



Análisis de Minerales Críticos y/o Estratégicos

DEPP 13/2024

Registro Propiedad Intelectual © N° 2024-A-12320



Resumen Ejecutivo

Este estudio de diagnóstico es parte de un esfuerzo coordinado por el Ministerio de Minería, en la que participan COCHILCO y el SERNAGEOMIN. A Cochilco le corresponde centrarse en aspectos relacionados con la demanda de minerales críticos/estratégicos.

Cabe señalar que el análisis de la demanda está referida a la identificación de los minerales categorizados como críticos por la mayor parte de las economías.

La distinción entre minerales críticos y estratégicos se basa en que los primeros consideran a la vulnerabilidad de las cadenas de suministro como un elemento relevante, ya que es un aspecto crucial para las economías que dependen del abastecimiento de minerales desde otros países (demandantes de minerales). Por lo tanto, la definición de un mineral estratégico para Chile podría focalizarse en su importancia para el desarrollo económico local, su papel fundamental en la transición energética global, importancia geopolítica, y todo esto respaldado por su potencial geológico local.

En el marco de la Política Nacional Minera 2050, Chile ha establecido una visión y metas de desarrollo para el sector minero, basadas en su potencial geológico, capacidad productiva y competitividad internacional. En particular, la meta N°06 plantea la necesidad de generar una estrategia de diversificación de minerales en Chile.

Producto del aumento sostenido de la demanda global de minerales necesarios para las tecnologías de la transición energética y la digitalización, el Ministerio de Minería de Chile ha priorizado esfuerzos para la clasificación y caracterización de minerales estratégicos, dada la diversa riqueza mineral del territorio nacional, como por ejemplo, el cobre, el litio, el molibdeno, el renio, el oro, la plata, el hierro, el zinc, el plomo, el cobalto y las tierras raras, entre otros, y el abundante conocimiento experto existente en las agencias e institutos tecnológicos.

A modo de introducción y basado en información de USGS, este documento analiza la producción y reservas mundiales de algunos minerales clasificados como críticos por las economías desarrolladas. Posteriormente se analizan metodologías para evaluar la criticidad de los minerales, así como también las estrategias formuladas por algunos países. De igual forma, se presentan los listados de minerales críticos actualizados de distintas economías industrializadas, los principales usos de una muestra de minerales y en base a información de organismos especializados, se exponen las demandas estimadas para dichos minerales. También se presentan ejemplos de políticas de industrialización de algunos países, como una forma de mostrar experiencias para avanzar hacia la generación de conocimiento local para la agregación de valor de nuestros minerales estratégicos. Se continúa con la presentación de algunos de los acuerdos que han suscrito distintos países para acceder a los minerales críticos localizados en otros países. Finalmente, se hace una revisión de Políticas y Estrategias Nacionales de Chile, que podrían interrelacionarse y apoyar la eventual formulación de una estrategia de minerales estratégicos para nuestro país.

Del análisis se plantea que existen múltiples impulsores de la demanda de minerales críticos, incluyendo la tecnología, seguridad, ciencia, medicina, espacio y seguridad alimentaria. Sin embargo, el presente estudio se focalizó en las nuevas tecnologías y la transición energética, que implica el cambio de sistemas basados en combustibles fósiles hacia energías renovables como la eólica y solar.



Si bien abunda información sobre los Minerales Críticos y Estratégicos, hay algunos aspectos que fueron difíciles de analizar por falta de información. Por ejemplo, se visualiza una falta de información pública oficial de estrategias y metodologías de evaluación de criticidad utilizadas por algunos países clave como, por ejemplo, China, Japón y Corea del Sur.

Las estadísticas del USGS reafirman el liderazgo de China en la producción y reservas mundiales de varios de los minerales considerados como críticos. Al respecto, Chile sobresale como productor y por poseer importantes reservas de cobre, litio y renio.

Las estrategias de minerales críticos analizadas se sustentan en aspectos como la transición energética, cadenas resilientes, I+D y criterios dentro del ámbito ESG. De igual forma, las metodologías para evaluar la criticidad plantean diversos indicadores, muchos de los cuales podrían ser considerados para una futura metodología que identifique los minerales estratégicos para nuestro país.

De los análisis de algunos de los acuerdos internacionales suscritos por las mayores economías demandantes de minerales, se desprende que existe una fuerte competencia por asegurar el suministro de los minerales críticos que es liderada por China y el Minerals Security Partnership (integrada por varios países) y que se refleja en una proliferación de acuerdos.

Cabe señalar que la “Política Nacional Minera 2050”, “Estrategia nacional para el fortalecimiento de la capacidad de Fundición y Refinería”, “Estrategia Nacional del Litio” y la “Política Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación”, ofrecen orientaciones y podrían apalancar a la nueva estrategia.

Finalmente, se sugieren pasos para definir un listado de Minerales Estratégicos para Chile.



Índice

1	Introducción: La transición energética.....	3
1.1	Conceptos relevantes.....	5
1.2	Materias primas (raw materials).....	5
1.3	Minerales críticos y minerales estratégicos.....	5
1.3.1	Mineral Crítico.....	5
1.3.2	Mineral Estratégico.....	8
1.3.3	Chile: ¿minerales críticos o minerales estratégicos?.....	11
2	Participación en la producción y reservas de minerales en el mundo.....	12
2.1	Participación en la producción.....	12
2.2	Participación en las reservas.....	19
3	Variables utilizadas en las metodologías para definir listados de minerales críticos.....	25
3.1	Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE).....	25
3.2	United States Geological Survey (USGS).....	26
3.3	Unión Europea.....	26
3.4	Reino Unido.....	27
3.5	India.....	27
3.6	Argentina.....	28
3.7	Colombia.....	28
3.8	Resumen de indicadores.....	29
3.9	Propuesta de Indicadores para construir un listado de minerales estratégicos para Chile	32
4	Listados de Minerales Críticos.....	33
5	Estrategias de minerales críticos.....	36
5.1	Estados Unidos.....	36
5.2	Unión Europea.....	37
5.3	Australia.....	38
5.4	Canadá.....	38
5.5	Reino Unido.....	39
5.6	Corea del Sur.....	39
5.7	India.....	40
5.8	Brasil.....	41
5.9	Colombia.....	41
6	Iniciativas desarrolladas por países que cuentan con estrategias de minerales críticos.....	45
6.1	Australia.....	45



6.2	Canadá.....	47
6.3	Reino Unido.....	49
7	Los minerales críticos y sus aplicaciones.....	51
8	Estimaciones de demanda	52
9	Políticas de Industrialización y Valor Agregado	63
9.1	Irlanda	63
9.2	Singapur.....	64
9.3	República Checa	66
9.4	Costa Rica	68
9.5	Australia	69
10	Diplomacia de los minerales críticos – Iniciativas entre países	71
10.1	Iniciativas de China.....	73
10.1.1	Inversión en recursos y proyectos mineros.	74
10.1.2	Iniciativa de la Franja y la Ruta.....	74
11	Relación de los minerales estratégicos con las Políticas y Estrategias Nacionales.....	76
11.1	Política Nacional Minería (2022)	76
11.2	Estrategia nacional para el fortalecimiento de la capacidad de Fundición y Refinería (2023) 77	
11.3	Estrategia Nacional del Litio (2023)	78
11.4	Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde H2V (2020)	78
11.5	Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile – ECLP (2021).....	79
12	Comentarios Finales y Conclusiones	80
13	Referencias.....	82



1 Introducción: La transición energética

El alcance de este trabajo se circunscribe al conjunto de cambios irreversibles que implica la transición energética, es decir, la transformación y adaptación de los sistemas de producción y consumo de energía basados en combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, a fuentes de energía renovables como la eólica y solar.

El proceso de transición en el que nos encontramos surgió como una necesidad de iniciar acciones concretas para mitigar el calentamiento global. Para abordar los impactos negativos del cambio climático, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 21), realizada en diciembre del 2015, se logró concretar el Acuerdo de París.

Dicho acuerdo estableció objetivos a largo plazo como guía para todas las naciones (Naciones Unidas, 2024):

- Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.
- Evaluar periódicamente el progreso colectivo hacia el logro del propósito de este acuerdo y sus objetivos a largo plazo.
- Ofrecer financiamiento a los países en desarrollo para que puedan mitigar el cambio climático, fortalecer la resiliencia y mejorar su capacidad de adaptación a los impactos del cambio climático.

El Acuerdo de París marca el comienzo hacia las cero emisiones netas. La transición a un mundo con emisiones netas cero es uno de los mayores desafíos que ha enfrentado la humanidad. Requiere de una transformación completa de cómo producimos, consumimos y nos desplazamos. El sector energético es la fuente de alrededor de tres cuartas partes de las emisiones de gases de efecto invernadero en la actualidad y es clave para evitar efectos más drásticos del cambio climático. Reemplazar la energía contaminante alimentada con carbón, gas y petróleo por energía procedente de fuentes renovables, como la eólica o la solar, reduciría drásticamente las emisiones de carbono (Naciones Unidas, 2014).

De ahí la importancia de los minerales críticos, ya que son el requisito fundamental para acelerar la transición energética y la instalación, distribución y almacenamiento de energías limpias. La transición energética es el principal motor del crecimiento de la demanda de estos minerales.

En Chile la transición energética y su impacto pueden abordarse de distintas aristas. Por un lado, se asocia a los cambios hacia una matriz energética más sostenible en relación con el cambio climático y las implicancias de esta medida en las dimensiones sociales, ambientales y económicas. En abril de 2020, Chile presentó a las Naciones Unidas la actualización de su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC), que plantea alcanzar la neutralidad de emisión de GEI para 2050. Cabe precisar que, de acuerdo con lo señalado por el Ministerio del Medio Ambiente, la carbono neutralidad significa “tener emisiones netas iguales a cero, es decir la suma de las emisiones de una organización o un país, menos las absorciones deben ser igual a cero”.

Por otro lado, está el rol que juega nuestro país en el contexto global como proveedor de los minerales necesarios para contribuir a la transición energética. Estos minerales son insumos clave para las tecnologías verdes y para producir energías renovables, tecnologías no contaminantes y facilitar la transición hacia un futuro más sostenible y con bajos niveles de carbono. A modo de ejemplo, Chile posee las mayores reservas mundiales de cobre, litio y renio; tres minerales que están



incluidos en las listas de los países demandantes de minerales críticos. Por lo tanto, la transición energética global ofrece una oportunidad a los países productores de minerales, como Chile, para fortalecer sus industrias y diversificar sus economías, lo que a larga debiera impactar positivamente en ámbitos como el desarrollo económico y social, mejores empleos, atracción de inversiones, fomento a la innovación tecnológica, por mencionar los más importantes.

El análisis de los minerales críticos plantea la necesidad de aclarar algunos conceptos que se repiten con mayor frecuencia en la literatura consultada ya que no existe una mirada común respecto a los conceptos necesarios para comprender el tema de los minerales de interés. Un ejemplo, es la distinción entre los conceptos de minerales críticos y minerales estratégicos. En la primera parte de este documento se utilizará el término mineral crítico para posteriormente, y una vez analizados dichos conceptos, se propondrá cuál es el que mejor se ajusta a nuestro país.

Sin embargo, no solo la transición energética es un ámbito que justifica la creciente demanda de los minerales críticos. A partir de la revisión de los fundamentos de las estrategias de minerales críticos que han definido algunos países, se pueden identificar otros impulsores, tales como:

Tecnología y Electrónica: Muchos minerales críticos son fundamentales para la fabricación de dispositivos electrónicos modernos, como teléfonos inteligentes, computadoras, pantallas LED, baterías recargables y componentes de circuitos integrados.

Seguridad: Importantes para el despliegue de tecnologías modernas en una variedad de industrias, incluida la defensa.

Ciencia y Medicina: En la investigación científica y en la medicina, se utilizan minerales críticos para equipos de diagnóstico médico (por ejemplo, imanes de neodimio en resonancias magnéticas) y en investigaciones científicas que requieren materiales específicos.

Sector Espacial: Para varios países el conocimiento del espacio es un gatillante de la demanda de minerales críticos. Las razones de dicho objetivo son variadas y pasa por la necesidad de un país para ser reconocido como líder en distintos ámbitos, explorar la posibilidad de obtener recursos fuera del planeta, conquistar nuevos territorios, etc. Algunos minerales críticos son importantes para la fabricación de componentes tecnológicos avanzados, energía, materiales resistentes, etc.

Seguridad Alimentaria: Algunos países, muchos de los cuales poseen una elevada población humana, han identificado ciertos minerales que son requeridos en la agricultura y producción de alimentos. Dichos minerales tienen relación con la producción de fertilizantes, nutrientes, pesticidas, herbicidas, fabricación de equipos agrícolas de alta tecnología, ganadería, etc.



1.1 Conceptos relevantes

La literatura sobre minerales críticos es amplia y tal como se verá a lo largo de este documento, existe una variedad de conceptos que es necesario aclarar. Al respecto, nos centraremos en la revisión de algunas definiciones de los conceptos de materias primas, minerales críticos y minerales estratégicos.

1.2 Materias primas (raw materials)

Según la (European Commission 2023), las materias primas son recursos naturales o procesados que se utilizan como insumo en una operación de producción para su posterior transformación en productos semiacabados y terminados. Las materias primas primarias, a diferencia de los productos semiacabados, se extraen directamente del planeta y pueden comercializarse sin o con muy poco procesamiento adicional.

Otra definición señala que las materias primas son productos comercializables obtenidos mediante el procesamiento de minerales crudos (generalmente solo hasta la primera etapa de procesamiento), (World Mining Data 2021).

Al analizar ambas definiciones se observa que el concepto de materias primas hace referencia a un recurso natural con un cierto nivel de procesamiento primario y que puede seguir avanzando en su transformación para convertirse en un producto más elaborado. Sin embargo, las definiciones no hacen referencia a si este recurso natural posee alguna característica o particularidad que le asigne un cierto nivel de criticidad; situación que si poseen los minerales críticos y estratégicos.

1.3 Minerales críticos y minerales estratégicos

Es frecuente que la literatura haga referencia a los conceptos de minerales críticos y estratégicos. A pesar de que no existe un claro consenso respecto a sus significados, sí se puede afirmar que son conceptos para diferentes propósitos y con distintas implicancias.

Un primer intento por entender los conceptos de crítico y estratégico es recurrir a lo que señala la RAE¹. Al respecto, una de las acepciones señala que crítico es “algo muy difícil o de mucha gravedad” y, por estratégico, “dicho de un lugar, de una posición, de una actitud, etc., de importancia decisiva para el desarrollo de algo”. Es decir, lo crítico se enfoca en la importancia y la gravedad de una situación o aspecto, y lo estratégico en la planificación y la importancia para alcanzar objetivos en un cierto periodo de tiempo.

1.3.1 Mineral Crítico

A continuación, se presentan distintas definiciones del concepto de mineral crítico; varias de ellas tomadas desde las propias estrategias que distintos países han elaborado para, entre otros, abastecerse de dichos minerales.

¹ Real Academia Española



Tabla 1: Definiciones de mineral crítico

País / Bloque	Definición
Australia	Los minerales críticos son materiales metálicos o no metálicos que son esenciales para nuestras tecnologías modernas, economías y la seguridad nacional, y cuyas cadenas de suministro son vulnerables a las perturbaciones. Los riesgos de interrupción de las cadenas de suministro de minerales críticos aumentan cuando la producción o el procesamiento de minerales se concentran en lugares, instalaciones o empresas particulares (Australian Government, Department of Industry, Science and Resources, 2023).
Canadá	Los minerales críticos se caracterizan por: tener pocos o ningún sustituto; son productos estratégicos y algo limitados; o están cada vez más concentrados en términos de extracción y, aún más, en términos de ubicación del procesamiento (Minister of Natural Resources, 2022).
China	Estos minerales son esenciales para el desarrollo de nuevas tecnologías, la transición energética como también su valor científico estratégico para el país y la seguridad de la defensa nacional. También se caracterizan por su abundancia relativamente baja por lo cual, su cadena de suministro puede verse afectada (Critical elements, Nanjim University, 2019).
Corea del Sur	Son considerados minerales críticos aquellos esenciales para los desarrollos de las industrias de alta tecnología, por lo cual es de suma importancia asegurar el suministro de estos minerales. Por otra parte, los minerales estratégicos son aquellos cuyo uso es intensivo para la elaboración de semiconductores y baterías. (Ministry of Trade, Industry and Energy Korean, 2023)
Estados Unidos	<p>Material Crítico²: (U.S. Department of Energy, 2024)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cualquier mineral, elemento, sustancia o material no combustible que la Secretaría de Energía determine: (i) tiene un alto riesgo de interrupción de la cadena de suministro; y (ii) cumple una función esencial en una o más tecnologías energéticas, incluidas tecnologías que producen, transmiten, almacenan y conservan energía; o • Un mineral crítico. <p>Mineral Crítico: Cualquier mineral, elemento, sustancia o material designado como crítico por el Secretario del Interior, actuando a través del director del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Los minerales críticos son minerales no combustibles o materiales minerales esenciales para la economía o seguridad nacional de los EE. UU. y que tienen una cadena de suministro vulnerable a interrupciones. (U.S. Department of Energy, 2024) Los minerales críticos también se caracterizan por cumplir una función esencial en la fabricación de un producto, cuya ausencia tendría consecuencias importantes para la economía o la seguridad nacional. (USGS, 2023)</p> <p>Una mayor precisión del concepto está contenida en La Ley de Energía de 2020 (Public Law 1166-260, section 7002 (c)(4)(A)), que define a los</p>

² No confundir con el concepto de raw material o materias primas minerales, visto en el punto 1.2



País / Bloque	Definición
	"minerales críticos" como los minerales, elementos, sustancias o materiales que "(i) son esenciales para la economía o seguridad nacional de los Estados Unidos; (ii) cuya cadena de suministro es vulnerable a las interrupciones (incluidas las restricciones asociadas con el riesgo político extranjero, el crecimiento abrupto de la demanda, los conflictos militares, los disturbios violentos, los comportamientos anticompetitivos o proteccionistas y otros riesgos a lo largo de la cadena de suministro); y (iii) cumplen una función esencial en la fabricación de un producto (incluidas las aplicaciones relacionadas con la tecnología energética, la defensa, la moneda, la agricultura, la electrónica de consumo y la atención médica), cuya ausencia tendría consecuencias significativas para la seguridad económica o nacional de los Estados Unidos".
India	Los minerales críticos son aquellos minerales esenciales para el desarrollo económico y la seguridad nacional, la falta de disponibilidad de estos minerales o incluso la concentración de su existencia, extracción o procesamiento en pocas ubicaciones geográficas puede generar vulnerabilidad e interrupción de la cadena de suministro (Ministry of Mines - India, 2023).
Japón	Son aquellos minerales esenciales para el desarrollo económico orientado en la transición energética y nuevas tecnologías como fabricaciones de equipos y vehículos eléctricos. Por lo tanto, es importante poder asegurar la cadena de suministro de estos minerales con el fin de mantener y desarrollar la producción industrial (Ministry of Economy, Trade and Industry Japan 2023).
Reino Unido	Se definen como commodities (distintos del combustible) que son esenciales para la economía o la seguridad nacional de un Estado, con una cadena de suministro que es particularmente vulnerable a las interrupciones (House of Commons Committee, 2023).
Unión Europea	Materias Primas Críticas (MPC): Son materias primas de gran importancia para la economía de la UE y cuyo suministro está asociado a un alto riesgo. Los dos parámetros principales son importancia económica y riesgo de suministro, que se utilizan para determinar la criticidad del material para la UE. La lista de MPC se establece en función de las materias primas que alcanzan o superan los umbrales para ambos parámetros. (European Commission, 2023).
Argentina	Aquellos cuyo riesgo de escasez en su suministro y, por lo tanto, su consecuente impacto sobre la economía, es mucho mayor que para cualquier otra materia prima. A los fines de esta definición se consideran críticos los minerales que no existen en el país o que, aun habiendo concentraciones conocidas, no es posible extraerlos de modo rentable, o bien su producción no satisface la demanda interna, debiéndose obtener del exterior. (SEGEMAR; SECMIN; COFEMIN)

Fuente: Cochilco en base a distintas fuentes.

El análisis de las definiciones de los 10 países/bloques identifica aquellos objetivos que más se repiten:



Figura 1: Objetivos mencionados en las definiciones de mineral crítico (Nº de menciones)



Fuente: Cochilco

Del análisis se desprende que hay 3 objetivos que están presentes en varias de las definiciones de mineral crítico. Al respecto un mineral adquiere la condición de crítico cuando:

- Presenta un alto riesgo de interrupción de la cadena de suministro,
- Es importante para la economía nacional o el desarrollo económico,
- Es importante para la seguridad nacional (defensa).

Por otro lado, hay que tener en consideración que los criterios para que un mineral adquiera la condición de crítico dependen significativamente de las necesidades y decisiones de (geo)política y económica de cada Estado.

A pesar de que los criterios u objetivos de seguridad nacional y desarrollo económico forman parte de los que más se repiten al momento de establecer la criticidad, el presente estudio se enfocará en aspectos relacionados con la transición energética.

1.3.2 Mineral Estratégico

El concepto de mineral estratégico, no es nuevo ya que hay antecedentes de su uso por parte de Estados Unidos en el año 1939, tras la promulgación de la Ley de Materiales Estratégicos y en el año 1946 cuando el Congreso de dicho país promulgó la Ley de Almacenamiento de Materiales Críticos y Estratégicos, aunque en un contexto y con un sentido distinto al que se le quiere dar en este documento.

En 1939 EE.UU. dispuso de stocks de diferentes tipos de menas metálicas (denominado Almacén Nacional de la Defensa), algunos de los cuales sirvieron para controlar los precios del mercado mundial. En 1946 tras la 2ª Guerra Mundial, el congreso modificó la Ley de Materiales Estratégicos y promulgó la Ley de Almacenamiento de Materiales Críticos y Estratégicos que permitía la



liquidación de stocks de minerales que se consideraran menos relevantes para la defensa (hay que tener en cuenta que la gestión del stock la hacía el ejército) (Regüero y González-Barros 2014).

Tabla 2: Definiciones de Mineral Estratégico

País	Definición Mineral Estratégico
China	Los minerales “estratégicos” garantizan la seguridad económica nacional, la seguridad de la defensa nacional y las necesidades de desarrollo de las industrias estratégicas emergentes ³ , (Igarapé Institute 2023).
Argentina (propuesta)	<p>Mineral Estratégico: a todos aquellos minerales que son utilizados en la industria por sus particulares propiedades intrínsecas, siendo sus reservas muy codiciadas por los países industrializados. (SEGEMAR; SECMIN; COFEMIN).</p> <p>Mineral de importancia económica estratégica: aquellos cuya exploración y posterior producción exportable, supone un importante dinamizador de la economía local, regional y nacional a través de la generación de empleo, desarrollo de proveedores de bienes y servicios, aportes al fisco en impuestos y regalías, e ingreso de divisas. (SEGEMAR; SECMIN; COFEMIN)</p>
Brasil	<p>El decreto 10.657 del 2021 del Ministerio de Minas y Energía de Brasil declara como estratégicos los siguientes minerales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Minerales que tienen un alto porcentaje de importación y que son necesarios para abastecer sectores vitales de la economía. - Minerales importantes por su aplicación en productos y procesos de alta tecnología. - Minerales con ventajas comparativas y esenciales para la economía ya que generan superávit en la balanza comercial del país. (Ministerio de Minas e Energía, 2021).
Colombia	<p>Hay tres criterios para definir un mineral estratégico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es aquel que puede garantizar soberanía en el abastecimiento de la demanda interna actual o futura, asociada a los desarrollos industriales requeridos para soportar una transición energética gradual hacia fuentes de generación de energías limpias no convencionales y para el desarrollo de la infraestructura requerida para garantizar la industrialización de la economía y un sector minero productivo, competitivo y con la implementación de buenas prácticas técnicas, sociales y ambientales; - De igual forma, lo son aquellos minerales necesarios para brindar seguridad alimentaria a los habitantes del territorio nacional, mayor disponibilidad y acceso mediante precios razonables, permitiendo reducciones en los costos de los fertilizantes y abonos agrícolas, y con ello el abaratamiento de los alimentos. - Finalmente, resultan estratégicos los minerales priorizados para promover esquemas asociativos entre mineros tradicionales,

³ No fue posible acceder a un documento de primera fuente con la definición de Mineral Estratégico de China. Se hace referencia al documento de Igarapé Institute de Brasil, en el que cita como fuente de dicha definición al documento National Resources Ministry (2018) del Gobierno de China. Sin embargo, la traducción de dicho documento no entrega antecedentes al respecto.



