brasil	CO, BO, AR, CH, RD	
Estaño	20%	Perú	Bolivia	Brasil		
Zinc	17%	Perú	México	Bolivia	BR, HO, CH	
Hierro	20%	Brasil	Perú	México	CH	

Tabla 9 - Producción en ALC para los 10 minerales estratégicos





III. LOS MINERALES ESTRATÉGICOS PARA ALC

A. Metodología de Selección de Minerales

Con el primer panorama de la producción y demanda de los minerales críticos para las próximas décadas, el paso siguiente es establecer una metodología que permita priorizar los minerales que serán estratégicos para contribuir con el desarrollo socioeconómico y energético de los países de la región.

Es fundamental idear criterios que ayuden en esta evaluación y posterior selección. Del universo de factores que se pueden utilizar para analizar

Este documento plantea la selección de 4 criterios de selección, cada uno de ellos vinculado a un aspecto a tomar en cuenta a la hora de evaluar una inversión significativa como es la explotación de un yacimiento minero:

- Criticidad: cantidad de listados críticos en los cuales este mineral está presente
- Mercados: Volumen de la minería actual (volumen comercializado y precio)
- Producción del mineral en la región
- Reservas del mineral en la región

estos minerales, están los que se relacionan con el crecimiento de la demanda, los mercados, la diversificación o concentración de actores, volatilidad de los precios, entre otros, y por otro lado, están los parámetros relacionados con la oferta, la inversión necesaria para exploración y explotación, la multiplicación de infraestructura que se pueda generar, y por sobre todo la disponibilidad de reservas y recursos, tanto en términos de concentración del mineral como en calidad del mismo.

En este primer abordaje no se plantea un criterio un poco más complejo como el ecosistema habilitante para pasar de recursos a reservas y de reservas a producción, pero a futuro es un criterio clave a evaluar.

33

Para evaluar y ponderar cada criterio, se emplea una escala simple de 1 a 5:

Muy Alta	5 puntos
Alta	4 puntos
Media	3 puntos
Baja	2 puntos
Muy baja	1 punto

Tabla 10 - Criterio de evaluación

Si bien esta evaluación se realiza de manera integral para la región, es muy probable que para algunos países, haya minerales que sean más o menos estratégicos debido a su producción o reservas puntuales; los criterios de mercado y demanda siendo homogéneos para todos los países.

En los anexos, está disponible el desarrollo metodológico en su totalidad, con la evaluación de los 4 criterios.

B. Conclusiones de la evaluación

Finalmente, una vez realizada la evaluación de los cuatro criterios y realizando un promedio, la

clasificación de los minerales estratégicos para ALC es la siguiente:

	MINERALES	Puntaje	Producción ALC	Reservas ALC	Criticidad	Mercados
1	Cobre	4,8	5	5	4	5
2	Litio	4,5	5	5	5	3
3	Plata	4,5	5	5	4	4
4	Molibdeno	4,0	5	5	4	2
5	Níquel	3,8	3	3	5	4
6	Bauxita	3,5	3	3	4	4
7	Oro	3,5	3	5	1	5
8	Estaño	3,5	4	6	2	2
9	Zinc	3,3	4	3	2	4
10	Hierro	3,0	3	3	1	5
11	Grafito	3,0	3	4	4	1
12	Manganoso	3,0	1	3	4	4
13	Plomo	3,0	3	5	1	3
14	Cobalto	2,5	1	1	5	3
15	Cromo	2,3	1	1	4	3
16	Indio	2,3	2	1	5	1
17	ETR	1,5	1	1	2	2

Tabla 11 – Conclusión de la evaluación de minerales estratégica para ALC

Para continuar con el análisis y hoja de ruta, se propone limitar a 10 los minerales estratégicos para la región.

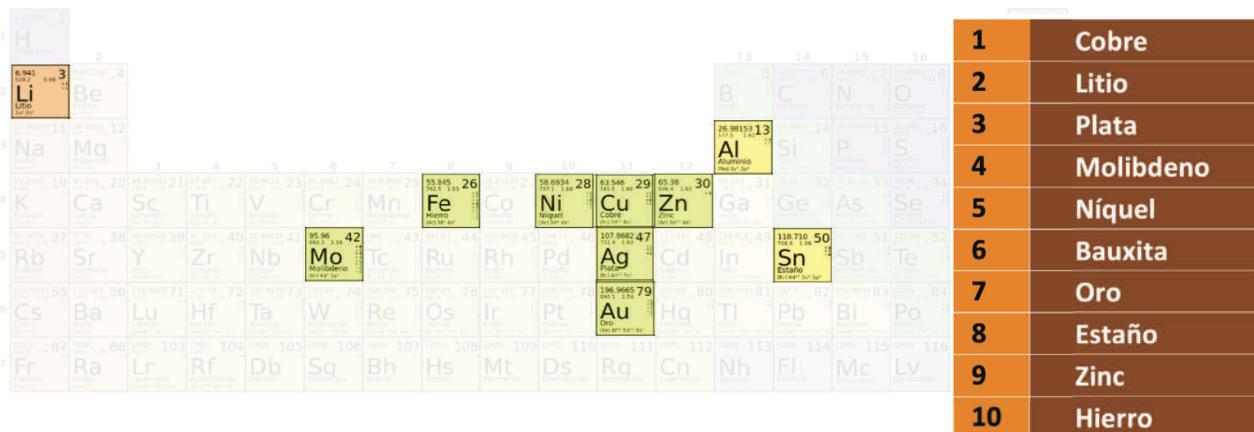


Figura 10 – Ubicación de los minerales estratégicos en la tabla de Mendeleyev

En la tabla periódica de Mendeleyev, a la izquierda se puede observar al litio, metal alcalino sumamente liviano, luego aparece el grupo de minerales metálicos y por último a la derecha

al grupo de minerales de transición como el aluminio¹⁴ y el estaño.

14.- Se coloca al aluminio, ya que la bauxita no es un elemento de la tabla periódica sino que está principalmente compuesta por óxido de aluminio Al₂O₃, que luego se refina para obtener alúmina y luego mediante electrólisis se produce aluminio, ya que a diferencia de por ejemplo el oro o de la plata, el aluminio nunca se encuentra en estado puro, debido a su alto grado de reactividad.

1. Análisis de Producción

La siguiente tabla permite comparar la producción de los minerales estratégicos para ALC y la producción de 5 grandes mercados productores / consumidores como son China, Rusia, USA,

Canadá y Australia. Esta comparación permite conocer cuan concentrada está la producción y el consumo.

	MINERAL	mUNDIAL	LAC	BIG 5 (China, Rusia, Canadá, USA, Australia)		Reservas ALC (%)
1	Cobre	20.600.000	45%	9.190.778	21%	4.387.230
2	Litio	100.000	29%	28.700	55%	54.900
3	Plata	24.563.000	48%	11.820.395	24%	5.996.205
4	Molibdeno	250.000	38%	96.218	58%	144.670
5	Níquel	2.510.000	10%	253.562	18%	458.305
6	Bauxita	368.000.000	11%	41.031.357	45%	165.643.249
7	Oro	3.190.000	17%	545.757	33%	1.065.581
8	Estaño	278.000	19%	52.259	37%	102.581
9	Zinc	11.500.000	23%	2.680.234	49%	5.604.401
10	Hierro	3.016.000.000	17%	521.662.000	62%	1.861.222.795

Tabla 12 – Comparativa de producción minera (Elaboración propia en base a USGS 2021)

Para el cobre, la plata y el níquel, la producción de ALC supera el 45% y la producción de estos 5 grandes mercados sumados no supera el 25%, lo que grafica claramente la criticidad para estos

mercados. Lo mismo ocurre con el cobalto, el platino o el iridio, donde los productores son la República Democrática del Congo y Sudáfrica.

MINERAL	PRINCIPAL PRODUCTOR MUNDIAL	PARTICIPACIÓN
Cobre	ALC	45%
Plata	ALC	48%
Níquel	Indonesia	49%
Cobalto	RD Congo	70%
Platino	Sudáfrica	74%
Iridio	Sudáfrica	89%

Tabla 13 – Concentración minera (Elaboración propia en base a USGS 2021)

Para ALC, el cobre y la plata (y en un futuro podría sumarse el litio visto sus reservas) son minerales que le permiten dominar la escena como región sin tener que sostener las tensiones de un monopolio

como los que enfrentan Sudáfrica, Indonesia o el Congo al concentrar una gran proporción de la producción.



OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



IV. HOJA DE RUTA

La transición energética está catapultando la demanda de varios minerales críticos, que será para varios de ellos extremadamente intensiva. Muchos de estos minerales tienen mercados diversificados o no relacionados con el sector energético, como son el níquel o la plata, sin

embargo a medida que avancen los procesos de transición en cada país, la demanda de varios de estos minerales crecerá exponencialmente y los consumos destinados a la transición serán mucho más relevantes.

A. Desafíos

1. Global

La carrera por el suministro de los minerales críticos por parte de los países desarrollados plantea un objetivo central que es asegurar el abastecimiento de minerales críticos para las industrias prioritarias, de manera responsable, sostenible, y económicamente viable sin afectar las cadenas de valor de las industrias asociadas aguas abajo.

Esta meta global, plantea 3 interrogantes o desafíos que el sector minero y la industria deben resolver para no alterar del camino de descarbonización que se está trazando a nivel mundial. Los 3 desafíos están combinados y es vital afrontarlos de manera coordinada. Los desafíos giran en torno a la disponibilidad, a la sostenibilidad, y a la viabilidad.

En primer lugar, es menester contar con disponibilidad de recursos, lo que lanzó la carrera por la exploración de nuevos recursos y la optimización de yacimientos existentes. Los aspectos ligados a la sostenibilidad, son cada día más relevantes ya que aseguran el normal desarrollo de los proyectos. Los proyectos tienen que garantizar en primer lugar que sus niveles de emisiones no tiren por la borda los esfuerzos de descarbonización que se realizan en el otro extremo de la cadena, en segundo lugar que su extracción respete el medioambiente y a las comunidades y haga un uso responsable de los recursos, como por ejemplo el agua. Por último, esta nueva minería que se busca alcanzar, tiene que ser económicamente viable, para los parámetros actuales para no encarecer los productos que dependen de estos minerales. Un primer reto es

contener las fluctuaciones que genera el mismo mercado, por un aumento desproporcionado de la demanda, y que genera automáticamente una disparada en la oferta, y por otro lado, la otra cara del mismo reto es que los nuevos yacimientos que se vayan descubriendo, tengan menor concentración o requieran tecnologías de extracción más avanzadas y más costosas, lo que se traduzca en un costo de extracción y producción más elevado y eso genere la principal causante de un alza de precios.

Para enfrentar este triple desafío que plantear los mercados desarrollados, de asegurar la disponibilidad, sostenibilidad y viabilidad de la extracción de minerales críticos, este proceso se deberá realizar en línea con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

En particular, para el sector extractivo, la sostenibilidad debe como mínimo garantizarse en el ámbito social, ambiental y económico.

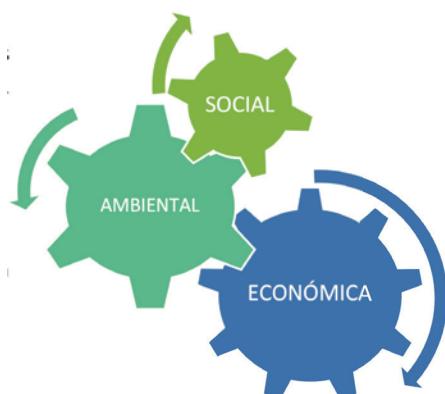


Figura 11 – Principios de Sostenibilidad



Figura 12 – Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Para clasificar los desafíos que se plantean a continuación, es conveniente sumar también la

dimensión normativa y jurídica que agrupa los aspectos de gobernanza.

DESAFÍOS DE SOSTENIBILIDAD SOCIAL

1. Lograr que la minería se integre naturalmente en los territorios y lograr que las comunidades se integren a la cadena de valor, evitando así un potencial desplazamiento.
2. Evitar que con la llegada de los proyectos mineros, se genere un aumento desproporcionado del costo de vida, y eso se traslade en exclusión, pobreza, y migración.
3. Vigilar que la explotación minera no genere migraciones internas que provoquen impactos negativos en la población local, como trabajo infantil, trabajo forzado, prostitución, violencia o acoso contra las mujeres.
4. Mejorar la seguridad de los trabajadores, que en muchos casos enfrentan malas condiciones laborales y riesgos en las minas (accidentes, exposición a sustancias químicas tóxicas, minas inestables)

DESAFÍOS DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL

1. Minimizar el uso de combustibles fósiles que tiene un mayor costo, y más emisiones, fomentando el desarrollo de energías renovables que permitan la incorporación de energía eléctrica sostenible.
2. Reducir las emisiones de la minería de minerales críticos y buscar una minería sostenible con una huella de carbono acotada y controlada, para no trasladar las emisiones de un sector a otro.
3. Lograr que la minería se integre naturalmente al territorio, promoviendo un legado positivo para la naturaleza, minimizando los impactos adversos en la biodiversidad e implementar en la minería los más altos estándares ambientales.
4. Cuidar los recursos naturales como el agua potable y reducir los volúmenes de agua en sus operaciones.

DESAFÍOS DE SOSTENIBILIDAD TECNICO-ECONÓMICA

1. Mejorar el acceso al financiamiento para la actividad minera. Impulsar el conocimiento del sector y la presencia de las bancas locales para mitigar la falta de financiamiento para las PyMES.
2. Conectar las zonas mineras con los principales corredores exportadores, para facilitar la integración de la minería. Desarrollar accesos y rutas.
3. Desarrollar las zonas mineras, con servicios e infraestructura, para generar oportunidades a corto y largo plazo.

DESAFÍOS DE GOBERNANZA

1. Reducir los plazos administrativos para autorizaciones y permisos ambientales.
2. Minimizar los desechos de la actividad de extracción y refinación.
3. Garantizar la redistribución justa de los ingresos por regalías minerales para apoyar el crecimiento socioeconómico e industrial.
4. Evitar que asciendan los niveles de corrupción en los países con importantes reservas y promover la transparencia a nivel regional tanto en el sector público, como en el sector privado.

39

Estos retos para la actividad minera, se suman a los retos estructurales de la región, donde la minería no es la principal causante, pero que puede apoyar a su mitigación. Este estudio no plantea detallar una evaluación completa de la región, solamente puntualizar los principales desafíos que pudieran estar relacionados con la minería.

Existen desafíos estructurales de ALC, en los que el desarrollo de la minería estratégica puede colaborar con su mitigación, también desafíos de la actividad minera metalífera, que aplican por carácter transitivo al desarrollo de los minerales estratégicos y luego desafíos intrínsecos y propios del desarrollo de los minerales estratégicos.

Nuestra región viene sufriendo décadas de bajo crecimiento económico y esto ha provocado que los ingresos fiscales no sean suficientes para compensar esta dinámica económica y atender nuestras urgencias sociales. La pobreza y la desigualdad son las expresiones más nítidas de la situación que viene atravesando América Latina

y el Caribe, situación que se ha visto agravada por la pandemia y la crisis energética global.

La región sigue siendo una de las más desiguales del mundo en términos de distribución de ingresos y acceso a oportunidades. La reducción de la desigualdad económica y social sigue siendo un desafío importante. La búsqueda de un crecimiento económico sostenible es esencial para reducir la pobreza y promover la estabilidad económica en la región.

B. Acciones & Recomendaciones

Para abarcar esa serie de desafíos, se presenta a continuación una serie de Propuestas para el Desarrollo de los Minerales Estratégicos de Latinoamérica y el Caribe (ProDMELAC), que pueden ser aplicadas en su totalidad, de manera parcial y con distintos criterios, según el contexto y el grado de desarrollo de cada país. Este primer listado orientativo se propone como guía para armar una estrategia de desarrollo para los minerales estratégicos.

El conjunto de acciones se reagrupó en 5 ejes temáticos. El primero entorno a los aspectos de SOSTENIBILIDAD SOCIO AMBIENTAL, aspectos como la comunicación, el diálogo, la minería verde son centrales y el reciclaje. El segundo, se establece alrededor de las TRANSICIONES ENERGÉTICAS, ligadas a las energías renovables y al powershoring, a las propuestas de infraestructura necesarias para el desarrollo minero, y a los encadenamientos productivos asociados. El tercer eje de trabajo

está vinculado a la ADECUACIÓN DEL ESTADO, donde se proponen esfuerzos para acelerar la modernización del Estado y sus marcos normativos, el conocimiento del subsuelo y la transparencia. El cuarto eje se estructura en torno a la RECUPERACIÓN ECONÓMICA & FINANCIERA, a la realidad fiscal de los países, y a la factibilidad y rentabilidad de los proyectos. Las propuestas de este grupo incluyen el acceso al financiamiento, la necesidad de inversión, y la coordinación con el sector privado. Por último, en el quinto eje se agrupan las propuestas relacionadas con los avances técnicos, con la TECNOLOGÍA APLICADA a la minería, con la investigación; las acciones directamente asociadas a la diversificación minera, a la minería polimetálica y al agregado de valor en territorio, con el norte en la futura refinación en territorio

40



Figura 13 – Ejes de trabajo

Es clave de todos modos comprender que las acciones propuestas tienen influencia en todas las áreas y no es posible encasillarlas solamente con un aspecto. Se realizó esta clasificación que podría considerarse artificial, con el objeto de

identificar el primer punto en común y de tener que aplicarse, poder agruparlas por ente responsable de llevarlas a cabo.

1. Plan de Acción de Sostenibilidad socio ambiental

a) Comunicación y Diálogo

La escucha multicultural, la comunicación y el diálogo son fundamentales en el desarrollo de la minería, debido al potencial impacto que esta industria puede generar en el medio ambiente y en la sociedad. La escucha activa es el primer paso, incluso antes de comunicar, pues esto ayuda a entender la mirada desde la cultura de los actores locales involucrados (stakeholders) y sus principales preocupaciones, para a partir de esto construir la comunicación y los medios para la misma.

La minería a menudo desencadena debates y controversias debido a los riesgos inherentes de su actividad y al pasado de esta industria. Muchos países han sufrido derrame, degradaciones del medio ambiente, han dejado enormes pasivos ambientales o han sido causantes de desastres ecológicos por malas gestiones. Por lo tanto, los impactos negativos han existido en el pasado y

en la actualidad, cualquier proyecto que quiere obtener y mantener su licencia social, debe poner suma atención en prevenir cualquier incidente de esta naturaleza.