País	Definición Mineral Estratégico
	ancestrales o en proceso de formalización, que permitan un aprovechamiento racional de los recursos minerales de propiedad del Estado y contribuyan a su formalización colectiva. (Agencia Nacional de Minería- Colombia, 2023).
Unión Europea	<p>Materias primas estratégicas: Materias primas importantes para las tecnologías que apoyan la transición verde y digital y los objetivos de defensa y aeroespaciales. (European Commission, 2023).</p> <p>Para la Unión Europea una materia prima estratégica simultáneamente es una materia prima crítica, pero la primera tiene una mayor prioridad. Las excepciones son el cobre y el níquel, las cuales sólo son considerados materias primas estratégicas. La razón es que su producción global está lo suficientemente diversificada como para no tener un alto riesgo de suministro, pero se consideran tan fundamentales, sobre todo para la electrificación y, por lo tanto, se clasifican como estratégicas.</p>
Australia	<p>Materiales Estratégicos: La Lista de Materiales Estratégicos contiene minerales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • que son importantes para la transición global hacia cero emisiones netas y aplicaciones estratégicas más amplias, específicamente las tecnologías prioritarias establecidas en la Estrategia de Minerales Críticos, • para los cuales Australia tiene potencial geológico de recursos, • demandados por sus socios estratégicos internacionales. <p>Sin embargo, sus cadenas de suministro no son actualmente lo suficientemente vulnerables como para cumplir con los criterios de la Lista de Minerales Críticos.</p>

Fuente: Cochilco en base a distintas fuentes.

Por tratarse de países productores (Argentina, Colombia y Brasil), del análisis se observa que no existe un consenso en cuanto a lo que se entiende por “mineral estratégico”, ya que los objetivos considerados son diversos y disímiles. El único aspecto común a todas las definiciones es la que hace referencia la importancia económica de la explotación del mineral para el desarrollo del país.

La definición de la Unión Europea de mineral estratégico muestra la perspectiva de un grupo de países que, en su mayoría, son demandantes de dichos minerales.

A continuación, se presentan un resumen de los objetivos explicitados en las distintas definiciones de mineral estratégico:

- Reservas apetecidas por países industrializados.
- Dinamizador de la economía – esenciales para la economía local.
- Alto porcentaje importación e importancia para sectores vitales de la economía.
- Importante para productos de alta tecnología- apoyar transición verde y digital.
- Garantizar autoabastecimiento para la transición energética local.
- Seguridad alimentaria local.
- Asociatividad minera para formalizar la minería local.
- Defensa y aeroespacial.



- Tiene potencial geológico local.

1.3.3 Chile: ¿minerales críticos o minerales estratégicos?

En el contexto del presente estudio, surge la necesidad de adentrarse en la discusión sobre si Chile debiera categorizar a sus minerales de “interés” como estratégicos o críticos. Al respecto, es primordial establecer los fundamentos que determinan por qué ciertos minerales son más relevantes que otros.

Aclarado lo anterior, es necesario dimensionar y comprender la oferta de minerales de nuestro país; tema que se aborda en el estudio del Sernageomin.

De la revisión de las variadas definiciones, se observa que hay objetivos asociados a los “minerales críticos”, como su importancia para la transición energética global y el desarrollo económico, que posiblemente sea compartido por un amplio número de países.

Por otro lado, la definición de “mineral estratégico” pareciera que está vinculado al análisis desde la perspectiva de países que cuentan con un potencial geológico significativo donde, además, dichos minerales tienen un rol fundamental en la dinamización de sus economías.

Dado lo anterior, al cruzar los objetivos mencionados para ambas denominaciones de minerales (críticos y estratégicos), se observa que la variable vulnerabilidad de las cadenas de suministro por concentración de la extracción y/o procesamiento se revela como un factor diferenciador, crucial para los minerales críticos y que, en contrapartida, está ausente en las definiciones de minerales estratégicos analizados en este estudio. Es decir, la definición de mineral crítico es comúnmente utilizada por aquellos países que requieren abastecerse desde terceros países para poder satisfacer su demanda interna.

Por lo tanto, este último aspecto podría fundamentar la discusión para que en Chile sea pertinente hablar de minerales estratégicos en lugar de minerales críticos, enfocando así los esfuerzos y políticas públicas en fortalecer aquellos objetivos que le son más atingentes, como por ejemplo su importancia para: el desarrollo de la economía local, la transición energética global e incluso por su importancia geopolítica a nivel regional y mundial⁴; todo lo anterior impulsado por un potencial geológico local.

⁴ La Estrategia Nacional del Litio (Gobierno de Chile 2023), define a dicho elemento como un “mineral de alto valor estratégico” para nuestro país por su importancia en la transición energética a nivel global, como también por su importancia geopolítica a nivel regional y mundial.



2 Participación en la producción y reservas de minerales en el mundo

2.1 Participación en la producción

La siguiente información se obtuvo del USGS (U.S. Geological Survey 2024) y muestra la participación en la producción mundial por país de un conjunto de minerales definidos como críticos por diferentes economías. Si bien la lista de minerales críticos es mucho más extensa, al menos se incluyeron los minerales donde Chile aparece como productor, de acuerdo con los registros de dicho servicio geológico.

A partir del análisis de la Tabla 3, queda en evidencia quienes son los principales países con importantes reservas de minerales calificados como críticos en el año 2023, así como también en cuales se basa su fortaleza.

Para facilitar la lectura de la Tabla 3, se ha destacado en color rojo la participación en la producción de mineral de aquellos países líderes (principal productor). En amarillo se destacan las participaciones de los países que ocupan el segundo lugar y con verde aquellos que ocupan la tercera posición.



Tabla 3: Distribución de la producción 2023, de una muestra de minerales por país

Nº Minerales - Producción	País																									
		Aluminio	Cobalto	Cobre	Cromo	Grafito	Litio	Manganeso	Mineral de Hierro - Hierro Contenido	Mineral de Hierro - Mineral usable	Molibdeno	Níquel	Paladio	Plata	Platino	Plomo	Renio	Tierras Raras	Titanio- Ilmenita	Titanio-Rutilo	Tungsteno	Vanadio	Zinc	Boro (distintas formas)	Potasio	
3	Argentina						5%							4%											4%	
2	Armenia									3%						0%										
16	Australia	2%	2%	4%			47%	15%	38%	38%	0%	4%		5%	10%		5%	5%	36%	1%		9%				
2	Austria					0%															1%					
1	Baréin	2%																								
1	Bielorrusia																								10%	
5	Bolivia												5%		2%						2%		4%	5%		
11	Brasil	2%				5%	3%	3%	18%	17%		2%					0%	1%			6%				1%	
2	Birmania (Myanmar)							1%									11%									
13	Canadá	4%	1%	2%		0%	2%		3%	3%	0%	5%	8%		3%			6%							33%	
9	Chile			23%			24%		1%	1%	18%			5%		53%								11%	2%	
19	China	59%		8%		77%	18%	4%	11%	11%	42%	3%		13%	42%	4%	68%	36%		81%	66%	33%	6%	15%		
2	Congo		74%	12%																						
1	Costa de Marfil							2%																		
1	Cuba		1%																							
1	Finlandia				5%																					
1	Gabón						23%																			
1	Georgia						1%																			
3	Alemania					0%																		2%	7%	
1	Ghana						4%																			
0	Groenlandia																									
1	Islandia	1%																								

Fuente: Cochilco a partir de datos USGS

Nota: La participación en la producción de Boro es inexacta ya que está calculada en base a productos que se encuentran en distintas formas y se realizó solo para fines ilustrativos

Tabla 3: Distribución de la producción 2023, de una muestra de minerales por país (continuación)

Nº Minerales - Producción	País	Aluminio	Cobalto	Cobre	Cromo	Grafito	Litio	Manganeso	Mineral de Hierro - Hierro Contenido	Mineral de Hierro - Mineral usable	Molibdeno	Níquel	Paladio	Plata	Platino	Plomo	Renio	Tierras Raras	Titanio- Ilmenita	Titanio-Rutilo	Tungsteno	Vanadio	Zinc	Boro (distintas formas)	Potasio
			12 India	6%			10%	1%		4%	11%	11%				3%		5%		1%	2%	2%			7%
	3 Indonesia		7%	4%								50%													
	4 Irán								3%	3%	1%					1%									
	1 Israel																								6%
	0 Japón																								
	1 Jordania																								5%
	8 Kazajistán			3%	14%			1%	1%	2%				4%			1%						3%		
	2 Kenia																		2%	10%					
	3 Corea del Sur					2%					0%						5%								
	3 Corea del Norte					1%					0%										2%				
	1 Laos																								4%
	4 Madagascar		2%			6%												0%	4%						
	3 Malasia	1%						1%										0%							
	2 Mauritania							1%	1%																
	9 México			3%		0%		1%	0%	0%	6%		25%		6%								6%		
	1 Mongolia										1%														
	3 Mozambique					6%													19%	2%					
	2 Nueva Caledonia		1%									6%													
	3 Noruega	2%				0%													5%						
	1 Papúa Nueva Guinea		1%																						
	8 Perú			12%					1%	1%	14%			12%		6%							11%	6%	
	2 Filipinas		2%									11%													

Fuente: Cochilco a partir de datos USGS

Tabla 3: Distribución de la producción 2023, de una muestra de minerales por país (continuación)

Nº Minerales - Producción	País	Aluminio	Cobalto	Cobre	Cromo	Grafito	Litio	Manganeso	Mineral de Hierro - Hierro Contenido	Mineral de Hierro - Mineral usable	Molibdeno	Níquel	Paladio	Plata	Platino	Plomo	Renio	Tierras Raras	Titanio- Ilmenita	Titanio-Rutilo	Tungsteno	Vanadio	Zinc	Boro (distintas formas)	Potasio
		3	Polonia			2%										5%			11%						
2	Portugal						0%														1%				
18	Rusia	5%	4%	4%		1%			4%	3%	1%	6%	45%	5%	13%	4%		1%			3%	19%	3%	2%	17%
1	Ruanda																				2%				
2	Senegal																		4%	1%					
1	Sierra Leona																			20%					
10	Sudáfrica				43%			36%	2%	2%			34%		69%				12%	18%		9%	2%		
2	España																				2%				1%
1	Sri Lanka					0%																			
4	Suecia								2%	1%						2%							2%		
1	Tayikistán															1%									
1	Tanzania					0%																			
1	Tailandia																	2%							
7	Turquía		1%		14%	0%			1%	1%						2%								65%	
6	Ucrania					0%		2%	1%	1%									1%	9%					
1	Emiratos Árabes Unido	4%																							
16	Estados Unidos	1%	0%	5%					2%	2%	13%	0%	5%	4%	2%	6%	16%	12%	2%				6%		1%
2	Uzbekistán										1%						9%								
5	Vietnam					0%		1%										0%	2%		4%				
1	Zambia			4%																					
3	Zimbawe						2%						7%		11%										
	Otros	10%	3%	14%	13%			2%	2%	2%		11%	1%	12%	3%	14%			1%	2%	1%		15%		1%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%							

Fuente: Cochilco a partir de datos USGS

China, Australia, Rusia y Estados Unidos destacan por ser países que ofertan una amplia cartera de minerales que están incluidos en más de alguna lista de minerales críticos.

En Sudamérica destacan Brasil, Perú y Chile como países con amplias carteras de producción de minerales relevando la posición de Chile como el primer productor de cobre y renio y segundo en litio, molibdeno y boro.

Según la USGS, Chile además produce hierro, potasio y plata, aunque con participaciones menores a nivel global. Sólo el potasio figura en las listas de minerales críticos de las grandes economías mundiales. Por el contrario, el hierro y la plata están en los listados de países que no están considerados dentro de las mayores potencias.

En la siguiente tabla se muestra la participación en la producción que tienen los países que ocupan los 5 primeros lugares, para cada mineral. El objetivo es tener un panorama respecto del nivel de concentración en la producción de cada mineral.



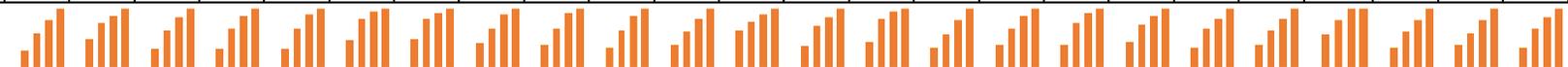
Tabla 4: Participación porcentual de los 5 principales productores a nivel global, por mineral

% de participación producción principales países																								
	Aluminio	Cobalto	Cobre	Cromo	Grafito	Litio	Manganeso	Mineral de Hierro - Hierro Contenido	Mineral de Hierro - Mineral usable	Molibdeno	Níquel	Paladio	Plata	Platino	Plomo	Renio	Tierras Raras	Titanio- Ilmenita	Titanio-Rutilo	Tungsteno	Vanadio	Zinc	Boro (distintas formas)	Potasio
Primero	59%	74%	23%	43%	77%	47%	36%	38%	38%	42%	50%	45%	25%	69%	42%	53%	68%	36%	36%	81%	66%	33%	65%	33%
Segundo	6%	7%	12%	14%	6%	24%	23%	18%	17%	18%	11%	34%	13%	13%	10%	16%	12%	19%	20%	4%	19%	11%	11%	17%
Tercero	5%	4%	12%	14%	6%	18%	15%	11%	11%	14%	6%	8%	12%	11%	6%	11%	11%	12%	18%	3%	9%	9%	6%	15%
Cuarto	4%	2%	8%	10%	5%	5%	4%	11%	11%	13%	6%	7%	5%	3%	6%	9%	5%	6%	10%	2%	6%	7%	6%	10%
Quinto	4%	2%	5%	5%	2%	3%	4%	4%	3%	6%	5%	5%	5%	2%	6%	5%	2%	5%	9%	2%		6%	5%	7%



Participación acumulada

Primero	59%	74%	23%	43%	77%	47%	36%	38%	38%	42%	50%	45%	25%	69%	42%	53%	68%	36%	36%	81%	66%	33%	65%	33%
2 primeros	65%	82%	35%	58%	84%	70%	59%	56%	55%	59%	62%	79%	38%	82%	52%	69%	80%	55%	56%	85%	85%	44%	75%	50%
3 primeros	70%	85%	47%	72%	90%	88%	74%	67%	66%	73%	68%	87%	50%	93%	58%	81%	91%	66%	73%	88%	94%	53%	81%	65%
4 primeros	75%	87%	55%	83%	94%	93%	79%	77%	77%	86%	74%	94%	55%	96%	64%	89%	96%	72%	84%	90%	100%	60%	87%	74%
5 primeros	78%	89%	60%	87%	96%	96%	82%	81%	80%	92%	79%	99%	60%	97%	70%	94%	98%	77%	93%	92%	100%	67%	92%	81%



Fuente: Cochilco a partir de datos USGS

En términos generales existe una concentración de la producción para la mayoría de los minerales de la muestra, salvo excepciones. En muchos casos, los 5 mayores países productores acaparan por sobre el 90% de la producción de los minerales. Donde hay una relativa mayor desconcentración de la producción es en los mercados del cobre y la plata, ya que los 5 principales productores suman una participación del 60%, en ambos casos.

Se observan casos en donde la suma de las producciones de los dos principales países productores totaliza más de un 80% de participación, siendo los casos del cobalto, grafito, platino, tierras raras, tungsteno y vanadio.



2.2 Participación en las reservas

En la Tabla 5 se hace el mismo ejercicio que para la producción, pero esta vez con las reservas de la muestra de minerales. Las reservas entregan una señal respecto al potencial de cada país respecto a la producción de los minerales analizados.

Los colores rojo, amarillo y verde identifican a los países que ocupan el primer, segundo y tercer lugar en las reservas mundiales, respectivamente.

Australia, China, Rusia y Estados Unidos figuran con reservas de varios de los minerales analizados y que están incluidos en más de una lista de minerales críticos. Según el USGS, Chile tiene reservas de boro, molibdeno, plata, potasio, cobre, litio y renio. Sin embargo, Chile posee las mayores reservas mundiales de los 3 últimos minerales mencionados.



Tabla 5: Distribución de las reservas mundiales de una muestra de minerales, por país

Nº Minerales Reserva	País	Aluminio	Boro(distintas formas)	Cobalto	Cobre	Cromo	Grafito	Litio	Manganeso	Mineral de Hierro (contenido)	Mineral de Hierro (crudo)	Molibdeno	Níquel	Plata	Platino Grupo de Metales	Plomo	Potasio(óxido de potasio equiv.)	Renio	Tierras Raras	Titanio- Ilmenita	Titanio-Rutilo	Tungsteno	Vanadio	Zinc
3	Argentina							13%				1%	1%											
2	Armenia											1%						4%						
17	Australia	2%		16%	10%			22%	26%	31%	30%	5%	18%	15%		37%			5%	26%	63%	13%	45%	29%
1	Austria																					0%		
1	Baréin	2%																						
1	Biolorusia																21%							
2	Bolivia																							
11	Brasil	2%					28%	1%	14%	17%	18%		12%				0%		18%	6%			1%	
0	Birmania																							
13	Canadá	4%		2%	1%		2%	3%		3%	3%	0,5%	2%		0,4%		31%		1%	7%				
7	Chile		3%		19%			34%				10%		4%			3%	56%						
19	China	57%	2%		4%		30%	11%	15%	8%	10%	40%	3%	12%		21%	5%	1%	38%	30%		52%	23%	20%
2	Congo			57%	8%																			
0	Costa de Marfil																							
1	Cuba			5%																				
1	Finlandia					2%																		
1	Gabón								3%															
0	Georgia																							
1	Alemania																4%							
1	Ghana								1%															
1	Groenlandia																		1%					

Fuente: Cochilco a partir de datos USGS

Tabla 5: Distribución de las reservas mundiales de una muestra de minerales, por país

Nº Minerales Reserva	País	Aluminio	Boro (distintas formas)	Cobalto	Cobre	Cromo	Grafito	Litio	Manganeso	Mineral de Hierro (contenido)	Mineral de Hierro (crudo)	Molibdeno	Níquel	Plata	Platino Grupo de Metales	Plomo	Potasio (óxido de potasio equiv.)	Renio	Tierras Raras	Titanio- Ilmenita	Titanio-Rutilo	Tungsteno	Vanadio	Zinc
1	Islandia	1%																						
12	India	5%				14%	3%		2%	4%	3%			1%		2%			6%	12%	13%			3%
3	Indonesia			5%	2%								42%											
4	Irán									2%	2%	0%				2%								
0	Japón																							
7	Kazajistán				2%	42%			0%	1%	1%							8%						3%
2	Kenia																			0%	0%			
2	Corea						1%					0%												
2	Corea del Norte						1%															1%		
1	Laos																2%							
4	Madagascar			1%			9%													4%	1%			
1	Malasia	1%																						
0	Mauritania																							
7	México				5%		1%		0%			1%		6%		6%								6%
0	Mongolia																							
3	Mozambique						9%														3%	1%		
1	Nueva Caledonia												5%											
3	Noruega	2%					0%														5%			
1	Papúa Nueva Guinea			0%																				
8	Perú		0%		12%					1%	1%	10%		18%		5%								9%
2	Filipinas			2%									4%											

Fuente: Cochilco a partir de datos USGS

Tabla 5: Distribución de las reservas mundiales de una muestra de minerales, por país

Nº Minerales Reserva	País	Aluminio	Boro(distintas formas)	Cobalto	Cobre	Cromo	Grafito	Litio	Manganeso	Mineral de Hierro (contenido)	Mineral de Hierro (crudo)	Molibdeno	Níquel	Plata	Platino Grupo de Metales	Plomo	Potasio(óxido de potasio equiv.)	Renio	Tierras Raras	Titanio- Ilmenita	Titanio-Rutilo	Tungsteno	Vanadio	Zinc
		2	Polonia				3%									10%								
2	Portugal							0%														0%		
18	Rusia	5%	4%	2%	8%		5%			16%	15%	8%	6%	15%	8%	9%	18%	13%	9%			9%	27%	11%
0	Ruanda																							
0	Senegal																							
1	Sierra Leona																					5%		
10	Sudáfrica					37%			31%	1%	1%				89%				1%	4%	11%		4%	3%
2	España																2%					1%		
1	Sri Lanka						1%																	
4	Suecia									1%	1%					2%								2%
0	Tayikistán																							
2	Tanzania						7%												1%					
1	Tailandia																		0%					
8	Turquía		87%	1%		5%	3%			0%	0%	0%				2%								
5	Ucrania								7%	3%	3%										1%	5%		
1	Emiratos Árabes Unidos	4%																						
19	Estados Unidos	2%	4%	1%	5%	0%		4%		2%	2%	24%	0%	4%	1%	5%	6%	17%	2%	0%			0%	3%
1	Uzbekistán											0%												
3	Vietnam																		19%	0%		2%		
1	Zambia				2%																			
2	Zimbabue							1%							2%									
	Otros	13%		7%	18%			10%		11%	9%		7%	9%		6%	8%			0%	0%	22%		11%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Cochilco a partir de datos USGS

La Tabla 6 entrega un panorama sobre la concentración de las reservas por mineral, a nivel global. Al igual que para el caso de la producción, se analiza la participación de las cinco mayores reservas para cada uno de los minerales de la muestra.

Tabla 6: Participación porcentual en las reservas mundiales de los 5 principales países, por mineral

% participación en las reservas de minerales de los principales países																							
	Aluminio	Boro(distintas formas)	Cobalto	Cobre	Cromo	Grafito	Litio	Manganeso	Mineral de Hierro (contenido)	Mineral de Hierro (crudo)	Molibdeno	Níquel	Plata	Platino Grupo de Metales	Plomo	Potasio(óxido de potasio equiv.)	Renio	Tierras Raras	Titanio- Ilmenita	Titanio-Rutilo	Tungsteno	Vanadio	Zinc
Primero	57%	87%	57%	19%	42%	30%	34%	31%	31%	30%	40%	42%	18%	89%	37%	31%	56%	38%	30%	63%	52%	45%	29%
Segundo	5%	4%	16%	12%	37%	28%	22%	26%	17%	18%	24%	18%	15%	8%	21%	21%	17%	19%	26%	13%	13%	27%	20%
Tercero	5%	4%	5%	10%	14%	9%	13%	15%	16%	15%	10%	12%	15%	2%	9%	18%	13%	18%	12%	11%	9%	23%	11%
Cuarto	4%	3%	5%	8%	5%	9%	11%	14%	8%	10%	10%	6%	12%	1%	6%	6%	8%	9%	7%	5%	2%	4%	9%
Quinto	4%	2%	2%	8%	2%	7%	4%	7%	4%	3%	8%	5%	10%	0%	5%	5%	4%	6%	6%	5%	1%	1%	6%
Participación acumulada																							
Primero	57%	87%	57%	19%	42%	30%	34%	31%	31%	30%	40%	42%	18%	89%	37%	31%	56%	38%	30%	63%	52%	45%	29%
2 primeros	62%	91%	73%	31%	79%	58%	56%	58%	48%	48%	64%	60%	33%	97%	59%	51%	73%	57%	56%	77%	65%	72%	48%
3 primeros	68%	95%	78%	41%	93%	67%	69%	72%	65%	63%	74%	72%	48%	98%	68%	70%	87%	75%	68%	88%	74%	95%	59%
4 primeros	72%	98%	83%	49%	98%	76%	80%	86%	73%	74%	84%	79%	60%	100%	74%	76%	95%	84%	76%	93%	76%	99%	69%
5 primeros	75%	100%	85%	57%	100%	83%	84%	94%	77%	77%	91%	84%	71%	100%	79%	81%	99%	90%	82%	98%	77%	100%	75%

Fuente: Cochilco a partir de datos USGS

En términos generales, si bien existe concentración, esta no es tan marcada como para el caso de la producción, ya que existen casos donde se presenta un mayor equilibrio entre los 3 y 4 principales países donde se ubican dichas reservas.