El diálogo permite facilitar la colaboración entre todas las partes interesadas, incluyendo a las comunidades locales, el gobierno, las empresas mineras y grupos ambientalistas. Esto es esencial para prevenir conflictos y promover un desarrollo sostenible al buscar soluciones equitativas. Este diálogo debe iniciarse en una etapa temprana, casi en paralelo con la exploración, para poder acompañar a las comunidades en todos los pasos de la vida del proyecto.

ALC es una región con altos índices de conflictos debido a la minería. Según el Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL), se registraron más de 280 conflictos en las últimas 2 décadas.

41

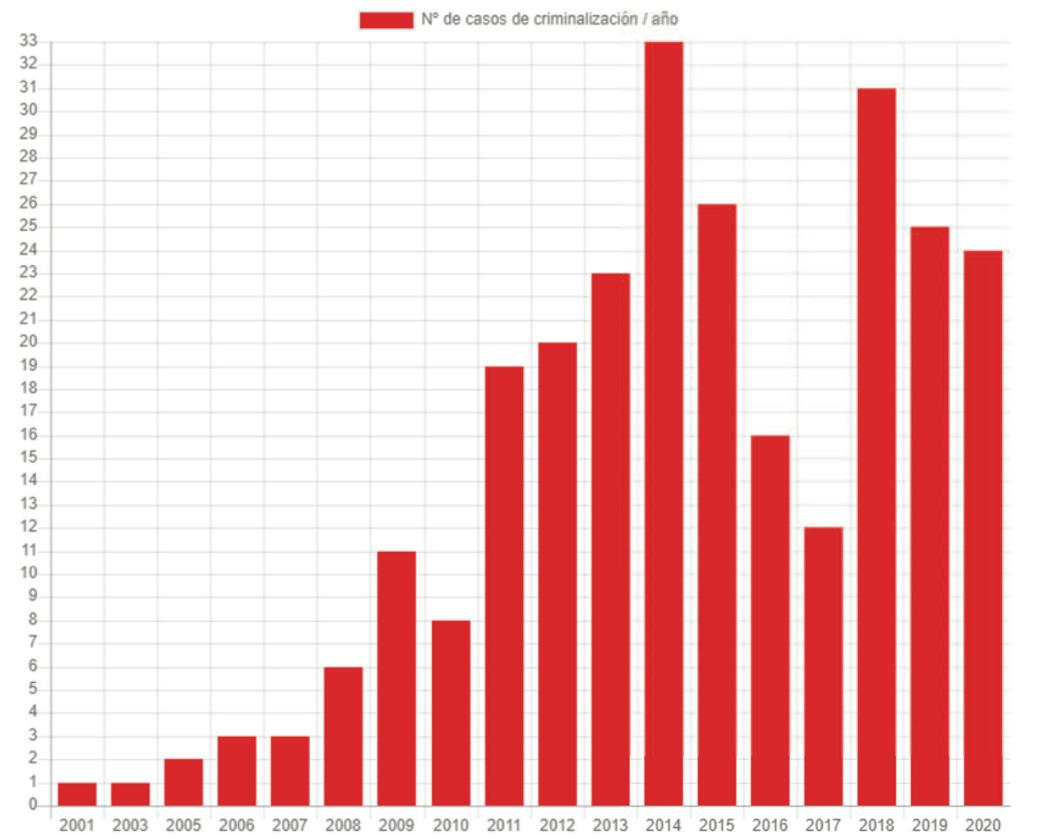


Gráfico 6 - Conflictos mineros en ALC

Estos conflictos suelen estar relacionados con preocupaciones ambientales, distribución desigual de beneficios, ausencia del estado, falta de gobernanza y transparencia, competencia por recursos y cuestiones culturales y territoriales.

La transparencia y la confianza son pilares fundamentales en esta industria. La comunicación abierta y transparente entre todas las partes interesadas contribuye a construir y mantener la confianza. Esto incluye la divulgación de información sobre los proyectos mineros, sus impactos y beneficios, así como los planes de mitigación y responsabilidad social. La transparencia es clave para que las comunidades y la sociedad en general confíen en la gestión de la minería.

Volviendo al diálogo, es esencial para permitir que las comunidades locales y otros grupos expresen sus preocupaciones sobre los impactos negativos de la minería. Esto puede conducir a la implementación de medidas de mitigación y compensación adecuadas para abordar estos problemas y garantizar un desarrollo más sostenible.

42

La comunicación constante entre las partes interesadas puede fomentar la adopción de mejores prácticas en la industria minera, lo que a su vez contribuye a reducir los impactos negativos y a mejorar la gestión ambiental y social. Acompañar a la sociedad civil en su camino de aprendizaje e internalización es vital.

El diálogo a largo plazo puede establecer acuerdos y políticas que beneficien a las empresas mineras, las comunidades locales y el gobierno. Esto evita decisiones impulsivas y promueve una planificación estratégica y sostenible. La sociedad civil debe siempre ser un aliado e impulsor de proyectos, como ocurre en varios territorios de Chile con el cobre. Es finalmente, un ambiente sin sobresaltos sociales ni políticos, un ambiente de diálogo y comunicación eficiente y transparente lo que permite brindar confianza y permite atraer inversiones, ya que los inversores suelen preferir países con un marco regulatorio estable y un ambiente socioambiental propicio para la inversión.

Existen ejemplos de mesas de diálogo y elaboración de planes y consensos, que se han llevado a cabo en la región en los últimos años, que pueden servir de guía, como por ejemplo el GDIAM¹⁵ en Colombia, o el PEDMA¹⁶ en Argentina. La discusión debe girar en torno al modo en que se lleva a cabo la minería y no si el país debe avanzar hacia esta actividad o no. Y para lograr esto, es clave promover un debate amplio e informado sobre la minería y sus impactos para lograr un consenso público y desarrollar políticas equilibradas.

Muchos estudios energéticos e investigaciones académicas, como los que se han citado en este trabajo, presentan escenarios a futuro, modelos y simulaciones con importantes aumentos en la demanda de minerales debido a la incorporación de tecnologías limpias, intensivas en el consumo de minerales críticos, que se deben traducir esa demanda en aumentos similares en el sector de exploración y explotación para evitar cuellos de botellas y ruptura en el abastecimiento de minerales para las industrias. Sin embargo, ¿se ha solicitado con la misma frecuencia y vehemencia con la que aparecen nuevos estudios, la opinión del sector minero privado? Tal vez, una propuesta para aplicar en ALC es conocer el verdadero interés por parte de los grupos mineros, desarrolladores de proyectos. En el punto anterior, cuando se mencionaba a las mesas de diálogo, la participación del sector privado permite calibrar el interés y medir el grado de realidad que puedan tener las proyecciones que se realizan a nivel mundial.

En la misma línea, las cámaras mineras de los países de la región podrían crear un grupo de trabajo o comisión que permita articular los avances del sector, recuperar las sugerencias y recomendaciones para el sector público y consolidar la visión respecto a las acciones a llevar adelante.

Otros países han creado asociaciones de minerales críticos, se podría analizar la conformación de una alianza para ALC de minerales estratégicos para compartir un frente común.

15.- El Grupo de Diálogo sobre Minería en Colombia (GDIAM) está integrado por personas con diversas visiones e intereses en torno al aprovechamiento de los recursos mineros en Colombia, quienes desarrollan una conversación informada y respetuosa desde diversas visiones y con vocación de incidencia pública. Su propósito es el de construir acuerdos sobre cómo la minería contribuye al desarrollo sostenible e incluyente del país, y está orientada por el cuidado de su singularidad ecológica, étnica y cultural, así como la inclusión social, el desarrollo socioeconómico y la construcción de paz.

16.- El PEDMA está compuesto por organismos gubernamentales nacionales y provinciales, organizaciones de la sociedad civil y religiosas, instituciones científicas, sindicatos, empresas y profesionales con el objetivo de convocar a todas las voces a un diálogo abierto para desarrollar una minería inclusiva, competitiva, integrada y ambientalmente sostenible para los próximos 30 años.

b) Minería Sostenible

La minería extrae recursos limitados, consume grandes cantidades de energía en zonas que muchas veces tienen pobreza energética, utiliza grandes cantidades de recursos hídricos en zonas donde muchas veces hay estrés hídrico de manera natural.

La minería verde, también conocida como minería sustentable o minería responsable o minería que genera sostenibilidad se refiere a la práctica de la

extracción de recursos naturales, como minerales y metales, de manera más sostenible y con un menor impacto ambiental y social. Su objetivo es equilibrar la necesidad de obtener estos recursos para satisfacer las demandas de la sociedad con la preservación del medio ambiente y el bienestar de las comunidades locales.

Las características principales de la minería verde incluyen:

- 1.-** Uso eficiente de recursos: La minería verde busca optimizar la utilización de recursos naturales, reduciendo al máximo el consumo de agua y energía en los procesos de extracción y procesamiento.
- 2.-** Reducción de emisiones: Se busca minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes, utilizando tecnologías más limpias y eficientes.
- 3.-** Reclamación de áreas afectadas: Después de la explotación, se llevan a cabo actividades de restauración y rehabilitación para devolver el terreno a su estado original o convertirlo en un espacio útil para la comunidad.
- 4.-** Cumplimiento de normas sociales y laborales: La minería verde se compromete a respetar los derechos de los trabajadores y las comunidades locales, evitando la explotación laboral y garantizando condiciones de trabajo seguras, tanto en la producción, como en toda la cadena de valor.
- 5.-** Fomento de la economía local: La minería verde busca contribuir al desarrollo económico de las regiones donde se lleva a cabo, promoviendo la generación de empleo y la inversión en la comunidad.
- 6.-** El legado para la naturaleza, también llamado (Natura Positive) que se refiere a la mejor gestión de la biodiversidad, al cuidado del ecosistema y especies endémicas.
- 7.-** Transparencia y rendición de cuentas: Las empresas que practican la minería verde suelen ser transparentes en sus operaciones y están dispuestas a ser responsables de cualquier impacto negativo que puedan tener en el medio ambiente o las comunidades locales.