Para el caso de Chile, el nivel de participación de las reservas de renio (56%), toma bastante ventaja respecto del país que ocupa el segundo lugar (17%). Algo relativamente similar ocurre con la participación de las reservas de litio de nuestro país (34%); las cuales son 12 puntos porcentuales superiores que la participación del país que ocupa el segundo lugar. Para el caso del cobre, 7 puntos porcentuales separan la participación de Chile con el país que le sigue.



3 Variables utilizadas en las metodologías para definir listados de minerales críticos.

Aparte de las estrategias sobre minerales críticos que distintos países y asociaciones de países han planteado para asegurar el suministro de dichos minerales, también se han formulado metodologías para la evaluación e identificación de sus minerales de interés.

Como su nombre lo indica, una evaluación de minerales críticos implica principalmente la evaluación de minerales o materias primas que son de gran importancia para un país/región y son vulnerables a las interrupciones del suministro. El resultado de la evaluación es un listado de minerales.

En este apartado y a diferencia de lo que comúnmente se exponen como los principales criterios para la evaluación de la criticidad de los materiales y minerales, se presentan las variables utilizadas por algunos países demandantes y otros productores de minerales críticos/estratégicos, para la definición de sus listas.

3.1 Departamento de Energía de Estados Unidos (DOE)

La evaluación del DOE se realiza desde una perspectiva global. Además, se centra en la importancia de los materiales para la tecnología de las energías limpias. El documento Critical Materials Assessment (U.S. Department of Energy 2023), plantea una evaluación de mediano plazo (hasta el 2035), en función de los escenarios de despliegue de energía limpia. Se plantea un periodo de evaluación que se repite cada 3 años.

Considera la evaluación de 38 materiales utilizados por ocho tecnologías, de los cuales 23 materiales se evalúan para determinar su criticidad después de un proceso de selección. De ellos, 7 son críticos para la energía limpia a corto plazo, mientras que 13 son críticos en el mediano plazo.

Se evalúan los materiales asociados a 4 categorías de aplicaciones energéticas:

- Transmisión y distribución,
- Generación,
- Almacenamiento de energía y
- Uso final.

Etapa 1: utiliza 3 métricas:

- **Importancia de la tecnología:** Crecimiento proyectado hasta 2030 en el escenario de cero emisiones netas (o el más alto disponible) de la Agencia Internacional de la Energía, evaluado en función de la tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR).
- **Importancia de la subtecnología/componente:** Cuota de mercado de la subtecnología específica que utiliza el material en 2030.
- **Importancia del material:** Cuota de la demanda de materiales adicionales de tecnología en 2030 en relación con la oferta total actual.

Etapa 2: utiliza 7 métricas para evaluar 2 factores:

- **Factor Importancia para la energía:** Demanda de energía (70%) y Limitaciones de sustituibilidad (30%)
- **Factor Riesgo de abastecimiento:** Disponibilidad básica (40%); Demanda Tecnológica competitiva (10%); Factores políticos, regulatorios y sociales (20%); Co-producto de otros minerales (otros mercados) (10%); y Diversidad de productores (20%).



3.2 United States Geological Survey (USGS)

A diferencia de la evaluación del DOE, el análisis del USGS se centra en la importancia de los minerales para la economía estadounidense y es una evaluación en retrospectiva. La evaluación se realiza cada 3 años.

El documento analizado del USGS señala que un alto grado de dependencia de las importaciones expone a los Estados Unidos a posibles perturbaciones del suministro extranjero, a las que las industrias manufactureras nacionales pueden ser vulnerables.

La metodología para identificar los productos minerales no energéticos como "críticos", implica una evaluación cuantitativa basada en un modelamiento del riesgo, en el cual los minerales con mayor riesgo de suministro son aquellos donde se presentan las siguientes situaciones:

- 1) producción global se concentra en países que podrían volverse incapaces o no estar dispuestos a continuar suministrando a los Estados Unidos;
- 2) el consumo en Estados Unidos depende predominantemente de suministros extranjeros; y
- 3) el consumo en Estados Unidos representa un gasto significativo para las industrias manufactureras estadounidenses, con baja rentabilidad pero que contribuyen en gran medida a la economía estadounidense.

Se comienza por evaluar un conjunto de productos minerales, de los cuales solo algunos de ellos pasan a una segunda etapa, ya que cumplen los criterios de un umbral cuantitativo (revisión metodológica).

Finalmente, el riesgo de abastecimiento se evalúa en base a 3 aspectos:

- Potencial de interrupción (peligro).
- Exposición comercial (exposición).
- Vulnerabilidad económica (vulnerabilidad).

3.3 Unión Europea

Plantea una evaluación cada 4 años y al igual que en las otras evaluaciones, el foco está en el riesgo de abastecimiento.

La evaluación examinó 70 materias primas candidatas, que comprenden 67 materiales individuales y tres grupos de materiales: diez elementos de tierras raras pesados (HREE) y cinco ligeros (LREE), y cinco metales del grupo del platino (PGM).

Las **materias primas estratégicas** se determinan en función de:

- **Importancia estratégica**, a través de la evaluación de la cantidad de tecnologías estratégicas que utilizan una materia prima como insumo; cantidad de materia prima necesaria para fabricar tecnologías estratégicas relevantes; y demanda global esperada de tecnologías estratégicas relevantes.
- **Crecimiento previsto de la demanda.**
- **Dificultad de aumentar la producción**, evaluando la escala de producción actual de una materia prima y/o la relación reservas-producción de una materia prima.

Por otro lado, las **materias primas críticas** se determinan en función de:

- **Importancia Económica**, a través del uso final de la materia prima, valor agregado del sector y sustitución relacionada con la importancia económica.



- **Riesgo de suministro**, en función del índice de concentración de HH, producción mundial de la materia prima, índice de gobernanza mundial, dependencia de las importaciones, tasa de reciclaje al final de la vida útil y tasa de sustitución.

3.4 Reino Unido

El documento “UK criticality assessment of technology critical minerals and metals” (British Geological Survey 2021), plantea una metodología de evaluación de minerales críticos desarrollada por el Servicio Geológico del Reino Unido, el que a su vez fue mandatado por el Department for Business, Energy and Industrial Strategy de dicho país.

En el documento se evalúan 26 minerales y se excluye al hierro, cobre, zinc y plomo.

La criticidad se evalúa en base a dos indicadores: el riesgo de suministro global y la vulnerabilidad económica del Reino Unido. Cada uno de los indicadores se compone de las siguientes variables:

- **Riesgo de suministro global** = $0,7 * \text{Concentración de la producción} + 0,2 * \text{Fracción de metal asociado} + 0,1 * \text{Tasa de reciclaje}$.
- **Vulnerabilidad económica del Reino Unido** = $0,08 * \text{Evolución de la producción} + 0,1 * \text{Volatilidad del precio} + 0,02 * \text{Sustituibilidad} + 0,1 * \text{Concentración del comercio mundial} + 0,5 * \text{Dependencia del Reino Unido de las importaciones} + 0,2 * \text{Contribución del Reino Unido al valor agregado bruto}$.

3.5 India

El documento “Critical Minerals for India” (Ministry of Mines 2023), presenta el listado de minerales críticos de dicho país.

La metodología utilizada por la India para obtener el citado listado se basa en la metodología de la Unión Europea, es decir, los principales parámetros utilizados son: importancia económica y riesgo de abastecimiento. Por un lado, la importancia económica analiza en detalle la asignación de materias primas a usos finales basados en aplicaciones industriales y mide el impacto en ese sector cuando los minerales dejan de estar disponibles en la cadena de suministro. Por otro lado, el riesgo de suministro analiza la concentración a nivel nacional de la producción global de materias primas primarias y el abastecimiento, la gobernanza de los países productores, incluidos los aspectos ambientales, la contribución del reciclaje (es decir, materias primas secundarias), la sustitución, la dependencia de las importaciones y las restricciones comerciales en terceros países.

La Importancia Económica se compone de cuatro indicadores:

- **Disrupción potencial.**
- **Índice de sustituibilidad:** mide el costo y el rendimiento de los sustitutos del mineral, si los hubiera, en cada una de las aplicaciones de uso final del mineral.
- **Coficiente multiplicador de valor agregado bruto (VAB):** mide el impacto de un mineral en el VAB manufacturero, calculado utilizando multiplicadores del VAB sectoriales.
- **Índice Cross-Cutting:** Los minerales cross-cutting son aquellos que son consumidos por diversos sectores. Los minerales consumidos por un mayor número de industrias se consideran más importantes económicamente, ya que una interrupción repentina de su suministro afectaría a más industrias.

Por otro lado, el Riesgo de Abastecimiento se compone de:



- **Gobernanza ponderada por la concentración de mineral.** Es decir, se mide la calidad de la gobernanza por el número de países que extraen un determinado mineral.
- **Tasas de reciclaje al final de su vida útil.**
- **Dependencia de las importaciones y autosuficiencia.** La dependencia de las importaciones de un mineral se refiere a la dependencia de un país de las importaciones para sus necesidades de productos básicos y varía entre 0% y 100%.
- **Índice de sustituibilidad:** Al igual que con el cálculo de la importancia económica, se calcula tomando el promedio de las puntuaciones, ponderadas por el consumo de minerales en cada sector.

3.6 Argentina

La metodología para definir el ranking de minerales críticos y su importancia económica estratégica está planteada en el documento “Minerales y metales críticos y estratégicos” (Zappettini 2021). Se definen 2 parámetros: importancia económica del recurso y disponibilidad del recurso:

1. **Importancia económica del recurso.** Considera factores locales e internacionales.

Para los factores locales se consideran 2 escenarios (existencia o no del recurso) y que sea requerido por la industria nacional.

- **Factores locales para el caso de existencia suficiente del recurso:** Índice de participación de la producción del recurso en la producción minera nacional; Índice de participación en las exportaciones; Índice de impacto sobre el empleo; Capacidad de generación de cadenas productivas.
- **Factores locales para el caso de inexistencia del recurso o de insuficiencia en su provisión:** Índice de impacto en las importaciones para abastecer la demanda industrial; Índice de consumo aparente.

Para los factores internacionales se cuantifica:

- **Factores internacionales:** Índice de criticidad de aprovisionamiento desde la percepción de los países industrializado.

2. **Disponibilidad del recurso.** Considera factores locales e internacionales

- **Disponibilidad geológica (factores locales):** Potencial geológico local; Existencia local de recursos y reservas económicamente explotables.
- **Aspectos sociales, geopolíticos y ambientales:** Índice de aceptabilidad (local); Índice de limitación en la provisión del recurso a terceros países (local); Índice de Criticidad ambiental (internacional).

La clasificación de un mineral crítico u estratégico es como sigue en una escala 1 a 100:

- Minerales críticos (Importancia económica >50; disponibilidad <50):
- Minerales de importancia económica estratégica (Importancia económica >50; disponibilidad >50).

3.7 Colombia

El documento “Determinación de minerales de interés estratégico para Colombia” (Bayter, y otros 2023), identifica los lineamientos para determinar los minerales estratégicos:



1. Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal.
2. Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación.
3. Demanda de minerales para la transición energética.
4. Demanda de minerales para la seguridad alimentaria.
5. Demanda de minerales para el desarrollo industrial y de la infraestructura pública.
6. Minerales para el autoabastecimiento.
7. Minerales para promover la asociatividad.

Además, el documento establece la metodología para aplicar los lineamientos definidos por el Consejo Directivo, con el fin de determinar el listado de los minerales que resultan ser estratégicos para Colombia.

3.8 Resumen de indicadores

En la Tabla 7 se resumen los indicadores utilizados por las metodologías de evaluación de criticidad de las economías demandantes de minerales (Estados Unidos, Reino Unido, Unión Europea e India). Además, se han agrupado de acuerdo a 4 criterios.

Tabla 7: Resumen de Indicadores utilizados por economías demandantes de minerales.

1. Demanda y Uso de Materia Prima
Cantidad de materia prima necesaria para fabricar tecnologías estratégicas relevantes.
Coeficiente multiplicador de valor agregado bruto.
Cuota de la demanda de materiales adicionales de tecnología en 2030 en relación con la oferta total actual.
Demanda global esperada de tecnologías estratégicas relevantes.
Dependencia de las importaciones y autosuficiencia.
Disponibilidad básica.
Evolución de la producción.
Producción mundial de la materia prima.
Relación reservas-producción de una materia prima.
Uso final de la materia prima.
Crecimiento previsto de la demanda.
Crecimiento proyectado hasta el año 2030.
Demanda de energía.
Demanda tecnológica competitiva.
2. Impacto Económico y Comercial
Contribución al valor agregado bruto.
Valor agregado del sector.
Tasa de reciclaje al final de la vida útil.
Tasa de sustitución/ sustituibilidad/ índice de sustituibilidad.
Limitaciones de sustituibilidad.
Sustitución relacionada con la importancia económica.
Volatilidad del precio.



Disrupción potencial.
3. Factores de Concentración y Competitividad
Cantidad de tecnologías estratégicas que utilizan una materia prima como insumo. Co-producto de otros minerales (otros mercados). Concentración de la producción. Concentración del comercio mundial. Cuota de mercado de la subtecnología específica que utiliza el material en el año 2030. Diversidad de productores. Escala de producción actual de una materia prima. Índice de concentración de HH (Herfindahl-Hirschman). Índice Cross-Cutting.
4. Sostenibilidad
Factores políticos, regulatorios y sociales. Índice de gobernanza mundial. Gobernanza ponderada por la concentración de mineral.

Fuente: Elaboración propia

De igual forma y por tratarse de economías que cuentan con reservas de minerales (y no de demandantes netos), se han agrupado en la siguiente tabla los índices utilizados por Argentina y los lineamientos de Colombia.

Tabla 8: Resumen de Indicadores utilizados por economías productoras y/o con importantes reservas de minerales.

1. Potencial geológico y disponibilidad de recursos
Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación. Existencia local de recursos y reservas económicamente explotables. Potencial geológico local. Soberanía del Estado sobre los recursos minerales de propiedad estatal.
2. Demanda y uso de minerales
Demanda de minerales para el desarrollo industrial y de la infraestructura pública. Demanda de minerales para la seguridad alimentaria. Demanda de minerales para la transición energética. Minerales para el autoabastecimiento. Minerales para promover la asociatividad.
3. Impacto económico y comercial
Índice de consumo aparente. Índice de impacto en las importaciones para abastecer la demanda industrial. Índice de impacto sobre el empleo. Índice de participación de la producción del recurso en la producción minera nacional. Índice de participación en las exportaciones.



4. Evaluación y percepción

Índice de Criticidad ambiental (internacional).

Índice de criticidad de aprovisionamiento desde la percepción de los países industrializados.

Índice de limitación en la provisión del recurso a terceros países (local).

Índice de aceptabilidad (local).

Fuente: Elaboración propia

Si bien se trata de países que poseen importantes reservas de minerales, las metodologías de Argentina y Colombia consideran indicadores que miden la importancia de dichos minerales para la economía nacional, desde un punto de vista de su uso interno para abastecer la industria local y en especial su relación con la transición energética. Por su parte, Colombia va más allá y también considera indicadores que miden la importancia de los minerales para su seguridad alimentaria.

En resumen, el foco no necesariamente está puesto en la exportación de minerales críticos hacia otros países que los demandan sino que busca desarrollar una industria interna que le agregue valor.



3.9 Propuesta de Indicadores para construir un listado de minerales estratégicos para Chile

En el punto 1.3.3 se entrega una justificación sobre el uso del concepto de “estratégico” y no el de “crítico” para los minerales de interés en Chile.

En base a lo anterior, la definición de un listado de minerales estratégicos para nuestro país debe surgir de una metodología que se base en principios y lineamientos propios. Por lo tanto, antes de formular indicadores es necesario convenir en el “porqué” Chile necesita definir un listado de minerales estratégicos, para posteriormente plasmarlo en una política o estrategia.

Sin embargo, hay antecedentes de estudios y documentos recientes que proponen criterios para definir un mineral estratégico o crítico. Al respecto se tiene lo siguiente:

El documento “Potencial de minerales críticos en Chile” (Ministerio de Minería 2022), considera los siguientes criterios:

- Tamaño o valor de Mercado del mineral para Chile al 2030.
- Potencial o Número de proyectos/prospectos relacionados con el mineral.
- Potencial de recuperación del mineral desde residuos mineros como subproductos en el país.

Un segundo estudio mandatado por la SUBREI (Castillo, del Real y Araya 2023), propone considerar:

- Índice de importancia económica.
- Índice de potencial geológico – económico.

Una tercera aproximación interesante es la metodología utilizada por Argentina, la cual plantea como criterios la “importancia económica del recurso” y “disponibilidad del recurso”. El detalle de los indicadores utilizados se explicita en el punto 3.6 de este documento.

El estudio de la SUBREI y la metodología argentina comparten los mismos parámetros. Por otro lado, tanto el valor de mercado del mineral para Chile como el potencial de recuperación desde residuos mineros, planteados en el documento del Ministerio de Minería, parecen ser aspectos específicos que también están contemplados en los documentos señalados.

Por otro lado, están los indicadores que han definido algunas economías para evaluar la criticidad de los minerales. Sin embargo, dichas métricas están enfocadas en aspectos relacionados a la búsqueda de abastecimiento de minerales críticos desde terceros países, porque no cuentan con ellos o la oferta local no alcanza a satisfacer la demanda interna.

En conclusión y basado en los antecedentes, la definición de un listado de minerales estratégicos para Chile debe basarse en criterios que consideren la "importancia económica del recurso" y la "disponibilidad del recurso". La información necesaria para el cálculo de dichas variables es un aspecto a analizar, pero pareciera que no debiera ser un obstáculo su fácil y rápida obtención.



4 Listados de Minerales Críticos

Diversos países han decidido definir una lista de minerales críticos o estratégicos. Esta definición depende mucho del perfil de los países, es decir, aquellos que son demandantes netos y aquellos que son productores y/o poseen importantes reservas de estos minerales. Por un lado, las economías consumidoras de estos minerales los definen como “críticos”, debido a que existen temores fundados de no poder asegurar su suministro. Para el caso de los países que poseen importantes reservas de estos minerales (productores), los definen como estratégicos por las razones expuestas en el punto 1.3.3. Para efectos de análisis, en este capítulo los llamaremos indistintamente como críticos a los minerales estratégicos y críticos.

Se seleccionaron 13 países y una asociación de países que han definido listas de minerales críticos. Esto países son: Estados Unidos, Australia, Canadá, Reino Unido, Unión Europea, Corea del Sur, Japón, China, India, Sudáfrica, Nigeria, Argentina, Brasil y Colombia.

Siete minerales presentan una alta criticidad debido a que aparecen en 10 de listas analizadas. Estos son: tierras raras, platino, litio, cobalto, niobio, níquel y tantalio.

De este grupo el litio, cobalto y níquel son un insumo importante para el desarrollo de baterías. El niobio es utilizado para crear aleaciones superconductores con estaño y titanio o simplemente aleaciones con acero. El platino es utilizado en convertidores catalíticos y el tantalio es utilizado en componentes electrónicos, principalmente en condensadores. Por último, las tierras raras son utilizadas para la elaboración de imanes permanentes en turbinas eólicas y motores eléctricos.

A continuación, se presenta una tabla comparativa con la lista de minerales críticos de las economías mencionadas.

Tabla 9: Comparación de la lista de minerales críticos de países demandantes y productores.

Mineral	USA (2022)	Australia (2023)	Canadá (2023)	Reino Unido (2022)	Unión Europea (2023)	Corea del Sur (2023)	Japón (2023)	China (2021)	India (2023)	Sudáfrica (2022)	Nigeria (2020)	Argentina (2021)	Brasil (2022)	Colombia (2023)
Aluminio	X	X	X		X	X						X	X	
Antimonio	X	X	X	X	X	X	X							
Arsénico	X				X									
Azufre													X	
Barita	X				X						X			
Bario							X							
Bauxita					X									X
Berilio	X	X			X		X	X	X					
Bitumen										X				
Bismuto	X	X	X	X	X	X								
Boro					X		X							
Caliza											X			X
Cadmio								X	X					
Cesio	X		X				X	X						
Circonio	X	X				X	X	X	X					
Cobalto	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
Carbón de Coque					X					X	X			X



Mineral	USA (2022)	Australia (2023)	Canadá (2023)	Reino Unido (2022)	Unión Europea (2023)	Corea del Sur (2023)	Japón (2023)	China (2021)	India (2023)	Sudáfrica (2022)	Nigeria (2020)	Argentina (2021)	Brasil (2022)	Colombia (2023)
Cromo	X	X	X			X	X			X		X		X
Cobre			X		X	X				X		X	X	X
Disproscio	X													
Erbio	X							X						
Escandio	X	X			X			X						
Esmeraldas														X
Estaño	X		X	X		X		X					X	
Estroncio					X	X	X	X						
Europio	X							X						
Feldespatos					X									
Fluorita	X		X		X									
Flúor							X							
Fosfato				X	X				X				X	X
Fósforo					X		X					X		
Gadolinio	X							X						
Galio	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Germanio	X	X	X		X		X	X						
Glauconita									X					
Grafito	X	X	X		X	X			X				X	
Hafnio	X	X			X		X	X						
Helio		X	X		X									
Hierro										X				X
Holmio	X							X						
Indio	X	X	X	X		X	X	X	X					
Iridio	X		X	X				X						X
Iterbio	X							X						
Itrio	X							X						
Litio	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
Lutecio	X	X						X						
Magnesio	X	X	X	X	X	X	X							X
Manganeso	X		X	X	X	X	X			X				X
Molibdeno			X			X	X		X				X	
Niobio	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	
Níquel	X		X	X	X	X	X		X	X		X	X	X
Oro											X	X		X
Osmio								X	X	X			X	X
Paladio	X		X	X			X	X	X	X			X	X
Plata												X		
Platino	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X



Mineral	USA (2022)	Australia (2023)	Canadá (2023)	Reino Unido (2022)	Unión Europea (2023)	Corea del Sur (2023)	Japón (2023)	China (2021)	India (2023)	Sudáfrica (2022)	Nigeria (2020)	Argentina (2021)	Brasil (2022)	Colombia (2023)
Plomo						X				X	X	X		
Potasio			X						X				X	
Praseodimio	X							X						
Ridio									X	X			X	
Renio		X					X	X	X					
Rodio	X						X	X	X	X			X	X
Rubidio	X						X	X						
Rutenio	X		X				X	X	X	X			X	X
Silicio		X		X	X	X	X						X	
Samario	X							X						
Selenio						X	X	X	X					
Talio								X					X	
Tantalio	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	
Telurio	X		X	X			X	X	X					
Titanio	X	X			X	X	X						X	
Tierras Raras*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
Tulio	X							X						
Tungsteno	X	X		X	X	X	X						X	
Uranio													X	
Vanadio	X	X		X	X	X	X		X	X			X	
Yeso														X
Zinc	X					X				X	X	X		X

Fuente: Elaboración Cochilco en base a distintas fuentes.

* Neodimio, Disprosio, Terbio, Cerio, Lantano, etc.