En resumen, la minería verde busca ser una alternativa más sostenible y responsable en comparación con las prácticas tradicionales de minería, con el objetivo de minimizar los efectos adversos en el entorno natural y social. El objetivo entonces es analizar distintos enfoques en los países de la región para lograr implementar estos conceptos en la minería de minerales estratégicos.

El agua

Para tener una dimensión, la extracción de oro requiere cerca de 1.000 litros por gramo. Sin embargo, en estos procesos, el agua se puede reutilizar, lo que cambia radicalmente la ecuación. El consumo de agua para la minería es uno de los puntos en los que la región aún puede mejorar. En Argentina, la minería consume solamente el 1% del agua del país, comparada con la agricultura que consume a nivel mundial cerca del 70% del agua disponible.

Aquí también, el sector privado puede colaborar de forma ejemplar, implementando estándares internacionales superiores a los requerimientos

establecidos por los países. Además, esta decisión estratégica, le permitiría reforzar los vínculos con la sociedad civil y trabajar los ejes de transparencia. Como se puede ver, las acciones no son silos estancos, sino que muchas de ellas están interconectadas y la aplicación de varias de ellas en simultáneo genera un círculo virtuoso de desarrollo y crecimiento económico y socioambiental.

Emisiones

44

Según el gobierno de Chile, durante el año 2021 se registraron emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por un total de 17.016 KtCO₂ equivalentes, de las cuales el 34% corresponde a la extracción de cobre. Estas emisiones totales, se puede distribuir en emisiones directas, que representan el 37,1% y 62,9% del total las emisiones indirectas. Esto muestra la importancia de realizar un seguimiento de la huella de carbono y la importancia de concentrarse en todas las emisiones, no solamente las directas.

Las emisiones de directas o de alcance 1, son las producidas por quema de combustibles por parte del emisor. Las emisiones indirectas, incluyen las de alcance 2 que son generadas por la electricidad consumida y comprada por el emisor y las de alcance 3 que aquellas que provienen de

la cadena de valor de una minera y no están bajo el control de esta.

Al estudiar cuales son las acciones que se deben implementar para mitigar estas emisiones, un foco de atención se debe dirigir a la matriz de generación eléctrica. Al reducir la capacidad térmica e incrementar la potencia renovable, toda la industria, la minería incluida, reduce sus emisiones. Y esto nuevamente se debe analizar como una oportunidad. La minería, al ser energointensiva, y al haber un consenso mundial en reducir las emisiones, más minería, requiere más potencia renovable en las matrices de los países productores y exportadores.

Otros ejes

sobre los cuales la minería sostenible se apoya y sobre los cuales se profundizará más adelante en este trabajo son los aspectos sociales, los

relacionados al uso y restitución del suelo, los encadenamientos productivos y la transparencia

c) Reciclaje

El reciclaje como técnica o sistema, existe hace décadas, sin embargo lograr que el reciclaje sea escalable, ahí reside la cuestión primordial. Dicho esto, una meta es alcanzar los más latos niveles posibles de reciclaje, sin embargo eso solamente reducirá y no eliminará la necesidad de proseguir con la inversión en producción.

A diferencia de otros recursos no renovables como los hidrocarburos, cuyo aprovechamiento es de naturaleza irreversible al tratarse de una combustión que además genera CO₂, los procesos de industrialización y empleo de los minerales, en la mayoría de los casos mantienen intacta su composición, no generan CO₂ durante su vida útil (si durante su reciclaje, refinación y fabricación) y mediante un sistema de reciclaje adecuado pueden recuperarse en gran parte y reutilizarse en un nuevo ciclo.

Las preguntas a realizarse para diseñar una estrategia de reciclaje para ALC son:

1. ¿Cuánto se puede reciclar de manera sostenible en mi región?
2. ¿Qué rol puede jugar el reciclaje en cada mineral el reciclaje?
3. ¿Cuáles son los primeros pasos que se deben implementar para poder reciclar en un futuro?

El reciclaje como concepto circular, debe ser planteado y plasmado al inicio, junto al diseño del proyecto de exploración y producción minera, ya que es un componente clave en la reutilización de recursos, en los procesos y se alinea con los objetivos sostenibles de los fondos verdes de financiamiento.

45

Mineral	% Reciclaje
Cobre	30%
Litio	0%
Plata	> 20%
Molibdeno	ND
Níquel	ND
Bauxita	50% (aluminio en europa)
Oro	5%
Estaño	ND
Zinc	ND
Hierro	40% (Acero)

Tabla 14 - Tasa de reciclaje actual

Según las estimaciones del Banco Mundial, para el año 2050 se requerirán más de 3.000 millones de toneladas de metales y minerales para cumplir con los objetivos de la COP de París. Además de ser una obligación moral y ética de la sociedad y de la industria, , el reciclaje no deja de ser un

gran negocio. Solamente en Estados Unidos, el precio la chatarra representaría 32.000 millones de dólares.

EL CASO DEL COBRE

A medida que la conciencia sobre la sostenibilidad aumenta, el cobre se destaca por ser un material altamente reciclable, ya que el cobre se puede reciclar infinitamente sin perder sus propiedades y el cobre obtenido es de la misma calidad que el extraído y refinado en origen. El reciclaje del cobre es la fuente secundaria de obtención de este mineral y se trata de una práctica común y eficiente que reduce la necesidad de extraer nuevos recursos y minimiza el impacto ambiental asociado con la minería.

Según el último informe de la ICA en 2023, en base a una investigación de McKinsey, durante los últimos 20 años, el reciclaje del cobre se mantuvo en valores promedio cercanos al 15% y se estima que durante los próximos 30 años, este valor pueda ascender al 23% y tocar un máximo de 25%, lo que podría representar hasta 3 millones de toneladas de cobre que se evitarían de extraer.

Recomendaciones

46

Además de contar con la voluntad, hay una serie de medidas, que sumadas a la factibilidad técnica y económica, pueden simplificar el desarrollo de esta actividad en el corto y mediano plazo. Estas medidas exceden al sector minero, pero eso no implica que no deban ser mencionadas en este informe, ya que su implementación podría tener un impacto directo en las necesidades de extracción de metales.

Por un lado se debe trabajar en el diseño de los productos y componentes. El diseño debe asegurar el proceso de reciclado y recuperación de los metales que están presentes en los diferentes componentes. La necesidad de maximizar la recuperación de materiales en los productos al final de su vida útil debe asumirse como una prioridad para los nuevos dispositivos que sean fabricados.

Si se pudiera contar con ciertos componentes estandarizados, y se pusieran en práctica mesas de discusión o líneas de comunicación entre fabricantes y sistemas de reciclado, se podría optimizar la recuperación de metales. Una gran dificultad reside en el desconocimiento, y la ausencia de etiquetado y estandarización.

También se podrían aplicar porcentajes de reciclado obligatorio, así como se incorporó un porcentaje de biocombustible en el corte. Todas estas son medidas que exceden al sector, como se mencionó, pero que la minería como grupo debería apoyar e impulsar.

2. Plan de Acción de Transiciones Energéticas

a) Energía & Powershoring

La energía sostenible, sin emisiones, limpia y competitiva será uno de los factores diferenciales a la hora de relocalizar las industrias energointensivas. De ponerse en marcha un sistema de impuestos al carbono, las industrias de los países con altas emisiones se verán perjudicadas, ya que sus productos tendrán más trabas debido a este impuesto. Por otro lado, los países con matrices eléctricas renovables, contarán con un gran incentivo para atraer nuevas industrias. A continuación, la penetración de energías limpias en las matrices de ALC.

Sin embargo, este dato, sin valores absolutos refleja solamente una cara de las necesidades,

es clave comprender también ese porcentaje, cuanta energía representa y que margen tiene para incorporar grandes usuarios, grandes consumos. Por lo tanto, es clave contar con el valor de potencia renovable por país en la región. Claramente el líder por varios cuerpos es Brasil, seguido por México y el top 5 lo cierran Venezuela, Argentina y Chile.

47

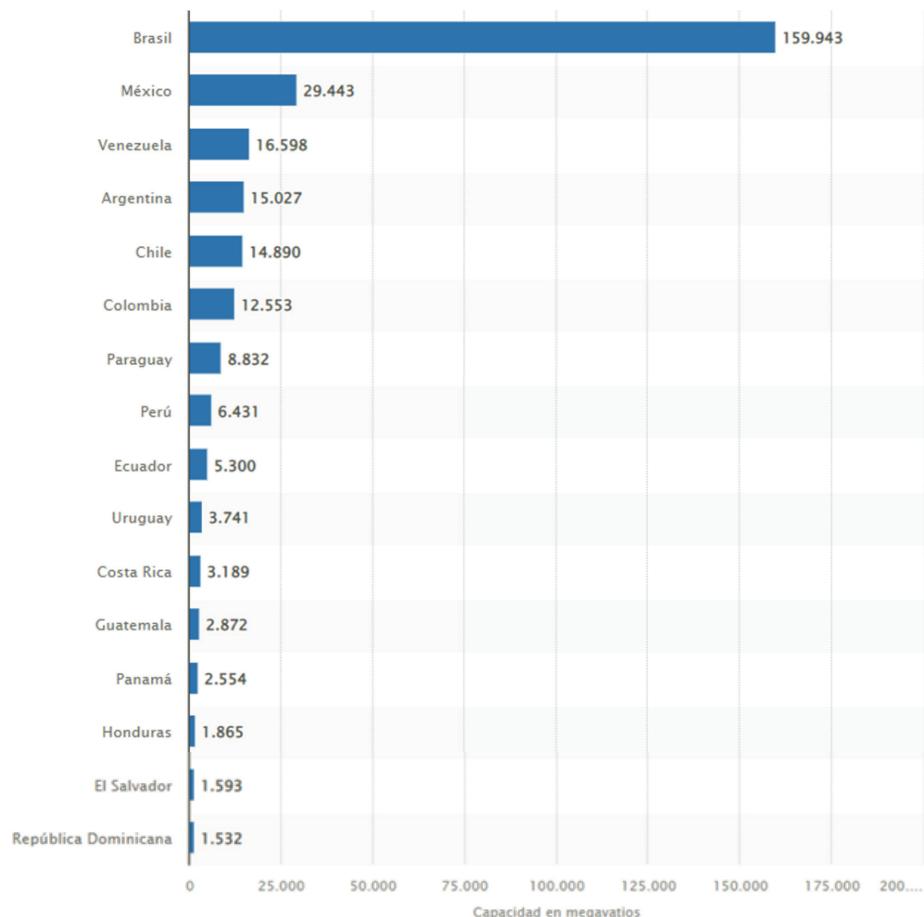


Gráfico 7 - Capacidad renovables instalada (incluyendo hidroeléctrica)

Por último, cruzamos este cuadro con el porcentaje de esta potencia renovable que corresponde a la hidroeléctrica, ya que si bien es el pilar renovable sobre el que las matrices del mundo y en particular ALC descansan (con algunas excepciones en centro américa), es importante aclarar que con los eventos climáticos de las últimas décadas, la tecnología hidroeléctrica ha perjudicada, modificando los patrones de agua y afectando la generación eléctrica de varios países y poniendo en riesgo la confiabilidad del sistema eléctrico.

China concentra más del 50% de la refinación de los minerales críticos del mundo, con 2 grandes desafíos en el futuro cercano, reducir las

emisiones de sus plantas y minimizar el riesgo de desabastecimiento para Europa y USA, ya que estos últimos redoblarán esfuerzos para evitar la extrema dependencia.

En este contexto, la posibilidad para ALC, contando con energía limpia y a precios accesibles de poder de manera progresiva avanzar con la cadena productiva en su territorio cobra más fuerza.

3. Plan de Acción para la Actualización del Estado

a) Modernización del Estado

48

La regulación del sector minero por parte del Estado es un tema amplio y delicado. Este trabajo no busca pronunciarse, respecto a los caminos que deben transitar los países para mejorar las condiciones para el desarrollo de esta actividad. Cada país traza su mapa de acciones en esta materia en función de sus convicciones y hasta se puede realizar caso por caso, mineral por mineral, siendo varios de ellos considerados indispensables para su propio desarrollo.

Para exemplificar esta postura, tenemos el caso de la Estrategia Nacional del Litio en Chile donde el objetivo es aumentar las riquezas para el país, desarrollando una industria clave como paso fundamental para vincular el desarrollo económico de Chile con el cambio hacia una economía verde a nivel global. Este documento no busca estudiar estas Estrategias, sino proponer acciones que, independiente de las políticas públicas sobre la actividad minera, le permitan optimizar el desarrollo de la misma.

La optimización en materia de administración (ventanilla única), fomento, fiscalización y transparencia son algunos de esos pilares, esenciales para atraer inversión y garantizar una minería responsable.

La agilidad del Estado en todos sus niveles (nacional y regional) y en todas sus etapas le permite

efectivizar su seguimiento de compromisos de inversión y fiscalización, y a su vez, estas nuevas acciones le permiten potenciar la generación de confianza en territorio.

Sin embargo, no hay que caer en conclusiones simplistas ni en soluciones mágicas. La modernización del Estado permitiría reducir los plazos de los trámites administrativos, integrar la información, optimizar la fiscalización, y por ende la recaudación, generar un clima necesario para atraer inversiones, pero no será solamente con este pilar que se conseguirá cambiar el paradigma minero en la región.

El fomento de la actividad minera, sobre todo con las PyMES se puede llevar adelante con la implementación de fondos de fomento o con la creación de un ente ejecutivo que, además de trabajar en conjunto con el sector público y tener presencia en el territorio, tenga la capacidad de colaborar con el sector privado para identificar y establecer conexiones productivas, generando valor en todas las etapas del proceso minero. Los objetivos centrales son la formación y capacitación en la industria minera, empleando asesoramiento técnico como herramienta fundamental, el fortalecimiento del desarrollo empresarial, buscando un crecimiento sostenido, la inclusión financiera del sector, proporcionando el respaldo financiero necesario para sus proyectos. Además,

la implementación de un esquema de fomento permitirá mejorar sustancialmente las condiciones de comercialización y en asegurar la trazabilidad de todas las transacciones legales.

b) Exploración de Recursos

El conocimiento geológico del subsuelo de ALC tiene aún mucho potencial por descubrir. El objetivo de varios servicios geológicos de la región es alcanzar un inventario completo de los recursos minerales disponibles para comprender

su valor y potencial, y planificar una estrategia de desarrollo acorde. Enfocando esta acción para los minerales estratégicos, se podría priorizar la exploración y mapeo de los siguientes minerales estratégicos (A: Alta ; M: Media)

MEMBER	COBRE	LITIO	PLATA	MOLIBDENO	NÍQUEL	ORO	ESTAÑO	BAUXITA	ZINC	HIERRO	OTRO
Argentina	H	H	M	M	H	M	M	M	M	M	
Barbados											
Belice											
Bolivia		H	H				H		H		
Brasil	H	M			M		H	H	H	M	TIERRAS RARAS
Chile	H	H	M	H	M				M	M	
Colombia	H		M		H	H					
Costa Rica						H		M			COBALTO
Cuba	H				H						
Ecuador	H		H			H					
El Salvador	M		H			H					
Grenada											
Guatemala		H			H		M		M		
Guyana						H		H			
Haití	M										
Honduras		H				H			H		
Jamaica							H				
México	H		H						H	M	
Nicaragua	M		H			H					
Panamá	M		M			H					
Paraguay										H	
Perú	H		H				H		H	M	
Rep. Dominicana					H	H		H			
Surinam					H		H				
Trinidad y Tobago											
Uruguay										M	
Venezuela							M	H		H	

Tabla 15 - Exploración y mapeo de minerales estratégicos – Elaboración propia

4. Plan de Acción de Recuperación Económica & Financiera

a) Inversiones & Acceso al financiamiento

Concentrarse en los grandes proyectos mineros o minas de mayor envergadura es una estrategia que busca maximizar el impacto económico y aprovechar de manera eficiente los recursos disponibles en la industria minera.

Los grandes proyectos mineros, debido a su escala y producción, tienden a generar un impacto económico más sustancial en comparación con proyectos más pequeños. Estos proyectos pueden contribuir de manera significativa al PIB de los países de la región, generar empleos a gran escala y aportar considerables ingresos fiscales a través de regalías y otros impuestos. Es evidente que los proyectos mineros a gran escala pueden aprovechar economías de escala, lo que significa que los costos por unidad de producción tienden a ser más bajos. Esto se traduce en una mayor eficiencia operativa y, en última instancia, en la posibilidad de obtener mayores beneficios económicos.

Cuando en la región, se avanza con proyecto de envergadura, parte de los recursos se implementan en la zona de influencia del proyecto dependiendo igual de las reglas de cada país. Los grandes proyectos mineros a menudo requieren inversiones sustanciales en infraestructura, como carreteras, ferrocarriles, puertos y energía. Estas inversiones pueden impulsar el desarrollo de la infraestructura básica en áreas remotas y beneficiar a otras industrias y comunidades.

La inversión es crucial para el desarrollo de la industria minera, y es una prioridad constante, ya que es el motor que le permite al sector un crecimiento económico sostenible y la generación de empleo genuino.

50

5. Plan de Acción de Tecnología Aplicada

La investigación, el desarrollo, la innovación y la transferencia de tecnología en el ámbito de la industria minera son factores determinantes a la hora de potenciar su crecimiento.

a) Investigación y Tecnología

La investigación, el desarrollo, la innovación y la transferencia de tecnología en el ámbito de la industria minera son factores determinantes a la hora de potenciar su crecimiento. Otro pilar a explorar es la promoción de fondos para el

pilotaje de soluciones innovadoras que permitan reducir costos e incorporar conocimiento y valor en la cadena de suministro.

b) Minería Polimetálica

La minería polimetálica es aquella que no produce un solo mineral sino que cuentan con depósitos multimetálicos que obligan a la explotación simultánea de dos o más minerales para rentabilizar el proyecto y hasta en otros

casos también abre nuevas oportunidades para la reutilización de relaves. Con la demanda en constante crecimiento y los precios también en alza, una opción que los países deben evaluar en la minería polimetálica, es la

maximización de la extracción de subproductos. La principal fuente de obtención del Indio, uno de los minerales críticos presente en la mayor cantidad de listados, es a partir de las minas

de zinc. La plata por lo general se extrae como complemento de otro mineral, como por ejemplo el oro o el cobre.