5 Estrategias de minerales críticos

La definición de listados de minerales o materiales críticos por parte de las principales economías industrializadas generalmente está asociada a una Política o Estrategia. Algunos países son transparentes al difundir sus lineamientos, mientras que en otros casos se observa una focalización en ciertos minerales, como por ejemplo las tierras raras.

Previo al análisis de las estrategias, es necesario precisar conceptos como los de política y estrategia. Según la RAE, una de las acepciones en la definición indica que política es el “arte o traza con que se conduce un asunto o se emplean los medios para alcanzar un fin determinado” u “orientaciones o directrices que rigen la actuación de una persona o entidad en un asunto o campo determinado”.

Por otro lado, estrategia es “un proceso regulable, conjunto de las reglas que buscan una decisión óptima en cada momento.” Es decir, la política define los principios y el marco para la toma de decisiones y la estrategia involucra la planificación y ejecución de acciones para cumplir con los objetivos dentro del marco de la política.

A continuación, se exponen las principales directrices de las estrategias y/o políticas de minerales críticos de algunos países y asociaciones de países.

5.1 Estados Unidos

La estrategia analizada corresponde a la publicada por el Departamento de Energía (DOE) a inicios del año 2021⁵.

La Estrategia establece una visión que es posicionar al DOE como una fuente esencial de soluciones de ciencia, tecnología e ingeniería para restablecer la competitividad de Estados Unidos en las cadenas de suministro de materiales y minerales críticos.

De igual forma plantean 4 alcances; cada uno con sus correspondientes objetivos:

⁵ Cabe señalar que en julio del 2024 se presentó un proyecto de ley (Global Strategy for Securing Critical Minerals Act of 2024), para garantizar un suministro seguro y diversificado de minerales críticos. A la fecha de elaboración del presente documento, dicho proyecto se encontraba en trámite en el Congreso de Estados Unidos. La legislación busca mejorar las herramientas diplomáticas y financieras para apoyar a los sectores público y privado en la obtención y procesamiento de los minerales críticos. Las principales medidas consideran:

- Agilizar los esfuerzos diplomáticos para obtener minerales críticos;
- Establecer apoyo diplomático a las inversiones del sector privado en el exterior;
- Mejorar las herramientas financieras del U.S. International Development Finance Corporation (DFC) y del Export-Import Bank of the United States (EXIM);
- Creación de un fondo para apoyar las inversiones en instalaciones metalúrgicas de minerales críticos;
- Mejorar el intercambio de información público-privada sobre prácticas de países competidores;
- Crear un sitio web público para ayudar a las empresas del sector privado a navegar por los recursos gubernamentales y el apoyo financiero; y
- Ampliar las asociaciones entre países aliados para asegurar minerales críticos.



Tabla 10: Alcances y objetivos de la Estrategia DOE de EE.UU.

N°	Alcance	Objetivos
1	Fomentar la innovación científica y desarrollar tecnologías que garanticen cadenas de suministro de minerales y materiales críticos resilientes y seguras, independientes de los recursos y el procesamiento de países adversarios extranjeros.	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinar las actividades y capacidades de I+D en curso. - Desarrollar un roadmap de I+D coordinado. - Identificar futuras oportunidades de I+D mediante asociaciones público-privadas. - Identificar potenciales oportunidades de colaboración en I+D socios internacionales e interinstitucionales.
2	Catalizar y apoyar la adopción por parte del sector privado y capacidad para cadenas de suministro nacionales sostenibles de minerales y materiales críticos.	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinar las actividades y capacidades de transición y transferencia de tecnología en curso. - Desarrollar oportunidades futuras para mejorar la adopción y la capacidad. - Involucrar y apoyar a stakeholders clave. - Habilitar mecanismos de transferencia tecnológica.
3	Construir un ecosistema de innovación a largo plazo en minerales y materiales, fomentando nuevas capacidades para mitigar futuros desafíos de la cadena de suministro de materiales y minerales críticos.	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar un sólido marco de análisis de criticidad. - Mejorar y permitir el mapeo de depósitos minerales y materiales críticos. - Aumentar la fuerza laboral estadounidense de minerales y materiales críticos.
4	Coordinar con socios y aliados internacionales y otras agencias federales para diversificar las cadenas de suministro globales y garantizar la adopción de mejores prácticas para la minería y el procesamiento sostenibles.	<ul style="list-style-type: none"> - Incrementar los intercambios internacionales y activar las relaciones multilaterales. - Coordinación interinstitucional. - Colaboración con socios internacionales para establecer estándares industriales globales.

Fuente: Cochilco en base a "U.S. Department of Energy's Strategy to Support Domestic Critical Mineral and Material Supply Chains"

Los objetivos se pueden resumir en: generar conocimiento a través de un fuerte desarrollo de la I+D; optimizar la coordinación y facilitar la transferencia de tecnología actual y futura; desarrollar un marco de análisis de criticidad para fortalecer la identificación de depósitos y la fuerza laboral en minerales y materiales críticos e; impulsar intercambios internacionales y colaboración en estándares globales.

5.2 Unión Europea

La Unión Europea (U.E.) es una asociación económica y política formada por 27 países de Europa que cuenta con un reglamento de materiales críticos que entró en vigencia en el año 2024.

El gran objetivo del reglamento es garantizar un suministro seguro y sostenible de materias primas (críticas y estratégicas), fundamentales para la U.E.

El reglamento plantea como objetivos:



- Reforzar las diferentes fases de la cadena de valor europea de las materias primas fundamentales.
- Diversificar las importaciones de materias primas fundamentales de la U.E. para reducir las dependencias estratégicas.
- Mejorar la capacidad de seguimiento y mitigación de los riesgos actuales y futuros de alteraciones del suministro de materias primas fundamentales.
- Garantizar la libre circulación de las materias primas fundamentales en el mercado único, procurando al mismo tiempo alcanzar un elevado nivel de protección del medio ambiente mediante la mejora de su circularidad y sostenibilidad.

Cabe señalar que el reglamento deja en manifiesto la importancia de contar con el suministro de materias primas estratégicas y menciona su contribución a la transición ecológica y digital. Cabe señalar que este último concepto ha sido introducido por la U.E. y también se conoce como transición híbrida⁶ (twin transition en inglés) y que en cierta forma representa una mirada más amplia del concepto de transición energética.

5.3 Australia

En junio del 2023 Australia publicó su Estrategia de Minerales Críticos 2022-2030, cuya visión al año 2030 señala que aumentará su posición geoestratégica y la huella económica de su sector de minerales críticos al convertirse en un productor importante a nivel mundial de materias primas y minerales críticos. Estos minerales sustentan cadenas de suministro globales diversas, resilientes y sostenibles, que respaldan industrias y tecnologías que son cruciales para:

- La transición global hacia cero emisiones netas.
- Seguridad energética nacional y regional.
- Defensa y seguridad económica.

De igual forma la Estrategia plantea como objetivos:

- Crear cadenas de suministro diversas, resilientes y sostenibles a través de asociaciones internacionales sólidas y seguras.
- Desarrollar capacidad soberana en el procesamiento de minerales críticos.
- utilizar sus minerales críticos para ayudar a convertirse en una superpotencia en energía renovable.
- Extraer más valor de los recursos del país, creando empleos y oportunidades económicas, incluyendo a las comunidades regionales y Primeras Naciones (pueblos indígenas).

5.4 Canadá

La Estrategia Canadiense de Minerales Críticos, del año 2022, señala que buscará aumentar el suministro de minerales críticos de origen responsable y apoyará el desarrollo de cadenas de valor domésticas y globales para la economía verde y digital.

La estrategia de minerales críticos plantea como objetivos:

- Apoyar el crecimiento económico, competitividad y creación de empleo.
- Promover la acción climática y protección ambiental.

⁶ La transición ecológica busca una mejor relación con el entorno natural, algo en lo que la tecnología puede ayudar (energías renovables, medición de emisiones, uso más eficiente de recursos, etc.). La transición digital se refiere a la adopción de tecnologías que permitan una mayor eficiencia, productividad y competitividad; así como una mayor equidad y justicia social. Estos objetivos no se pueden lograr de una forma universal si los métodos para alcanzarlos no tienen en cuenta el impacto en el entorno.



- Avanzar en la reconciliación con los pueblos indígenas.
- Fomentar fuerzas laborales y comunidades diversas e inclusivas.
- Mejorar la seguridad global y las asociaciones con aliados.

Además, plantea áreas de interés:

- Conducir la investigación, la innovación y la exploración.
- Acelerar el desarrollo de proyectos.
- Construir infraestructura sostenible.
- Promover la reconciliación con los pueblos indígenas.
- Desarrollar una fuerza laboral diversa y comunidades prósperas.
- Fortalecer el liderazgo y seguridad global.

Tal como la misma estrategia lo señala en sus anexos, las provincias y territorios canadienses también consideran el desarrollo de minerales críticos como una prioridad estratégica. Varias jurisdicciones han desarrollado estrategias de minerales críticos, mientras que otras están en proceso de desarrollar políticas o están promoviendo activamente este sector. La Estrategia Canadiense de Minerales Críticos aborda las brechas nacionales y busca garantizar beneficios compartidos de las inversiones.

5.5 Reino Unido

En el año 2022, el Reino Unido publicó “Resilience for the Future: The United Kingdom’s Critical Minerals Strategy”. Los objetivos de dicha estrategia son:

- **Acelerar las capacidades internas del Reino Unido.** Esto se logra a través de una maximización de la producción interna, reconstruyendo las habilidades en minería y metales, llevando a cabo I+D de vanguardia y acelerando la economía circular de minerales críticos.
- **Colaborar con socios internacionales.** A través de la diversificación de la oferta mundial de minerales críticos, apoyando a las empresas del Reino Unido en otros países, fortaleciendo las relaciones diplomáticas, comerciales y de desarrollo en todo el mundo.
- **Fortalecer los mercados internacionales.** Impulsando el desempeño global de los criterios Medioambiental, Social y de Gobernanza (ESG), desarrollando mercados transparentes y que funcionen bien; y posicionando a Londres como la capital mundial del financiamiento responsable.

La estrategia aspira a mitigar los riesgos y mejorar la resiliencia de las cadenas de suministro de minerales críticos, aumentando la confianza del Reino Unido en la transición energética (Net Zero Transition), los sectores manufactureros clave y la seguridad nacional.

5.6 Corea del Sur

Corea del Sur es el 5to país con mayor consumo de materias primas en el mundo (US\$51bn de minerales importados), debido a su estructura industrial basada en la manufactura de productos tales como automóviles, barcos, teléfonos celulares, semiconductores, entre otros.

Para garantizar la sostenibilidad de materias primas, el gobierno coreano apoya inversiones de proyectos mineros en el extranjero y realizadas por empresas coreanas durante décadas. Prueba de lo anterior es que entre los años 1997 al 2022, las empresas coreanas han invertido en 553 proyectos mineros en el extranjero en 63 países.



Al respecto, Komir es una organización gubernamental coreana encargada de implementar las iniciativas gubernamentales en la industria minera. Parte de la labor de Komir es promover una cadena de suministro estable de recursos minerales y revitalizar la economía de las regiones afectadas por el cierre de minas. Además, apoya el desarrollo de recursos minerales en el extranjero por parte de empresas privadas de Corea del Sur.

En febrero del 2023 se lanzó la Nueva Estrategia Nacional de Minerales Críticos de Corea del Sur o “Estrategia para garantizar acceso a minerales críticos y posición de liderazgo global en industrias de alta tecnología”⁷.

Plantea como visión: “Garantizar acceso a minerales críticos y posición de liderazgo global en industrias de alta tecnología”. Hay 2 grandes metas:

- Reducir el alto nivel de dependencia de ciertos países a menos del 50% para 2030.
- Aumentar la tasa de reciclaje de minerales críticos al 20% al 2030.

Para cumplir las metas se tienen contempladas 3 estrategias:

1. Mejorar respuesta ante crisis y resiliencia (mapeo digital de la cadena de suministro de Minerales Críticos y establecimiento de sistema de alerta temprana)
2. Garantizar cadenas de suministro de minerales críticos (fortalecimiento de alianzas de cooperación internacional; facilitar apoyo público a la minería nacional y extranjero; establecer el modelo circular y base para el reciclaje de minerales; aumento del almacenamiento de minerales críticos).
3. Desarrollar infraestructura blanda (establecimiento de base institucional; desarrollo de recursos humanos y tecnología).

5.7 India

En el documento “Minerales Críticos para la India” (Ministry of Mines 2023), se plantean 5 pilares de la cadena de valor de los minerales críticos. Los 5 pilares son:

1. Apoyar el crecimiento económico, competitividad y creación de empleos.
2. Impulsar la investigación, innovación y exploración.
3. Mejorar la seguridad global y alianzas con países aliados.
4. Asegurar materias primas para la defensa.
5. Promocionar la acción climática y protección ambiental.

Lo anterior se fundamenta en que para que la estrategia de minerales críticos sea exitosa, India necesita desarrollar su cadena de valor desde la exploración hasta el reciclaje. Lo anterior implica construir capacidad en cada etapa de la cadena de valor. Es decir:

- Exploración (fase inicial).
- Extracción minera (fase inicial).
- Procesamiento, refinación y metalurgia (fase intermedia).
- Fabricación de componentes y producción de tecnologías limpias, digital y avanzada (aguas abajo).
- Recuperación y reciclaje de materiales.

⁷ No se tuvo acceso al documento que contiene dicha estrategia, pero si a una presentación de Komir donde se plantea la visión y metas.



La transición energética se menciona en el documento citado anteriormente, señalando que no se puede lograr sin los minerales críticos.

5.8 Brasil

A la fecha de realización de este documento, Brasil se encontraba en la etapa de consulta pública sobre un borrador del Plan Nacional de Minería 2050. El borrador establece los siguientes desafíos:

- Consolidación de las cadenas de valor de minerales y metales para la transición energética.
- Consolidación de las cadenas de valor agrominerales.
- Expansión de la investigación y la producción de minerales nucleares.

De igual forma plantea algunas directrices estratégicas, que son:

- Intensificación de la prospección geológica con un enfoque en minerales críticos y estratégicos y acceso y difusión del conocimiento generado.
- Estimular la expansión de los proyectos en curso.
- Certificación de Eficiencia Ambiental ("Sello Verde").
- Fomentar la expansión del uso de re-mineralizantes y fertilizantes naturales y difundir el potencial agro geológico del país.
- Mejora de los marcos jurídicos y reglamentarios de los minerales nucleares.

De igual forma plantea los siguientes desafíos y directrices en materia de políticas:

- Gobierno público y corporativo.
- Mejorar el entorno empresarial.
- Conocimiento geológico.
- Investigación y producción de minerales.
- Valor agregado y transformación de minerales.
- Minerales críticos y estratégicos.
- Minería artesanal y de pequeña escala.
- Desarrollo socioeconómico de los Municipios.
- Responsabilidad socioambiental.
- Percepción social de la minería.

5.9 Colombia

En agosto de 2022, se decidió actualizar la Política Minera Nacional. Para cumplir con dicho mandato se publicó una versión para comentarios de la nueva Política Minera Nacional que busca reorientar la actividad minera en el país, cumplir con los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 y enfrentar los retos que se avecinan en años futuros.

a. Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026

Dicho plan establece algunos lineamientos relacionados con sus minerales estratégicos:

- Formulación del “Plan de Conocimiento Geocientífico y Áreas de Reserva Estratégica Minera para el Desarrollo de Proyectos Asociativos”, cuyo objeto es proveer de conocimiento e información geocientífica para la planificación y uso del suelo y el subsuelo, el cuidado y la gestión del agua, la evaluación y monitoreo de amenazas de origen geológico, la investigación y prospección de los recursos minerales estratégicos para la transición energética, la industrialización, la seguridad alimentaria y la infraestructura pública.



- Creación de “Distritos Mineros Especiales para la Diversificación Productiva”, como instrumento de planificación socioambiental, gestión y articulación institucional para alcanzar la sustentabilidad de las regiones donde se desarrollan operaciones y proyectos mineros, promover la asociatividad entre mineros y mineras de pequeña escala, así como la industrialización a partir de minerales estratégicos, el desarrollo de nuevas alternativas productivas, la reconversión laboral, de ser necesaria, la solución concertada de los conflictos ocasionados por la minería, y generar condiciones para garantizar la soberanía alimentaria de las poblaciones.
- Como parte de las inversiones estratégicas nacionales se menciona la transición energética justa, para democratizar la generación y el consumo energético, desarrollo de comunidades energéticas, impulso a las energías limpias y minerales estratégicos.
- Se crea la reserva de áreas para minerales estratégicos y su titulación colectiva. Su objetivo es la transformación productiva, internacionalización y acción climática.
- Plantea el desarrollo económico a partir de eficiencia energética, nuevos energéticos y minerales estratégicos para la transición. Para ampliar el conocimiento de los recursos y reservas y lograr su aprovechamiento, se buscará aumentar la información, investigación y el conocimiento asociado a los recursos energéticos y mineros, para la planificación y uso del suelo y el subsuelo, el cuidado y la gestión del agua, entre otros.

b. Política Minera Nacional titulada “Una Nueva Visión de la Minería en Colombia” (versión para revisión)

Está enfocada en la transición energética, la reindustrialización, el cuidado del medio ambiente, la planificación de la minería en función de minerales estratégicos, la seguridad alimentaria, la infraestructura pública, las determinantes sociales, culturales y ambientales de cada región, y una nueva visión de los recursos naturales no renovables basada en la soberanía del Estado sobre los mismos. Por tratarse de una política para el sector minero, su alcance va más allá de los minerales estratégicos.

Se definen 7 lineamientos para el establecimiento de minerales estratégicos en Colombia:

1. Soberanía del Estado colombiano sobre los recursos minerales de propiedad estatal.
2. Existencia de ambientes geológicos favorables y priorización de la investigación.
3. Demanda de minerales para la transición energética.
4. Seguridad alimentaria.
5. Desarrollo industrial y de la infraestructura pública.
6. Minerales para el autoabastecimiento.
7. Minerales para promover la asociatividad.

La Tabla 8 resume los aspectos relevantes que abordan las estrategias analizadas:



Tabla 11: Aspectos abordados por las estrategias de los países analizados

N°	Aspectos dentro del alcance de la estrategia	País / Bloque								
		Estados Unidos	Unión Europea	Reino Unido	Australia	Canadá	Corea del Sur	India	Brasil	Colombia
1	Transición energética – Twin Transition	X ⁸	X	X	X	X	X ⁹	X	X	X
2	Cadenas de suministro resilientes y seguras	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Impulso I+D; tecnología.	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	Acción climática y protección ambiental; ESG; Economía Circular.	X ₁₀	X	X	X	X	X	X	X	X
5	Impulso de la exploración y abastecimiento local; fortalecer cadenas de suministro nacionales.	X	X	X	X	X		X	X	X
6	Asociación con socios y países aliados; alianzas; cooperación; colaboración; diversificación.	X	X	X	X	X	X	X		
7	Seguridad nacional -defensa y/o tecnología espacial.	X	X	X	X	X		X	X	
8	Crecimiento económico y competitividad.		X	X	X	X		X	X	X
9	Creación de empleos y nuevas capacidades /reconversión laboral.	X		X	X	X	X	X		X
10	Monitoreo y alertas de cadenas de suministro.	X					X			X
11	Consideración con pueblos originarios; comunidades locales.				X	X				
12	Cadenas agro minerales /seguridad alimentaria.							X	X	X
13	Apoyo de empresas en otros países.			X			X			
14	Convertirse en superpotencia de Energías Renovables.				X					
15	Minerales nucleares.								X	

Fuente: Elaboración propia.

Hay aspectos transversales a todas las estrategias, siendo la transición energética y contar con cadenas de suministro resilientes y seguras las de mayor connotación, ya que dan origen a las medidas que los distintos países plantean para poder enfrentarlos.

⁸ El tema de la transición energética se plantea de forma más explícita en el documento (Critical Materials Assessment 2023), más específicamente cuando se plantea la visión del DOE para los minerales y materiales críticos al señalar “apoyar la transición a energías limpias y la descarbonización de los sectores energético, manufacturero y transporte”.

⁹ Si bien no se cuenta con un documento que haga referencia explícita al tema de la transición energética, Corea del Sur requiere de minerales críticos para asegurar el desarrollo de su industria de alta tecnología, la cual contribuye a mitigar el cambio climático.

¹⁰ Este aspecto está plasmado en el mismo documento de la nota 8.



Otro aspecto que destaca es aquel que tiene relación con el impulso a la investigación y desarrollo y uso de nuevas tecnologías ligadas a los minerales críticos/estratégicos. De una u otra forma, las estrategias hacen mención a dicho aspecto, aunque varía la profundidad y el énfasis como lo abordan. Algo similar ocurre con la importancia que se le asigna a los aspectos de sustentabilidad, ya sea a través de ESG, solo aspectos ambientales o haciendo mención a temáticas particulares, como la economía circular.

En el otro extremo, algunas estrategias plantean objetivos muy específicos, como es el caso de Australia que busca convertirse en superpotencia de energías renovables o la de Brasil que pone especial atención en asegurar el abastecimiento interno de minerales nucleares, como el uranio. Lo mismo ocurre con el apoyo algunos gobiernos a la incursión de las empresas locales en otros países, aspecto que es mencionado explícitamente en las estrategias del Reino Unido, India y Corea del Sur.

La Agencia Internacional de Energía (IEA en inglés), define la transición energética como el cambio del sector energético mundial de los combustibles fósiles a fuentes de energía renovables. Al respecto la IEA plantea un escenario Net Zero para 2050 que describe un camino para lograr emisiones netas cero en el sector energético para mediados de siglo. Este camino incluye:

- Acelerar el uso de fuentes de energía no emisoras como la solar y la eólica.
- Aumento de la eficiencia energética.
- Electrificar edificios, industria y transporte.
- Usar más hidrógeno limpio y otros combustibles de bajas emisiones.
- Invertir en tecnologías de reducción de emisiones.



6 Iniciativas desarrolladas por países que cuentan con estrategias de minerales críticos

A continuación se recopilan algunas iniciativas y acciones extraídas de los documentos que presentan las estrategias de minerales críticos de Australia, Canadá y Reino Unido. Dichas iniciativas forman parte de áreas de interés prioritarias que cada uno de dichos países ha definido para impulsar sus estrategias.

6.1 Australia

La estrategia establece prioridades en seis áreas y en las cuales se definen algunas iniciativas de interés¹¹.

a) Desarrollo de proyectos de importancia estratégica

Apoyo específico para acelerar el desarrollo de proyectos minerales críticos

- El programa “Exploring for the Future de Geoscience Australia” proporciona información y datos geocientíficos precompetitivos a nivel mundial para fomentar la inversión en nuevos proyectos de recursos.
- El Programa de “Desarrollo de Minerales Críticos”, otorga subvenciones para ayudar a los proyectos de minerales críticos en etapa inicial e intermedia para superar las barreras técnicas y de mercado para la producción.
- El Gobierno de Australia apoya proyectos avanzados de minerales críticos proporcionando préstamos, garantías e inversiones de capital.

Investigación y comercialización

- El Programa del Centro de Investigación Cooperativa (CRC en inglés) financia la colaboración entre la industria, el mundo académico y los usuarios finales. Esto incluye el CRC de Future Battery Industries, que permite agregar valor a los recursos australianos, apoya la refinación y fabricación local de materiales, componentes, celdas y paquetes. También tiene como objetivo ayudar a abordar los desafíos asociados con la transición energética.
- El Gobierno está invirtiendo en la instalación del Centro Australiano de Investigación y Desarrollo de Minerales Críticos. El centro aborda desafíos técnicos y estratégicos y busca apoyar la colaboración internacional en materia de I+D.
- El Gobierno está revisando los marcos de concesión de licencias y comercialización para las agencias científicas federales y las iniciativas de I+D para garantizar el fomento y que los beneficios fluyan al sector nacional.
- Se busca aumentar la capacidad de Australia en materia de procesamiento de minerales, realizando más actividades de concentración, separación, refinación y fundición en el país.

b) Atraer inversiones y crear alianzas internacionales

- Se propone trabajar activamente con los proponentes de proyectos australianos para identificar fuentes específicas de inversión comercial para desarrollar sus proyectos.