Mineral Principal	Subproducto
Cobre	Molibdeno
Zinc	Indio
Bauxita	Galio
Níquel	Cobalto

Tabla 16 - Ejemplos de subproductos en la minería

La minería polimetálica es más compleja y con costos de extracción y procesamientos más elevados y también requiere inversiones adicionales en tecnología y equipos especializados, y puede generar riesgo de contaminación cruzada. Por último, es más compleja la gestión de residuos y desechos.

Sin embargo, una mina con diversos minerales es más resiliente a las fluctuaciones en los precios de los metales. La minería polimetálica genera ingresos más estables y diversos, ya que se extraen varios minerales de valor en lugar de depender exclusivamente de uno. Esto ayuda a mitigar los riesgos asociados con la volatilidad de los precios de los metales. Además, al extraer múltiples minerales de un solo yacimiento,

se maximiza el uso eficiente de los recursos geológicos disponibles, y permite en épocas en las que los minerales representan uno de los puntos más críticos para el desarrollo de las tecnologías de transición, la posibilidad de optimizar los yacimientos es de gran ayuda.

El siguiente esquema elaborado por Nasar (2015) presenta la relación entre el mineral principal y los subproductos que refuerza el concepto apenas presentado y la importancia de diversificar y optimizar la producción y obtención diversa de minerales.

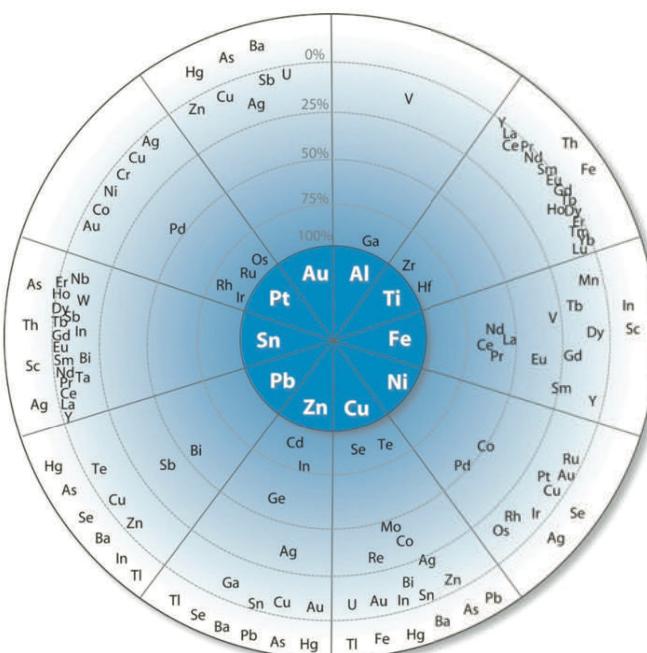


Figura 14 – Asociación de minerales y subproductos

(Fuente: Nedal Nassar 2015 - By-product metals are technologically essential but have problematic supply)

Los principales minerales forman el círculo interior. Los subproductos aparecen en el círculo exterior a distancias proporcionales al porcentaje de su producción primaria. Los subproductos en la región blanca del círculo exterior son metales para

los cuales no se ha determinado el porcentaje de su producción.

C. Próximos pasos

Identificar el problema, contar con un diagnóstico y una hoja de ruta es siempre el primer paso. Son las primeras herramientas, que en ausencia de una implementación progresiva y adecuada para

cada país y para cada contexto no son más que herramientas en un cajón.



Figura 15 – Acciones y Recomendaciones

Es clave aprovechar el cambio que está viviendo el sector energético, con la evolución hacia la sostenibilidad en casi todos los planes y su creciente demanda de minerales estratégicos para poder adaptar el conjunto de propuestas presentas en este trabajo. Esta implementación le permitiría a los países de la región capitalizar esta oportunidad y poner en marcha un programa, que deberá ser aterrizado según su contexto, sus recursos, adaptado al momento que está atravesando la región y cada uno de sus estados miembro.

Por último, si bien ninguna actividad extractiva o industrial en soledad y sin articulación puede ser la salvadora en materia de crecimiento y desarrollo, ni tampoco podrá resolver todos los problemas estructurales de ALC como la pobreza, inclusión

social o redistribución de la riqueza, la minería puede colaborar con esa meta, poniendo sobre la mesa sólidos argumentos ya que cuenta, como se ha descripto con anterioridad, con recursos, con reservas, con una historia y tradición minera, con una sólida producción actual, y con las proyecciones de crecimiento de las tecnologías verdes, que pronostican un buen augurio para esta actividad y permiten confirmar que, la minería seguirá siendo uno de los principales motores de las economías de ALC, con más empuje durante la próxima década.



GLOSARIO

Al: Aluminio

Ag: Plata

AR: Argentina

Au: Oro

ALC: América Latina y el Caribe

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

BM: Banco Mundial (WB por sus siglas en inglés)

BR: Brasil

BO: Bolivia

CAPEX: Inversión en Capital

CEPAL: Comisión Económica Para América Latina

CH: Chile

Co: Cobre

Codelco:

COCHILCO: Comisión Chilena del Cobre

ESMAP: Energy Sector Management Assistance Program (Programa de energía de la ONU)

ETR: Elemento de Tierras Raras

Fe: Hierro

FNCER: Fuentes No Convencionales de Energías Renovables

GEC: Global Energy and Climate Model

IRENA: International Renewable Energy Agency (por sus siglas en inglés)

LAT: Línea de Alta Tensión (132KV o superior)

Li: Litio

Mb: Molibdeno

ME: México

MEM: Mercado de Energía Mayorista

MWe: Mega Watt eléctricos

NDC: Contribuciones Determinadas a nivel Nacional

Ni: Níquel

OG: Organismos Multilaterales (BID, CAF, BM, JICA entre otros)

OLADE: Organización Latinoamericana de Energía

ONU: Organización de las Naciones Unidas

OPEX: Gasto Operativo

PPA: Contrato de venta de energía (del inglés Power Purchase Agreement)

PRODMELAC: Propuestas para el Desarrollo de Minerales Estratégicos de América Latina y el Caribe

SIN: Sistema Interconectado

SE: Secretaría de Energía

Sn: Estaño

START: 5 Ejes de trabajo que encuadran el desarrollo de minerales estratégicos en ALC.

(1) Sostenibilidad Social y Ambiental, (2) Transiciones Energéticas Justas, (3) Actualización y Modernización del Estado, (4) Reactivación Económica y Financiera, (4) Tecnología Aplicada

TIR: Tasa Interna de Retorno

Zn: Zinc

FIGURAS

Figura 1 – Minerales Críticos

Figura 2 – Ubicación de los minerales críticos en la tabla periódica

Figura 3 – Principales usos del Cobre – Elaboración en base a investigación propia

Figura 4 - Países Productores de Litio

Figura 5 – Principales usos del Litio (Elaboración propia con datos IEA (2021))

Figura 6 - Principales usos de la plata (Elaboración en base al World Silver Survey 2023)

Figura 7 – Origen minero de la plata

Figura 8 - Principales características del níquel

Figura 9 – Principales usos de los elementos de tierras raras (Elaboración propia)

Figura 10 – Ubicación de los minerales estratégicos en la tabla de Mendeleyev

Figura 11 – Principios de Sostenibilidad

Figura 12 – Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Figura 13 – Ejes de trabajo

Figura 14 – Asociación de minerales y subproductos

Figura 15 – Acciones y Recomendaciones

55

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Proyección de demanda (Elaboración en base a IEA 2021)

Gráfico 2 – Aumento de demanda minera (Elaboración en base a IEA 2021)

Gráfico 3 – Usos y Aplicaciones de los Minerales Críticos (Elaboración propia)

Gráfico 4 – Intensidad media en la nueva capacidad de generación (en base a IEA)

Gráfico 5 - Proyección del crecimiento de la electromovilidad (Fuente: Bloomberg NEF)

Gráfico 6 - Conflictos mineros en ALC

Gráfico 7 - Capacidad renovables instalada (incluyendo hidroeléctrica)

MAPAS

Mapa 1 - Producción de Cobre

Mapa 2 - Producción de Litio

Mapa 3 – Producción de Plata

Mapa 4 - Producción de Molibdeno

Mapa 5 - Producción del Níquel

Mapa 6 - Producción del Bauxita

Mapa 7 - Producción del Oro

Mapa 8 - Producción del Estaño

Mapa 9 - Producción de Zinc

Mapa 10 - Producción de Hierro

TABLAS

Tabla 1- Concentración de Minerales Críticos por Tecnología

Tabla 2 - Principales usos del Cobre – Elaboración en base a investigación propia

Tabla 3 – Principales usos del níquel

Tabla 4 - Estimaciones Propias en base a los promedios anuales

Tabla 5 - Principales aplicaciones del estaño

Tabla 6 - Principales aplicaciones del estaño

Tabla 7 – Orden de magnitud de la minería metálica

Tabla 8 - Principales países productores (Fuente USGS)