¹¹ Para mayor detalle visitar: <https://www.industry.gov.au/publications/critical-minerals-strategy-2023-2030>.



- Liderar misiones comerciales para proyectos australianos en mercados objetivo para conectarlos con fuentes internacionales de compra y capital.
- Establecer mecanismos de cooperación estratégica bilateral para alinear políticas, profundizar la colaboración técnica y mejorar el acceso al financiamiento.
- Asumir roles de liderazgo en foros e iniciativas multilaterales para dar forma a las reglas y normas de los mercados emergentes para minerales críticos.
- Apoyar a las agencias de crédito a la exportación para explorar el financiamiento conjunto de proyectos australianos.
- Publicar guías para informar y atraer inversiones.

c) Participación de las Primeras Naciones y distribución de beneficios

- El Gobierno australiano se ha comprometido a colaborar estrechamente con los pueblos de las Primeras Naciones para implementar en su totalidad la “Declaración de Uluru desde el corazón”¹².
- El gobierno trabaja a todo nivel con los pueblos indígenas, las comunidades, las organizaciones y las empresas para implementar el Acuerdo Nacional de 2020 para cerrar la brecha a nivel nacional, estatal, territorial y local. Este enfoque reconoce que los pueblos indígenas deben determinar, impulsar y apropiarse de los resultados deseados, junto con el gobierno.

d) Desbloqueo de inversiones en infraestructura y servicios habilitadores

- El Gobierno tiene una ambiciosa agenda de infraestructura. El Programa de Inversión en Infraestructura de 10 años por 120 mil millones de dólares ofrece proyectos transformadores de infraestructura terrestre y de importancia nacional.
- La Autoridad de Cero Emisiones Netas será responsable de promover la transformación económica ordenada y positiva, asociada con el logro de cero emisiones netas.
- El Gabinete Nacional se comprometió a trabajar en alianzas con la industria y otras partes interesadas y a maximizar las oportunidades para alentar la innovación y apoyar las necesidades emergentes de la industria.

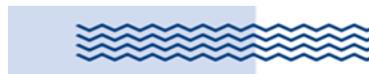
e) Desarrollar una fuerza laboral calificada

Habilidades

- El Acuerdo Nacional de Habilidades, con un valor de 1.000 millones de dólares y una duración de 12 meses, pondrá a disposición 180.000 plazas gratuitas del proveedor TAFE¹³ en toda Australia.
- Jobs and Skills Australia (JSA) fue establecido como una prioridad por el Gobierno como un organismo para proporcionar asesoramiento independiente, trabajando en asociación con

¹² La Declaración de Uluru desde el Corazón, es un documento considerado como la hoja de ruta propuesta por los indígenas al gobierno australiano para ser reconocidos de manera substancial en la Constitución de Australia.

¹³ La TAFE ofrece formación vocacional y educativa en áreas prioritarias de la economía, como la construcción, la fabricación, la capacidad soberana y los sectores tecnológico y digital.



- socios y partes interesadas para brindar asesoramiento para abordar aspectos relacionados con habilidades y el mercado laboral y así construir una fuerza laboral calificada para el futuro.
- Se analizará las industrias que enfrentan escasez de habilidades. Esto incluirá proporcionar datos y análisis para respaldar el sistema de habilidades y capacitación y así responder a las necesidades de fuerza laboral actual y futura.

Lugares de trabajo inclusivos

- Hay un compromiso del Gobierno para promover la igualdad en Australia. En el ámbito de las políticas sobre minerales críticos, las estrategias de igualdad de género y participación de las Primeras Naciones formarán parte de los criterios de evaluación para programas de subvenciones como el Programa de Desarrollo de Minerales Críticos.

6.2 Canadá

La estrategia de Canadá se focaliza en 6 áreas:

- a) Impulsar la investigación, la innovación y la exploración,
- b) Acelerar el desarrollo de proyectos,
- c) Construir infraestructura sostenible,
- d) Promover la reconciliación con los pueblos indígenas,
- e) Desarrollar una fuerza laboral diversificada y comunidades prósperas, y
- f) Fortalecer el liderazgo y la seguridad mundiales.

Algunas iniciativas de interés son¹⁴:

a) Impulsar la investigación, la innovación y la exploración

- Los compromisos presupuestarios del gobierno Canadá cubren diferentes aspectos de la cadena de valor de los minerales críticos, desde la exploración hasta el procesamiento y la refinación, pasando por productos más avanzados.
- El gobierno federal invertirá en modelos geológicos y en la cartografía del potencial de recursos, tanto de fuentes convencionales como no convencionales, lo que ayudará a definir y mejorar el conocimiento del panorama de minerales críticos en el país.
- Se pondrán a disposición del público datos e información para fundamentar el desarrollo de proyectos de minerales críticos y para respaldar las decisiones de inversión en toda la cadena de suministro.
- Se introdujo un incentivo fiscal para apoyar la exploración de ciertos minerales críticos.
- El gobierno federal aprovecha los laboratorios nacionales y facilita la inversión del sector privado para acelerar la innovación tecnológica en el sector de minerales críticos e industrias asociadas, mejorando así la competitividad y el desempeño ambiental.

b) Acelerar el desarrollo responsable de proyectos

¹⁴ Para mayor detalle visitar: <https://www.canada.ca/en/campaign/critical-minerals-in-canada/canadian-critical-minerals-strategy.html#a51>



- Para avanzar en la transición hacia una economía de cero emisiones netas, el gobierno federal brinda apoyo financiero y administrativo para acelerar el desarrollo de proyectos estratégicos en materia de minería, procesamiento, fabricación y reducción de desechos de minerales críticos (por ejemplo, mediante el reciclaje y la extracción de valor a partir de desechos).

Los presupuestos incluyen múltiples iniciativas para ayudar a acelerar el desarrollo de proyectos:

- Recursos para que el Fondo de Innovación Estratégica (SIF en inglés) apoye proyectos de minerales críticos, con prioridad para aplicaciones avanzadas de fabricación, procesamiento y reciclaje.
- Apoyar los procesos regulatorios del país en la revisión y autorización de proyectos minerales críticos.
- Apoyar al Centro de Excelencia de Minerales Críticos (CMCE en inglés), para desarrollar políticas y programas federales sobre minerales críticos y ayudar a los desarrolladores de proyectos a interactuar con los procesos regulatorios y las medidas de apoyo federal.

c) Construcción de infraestructura sostenible

- El gobierno federal está apoyando, vía presupuesto, el desarrollo del sector de minerales críticos de Canadá invirtiendo en infraestructura de energía y transporte sostenibles para apoyar el desarrollo industrial, desbloquear depósitos minerales prioritarios, mejorar la resiliencia de la cadena de suministro y facilitar el comercio internacional.
- Además, se plantea la necesidad de realizar inversiones estratégicas en infraestructura, en energía verde y transporte para liberar recursos de minerales críticos, al mismo tiempo que se mejore el desempeño ambiental y se impulse la reducción de emisiones en las operaciones existentes a través de la electrificación. Las posibles inversiones complementarían los programas existentes y estarían alineados con otros mecanismos de inversión federales estratégicos.

d) Fomentar la reconciliación con los pueblos indígenas

- Crear fondos presupuestarios para promover la reconciliación económica mediante una mayor preparación para participar de manera significativa en el sector de los recursos naturales, incluidos recursos para apoyar la participación indígena y la participación temprana en la Estrategia de minerales críticos.
- Elaboración de un Marco Nacional de Distribución de Beneficios para ayudar a garantizar que las comunidades indígenas se beneficien directamente de los principales proyectos de recursos en sus territorios



e) Desarrollar una fuerza laboral diversificada y comunidades prósperas

- Iniciativas federales de capacitación y desarrollo de capacidades para ayudar a las instituciones y los empleadores a capacitar continuamente a las personas, y ayudar a que la fuerza laboral crezca y satisfaga la demanda impulsada por los minerales críticos.
- Ayudar a los jóvenes a desarrollar sus habilidades y a hacer la transición del mercado laboral.
- Idear medidas para ayudar a movilizar un sector de minerales y metales más diverso e inclusivo. Por ejemplo, el gobierno federal seguirá apoyando los esfuerzos para atraer, capacitar y retener a las mujeres, en consonancia con el objetivo ambicioso de los Planes Canadienses de Minerales y Metales de lograr una participación femenina del 30% en la fuerza laboral minera para 2030.

6.3 Reino Unido

a) Producción doméstica

- Iniciar una evaluación a escala nacional de los minerales críticos en el Reino Unido. Para marzo de 2023 se esperaba recopilar datos geocientíficos e identificar áreas de potencial. Esto busca sentar las bases para trabajos de campo detallados, que incluyan prospecciones geofísicas aéreas en las áreas objetivo y catalizar la exploración comercial.
- Desarrollar evidencia y comprender los riesgos y el potencial para la extracción responsable de minerales en las aguas costeras (minería submarina).
- Explorar cómo los mecanismos de financiamiento del gobierno pueden apoyar a las empresas para desarrollar capacidades locales en minerales críticos y reducir el riesgo para los inversionistas en este campo, donde el mercado no está funcionando o donde se debe tomar una decisión estratégica para acelerar el progreso.
- Desarrollar una propuesta de inversión extranjera directa (IED) para proyectos de minerales críticos en el Reino Unido.
- Aprovechar el programa de reformas de planificación para implementar mejoras en todo el sistema de planificación, incluyendo la de los minerales críticos. Continuar con el diálogo sobre los temas que afectan a los minerales críticos, incluyendo la posible protección de futuros recursos de minerales críticos, la exploración, el desarrollo, el refinado/procesamiento de minerales y la infraestructura asociada. Las administraciones descentralizadas y las autoridades locales estarán involucradas en este proceso. Además, se revisarán las barreras relacionadas con los derechos mineros para la exploración y extracción de minerales críticos, y se analizará como mejorar la accesibilidad a la información sobre derechos mineros para agilizar el desarrollo de la minería de minerales críticos.

b) Habilidades

- Trabajar con la Camborne School of Mines para fortalecer su posición como una escuela de minería de clase mundial y lanzar un programa de aprendizaje de grado en ingeniería de minas.
- Trabajar con la industria del Reino Unido y los servicios de orientación profesional en todo el país para llevar a cabo actividades de divulgación en las escuelas sobre la importancia de los minerales críticos y modernizar las percepciones sobre la minería.



- Revisar las habilidades, la educación y la formación en el Reino Unido a lo largo de la cadena de valor de los minerales críticos y definir un plan de competencias para minerales críticos.
- Apoyar el desarrollo de clústeres industriales para la minería y el refinado de minerales críticos.

c) Investigación y desarrollo

- Trabajar con los consejos de investigación y organismos públicos pertinentes para desarrollar un plan de I+D para minerales críticos, buscando que la financiación pública en I+D se focalice de manera coordinada en las áreas de mayor prioridad.

d) Economía Circular

- Explorar cómo los mecanismos de financiación del gobierno pueden apoyar a las empresas que desarrollan capacidades nacionales en la economía circular de minerales críticos, en aquellos casos donde el mercado no esté funcionando o donde se debe tomar una decisión estratégica para acelerar el progreso.
- Explorar las intervenciones regulatorias necesarias para fomentar la reutilización, reciclaje y recuperación de minerales críticos.

e) Resiliencia a través del desempeño ambiental, social y de gobernanza

- Garantizar que la minería nacional en el Reino Unido cumpla con las regulaciones de permisos y planificación, y fomentar el uso proporcional de marcos y directrices reconocidos a nivel mundial para la minería e inversión responsable, donde sea aplicable, como los estándares EITI, la Iniciativa para la Garantía de la Minería Responsable (IRMA), los principios del ICMM, y otros, que protegen los intereses de las comunidades y del entorno natural.
- Explorar cómo las nuevas exigencias de divulgación de sostenibilidad pueden apoyar el desempeño ESG (ambiental, social y de gobernanza) de los minerales críticos en el Reino Unido.



7 Los minerales críticos y sus aplicaciones

La transición energética y los acuerdos internacionales para enfrentar la lucha contra el calentamiento global del planeta, ha promovido el desarrollo de tecnologías renovables de energía.

En consecuencia, la inversión en investigación y desarrollo de estas tecnologías han provocado un fuerte interés por la extracción de diversos minerales que son esenciales para su funcionamiento. La literatura muestra una infinidad de aplicaciones de cada uno de los minerales definidos como críticos y muchas de ellas se superponen. A modo de simplificación y con el objeto de facilitar la comprensión del alcance en las aplicaciones, en el siguiente recuadro se observan los minerales requeridos para las principales tecnologías, necesarias para la transición energética.

Tabla 12: Minerales esenciales para el uso de tecnologías renovables de energía

Tecnología Solar	Tecnología Eólica	Almacenamiento de energía	Vehículos eléctricos	Hidrógeno*
Aluminio	Bauxita y Alúmina	Bauxita y Alúmina	Bauxita y Alúmina	Aluminio
Bauxita y Alúmina	Cobre	Cobalto	Cobalto	Cobalto
Cadmio	Cromo	Cobre	Cobre	Cobre
Estaño	Molibdeno	Grafito	Grafito	Cromo
Galio	Plomo	Litio	Litio	Litio
Germanio	Tierras Raras	Manganeso	Manganeso	Níquel
Indio	Zinc	Molibdeno	Níquel	Grupo Platino
Plata		Níquel	Plomo	Zinc
Plomo		Plomo	Tierras Raras	Tierras Raras
Selenio		Tierras Raras		
Silicio		Titanio		
Telurio				
Tierras Raras				
Zinc				

Fuente: Elaboración propia con datos de IEA y Minerales Críticos para la transición energética.

*electrolizadores y pilas de combustibles.

La preponderancia de los minerales utilizados varía según la tecnología. El litio, níquel, cobalto, manganeso y grafito son esenciales para el rendimiento, longevidad y densidad de la energía para las baterías. El cobre con el aluminio también cumple un rol fundamental en la transmisión de esta energía en diferentes puntos, tanto en los mismos dispositivos como con el exterior. Por otro lado, las tierras raras son muy importantes para las turbinas eólicas y los motores de vehículos eléctricos.



8 Estimaciones de demanda

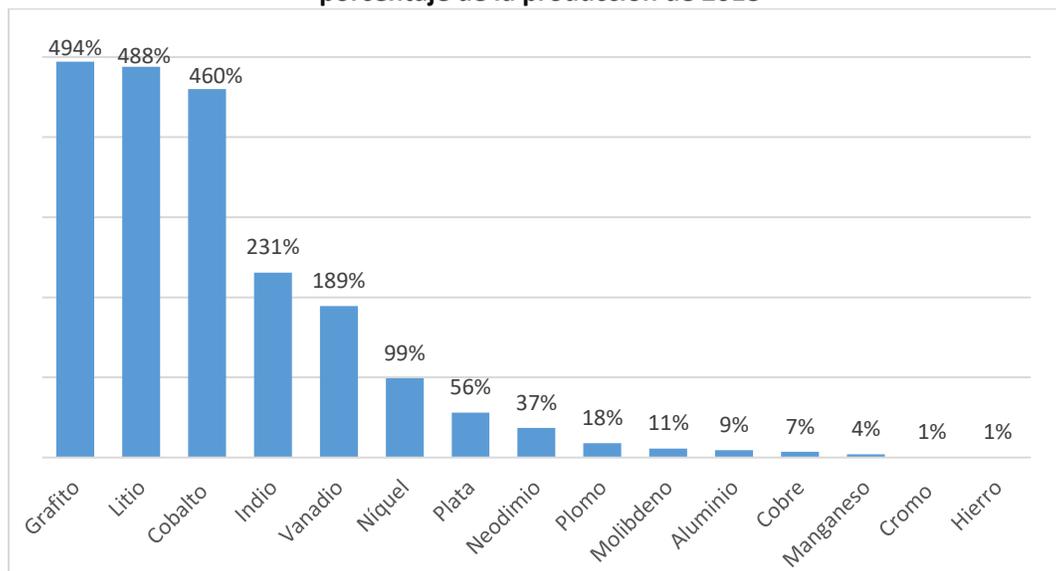
Las demandas de los minerales mencionados en el capítulo anterior están en función del tipo y la cantidad de tecnologías en la que serán utilizados.

Las políticas que han estado adoptando los países en el marco de la lucha contra el cambio climático y el calentamiento global los ha llevado a impulsar el desarrollo de energías limpias para el uso doméstico e industrial. Esto ha provocado un aumento en el consumo de minerales críticos o esenciales para el desarrollo de estas nuevas tecnologías.

El Banco Mundial elaboró un estudio en 2020 donde realiza una estimación de la demanda de diversos minerales que son considerados críticos al año 2050, tomando como base la producción del 2018¹⁵. Es decir, estima el crecimiento de la demanda con respecto a la producción de los minerales en el 2018.

Como se observa en la Figura 2, se espera que la demanda proyectada al año 2050 de algunos minerales tenga un crecimiento exponencial, respecto a la producción del año 2018. Para el grafito se espera un incremento de un 494%, del litio un 488% y del cobalto un 460%. Estos tres minerales son muy importantes para la fabricación de las nuevas tecnologías de almacenamiento de energía. Particularmente el grafito es un insumo necesario para construir los ánodos que se encuentran en las baterías automotrices de iones de litio. Mientras el cobalto ayuda a incrementar el rendimiento y longevidad de las baterías de litio.

Figura 2: Aumento de la demanda del mineral asociado a tecnologías energéticas al 2050, como porcentaje de la producción de 2018



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco Mundial

Por otro lado, la Agencia Internacional de Energía (AIE) ha definido dos escenarios para estimar la demanda de algunos minerales críticos. Uno es el “Escenario de políticas declaradas” que consiste en continuar con las políticas actuales que han anunciado los gobiernos en todo el mundo. Para este escenario la demanda aumentaría significativamente en las próximas dos décadas. En el caso del litio aumentaría en un 74%, el cobalto un 40%, el níquel un 31%, el cobre un 32% y las tierras raras un 24%.

¹⁵ Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition, World Bank Group.



La otra alternativa propuesta por la AIE consiste en un “Escenario de Desarrollo Sostenible”. Este escenario plantea una senda más estricta para lograr los objetivos energéticos según el Acuerdo de París. Este consistiría en limitar el aumento de la temperatura global en hasta 2°C con miras a llegar a una meta “carbono-neutral”. Para esto sería necesario acelerar las inversiones en nuevas tecnologías energéticas de carácter renovables que permitan sustituir en gran medida la relevancia que aún tienen las fuentes fósiles de energía. En esta situación, la demanda aumentaría de forma exponencial en las próximas dos décadas para los siguientes minerales: el litio un 92%, el cobalto un 69%, el níquel un 61%, el cobre un 45% y las tierras raras un 41%.

A continuación, se presenta un conjunto de gráficos que ilustran la proporción de tecnologías de energía limpia en la demanda total para un grupo de minerales seleccionados por escenario, para los años 2020 y 2040.



Figura 3: Participación de tecnologías de energía limpia en la demanda total, según escenario, 2020 vs 2040



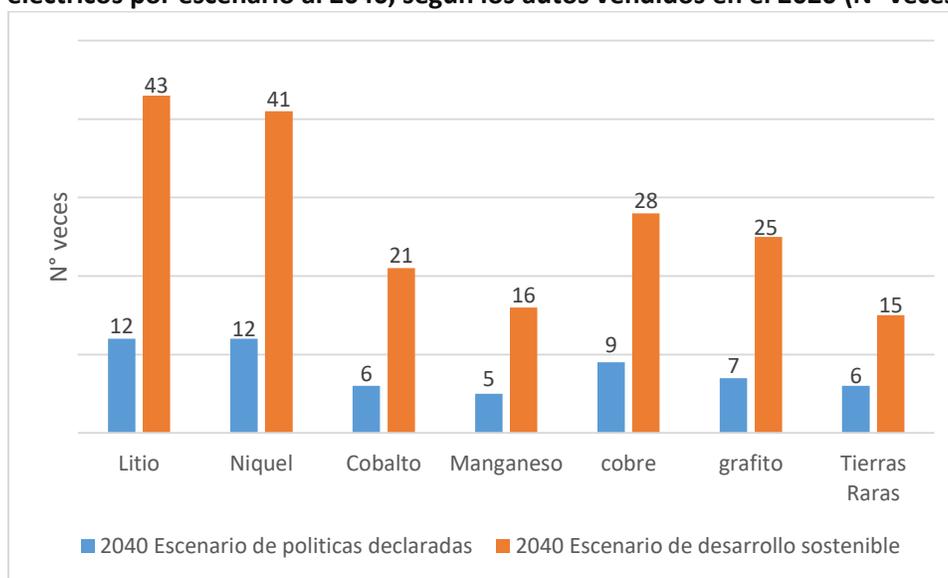
Fuente: Elaboración Cochilco con datos de la AIE



De igual forma, la Agencia Internacional de Energía (AIE) ha utilizado los dos escenarios mencionados anteriormente, para realizar una estimación de demanda de minerales a partir de nuevas ventas de vehículos eléctricos en el 2040 comparando con las ventas del 2020.

En la figura 4 se observa el número de veces que aumentaría la demanda de los minerales según la cantidad que se necesitó para fabricar los autos vendidos en el 2020. Es decir, se estimó el aumento en la demanda de los minerales en base a la estimación de venta de autos eléctricos en el 2040.

Figura 4: Crecimiento de la demanda de minerales a partir de nuevas ventas de vehículos eléctricos por escenario al 2040, según los autos vendidos en el 2020 (N° veces)



Fuente: Elaboración propia con datos de la AIE

En el escenario de políticas declaradas planteado por la AIE la demanda de litio y níquel aumentaría 12 veces para el año 2040. Por otro lado, le siguen el cobre y el grafito con un aumento de 9 y 7 veces respectivamente. El cobalto y las tierras raras tendrían un aumento de 6 veces con respecto a la venta de autos del año 2020. Para finalizar la demanda de manganeso se multiplicaría por 5.

Por otro lado, el escenario de desarrollo sostenible estima que la demanda de estos minerales tendrá un aumento que estará por sobre las 15 veces su demanda de acuerdo a la venta de autos del 2020. Es importante destacar que las expectativas de demanda para el litio y níquel son gigantescas. Se espera que aumenten más de 40 veces su demanda para el año 2040. El litio es el pilar fundamental para la elaboración de las baterías, mientras que el níquel permite mejorar el rendimiento de las baterías otorgándole mayor longevidad y eficiencia.

La AIE también ha realizado estimaciones sobre el reciclaje de baterías de iones de litio. En la medida que la demanda tenga un crecimiento acelerado y la producción primaria no crezca en la misma proporción, el reciclaje de iones de sodios de las baterías podría ayudar en solventar la creciente demanda.