Tabla 9 - Producción en ALC para los 10 minerales estratégicos

Tabla 10 - Criterio de evaluación

Tabla 11 – Conclusión de la evaluación de minerales estratégica para ALC

Tabla 12 – Comparativa de producción minera (Elaboración propia en base a USGS 2021)

Tabla 13 – Concentración minera (Elaboración propia en base a USGS 2021)

Tabla 14 - Tasa de reciclaje actual

Tabla 15 - Exploración y mapeo de minerales estratégicos – Elaboración propia

Tabla 16 - Ejemplos de subproductos en la minería

Tabla 17 – Aplicaciones de los minerales estratégicos

Tabla 18 - Minerales catalogados como críticos

BIBLIOGRAFÍA

A continuación, se presentan algunos de los estudios más relevantes que se han realizado a la fecha y que han servido para construir este documento:

#	Título	Organización	Año	Idioma
1	Critical Material for Energy Transition: Lithium	IRENA	2023	Inglés
2	Critical Minerals Market Review	IEA	2023	Inglés
3	Critical Minerals Outlooks Comparison	IEF	2023	Inglés
4	Critical Minerals Potencial of Brazil	MME Brasil	2023	Inglés
5	Geopolitics of the Energy Transition - Critical Minerals	IRENA	2023	Inglés
6	Inflation Reduction Act - Impact Minerals Report USA	SPGlobal	2023	Inglés
7	Material and Resource Requirements for the Energy Transition	ETC	2023	Inglés
8	Mercado Oro	SE Argentina	2023	Español
9	Mineral Commodity Summaries	USGS	2023	Inglés
10	Minerales Críticos para la Transición Energética - Nota Conceptual	CEPAL	2023	Español
11	Minerales Estratégicos	IEEE	2023	Español
12	Reporte estadístico de la producción chilena de cobre	COCHILCO	2023	Español
13	Precios de los principales Minerales	SE Argentina	2023	Español
14	Raw Materials Critical for the green transition	OECD	2023	Inglés
15	Study on Economic implications of the energy transition (...)	GIZ	2023	Inglés
16	Wolrd Silver Survey	Silver Institute	2023	Inglés
17	Anuario de la minería de Chile	MM Chile	2022	Español
18	Apalancando el crecimiento de la demanda en minerales (...)	IDB	2022	Español
19	Cambios en la demanda de minerales - Cobre y Litio	CEPAL	2022	Español
20	Metales y Minerales Críticos para la Transición Energética	SE Argentina	2022	Español
21	Panorama energético de América Latina y el Caribe	OLADE	2022	Español
22	Cambios en la demanda de minerales - Cobre y Litio	CEPAL	2021	Español
23	Critical Materials for Energy Transition	IRENA	2021	Inglés
24	Minerales y Metales Críticos y Estratégicos	SEGEMAR	2021	Español
25	The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transition	IEA	2021	Inglés
26	Intensidad de materiales en la transición energética de ALC	CEPAL	2020	Español
27	Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the C.E.T.	WB	2020	Inglés
28	Raw materials demand for wind and solar pv technologies	EU	2020	Inglés
29	Requirements for Minerals and Metals	Giurco et al	2019	Inglés
30	Materials critical to the energy industry	BP	2014	Inglés

57

Los estudios más completos, con datos desagregados y que mejor tradujeron las necesidades globales de minerales críticos para encarar las transiciones energéticas de los próximos 30 años a nivel mundial, son los realizados por la IEA, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transition y sus respectivas actualizaciones.

La profundidad de estos documentos respecto a la modelización de escenarios y su correspondencia en cuanto a los requisitos mineros, lo convierten en un documento de consulta fundamental.

ANEXOS

Tabla: Usos y aplicaciones de los principales minerales críticos

2022	Industria Química	Generación Renovable Electrificación	Movilidad Sostenible Almacenamiento	Metalurgia (acero y aleaciones)	Monetarios (acuñar)	Joyería	Soldadura Galvanizado	Electrónica	Multisectorial Construcción	Otros
Cobre		30%	5%	5%				10%	24%	26%
Litio			56%							44%
Plata	30%	20%			20%	15%		10%		5%
Molibdeno				80%						20%
Níquel			5%	80%			10%			5%
Aluminio									100%	
Oro					20%	54%		11%		15%
Estaño	15%			6%			69%			10%
Zinc	6%			24%			50%			15%
Hierro				100%						

Tabla 17 – Aplicaciones de los minerales estratégicos

EVALUACIÓN METODOLÓGICA

1. Criticidad

El primer criterio para priorizar los minerales críticos es la frecuencia con la cual estos minerales son considerados críticos por los distintos mercados, eso es según los listados existentes. Este listado se realizó en base al estudio efectuado por le IEF

y el Paine Institute¹⁷ y tomando los 35 minerales más requeridos. (se aclara que uno de los ítems corresponde al conjunto de los Elementos de Tierras Raras (ETR) para no listar a los 17 que conforman este grupo).

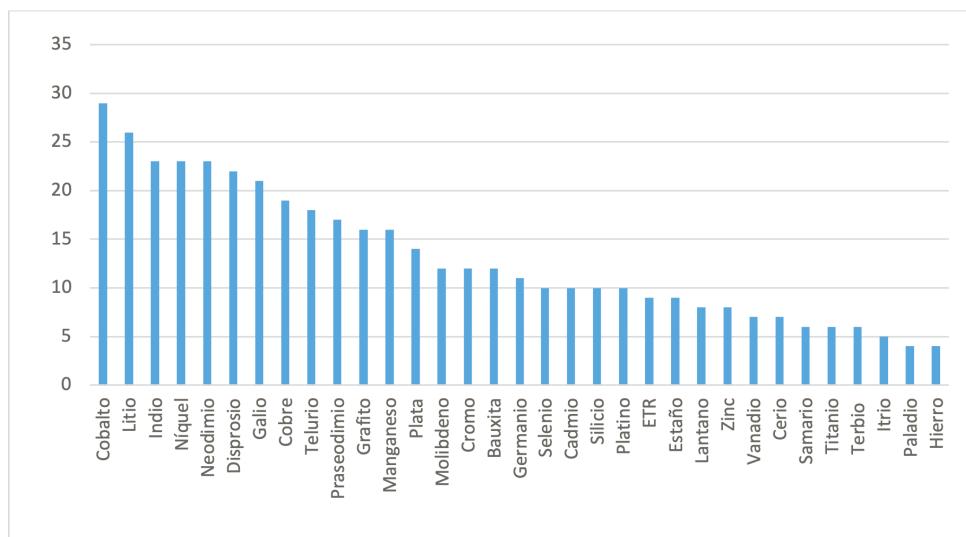


Tabla 18 - Minerales catalogados como críticos

59

Tomando un criterio de evaluación lineal, se pueden clasificar los minerales como sigue, según su presencia en los listados:

VALORACIÓN	CRITERIO (Cantidad de Listados)	PUNTAJE
Muy Alta	> 20	5
Alta	> 15	4
Media	> 10	3
Baja	> 5	2
Muy baja	< 5	1

La clasificación no representa la necesidad de estos minerales, sino la dificultad para adquirirlos, tal como fuera abordado en capítulo II. Así pues, el hierro y la bauxita siendo los pilares de la industria metalúrgica mundial, no suelen ser considerados

críticos por la mayoría de los mercados, ya que su abastecimiento no es crítico, y si lo son los ETR.

De este modo, este primer criterio ofrece la siguiente clasificación:

MINERAL	LISTADOS	VALORACIÓN	PUNTAJE
COBALTO	29	Muy Alta	5
LITIO	26	Muy Alta	5
INDIO (ETR)	23	Muy Alta	5
NÍQUEL	23	Muy Alta	5
NEODIMIO (ETR)	23	Muy Alta	5
DISPROSIO (ETR)	22	Muy Alta	5
GALIO	21	Muy Alta	5
COBRE	19	Alta	4
TELURIO	18	Alta	4
PRASEODIMIO (ETR)	17	Alta	4
GRAFITO	16	Alta	4
MANGANESO	16	Alta	4
PLATA	14	Media	3
MOLIBDENO	12	Media	3
CROMO	12	Media	3
BAUXITA	12	Media	3
GERMANIO	11	Media	3
SELENIO	10	Media	3
CADMIO	10	Media	3
SILICIO	10	Media	3
PLATINO	10	Media	3
ETR	9	Baja	2
ESTAÑO	9	Baja	2
LANTANO (ETR)	8	Baja	2
ZINC	8	Baja	2
VANADIO	7	Baja	2
CERIO (ETR)	7	Baja	2
SAMARIO (ETR)	6	Baja	2
TITANIO	6	Baja	2
TERBIO (ETR)	6	Baja	2
ITRIO (ETR)	5	Muy Baja	1
PALADIO	4	Muy Baja	1
HIERRO	4	Muy Baja	1
ORO	3	Muy Baja	1
PLOMO	3	Muy Baja	1

2. Evaluación de la producción

En segundo lugar, se mide la producción de los minerales que produce ALC y su respectiva participación en el mercado minero mundial. En este caso, el valor absoluto de extracción no es tan relevante como su relevancia a nivel global.

ALC produce el 6% del PBI mundial¹⁸, por lo tanto se puede medir la producción minera respecto a

esa participación para evaluar su impacto en las economías nacionales, teniendo en cuenta que la región es hoy en día una región productora y exportadora de materia prima. El criterio lineal propuesto es el siguiente:

VALORACIÓN	CRITERIO (ALC vs Mundo)	PUNTAJE
Muy Alta	> 25%	5
Alta	> 20%	4
Media	> 10%	3
Baja	> 5%	2
Muy baja	< 5%	1

En base a este criterio, y junto a los datos de producción obtenidos de los reportes nacionales más los servicios geológicos británicos y de los Estados Unidos de norte América (BGS y USGS respectivamente), se confeccionó la tabla siguiente:

MINERAL	PRODUCCIÓN DE ALC (Miles de tons)	Producción MUNDIAL (Miles de tons)	PARTICIPACIÓN DE ALC	VALORACIÓN	PUNTAJE
Plata	12	25	47%	Muy Alta	5
Cobre	8.984	20.546	44%	Muy Alta	5
Molibdeno	96	250	38%	Muy Alta	5
Manganoso	6.300	20.000	32%	Muy Alta	5
Litio	29	108	27%	Muy Alta	5
Zinc	2.676	11.500	23%	Alta	4
Estaño	62	278	22%	Alta	4
Hierro	517.169	3.018.000	17%	Media	3
Oro	1	3	17%	Media	3
Plomo	610	4.500	14%	Media	3
Bauxita	41.031	368.000	11%	Media	3
Níquel	254	2.510	10%	Media	3
Grafito	96	1.000	10%	Media	3
Indio	0,06	0,9	6%	Baja	2
Cobalto	4	190	2%	Muy baja	1
Cromo	7	41.000	<1%	Muy baja	1
ETR	< 0,1	<1	<1%	Muy baja	1

NOTA: Para estos reportes se utilizaron las siguientes fuentes:

- Mineral Commodity Summaries – USGS 2023
- Anuario de la minería de Chile 2022 – SERNAGEOMIN 2023
- Metales y Minerales críticos para la transición energética – SE Argentina 2022

3. Evaluación de las reservas

Al momento de evaluar las reservas mineras existentes en ALC, se aplica el mismo criterio al de la producción, ya que se considera que es más

importante la participación que el valor absoluto de dichas reservas.

VALORACIÓN	CRITERIO (ALC vs Mundo)	PUNTAJE
Muy Alta	> 25%	5
Alta	> 20%	4
Media	> 10%	3
Baja	> 5%	2
Muy baja	< 5%	1

No obstante, la evaluación sea similar, los resultados presentan ciertas diferencias, como se aprecia en la tabla a continuación:

MINERAL	RESERVAS DE ALC (Miles de tons)	RESERVAS MUNDIALES (Miles de tons)	PARTICIPACIÓN DE ALC	VALORACIÓN	PUNTAJE
Litio	10	17	61%	Muy Alta	5
Cobre	399.420	890.000	45%	Muy Alta	5
Molibdeno	4.240	11.144	38%	Muy Alta	5
Plata	190	550	34%	Muy Alta	5
Oro	14	53	27%	Muy Alta	5
Grafito	77.138	323.138	24%	Alta	4
Plomo	12.500	54.100	23%	Alta	5
Estaño	970	4.600	21%	Alta	6
Hierro	16.200.000	85.000.000	19%	Media	3
Manganoso	275.440	1.490.440	18%	Media	3
Níquel	16.010	87.680	18%	Media	3
Zinc	36.000	210.000	17%	Media	3
Bauxita	4.700.000	31.000.000	15%	Media	3
Cobalto	5	7.000	<1%	Muy baja	1
Cromo	1	560.000	<1%	Muy baja	1
ETR	N/D	N/D	<1%	Muy baja	1
Indio	N/D	No especificado	<1%	Muy baja	1

4. Evaluación de mercados

Por último, un criterio que abarcase el volumen del negocio de cada mineral era fundamental para entender la dimensión, el tamaño que representa cada uno en la minería metalífera, donde el cobre, el hierro y el oro, juntos representan más de dos tercios de la minería metalífera.

Para estimar estos valores, en este trabajo se

estimaron promedios del precio de mercado de la onza o tonelada (según corresponda) y se multiplicó por el volumen comercializado. Existen publicaciones que arrojan valores levemente diferentes, pero para el objetivo de este criterio, lo más importante era el orden de magnitud, para poder comparar los distintos tamaños de mercados entre sí.

MERCADO (M\$)	VALORACIÓN	Puntaje
> 100.000	Muy Alta	5
>20.000	Alta	4
>10.000	Media	3
>5.000	Bajo	2
<5.000	Muy bajo	1

El mercado regional de minerales críticos es alrededor de US\$ 180.000 millones, esto es el 25% del mercado mundial¹⁹. Los principales minerales son el cobre (US\$ 70.000 millones de dólares), el mineral de hierro (US\$ 50.000 millones de dólares), el oro (US\$ 30.000 millones

de dólares) y la plata (US\$ 10.000 millones de dólares). De este modo, tomando los principales minerales producidos por ALC y en función del siguiente cuadro de clasificación, se armó la tabla de evaluación.

63

MINERAL	MERCADO (millones de US\$)	VALORACIÓN	PUNTAJE
Cobre	180.802	Muy Importante	5
Hierro	181.080	Muy Importante	5
Oro	162.032	Muy Importante	5
Níquel	37.650	Importante	4
Manganoso	30.000	Importante	4
Zinc	26.450	Importante	4
Bauxita	22.080	Importante	4
Plata	21.660	Importante	4
Cromo	14.350	Mediano	3
Plomo	12.100	Mediano	3
Cobalto	11.400	Mediano	3
Litio	11.000	Mediano	3
Estaño	6.950	Pequeño	2
ETR	6.000	Pequeño	2
Molibdeno	5.960	Pequeño	2
Grafito	5.000	Pequeño	2
Indio	450	Muy pequeño	1
TOTAL	734.964		

19.- Estimando la producción de ALC para cada mineral y tomando el porcentaje para calcular la cuota de mercado

DESAFÍOS & RIESGOS

La minería en nuestra región presenta una serie de riesgos y desafíos. La tabla siguiente sirvió de lluvia de ideas para construir los retos y desafíos presentes en este documento.

RIESGOS IDENTIFICADOS	DESAFÍOS
COMUNIDADES DESPLAZADAS	Lograr que la minería se integre naturalmente en los territorios sin desplazar ni a las comunidades, ni al ecosistema o especies en peligro de extinción.
ACCESO AL FINANCIAMIENTO	Dificultad de acceder a financiamiento sin sobretasas en la región. Muchas veces por falta de conocimiento de las bancas locales. También ocurre con PyMES.
CONTEXTO Y RETRASO EN EL INICIO DE LOS PROYECTOS	Contexto desfavorable sin acceso a la energía en las zonas mineras, donde se utiliza diésel llevado por camión. Minimizar el uso de combustibles fósiles que tiene un mayor costo, y más emisiones, fomentando el desarrollo de energías renovables que permitan la incorporación de energía eléctrica sostenible. Conectar las zonas mineras con los principales corredores exportadores, para facilitar la integración de la minería. Desarrollar accesos y rutas. Desarrollar las zonas mineras, con servicios e infraestructura, para generar oportunidades a corto y largo plazo. Reducir los plazos administrativos para autorizaciones y permisos ambientales.
RIESGO FISCAL	Evitar que las variaciones de los mercados de minerales tengan un impacto fiscal en los presupuestos
RIESGO DE INVERSIÓN	Mejorar los ingresos del sector minero para generar un efecto en cadena y fomentar la exploración Diversificar la minería para aumentar los minerales que se pueden producir y mitigar el riesgo
DEGRADACIÓN AMBIENTAL &	Evitar que la minería genere impactos adversos en la biodiversidad e implementar en la minería los más altos estándares ambientales.
CONTAMINACIÓN DE RECURSOS	Cuidar los recursos naturales como el agua potable y reducir los volúmenes de agua en sus operaciones. Minimizar los desechos de la actividad de extracción y refinación.
POBREZA Y EXCLUSIÓN	Evitar que con la llegada de los proyectos mineros, se genere un aumento desproporcionado del costo de vida, y eso se traslade en exclusión, pobreza, y migración.
DESEMPLEO	
CORRUPCIÓN	Reducir los niveles de corrupción en los países con importantes reservas.
MIGRACIÓN NO CONTROLADA	Vigilar que la explotación minera no genere migraciones internas que provoquen impactos negativos en la población local, como trabajo infantil, trabajo forzado, prostitución, violencia o acoso contra las mujeres.
PARALIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD	Evitar que los conflictos en territorio paralicen el desarrollo de los proyectos.
SEGURIDAD LABORAL	Mejorar la seguridad de los trabajadores, que en muchos casos enfrentan malas condiciones laborales y riesgos en las minas (accidentes, exposición a sustancias químicas tóxicas, minas inestables)





ORGANIZACIÓN
LATINOAMERICANA
DE ENERGIA

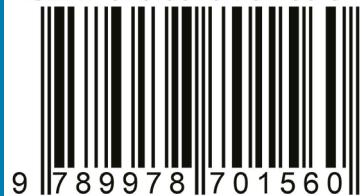
LATIN AMERICAN
ENERGY
ORGANIZATION

ORGANIZAÇÃO
LATINO-AMERICANA
DE ENERGIA

ORGANISATION
LATINO-AMÉRICaine
D'ENERGIE

LOS MINERALES CRÍTICOS PARA LAS TRANSICIONES ENERGÉTICAS DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

ISBN: 978-9978-70-156-0



Av. Mariscal Antonio José de Sucre
N58-63 y Fernandez Salvador
Quito - Ecuador