Actualmente el volumen de baterías de iones de litio disponible para reciclar es muy pequeño, se espera que con el aumento sostenido que ha experimentado la industria automotriz eléctrica, la obsolescencia de las baterías aumenten significativamente. Es decir, en la medida que los autos eléctricos pasen del 1% actual al 18% del parque automotriz total (escenario de políticas declaradas) o a un 50% (escenario de políticas desarrollo sostenible) del parque total para el 2040, se espera



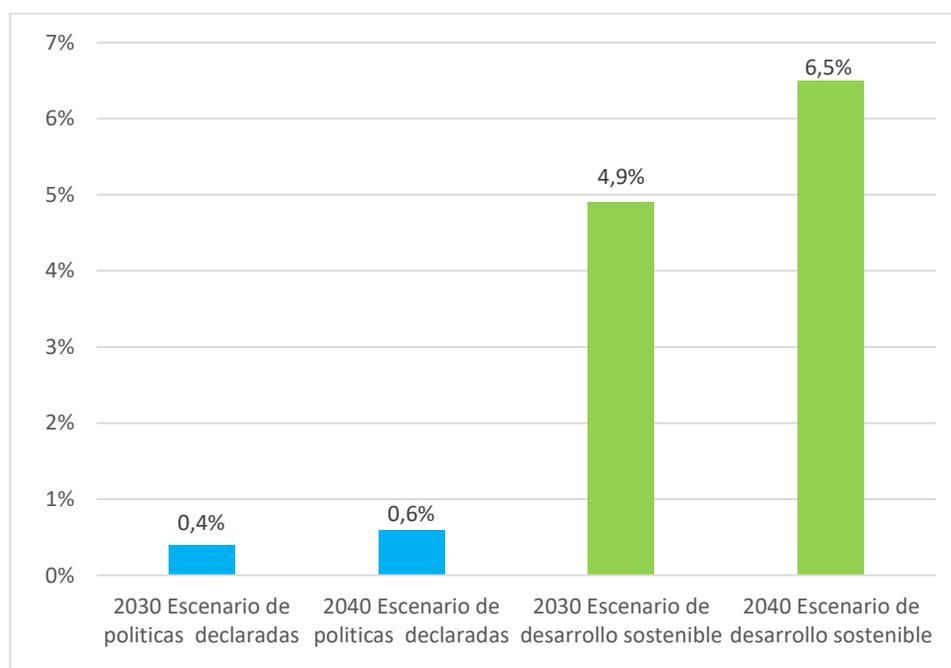
que el mercado reciba una cantidad importante de baterías usadas obsoletas y sobre las cuales será necesario gestionar su residuo.

Se estima que los autos eléctricos que se vendieron en todo el mundo en el 2019 lleguen al final de su vida útil, esto generaría unas 500.000 toneladas de residuos de batería que podrían ser reprocesadas (Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E. et al. 2019).

De acuerdo a los escenarios propuestos por la AIE y las estimaciones realizadas por dicho organismo, a continuación, se presentan el potencial del reciclaje y la reutilización de las baterías obsoletas sobre la demanda total del mineral

En la siguiente figura se muestra el caso de si se recupera el litio de las baterías obsoletas, cuanto de ese litio podría abastecer a la demanda global, según los escenarios propuesto por la AIE.

Figura 5: Contribución del reciclaje y la reutilización de baterías de litio sobre la demanda total, escenario políticas declaradas vs desarrollo sostenible



Fuente: Elaboración Cochilco con datos de la AIE

En el escenario de políticas declaradas, se estima que para el año 2030 el reciclaje de baterías de litio logró abastecer al 0,4% de la demanda total del mineral. En cambio, para el año 2040 se espera que solo logre cubrir el 0,6% de la demanda total de litio. En cambio, para el escenario de desarrollo sostenible se espera que para el 2030 el reciclaje y reutilización del litio de las baterías obsoletas logró abastecer al 4,9% de la demanda total. En este mismo escenario se espera que para el 2040 el reciclaje de baterías permita satisfacer al 6,5% de la demanda total de litio.

Algunas fuentes especializadas, como la consultora WoodMackenzie, estiman que la demanda de cobre crecerá en torno a un 75% para el año 2050. Esto es atribuible a la descarbonización de la energía, donde el cobre cumple un rol fundamental en la electrificación.

Cochilco también ha realizado sus propias proyecciones donde, de acuerdo a sus estimaciones al 2050, se espera que la demanda de cobre primario tenga un crecimiento de un 61%. Esto se debe a



que se prevé que desde el año 2030 en adelante la demanda crezca en promedio un 1,4% anual, producto del mayor desarrollo de la electromovilidad.

A continuación se presenta una tabla con las distintas estimaciones de demanda para el cobre.

Tabla 13: Crecimiento de la demanda al 2050 respecto al 2023 (%)

Fuente	Demanda al 2050
Agencia Internacional de Energía*	32%
Wood Mackenzie	75%
Cochilco	61%

Fuente: Elaboración Cochilco

*Escenario de políticas declaradas

Otra variable importante para analizar la demanda de los minerales críticos es la existencia de sustitutos y su nivel de sustituibilidad. A continuación se presentan los sustitutos de algunos minerales que pueden ser esenciales para el desarrollo económico de Chile.

Tabla 14: Sustitutos de algunos minerales que se encuentran en Chile

Mineral	Sustituto	Tipo de Sustitución	Nivel de Sustitución
Cobre	Aluminio, Fibra Óptica, Plástico y Titanio-Acero	El aluminio sustituye al cobre en radiadores de automóviles, tubos de refrigeración y enfriamiento, equipos eléctricos y cables de alimentación. La fibra óptica sustituye al cobre en aplicaciones de telecomunicaciones y los plásticos sustituyen al cobre en tuberías de drenaje, accesorios de plomería y tuberías de agua. El titanio y el acero se utilizan en intercambiadores de calor.	Medio
Molibdeno	Boro, Cromo, Niobio, Vanadio, Tungsteno, Grafito, Tantalio y Tungsteno	El boro, cromo, niobio y vanadio son sustituto del molibdeno para fabricar aleaciones con el acero. El tungsteno sustituye al molibdeno en aceros para herramientas, el grafito, tantalio y tungsteno para materiales refractarios en hornos eléctricos de alta temperatura.	Alto
Litio	Calcio, Magnesio, Mercurio, Zinc y Sodio	El calcio, magnesio, zinc y mercurio sustituyen el litio como material de ánodo en baterías primarias. El Sodio también es un sustituto en la elaboración de baterías (iones de sodio). A su vez el sodio y el potasio son sustitutos del litio en la fabricación de cerámica y vidrio.	Medio
Cobalto	Hierro, Fósforo, Boro, Níquel y Cerio	El hierro y fósforo sustituyen el cobalto en las baterías de iones de litio. Las aleaciones de níquel-hierro sustituyen el cobalto en imanes.	Alto
Tierras Raras	Hay sustitutos disponibles para muchas aplicaciones, pero generalmente son menos efectivos.		Medio



Mineral	Sustituto	Tipo de Sustitución	Nivel de Sustitución
Renio	Iridio, estaño, Galio, Germanio, Indio, Selenio, Silicio, Tungsteno y Vanadio	El iridio y el estaño sustituyen los catalizadores platino-renio. Otros metales que se están evaluando para uso catalítico incluyen galio, germanio, indio, selenio, silicio, tungsteno y vanadio.	Alto
Zinc	Aluminio, Magnesio, cadmio	El aluminio y los plásticos sustituyen a las láminas galvanizadas de zinc en los automóviles. Las aleaciones de aluminio, el cadmio, la pintura y los revestimientos plásticos sustituyen a los revestimientos de zinc en otras aplicaciones. Las aleaciones a base de aluminio y magnesio son los principales sustitutos de las aleaciones de fundición a presión a base de zinc	Alto
Manganeso	El manganeso no tiene un sustituto satisfactorio en sus principales aplicaciones.		Bajo
Cromo	El cromo no tiene sustituto en el acero inoxidable, el principal uso final, ni en las súper aleaciones, el principal uso final estratégico		Bajo
Níquel	Titanio	Las aleaciones de titanio pueden sustituir al níquel metálico o a las aleaciones a base de níquel en entornos químicos corrosivos.	Medio

Fuente: Elaboración Cochilco con información de la USGS

Sobre los minerales presentados en la tabla anterior, se profundizará más sobre el cobre y litio. Estos dos minerales son de lo más importante para Chile desde el punto de vista del nivel de producción como también por la relevancia que han adquirido para la transición energética.

El cobre vs Aluminio

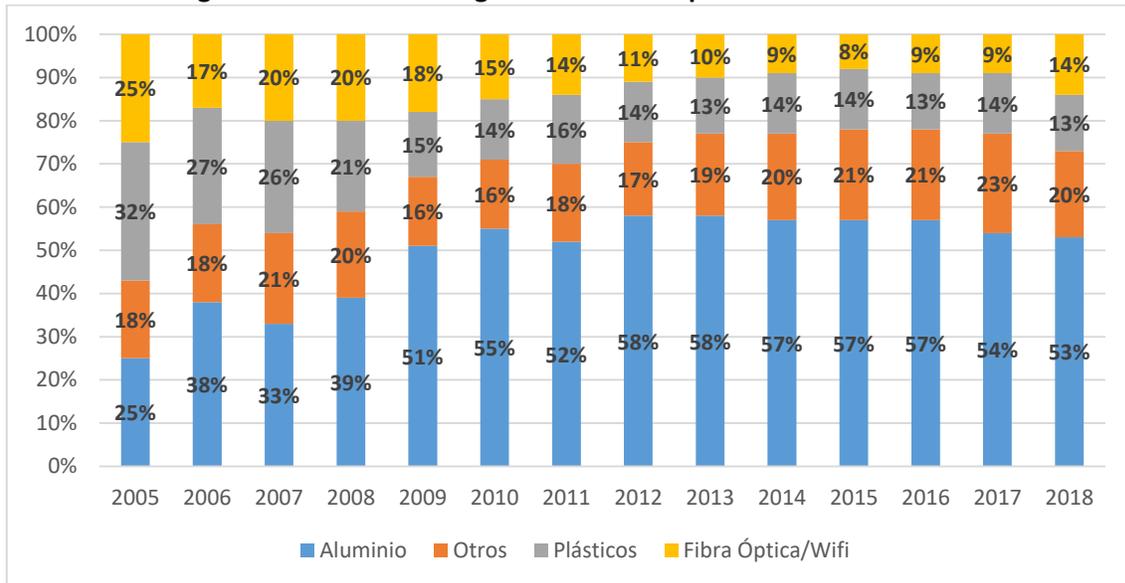
El aluminio es la principal amenaza de sustitución al cobre en aplicaciones eléctricas, de calefacción y refrigeración, el cual representa el 60% de la demanda total de cobre. El aluminio tiene el 61% de la conductividad del cobre, el 30% de su peso y recientemente representa aproximadamente el 25% del precio del cobre. Desde que el cobre se cotizó a una proporción de 4 veces a 1 con respecto al aluminio (2011-2014 y 2021) ha sido objeto de análisis la posibilidad real de sustituir el cobre por el aluminio (Morgan Stanley Research 2024).

Otro sustituto para el cobre es la fibra óptica y los plásticos. La fibra óptica sustituye al cobre en aplicaciones de telecomunicaciones y los plásticos sustituyen al cobre en tuberías de drenaje, accesorios de plomería y tuberías de agua. Otros sustitutos son el titanio y el acero que son utilizados en intercambiadores de calor.

En la siguiente tabla se observa que el aluminio ha ido ganando una participación importante en el mercado del cobre, pasando desde el 25% a más del 50% de *sustituibilidad*. Es decir, es el principal sustituto del cobre hoy en día.



Figura 7: Sustitutos de algunos minerales que se encuentran en Chile



Fuente: Elaboración Cochilco con información de ICA, DMM Advisory Group and Morgan Stanley Research

El aluminio se ha transformado en el principal sustituto debido a que ha ido ganando una participación importante en el cableado aéreo de alta tensión, donde sus propiedades livianas compensan la necesidad de una sección transversal de cable más grande (Morgan Stanley Research 2024). Según estimaciones de la AIE se espera que también tenga una mayor participación en los segmentos de baja y media tensión.

Sin embargo, parece menos probable una mayor sustitución en aplicaciones de cables de construcción y servicios públicos, ya que el cobre está especificado en los códigos de construcción de muchos países por razones de seguridad. Situación similar ocurre con los cables subterráneos/submarinos. Este tipo de cables tienden a ser de cobre debido a sus menores requisitos de mantenimiento, por lo que se requiere una mayor dureza y resistencia de los cables (Morgan Stanley Research 2024).

El aire acondicionado es otro de los productos en donde el aluminio puede ser un sustituto, pero ha presentado algunos problemas. Los principales inconvenientes que ha presentado el aluminio son en los tubos, donde son más difíciles de reparar, más propensos a la corrosión y menos eficaces en la transferencia de calor, provocando un mayor consumo de energía. Entonces, el aluminio es más difícil de usar en unidades que se utilizan tanto para la refrigeración como para la calefacción (Morgan Stanley Research 2024).

En el ámbito automotriz, el aluminio al ser más liviano que el cobre se ha vuelto más atractivo para su uso en esta industria, pero la tecnología sigue evolucionando en esta área lo que mantiene viva la competencia entre ambos minerales (Morgan Stanley Research 2024).

Un aspecto importante a resaltar entre la competencia del aluminio con el cobre es la huella de carbono que generan. El procesamiento del aluminio puede consumir hasta 5 veces más carbono que el proceso del cobre, esto implica que la industria del aluminio tiene un importante desafío en esta área (Morgan Stanley Research 2024). Por esta razón, se espera que el impacto en la demanda del cobre sea acotado en aquellas industrias que promueven una huella de carbono cero, como



puede ser en la industria automotriz (electro movilidad) como en las generación y distribución de energía renovable.

El Litio vs Sodio

Uno de los sustitutos que ha aparecido en los últimos años, en la industria de las baterías de litio ha sido el sodio. Las baterías de sodio son un tipo de baterías recargables que funcionan de manera similar a las baterías de litio, pero transforman la carga utilizando iones de sodio en vez de iones de litio, es decir ambas son alcalinas.

El sodio es un metal alcalino y tiene la particularidad de ser muy abundante en la naturaleza, ya que se puede encontrar en el mar (sal marina) o en la corteza terrestre. Al ser muy abundante su riesgo en la cadena de suministro prácticamente no existe, entonces no es considerado un mineral crítico lo que favorece a los costos de producción. Los costos de producción de baterías de iones de sodio serían más bajos que los de las baterías de iones de litio, esta diferencia estaría entre un 30% a 40% de acuerdo a varios análisis. Particularmente la empresa Hina (de origen chino), ha estado desarrollando baterías de iones de sodio, siendo muy competitiva en costos ya que se reduce aproximadamente un 30% su valor de fabricación con respecto a batería de iones de litio¹⁶.

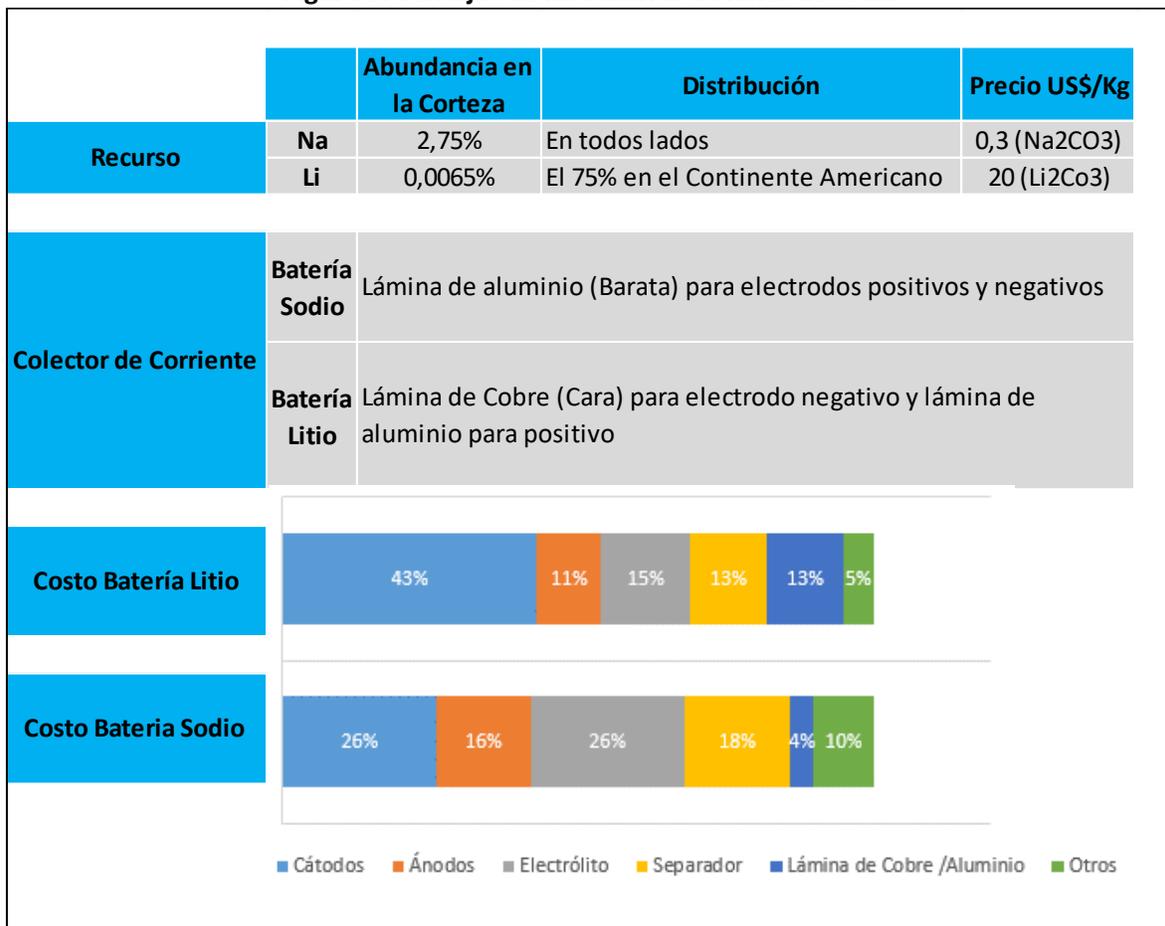
En la figura 8, se puede observar algunas ventajas que tienen las baterías de iones de sodio. Como se mencionó anteriormente, el sodio es más abundante que el litio. Su abundancia en la corteza terrestres es del orden del 2,75% mientras que el litio se encuentra en el 0,0065% de la corteza terrestre.

Otra ventaja que tienen las baterías de sodio es que el colector de corriente utiliza una lámina de aluminio. El aluminio es un 75% más barato que el cobre por lo que, lo hace más atractivo desde un punto de costo la utilización de este mineral. El colector de corriente es uno de los componentes más importantes de las baterías de iones de sodio y litio, debido a que transporta el material activo (electrones), desde los electrodos hasta un circuito externo, provocando una transferencia de energía.

¹⁶https://www.perma-batteries.com/es/product/batterie-sodium/?fbclid=IwAR2CWotb9b9I1ykrimsz7Elmxb1OG0xycEzj40G_Vzs-qqrB_0qKUyvl4dl



Figura 8: Ventajas de las baterías de iones de sodio



Fuente: Hina battery

El bajo costo de la batería de sodio en comparación con la batería de litio también tiene relación con la elaboración de los cátodos. Mientras los cátodos de sodio representan el 26% del total de los costos de la batería, en el caso del litio este representa el 43% del total de los costos. Esto provoca que entre 30% a un 40% la fabricación de las baterías de sodio sean más económicas en su fabricación que las baterías de litio. Los cátodos de litio contienen óxido metálico de litio y variadas cantidades de níquel, manganeso y cobalto. Estos últimos minerales son considerados minerales críticos debido a que no se encuentran en grandes cantidades a nivel global y su precio se ha revalorizado en los últimos años. Mientras que las baterías de sodio no requieren de minerales críticos similares para su funcionamiento.

Aunque ambas baterías tienen un similar funcionamiento, estas a su vez tienen diversas diferencias. A continuación se presenta una comparación más detallada de las baterías de sodio y litio.



Figura 9: Diferencias entre las baterías de iones de sodio y las baterías de litio

Característica	Batería de Sodio	Baterías de Litio
Densidad de energía	160	✓ 250
Ciclabilidad	✓ 4000	2.000
Voltaje	≈ 3,7	✓ ≈ 4
Eficiencia	Menor	✓ Mayor
Seguridad	✓ Alta	Media
Necesidad de materias primas críticas	✓ No	Si
Costo	✓ Menos costoso y menos Volátil	Más Costoso y más volátil
Tamaño	Voluminoso	✓ Ligero
Rendimiento frente a bajas temperaturas	✓ Buen Rendimiento	Menor Rendimiento
Tiempo de carga y descarga	✓ Rápida carga. Permite descargar al 100%	Rápida Carga. Mayor duración
Inflamabilidad	✓ No inflamable	Inflamable
Reciclaje	✓ Moderada	Difícil

Fuente: Black Research & Consulting, CIC EnergiGune e Iberdrola.

✓ Las opciones destacadas con un ticket son las más ventajosas para cada característica.

Las baterías de iones de litio destacan por ser más eficientes, tienen mayor voltaje, son más ligeras y la densidad de energía es mayor. Mientras las baterías de iones de sodio y a pesar de tener un mayor ciclo de carga, se caracterizan por ser más seguras, no necesitan de materias primas críticas, no son inflamables, tienen un menor costo, permiten transferir el 100% de la energía y son más fáciles de reciclar.

Debido a las características que tienen las baterías de iones de sodio, ha surgido la necesidad de investigar a mayor detalle el mercado potencial de las baterías. De acuerdo a un estudio publicado por BloombergNEF, se estima que el 2030 las baterías de iones de sodio podrían alcanzar el 23% del mercado de almacenamiento estacionario, que se traduce en más de 50 Gwh¹⁷.

¹⁷ <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-03-21/electric-vehicle-batteries-of-the-future-may-be-lithium-less>



9 Políticas de Industrialización y Valor Agregado

La industrialización es un camino que nuestro país podría seguir para transitar desde un exportador de materias primas a uno que produzca y exporte bienes con alto nivel tecnológico, es decir, transformarse en un consumidor de minerales estratégicos.

Diversos países han utilizado políticas públicas orientadas a crear o fortalecer industrias que consideran importantes para su desarrollo económico. Estas políticas otorgan ciertos subsidios o desgravaciones fiscales (reducción parcial o total de impuestos) con el fin de incentivar la creación o el fortalecimiento de alguna industria en particular, mediante la atracción de Inversión Extranjera Directa (IED). Para esto se tomará como ejemplo los casos de Singapur, Irlanda y República Checa, que diseñaron incentivos para promover la industrialización de sectores económicos seleccionados, con el fin de fortalecer su matriz exportadora.

Adicionalmente, se presenta un caso de éxito en Costa Rica y otro en Australia donde una adecuada política de incentivos logró atraer inversión en dos industrias específicas.

9.1 Irlanda

Uno de los países pioneros en introducir incentivos fiscales fue Irlanda. En 1958 introduce una tasa impositiva cero sobre las utilidades de las empresas exportadoras de manufactura con la intención de aumentar la inversión en el sector y potenciar las exportaciones. Entre 1973 y 1980 Irlanda ya era relativamente intensa en IED y la cantidad de empleos en la industria manufacturera de propiedad extranjera creció un 23% (Barry 2007). Durante este periodo, el principal objetivo era transformar la producción manufacturera para que fuera más intensiva en tecnología.

Para esto necesitó mejorar el sistema educativo para tener mano de obra mucho más capacitada tecnológicamente y poder atraer a las multinacionales (Breznitz 2007).

A mediados de la década de 1980 y comienzos de 1990 los incentivos se concentraron en sectores industriales tales como; productos farmacéuticos, ingeniería de instrumentos, software de computadores (Barry 2007). Durante esta década, el gobierno irlandés tomó la iniciativa de crear una industria de capital de riesgo orientada a la alta tecnología. Este esfuerzo sumado a que varias empresas ligadas a la industria del software irlandesa lograron cotizar en NASDAQ, permitieron a fines de esta década lograr consolidar una pequeña pero vibrante industria local que pudiera encontrar suficiente capital de inversión (Breznitz 2007).

Para llevar a cabo esto, han sido muy importante los incentivos utilizados para atraer dichas inversiones. El principal incentivo es la baja tasa impositiva sobre las ganancias de la empresa que regía hasta el año 2022 en Irlanda, la cual era de 12,5%. Hoy la tasa subió a un 15% para las empresas multinacionales (tasa mínima) de acuerdo a una normativa firmada por los países de la OCDE.

Otro tipo de incentivo que ha utilizado Irlanda es el de otorgar subsidios o apoyo financiero. El gobierno central a través de su “Agencia de Desarrollo Industrial” ha ofrecido apoyo financiero directo para contratación, capacitaciones, I+D, y activos fijos. Los criterios utilizados por la Agencia para otorgar dichos incentivos dependen de la calidad del empleo creado y la localización de proyecto (Gligo 2007). Estas empresas no solo colaboran en I+D con los centros de ciencia y tecnología, sino también decidieron instalar sus fábricas en el país.

A continuación, se muestra los flujos de inversión directa proveniente del extranjero en los principales sectores económicos de Irlanda entre los años 2012 y 2020



Tabla 15: Flujos de Inversión Directa en Irlanda 2012 – 2020.

Sector	Inversión Total (Millones Euros)
Servicios*	586.954
Manufactura	477.865
Productos y preparados farmacéuticos básicos	285.521
Actividades de servicios financieros, excepto seguros y fondos de pensiones	270.810
Información y Comunicación	98.217
Seguros, reaseguros y fondos de pensiones, excepto seguridad social obligatoria	42.249
Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos de motor y motocicletas	35.372
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	28.708
Actividades auxiliares a los servicios financieros y actividades de seguros	17.852

Fuente: Elaboración Cochilco con datos del Central Statistics Office Ireland

*no incluye: Hostelería, Turismo, Actividades Inmobiliarias, Servicios de organismos internacionales.

La tabla muestra que los principales sectores con mayor flujo de inversión extranjera se encuentran el sector manufacturero y productos farmacéuticos. Estos sectores han sido precisamente los sectores elegidos por la agencia para desarrollar la política industrial orientada a atraer inversión extranjera directa.

Es importante destacar que dentro del sector servicios se incluyen actividades como: investigación y desarrollo, estudios de mercado, científicas y técnicas. Estas actividades también han sido promovidas a través de los diversos incentivos otorgados por parte de la agencia de promoción de inversión.

9.2 Singapur

Singapur en el año 1959 introdujo una exención tributaria para la industria manufacturera, principalmente a las inversiones nuevas y en menor medida a las inversiones antiguas. Estas inversiones tienen relación con aquellas empresas dedicadas a actividades industriales que no se desarrollan en el país o que no se desarrollan a gran escala. Este incentivo consiste en otorgar una exención tributaria sobre las ganancias de las empresas pioneras por entre 5 a 15 años. La duración del beneficio depende del tipo de proyecto, producto, nivel de inversión, capacidades generadas, el periodo de gestación y la tecnología usada (Sacroisky 2009)

Con respecto a incentivos al desarrollo y expansiones, tiene relación con todas las inversiones desarrolladas después de ser “pionero”. Este incentivo consiste en acceder a tasas de impuestos preferenciales a las ganancias empresariales. La tasa de impuesto sería de hasta un 5% por 10 años con posibilidad de extenderlos por 20 años (Sacroisky 2009). Es importante mencionar que desde el año 2010 la tasa de impuesto corporativa es de un 17%.

Otros incentivos fiscales aplicados en Singapur son: desgravación a la inversión e incentivos al desarrollo y la expansión (no existe requisito mínimo de inversión). La desgravación a la inversión es hasta el 100% sobre algunos costos de equipamiento que realizan las empresas. Para optar a este beneficio las empresas deben dedicarse a las siguientes actividades y no existe requisito mínimo de inversión: manufactura, ingeniería o servicios técnicos, I+D, operaciones de construcción, proyectos



para reducir el consumo de agua, proyectos ligados al turismo y operaciones de satélites (Sacrosky 2009).

Para el gobierno también era importante desarrollar la innovación como eje central en este proceso de industrialización que estuviera enfocado en la investigación de las empresas. Para esto, otorgó subsidios que cubrirían parte de los costos en capacitación de la mano de obra, inversiones en equipamiento, gerenciamiento de propiedad intelectual y servicios profesionales. Las empresas que eran seleccionadas para recibir estos subsidios deben desarrollar nuevas capacidades de I+D estratégicas para mejorar la competitividad de la firma, en la capacitación de científicos e ingenieros y generar beneficios comprobables para la economía nacional (Sacrosky 2009).

Las principales industrias que se vieron favorecidas con estos incentivos fueron: electrónica, química y petroquímica, ciencias biomédicas y servicios médicos, actividades de innovación e I+D y actividad de casa matriz (siempre que la casas matrices de las empresas se instalen en Singapur) (Sacrosky 2009).

Tabla 16: Flujos de Inversión Directa en Singapur (2012 al 2021) en Millones de Dólares Singapurenses.

Industria	Inversión en Activos Fijos (S\$ Millones)	Gastos Comerciales Totales (S\$ Millones)	Total Flujos de Inversión (S\$ Millones)
Electrónica	52.846	5.357	58.203
Casa Matriz, Servicios Profesionales, I+D	16.309	28.343	44.652
Químicos	29.078	3.319	32.397
Infocomunicaciones y Medios	13.978	9.804	23.782
Ingeniería y Servicios Ambientales	6.875	9.177	16.052
Ingeniería del Transporte	6.912	7.812	14.724
Fabricación biomédica	8.180	3.084	11.264
Logística	4.780	3.047	7.827
Ingeniería de precisión	3.473	2.926	6.399
Industrias manufactureras generales	3.852	1.180	5.032
Educación y Servicios de atención médica	1.515	437	1.952
TOTAL	147.798	74.486	222.284

Fuente: Elaboración Cochilco con datos EDB Annual Report 2012 to 2021.

La inversión en activos fijos: se refiere a la inversión de capital incremental de una empresa en instalaciones, equipos y maquinaria.

Gastos comerciales totales: se refiere al gasto operativo incremental de una empresa en Singapur (excluyendo la depreciación).

La tabla muestra que los principales sectores con mayor flujo de inversión extranjera se encuentran en los sectores de: casa matriz, servicios profesionales e I+D; electrónica; química y fabricación biomédica. Estas industrias han sido precisamente los sectores elegidos por el país para potenciar su desarrollo económico utilizando, diversos incentivos, lográndo atraer y orientar las IED en dichos sectores.



9.3 República Checa

El periodo 1990-1992 se caracterizó por ser una etapa exitosa en la industria automotriz checa, debido a que se desarrolló una política de selección de socios extranjeros para que invirtieran en las empresas automotrices locales. Para el año 1993 los incentivos disminuyeron para las empresas extranjeras, lo que provocó una disminución del interés por seguir invirtiendo (Pavlinek 2002).

En el año 1998 se decidió introducir un sistema de incentivos para atraer inversión extranjera directa para el sector manufacturero de alta tecnología con el fin de industrializar y así contribuir al crecimiento económico (Pavlinek 2002).

Estos incentivos se aplicaron a nuevas inversiones de más de US \$25 millones durante un período de cinco años e incluyeron desgravación de impuestos corporativos, cero aranceles aduaneros sobre equipos importados, subsidios especiales para la creación de empleo, subsidios para capacitación laboral, la provisión de terrenos para desarrollo a bajo costo y la posibilidad de crear una zona aduanera especial para grandes inversores individuales (Pavlinek 2002).

Para el año 2000 el capital de inversión mínimo requerido para optar a los incentivos estatales se redujo a hasta los US\$ 5 millones, dependiendo la región. El monto se redujo a US\$ 10 millones de dólares para todas las regiones y US\$ 5 millones para las regiones que se encontraban en una situación económica más compleja (Pavlinek 2002).

En el caso de las desgravaciones de impuesto corporativo, el impuesto era de un 21% sobre las utilidades de las empresas y se ofrece desgravación total de ese impuesto por hasta 5 años tanto a las empresas nuevas como ya existentes que decidan aumentar su inversión (Sacroisky 2009). Actualmente el impuesto corporativo es un 19%.

Los subsidios para la creación de empleo eran de US\$ 3.150 por puesto creado, en zonas donde el desempleo era mayor. El subsidio para capacitaciones es de un 35% (45% en el caso de las pymes) de los costos incurridos en las zonas donde el desempleo es mayor. Al mismo tiempo, el subsidio buscaba descentralizar y fortalecer las regiones fuera de la capital (Sacroisky 2009).

Es decir, este monto no debía superar un porcentaje de participación de la inversión total. Si esta era en Praga, no podía superar el 10%; si era en la región suroeste no podía superar el 36 % (después se cambió a 30% en el año 2011) y 40% en otra región (Sacroisky 2009).

Para los proyectos de inversión en general, si los costos no excedían los 50 millones de euros, el subsidio estatal sería hasta un 20% del costo total para las empresas pequeñas y un 10% para las empresas medianas. Para los proyectos con costos de inversión mayor a los 50 millones de euros la ayuda estatal está sujeta al presupuesto disponible regional. Los beneficiados deben continuar el proyecto en un mínimo de 5 años desde que entran en operación (Sacroisky 2009)

Para los proyectos de inversión en los sectores tales como; química y farmacia, manufactura de maquinaria y equipos, manufactura de equipamiento eléctrico, óptico, de transporte (automóviles) pueden obtener hasta el 100% del máximo en los subsidios establecidos por región. Para el resto de las industrias pueden optar hasta el 75% de los subsidios. Es importante destacar que las empresas que tengan problemas financieros no pueden recibir este subsidio (Sacroisky 2009).

La provisión de terrenos para desarrollo a bajo costo estaba más bien orientada en las regiones con la finalidad de descentralizar y fortalecer las economías locales. Por otro lado, la posibilidad de crear una zona aduanera especial estaba enfocada en aquellas regiones donde el problema económico social era más grave.



A continuación, en la siguiente tabla se muestran los volúmenes de inversión por sector productivo durante el periodo 1993 al 2004.

Tabla 17: Flujos de Inversión Directa en República Checa por sector económico entre 1993 – 2004

Inversión por sector	Inversión Total (USD Millones)	% Inversión Total
Automóvil	9.023,41	48,5%
Electrónica (incluye computadores), eléctrico	3.346,61	18,0%
Productos químicos, plásticos	2.002,50	10,8%
Otros	1.172,91	6,3%
Carpintería, Papel, Impresión	1.065,25	5,7%
Ingeniería Mecánica, Aviación, Metalurgia	709,57	3,8%
Textil	662,45	3,6%
Construcción	338,07	1,8%
Cristalería	296,71	1,6%
TOTAL	18.617	100%

Fuente: Elaboración Cochilco con datos del Annual Report 2002, 2003, 2004, CzechInvest

El 77,3% de las inversiones atraídas tiene relación con los principales sectores que se decidió potenciar: automóvil, electrónica y productos químicos – farmacia. Esto fue gracias a los incentivos ofrecidos por el gobierno.

La evidencia muestra que Irlanda, Singapur y República Checa decidieron potenciar sus economías mediante la atracción de inversión orientada a la industrialización. Para esto utilizaron un paquete de incentivos que les permitió atraer esas inversiones e industrializar el país.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los incentivos utilizados por los tres países mencionados.

Tabla 18: Incentivos utilizado por Irlanda, Singapur y República Checa

Incentivos	Irlanda	Singapur	República Checa
Incentivo al Pionero		✓	
Subsidios en activos fijos	✓	✓	✓
Subsidios a capacitación mano de obra	✓	✓	✓
Desgravaciones fiscales	✓	✓	✓
Provisión de terrenos a bajo costo			✓
Subsidios en I+D e Innovación	✓	✓	✓
Bajos impuestos a las ganancias empresariales	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración Cochilco en base a distintas fuentes.



9.4 Costa Rica

La compañía norteamericana de procesadores Intel decide en 1996 establecer una nueva fábrica para ensamblar y probar microprocesadores, pero fuera del territorio norteamericano.

Para seleccionar los potenciales candidatos, Intel estableció varios criterios entre los que se destacan: suficiente disponibilidad de recursos humanos, razonable estructura de costo (mano de obra, impuestos, aranceles y etc.), un ambiente pro-negocios (interés del gobierno en apoyar la inversión extranjera y el desarrollo económico), logística y tiempo de fabricación apropiados, y proceso expedito de permisos para la construcción de la nueva planta. Utilizando estos criterios la lista de potenciales países se redujo a siete a candidatos los cuales era: Costa Rica, Indonesia, Tailandia, Brasil, Argentina, Chile y México. (Monge-González 2017).

A partir de esta definición, los funcionarios de Intel a cargo del proceso de selección visitaron estos siete países para recolectar más información de forma directa sobre los criterios que definieron como fundamentales para determinar el destino de la fábrica.

Luego de estas primeras vistas se decidió eliminar de la lista a los países del Este Asiático debido a que primó el objetivo de aumentar su diversificación de sus operaciones en el continente americano, con lo cual de acuerdo a los criterios de selección los países americanos que lideraban la lista eran Brasil, Chile, Costa Rica y México. (Spar 1998).

El gobierno central de Costa Rica al ver el interés de Intel por instalar la fábrica en el país decidió mediante gestiones del presidente de la República de entonces, liderar las negociaciones y facilitar el diálogo con el resto de las instituciones públicas para poder concretar el proyecto (Spar 1998). Por otro lado, los otros tres países comienzan a perder terreno en la carrera por adjudicarse la fábrica.

Finalmente, Costa Rica gracias al rol fundamental que tomó el gobierno, sumado a la creación de una “zona franca” en donde se instalaría la fábrica de Intel, terminó por adjudicarse el proyecto (Spar 1998).

Dentro de los criterios de selección, por ejemplo Brasil no cumplía a cabalidad con el criterio de “un ambiente pro-negocios”. Si bien es un país que tenía mucho que ofrecer, se consideró que el entorno empresarial en ese momento no sería el más adecuado para este tipo de operaciones (Spar 1998).

Por otro lado, Chile mostraba como su principal atractivo la estabilidad económica-política que era reconocida a nivel global después de la transición a la democracia, sumado a una buena disponibilidad de recursos humanos necesarios para el desarrollo de la fábrica. Sin embargo, la falta de énfasis en desarrollar esta industria en el país sumado a una débil logística del transporte aéreo (en ese entonces existía un reducido número de vuelos directos, que exacerbaba la distancia del país sobre los principales mercados de Intel), se convertía en un destino incómodo para instalar la fábrica (Spar 1998). Chile no ofreció ningún tipo de incentivo que compensará estas desventajas que detectó Intel.

México era la que corría con ventaja desde un principio. Principalmente su cercanía con Estado Unidos estaba ofreciendo incentivos de tipo subsidio para convencer a los norteamericanos. Los incentivos ofrecidos eran: tarifas de electricidad más bajas de lo normal, planes especiales de capacitación para los empleados y terrenos para la construcción de la fábrica, bodegaje, etc. (Spar 1998).



En cambio, Costa Rica ofreció un paquete de incentivos tributarios que se resumían en declarar la futura fábrica de Intel como “zona franca”, sumado a cambios regulatorios laborales (un sistema de normas sindicales obligatorias) que sucedieron en México y que terminó por inclinar la balanza en favor de Costa Rica (Spar 1998).

A continuación, se presenta una tabla resumen con los incentivos ofrecidos por Costa Rica en esta Zona Franca.

Tabla 19: Incentivos ofrecidos por Costa Rica en la Zona Franca

Incentivos
Exención del 100% de los derechos de importación de materias primas.
Exención del 100% del impuesto a las ganancias durante 8 años, y del 50% durante los 4 años siguientes.
Exención del 100% de los impuestos a la exportación, los impuestos locales sobre las ventas y el consumo, y los impuestos a la repatriación de utilidades.
Exención del 100% en impuestos municipales y de capital
Sin restricciones a la repatriación de capitales ni al manejo de divisas.
Puede vender a exportadores dentro de Costa Rica.
También puede vender hasta un 40% en el mercado local con exención del impuesto a las ventas.
Subvención del salario por 3 meses por cada trabajador contratado que se esté capacitando gratuitamente por el Estado.

Fuente: Elaboración Cochilco en base a distintas fuentes.

Las inversiones de Intel acumulaban entre el año 1998 y el 2014 cerca de US\$ 1.800 millones y había creado más de 2.000 puestos de trabajo¹⁸.

9.5 Australia

Australia se ha transformado en un actor muy relevante en la industria de producción del litio. Su producción anual pasó desde las 12.500 toneladas métricas en el año 2011 hasta las 86.000 toneladas métricas en el año 2023¹⁹. Desde el año 2017 es el líder mundial en producción, superando a Chile (segundo mayor productor).

La industria del litio en Australia es 100% privada y está compuesta por 8 yacimientos que se son controlados por empresas australianas y consorcios internacionales. Hasta la fecha, Australia no cuenta con un polo relevante de desarrollo de baterías de iones de litio por lo que sus esfuerzos se han focalizado en el aumento de la producción y el refinamiento de mineral con el fin de reducir los costos de transporte y la logística (Morales 2022).

A pesar de esto, Australia busca a través de la inversión en innovación y la creación de alianzas público-privadas ganar terreno en la cadena del valor agregado del litio. Esto se ve reflejado en la estrategia que ha diseñado el país para el desarrollo local de baterías y la creación de centros de investigación científica, para consolidar la participación australiana en el mercado y poder implementar nuevos métodos que reduzcan los costos de extracción del metal al 2030 (Morales 2022).

¹⁸ Monge-González, R. 2017. «Ascendiendo en la cadena global de valor: El caso de Intel Costa Rica.»

¹⁹ Datos de Statista.



El aumento en la producción del litio que ha experimentado Australia en los últimos años ha sido en parte a los incentivos ofrecidos para que se desarrolle la industria. La industria del litio en Australia ha seguido un modelo donde la extracción y el procesamiento está en manos de empresas privadas, que gracias a un sistema regulatorio de permisos claro y transparente ha facilitado el desarrollo de la industria. Adicionalmente posee una estructura de royalty que fomenta la innovación y el valor agregado. La tasa de impuesto ad valorem que se aplica es escalonada y depende del nivel de valor agregado que tenga el mineral, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 20: Tasa Ad Valorem según nivel de proceso

Nivel de Proceso	Tasa Ad Valorem
Material Granel (Sujeto a tratamiento limitado)	7,5%
Material Concentrado (Sujeto a un enriquecimiento sustancial mediante una planta de concentración)	5,0%
Metal para químicos.	2,5%

Fuente: Elaboración Cochilco en base a Department of Energy, Mines, Industry Regulation and Safety of Australia (Government of western)

Este tipo de incentivo ha permitido atraer el interés de las empresas que busquen procesar el litio para aumentar su cadena de valor. A principio del año 2023 la empresa *Recharge Industries Pty* anunció el interés de construir una fábrica de baterías de iones de litio en la localidad de Geelong al sureste de Australia²⁰. Esta inversión sería entorno a los US\$ 210 millones de dólares para la construcción de la fábrica que tendrá 70.000 mts² y 2.000 mts² de oficina contará con áreas de logística, vías de acceso interior, bodegas para almacenar la materia prima (el mineral a granel o concentrado) para la elaboración del producto final. Se espera que la planta comience a operar a finales del 2024 con una capacidad anual inicial de 2 gigavatios-hora hasta llegar a los 30 gigavatios-hora. Estas baterías no utilizarán cobalto ni níquel y la compañía pretende obtener la materia prima (litio) de minas australianas y sudamericanas. Este proyecto fue presentado en marzo del 2023 al Departamento de industrias, ciencias y recursos de Australia²¹.

En esta sección se presentaron los casos de 5 países que mediante la utilización de incentivos tipo tributarios y de subsidios, lograron atraer inversiones que permitieron otorgar mayor valor agregado al desarrollo productivo de sus economías. Estos casos buscan mostrar la importancia de la utilización de incentivos para atraer inversiones que desarrollen productos de alto nivel tecnológico.

²⁰ Australia fabricará baterías de litio sin China para alimentar los próximos 100 años. <https://ecoinventos.com/australia-fabricara-baterias-de-litio-sin-china-para-alimentar-los-proximos-100-anos/>

²¹ <https://www.industry.gov.au/major-projects-and-procurement/australian-industry-participation/project-recharge>



10 Diplomacia de los minerales críticos – Iniciativas entre países

La necesidad que tienen los países, principalmente los industrializados, de aprovisionarse de minerales escasos y necesarios para la transición energética y otros usos, ha gatillado una carrera por acercarse a aquellos países que poseen importantes reservas de minerales de interés.

Con el objeto de asegurar las cadenas de suministro se han generado innumerables asociaciones bilaterales y multilaterales. A continuación, se mencionan algunas:

Minerals Security Partnership (2023): Australia, Canadá, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, India, Italia, Japón, Noruega, República de Corea, Suecia, Reino Unido, Estados Unidos y la U.E.

La Asociación para la Seguridad de los Minerales (MSP) es una colaboración entre 15 países y la UE para promover cadenas de suministro responsables de minerales críticos. El objetivo del MSP es garantizar que los minerales se produzcan, procesen y reciclen de una manera que ayude a los países a beneficiarse económicamente de sus recursos. El MSP también tiene como objetivo catalizar la inversión de los sectores público y privado en cadenas de suministro de minerales críticos a nivel mundial.

Diálogo Cuadrilateral de Seguridad -Quad (2023): Australia, India, Japón y Estados Unidos.

El Diálogo Cuadrilateral de Seguridad (Quad) tiene como objetivo intensificar la cooperación entre los países socios (Australia, India, Japón y Estados Unidos), para abordar problemas urgentes en la región del Indo-Pacífico, incluido el clima. En el marco del pilar de la iniciativa Cadenas de suministro de energía limpia, los países tienen la intención de expandir la fabricación, aumentar la demanda y habilitar capacidades de producción a escala comercial para dispositivos, componentes y sistemas críticos. Más allá de diversificar las cadenas de suministro (incluso para minerales críticos), los países se han comprometido a apoyar las necesidades de mano de obra limpia, explorar la interoperabilidad de estándares y políticas técnicas, promover la cooperación en estándares ambientales, sociales y de gobernanza (ESG), alentar a los sectores público y privado, inversión en investigación y desarrollo, e incentivar a las empresas para que proliferen soluciones de descarbonización.

Iniciativa de Resiliencia de la Cadena de Suministro (2021): Australia, India y Japón.

La Iniciativa de Resiliencia de la Cadena de Suministro es una colaboración internacional entre Australia, India y Japón para promover las mejores prácticas en políticas y principios de la cadena de suministro nacional en el Indo-Pacífico. La Iniciativa también busca fortalecer las cadenas de suministro de los Estados participantes fomentando una interconexión más estrecha de sus negocios.

Sustainable Critical Minerals Alliance (2022): Canadá, Australia, Alemania, Francia, Japón, el Reino Unido y los Estados Unidos.

La Alianza de Minerales Críticos Sostenibles se anunció en la COP15, en Montreal. Los Estados miembros se comprometieron a trabajar en el desarrollo de prácticas mineras sostenibles e inclusivas y en el abastecimiento de minerales críticos para:

- Emplear un enfoque positivo para la naturaleza,
- Apoyar a las comunidades locales e indígenas,
- Ayudar a luchar contra el cambio climático,
- Restaurar ecosistemas,



- Construir una economía circular y
- Fomentar prácticas corporativas éticas.

Acuerdo de cooperación entre Francia, Alemania e Italia (2023).

Los tres gobiernos se comprometieron a:

- Establecer objetivos de extracción, procesamiento y reciclaje para cada materia prima estratégica.
- Reforzar medidas que promuevan el uso electrónico y el reciclaje de materias primas estratégicas y críticas en Europa.
- Hacer cumplir criterios ambiciosos en los ámbitos ambiental, social y gobernanza (ESG).
- Ampliar las listas de materiales críticos y estratégicos, en particular para incluir el aluminio.
- Crear un grupo de trabajo compuesto por expertos de cada administración para garantizar la implementación exitosa de las iniciativas.

MOU entre Canadá- Corea del Sur (2023).

El Memorando de Entendimiento (MOU) se centra en la cooperación en materia de transición energética y minerales críticos.

La cooperación abarca el comercio y la inversión en cadenas de suministro de minerales fundamentales, la transición energética, el intercambio de información sobre el procesamiento y el reciclaje de minerales, combustibles limpios como el hidrógeno, tecnologías de captura y almacenamiento de carbono y la fabricación en áreas como las energías limpias, los vehículos cero emisiones y los semiconductores. Las formas de cooperación incluyen la facilitación de actividades tecnológicas y de inversión, la realización de talleres conjuntos, la organización de misiones, el desarrollo de redes de comunicación, el fomento de la colaboración con gobiernos subnacionales y la cooperación en el control de inversiones.

El MOU también aborda la disposición de la Ley de Reducción de la Inflación de EE.UU. (IRA) que exige que los minerales provengan de EE. UU. o de un socio del Tratado de Libre Comercio para aprovechar el crédito fiscal para vehículos eléctricos, lo que permite a Corea aprovechar estos créditos fiscales a través de Canadá.

Australia - Japan Critical Minerals Partnership (2022).

El Departamento de Industria, Ciencia y Recursos y el Departamento de Asuntos Exteriores y Comercio de Australia firmaron una asociación con el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón para ayudar a construir cadenas de suministro seguras para minerales críticos. La Asociación establece un marco para promover oportunidades para el intercambio de información y la colaboración, incluida la investigación, la inversión y los acuerdos comerciales entre proyectos de Japón y Australia.

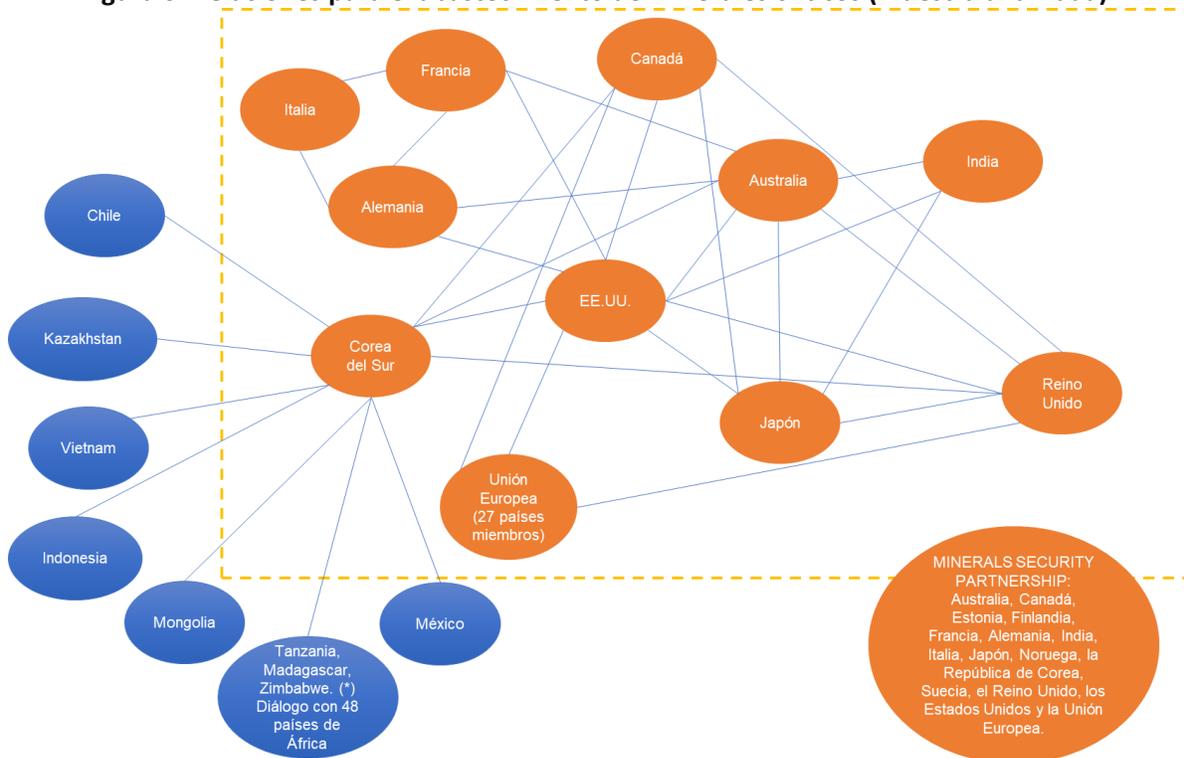


Comentarios sobre las iniciativas de las economías occidentales.

Aparte de los acuerdos presentados, existen otros acuerdos entre países o asociaciones de países sobre los cuales hay poca o no existe información pública disponible y que tenga relación con minerales críticos. Además existen acuerdos que se renuevan entre los mismos países a través de los años. En general, es posible distinguir que las economías más importantes de occidente integran el Minerals Security Partnership (MSP).

En la siguiente figura y a modo de esquema, se muestran las relaciones bilaterales y multilaterales entre las principales economías occidentales que demandan minerales críticos. Se han resaltado los países y asociaciones que son miembros del MSP en color anaranjado. Por otro lado, en color azul se representan a algunos países y regiones del planeta que poseen importantes reservas de minerales críticos, como es el caso de Chile.

Figura 6: Relaciones para el abastecimiento de minerales críticos (muestra analizada)



Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que la figura se elaboró utilizando una muestra de acuerdos investigados y únicamente tiene propósitos ilustrativos. Por lo tanto, existen acuerdos que no están representados en la gráfica anterior.

10.1 Iniciativas de China

China ocupa un lugar privilegiado como productor de varios de los minerales declarados como críticos por la mayoría de las principales economías del mundo y lo mismo ocurre con sus reservas minerales.



Sin embargo y al igual que las economías occidentales, China ha desplegado una estrategia para abastecerse desde países productores de recursos minerales críticos. Basado en la literatura y noticias disponibles, destacan las inversiones chinas en recursos y proyectos mineros en distintas partes del mundo y la iniciativa de la Franja y la Ruta.

10.1.1 Inversión en recursos y proyectos mineros.

Es una estrategia mediante la cual empresas chinas, muchas veces respaldadas por el gobierno chino, invierten en actividades de extracción y desarrollo de recursos minerales en el extranjero. Esta estrategia busca asegurar sus necesidades de recursos minerales (litio, cobre, uranio, cobalto, acero, hierro, níquel, tierras raras, etc.), diversificar sus fuentes de suministro, y fortalecer sus intereses económicos y políticos a nivel global.

Algunos ejemplos son:

2023: La empresa minera británica Kodal Minerals ha cerrado un acuerdo de recaudación con la empresa china Hainan Mining para apoyar su proyecto de litio Bougouni en Mali (África).

2023: Acuerdo de cooperación de US\$ 500 millones entre el Grupo ASK de Arabia Saudita (Asia) y la Corporación Nacional Geológica y Minera de China para el desarrollo, financiamiento, construcción y operación de un proyecto de minería de cobre.

2023: Zhejiang Huayou Cobalt, a través de su unidad local Prospect Lithium Zimbabwe, puso en marcha una planta de procesamiento de US\$ 300 millones en su mina de litio Arcadian en Zimbabwe (África).

2018: Tianqi Lithium adquiere participación en la empresa SQM, que extrae litio en el Salar de Atacama de Chile (Sudamérica).

10.1.2 Iniciativa de la Franja y la Ruta.

Fue anunciada oficialmente en el 2013 y su objetivo es promover la conectividad y la cooperación entre países a lo largo de Asia, Europa y África mediante la mejora de infraestructuras de transporte y energía.

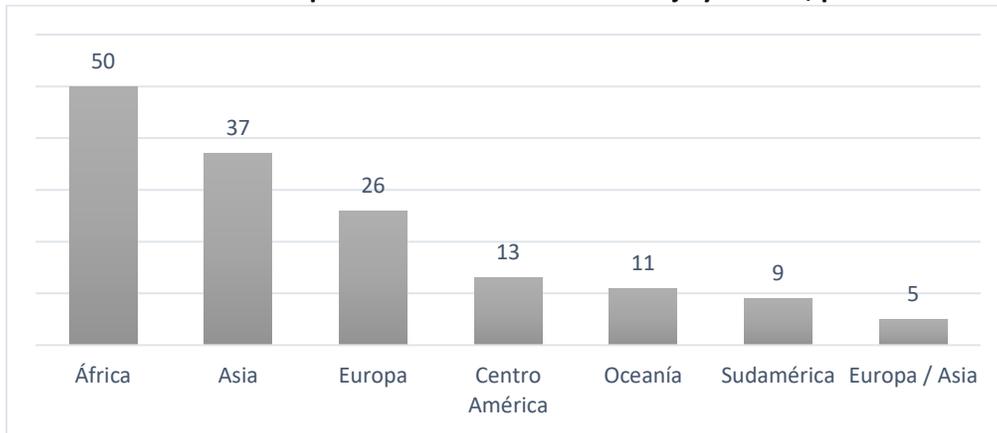
La Franja y la Ruta se estableció con dos componentes principales: la Franja Económica (o Cinturón Económico) de la Ruta de la Seda y la Ruta Marítima de la Seda del Siglo XXI. La Franja Económica de la estrategia pretende construir y ampliar las rutas terrestres para las personas y el comercio a través de Europa, Oriente Medio y Asia. Por su parte, el componente de la Ruta Marítima consiste en planes para ampliar las rutas marítimas a través de Asia Oriental, Asia Meridional, Oriente Medio y África.

Los proyectos e inversiones de la Iniciativa de la Franja y la Ruta se han llevado a cabo en numerosos países de Asia, África, Europa e incluso Sudamérica. A diciembre del 2023, se han firmado más de 200 acuerdos de cooperación con más de 150 países y 30 organizaciones internacionales.

Los proyectos incluyen la construcción o mejora de carreteras, puertos, ferrocarriles, oleoductos y otras infraestructuras relacionadas con el comercio. También ha llevado a cabo programas de conectividad a Internet y avance digital.



Figura 7: N° de acuerdos de cooperación - Iniciativa de la Franja y la Ruta, por continente al 2023



Fuente: Cochilco a partir de The Green Finance & Development Center (2023)

La lista es liderada por África, donde China ha firmado acuerdos con 50 países. En sudamericana ha firmado acuerdos con 9 países, entre ellos Chile.

Cabe señalar que los acuerdos firmados por China incluyen a 16 países miembros del Mineral Security Partnership (MSP). Las mayores economías del MSP no figuran en la lista de acuerdos de la Iniciativa de la Franja y la Ruta.



11 Relación de los minerales estratégicos con las Políticas y Estrategias Nacionales

Este capítulo explora las políticas y estrategias de diversos ministerios de nuestro país con el fin de entender cómo podrían integrarse en una futura estrategia de minerales estratégicos ²².

11.1 Política Nacional Minería (2022²³)

Por ser una política que tiene directa relación con el sector minería, en varios pasajes hace mención y establece metas asociadas a minerales estratégicos o de interés, enfocado desde el punto de vista de la transición energética mundial.

La política reconoce que la electrificación a nivel mundial, las energías renovables y la electromovilidad son fundamentales para lograr la carbono neutralidad y serán los principales impulsores de la demanda por minerales. Dentro de dichos minerales se menciona al cobre, litio, cobalto, tierras raras, zinc y manganeso.

Uno de sus objetivos es mantener y potenciar el liderazgo de Chile suministrando los minerales que el mundo necesita al 2050 en la lucha contra el calentamiento global, abordando las consecuencias del cambio climático y generando valor para el país.

Hay varias metas que se relacionan directa e indirectamente con el desarrollo de los minerales estratégicos. Hay algunos que podrían tener estrecha relación con su explotación, mientras otras podrían estar relacionados con aspectos sociales y ambientales en su eventual desarrollo.

Tabla 22: Metas del Pilar Económico de la PNM relacionados con minerales estratégicos

Objetivo	Nº meta	Meta
1.1 Ser líder mundial en la producción sustentable de minerales, fomentando la economía mundial baja en carbono y resguardando las personas y el ambiente	3	Cuenta con sistemas de trazabilidad y reportabilidad para el 100% de la producción de la gran y mediana minería, que aseguren una producción responsable en temas ambientales, sociales y de gobernanza.
	4	Duplica la inversión anual en exploración greenfield con respecto al promedio de los últimos 5 años, manteniéndola hasta 2050.
	5	Entrega la información básica geológica, geofísica y geoquímica a partir del decreto 104 de mayo de 2017.
	6	Genera estrategia de diversificación de minerales con el objetivo de aumentar la producción de productos distintos al cobre, como las tierras raras y cobalto, entre otras.
	7	Aumenta la producción del litio al 2030, logrando 450 Ktons de carbonato de litio.
1.2 Incrementar la productividad sustentable y competitividad de la industria minera.	12	Logra que el 30% del total de patentes solicitadas en Chile, en el área de materiales y metalurgia, sean nacionales al 2030.
	13	Asegura una capacidad de cobre refinado que permita a Chile seguir capturando el nivel mayoritario del valor generado por la industria y que facilite el cumplimiento de la carbono neutralidad.

²² Para uniformar conceptos, en este capítulo se hablará de minerales estratégicos.

²³ Publicada en el Diario Oficial.



Objetivo	Nº meta	Meta
1.3 Generar una industria de encadenamientos a la vanguardia en innovación y desarrollo	15	Logra que el gasto en I+D+i sea 0,42% en relación al PIB sectorial, alcanzando el gasto promedio de los países OCDE al 2050
	16	Cuenta con 250 empresas proveedoras de clase mundial y exportaciones de bienes y servicios vinculados a la minería, valorados en US\$1.500 millones al 2030 y US\$4.000 al 2050
	17	Mejora e incrementa la colaboración entre universidades y la industria minera al 2030

Fuente: Elaboración propia.

Existen otras metas asociadas al pilar social y ambiental de la PNM que se podrían relacionar indirectamente con el tema de minerales estratégicos, pero no se han citado. Sin embargo, se visualizan otras metas que sí tienen directa relación con los minerales estratégicos:

Meta 53: Impulsa la economía circular a través de minería secundaria.

Meta 62: Genera un modelo de gobernanza en la industria del litio para salvaguardar los componentes sociales, ambientales y económicos en los salares con una estrategia clara para su producción.

Meta 63: Publica y pone a disposición el acceso a la información básica geológica, geofísica y geoquímica de Sernageomin.

Meta 64: Mantiene un sistema de amparo por patentes que incentiven la exploración y explotación de recursos mineros.

11.2 Estrategia nacional para el fortalecimiento de la capacidad de Fundición y Refinería (2023)

Existe un fundamento estratégico para querer aumentar la capacidad de fundición y refinería en Chile: asegurar de que el cobre de nuestro país, una vez refinado, efectivamente tenga una baja huella de carbono y sea trazable.

Como parte de las reflexiones del documento que describe la estrategia, se señala que en la actualidad las estrategias de minerales críticos de distintos países en el mundo relevan el riesgo que existe en la cadena global de suministro de minerales, lo que se condiciona a la alta concentración de producción de cobre refinado en pocos actores. Por lo tanto, el fortalecer y aumentar la capacidad de FURE de Chile es parte de una agenda primordial para el país.

Un subproducto de gran relevancia son los barros anódicos, producidos durante el proceso de electrorefinación, ya que están compuestas por diferentes elementos, como metales preciosos y otros insolubles que caen del ánodo, tales como oro, plata, selenio, paladio y platino. Cabe señalar que los metales nobles son foco de interés para la formulación de una futura estrategia de minerales estratégicos.



11.3 Estrategia Nacional del Litio (2023)

El litio es un mineral crítico para todas las economías desarrolladas. Además, las reservas de litio y las operaciones de extracción están altamente concentradas en pocos países, siendo Chile el que posee una de las principales reservas, siendo el Salar de Atacama el yacimiento en operación a partir de salmueras continentales más grande a nivel mundial.

La estrategia propone avanzar en el desarrollo de la industria local de manera sostenible. Además, el desarrollo de esta industria genera diversos encadenamientos productivos de servicios o insumos básicos que impulsan el desarrollo de tecnologías e innovación (aguas arriba y abajo) y el de otras actividades de agregación de valor en la cadena productiva, incluyendo actividades empresariales y/o científicas más sofisticadas.

Reconoce que el litio es un elemento estratégico para Chile en múltiples dimensiones, tanto por su importancia en la transición energética a nivel mundial, complementario con el hidrógeno verde, como también por su importancia geopolítica a nivel regional y mundial. Por ello, plantea que el desarrollo de su industria es de primer orden y su potencial se ha transformado en una instancia de creación de riqueza para el país.

La estrategia del litio plantea como objetivos:

- Desarrollo sostenible del potencial productivo
- Sostenibilidad Social y Ambiental
- Desarrollo tecnológico y de encadenamientos productivos
- Participación del país en las rentas del litio
- Sostenibilidad fiscal
- Diversificación de actores
- Aporte a la diversificación productiva y potencial de crecimiento

11.4 Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde H2V (2020)

La estrategia reconoce el rol protagónico del hidrógeno en la transición energética y productiva que el mundo necesita.

El hidrógeno verde y los minerales estratégicos contribuyen a la descarbonización y si bien no hay una relación directa entre ambos, puede ser abordado desde el punto de vista de un esfuerzo superior de nuestro país para posicionarse como una economía que contribuye de forma decidida con insumos para la transición energética.

La estrategia plantea una etapa que podría ser complementaria a una estrategia de minerales estratégicos que consiste en la activación de la industria doméstica y de la exportación. El hidrógeno y los minerales estratégicos podrían habilitar una nueva economía chilena de exportación basada en energéticos limpios, minerales y productos con baja huella de carbono y, además, que contribuyen a la descarbonización.

Uno de los compromisos de la estrategia del hidrógeno verde es la formación de capacidades e innovación donde hay una actividad que también es común con el desarrollo de los minerales estratégicos. Esta se refiere a conectar a los actores de la industria, la academia y los centros de formación, para identificar brechas y formar las capacidades nacionales requeridas por la industria.



11.5 Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile – ECLP (2021)

La ECLP pone énfasis en aumentar los esfuerzos del país por disminuir nuestras emisiones, y nuestra vulnerabilidad frente al Cambio Climático, esto exige una transformación multisectorial que abra el camino hacia un desarrollo sustentable, neutro en emisiones y resiliente al clima, a más tardar al año 2050.

La estrategia señala que al poseer las mayores reservas mundiales de cobre y litio, Chile tiene el potencial de convertirse en un actor fundamental en soluciones al calentamiento global, aumentando la demanda de minerales indispensables para la electrificación a nivel mundial, la implementación de energías renovables y la electromovilidad.

Si bien los minerales críticos y/o estratégicos no se mencionan en el documento, indirectamente se establecen metas relacionadas con el manejo de los relaves, que son una fuente potencial de minerales de interés. Al respecto el objetivo sectorial 3 (Minería) es: “Minimizar, abordar y gestionar los impactos generados por los relaves activos, abandonados y críticos de la actividad minera”. Para dicho objetivo, hay dos metas que podrían estar ligadas a la oferta de minerales estratégicos de nuestro país:

Meta 3.3: Reducir la generación de relaves convencionales, fomentando otras formas de depositación, como filtrados, espesados o en pastas estableciendo un porcentaje de reducción al año 2022 y dando cumplimiento al 2030.

Meta 3.4: No cuenta con relaves en situación de abandono al 2050.

Aparte de las iniciativas antes señaladas, se revisó la **Política Energética Nacional (2022)** y la **Política Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (PNCTCI (2020))**. La primera hace referencia al desafío impuesto por el cambio climático, pero no hace referencia directa o indirecta a la explotación de minerales críticos o estratégicos.

La PNCTI menciona dimensiones como la “transferencia y adopción de tecnologías” y “el desarrollo de nuestro país en base a tecnología”, que podrían potenciar el desarrollo de los minerales estratégicos en nuestro país. Además, en su eje “Fortalecimiento”, planteó la creación del Instituto de Tecnologías Limpias, cuya función es desarrollar actividades de investigación y desarrollo, transferencia de tecnología e innovación, asistencia tecnológica y técnica especializada, difusión tecnológica o generación de investigación e información de apoyo a la regulación y a las políticas públicas, en las áreas de energía solar, minería de bajas emisiones y materiales avanzados de litio y otros minerales. La asignación de fondos para la operación de dicho instituto ya fue adjudicada en el año 2023.



12 Comentarios Finales y Conclusiones

El estudio realizó un diagnóstico de distintos aspectos relacionados con los Minerales Críticos y Estratégicos desde el punto de vista de la demanda. Para algunos temas, la información disponible es abundante, lo cual facilitó su análisis. Sin embargo, hay aspectos sobre los cuales no existe mucha información y se hace difícil el análisis y emisión de opiniones fundadas. Por ejemplo: acuerdos y/o asociaciones entre países para abastecerse de minerales críticos, acceso a los documentos oficiales que contienen las estrategias y las metodologías de evaluación de criticidad de algunos países de alto interés, como los son China, Japón y Corea del Sur.

En base a lo analizado en este estudio, la diferencia entre un mineral crítico y estratégico estaría dada por que el primero considera la vulnerabilidad de las cadenas de suministro por concentración de la extracción y/o procesamiento; en cambio, las definiciones de mineral estratégico analizadas no lo consideran. Dicho aspecto diferenciador está presente en la mayor parte de las definiciones de mineral crítico de las economías que son demandantes de dichos minerales. De ahí que, para el caso chileno, se recomienda la definición de mineral estratégico, que incluya por ejemplo variables como: importancia para el desarrollo de la economía local, importancia de estos minerales para la transición energética global y todo lo anterior impulsado por el potencial geológico local.

Al analizar la participación de varios países en la producción y reservas mundiales, de una muestra de minerales catalogados como críticos por varias economías industrializadas, queda de manifiesto el liderazgo de China por sobre el resto de los países. Chile destaca por tener una posición privilegiada en la cantidad de reservas de cobre, litio y renio ocupando, asimismo, una posición relevante en la producción de esos minerales. Otro aspecto que se confirma, es la concentración de mercado, tanto en la producción como en las reservas, de la mayoría de los minerales analizados. Es decir, la oferta de minerales críticos está concentrada en pocos países.

Hay 4 aspectos que son transversales en las estrategias de minerales críticos: transición energética; cadenas resilientes y seguras; impulso a la I+D y tecnología; gobernanza y relacionamiento socio ambiental (ESG). Si bien el abastecimiento local también es un tema prioritario en las estrategias, finalmente los países demandantes de minerales críticos necesitan obtenerlos desde terceros países.

Existe una diversidad de indicadores utilizados para evaluar la criticidad de los minerales. Para el caso de los países demandantes de minerales críticos se distinguen aquellos relacionados con la demanda y uso de materias primas, impacto económico y comercial, concentración y competitividad y sostenibilidad. Sin embargo, los factores de concentración y competitividad no son aplicables para evaluar la criticidad de un "mineral estratégico".

Por otro lado, los indicadores para evaluar criticidad de minerales en economías que producen y/o poseen importantes reservas de minerales, se han agrupado en: potencial geológico; demanda y uso de minerales; impacto económico y comercial; y evaluación y percepción. A diferencia de caso anterior, estos indicadores sí son candidatos a ser considerados en una evaluación de "minerales estratégicos".

A priori e independiente de los indicadores analizados, se propone que el listado de Minerales Estratégicos para Chile se sustente en criterios que consideren la "importancia económica del recurso" y la "disponibilidad del recurso".

Para promover un mayor valor agregado o la industrialización de minerales estratégicos, es crucial considerar la experiencia de otros países, la cual sugiere que esto se podría lograr mediante la



implementación de incentivos fiscales y subsidios. Estos estímulos han sido efectivos y constituyen una alternativa para atraer la inversión para el desarrollo de un sector que produzca bienes de alta tecnología y gran demanda a nivel mundial.

Queda de manifiesto que la competencia para acceder a los minerales, presentes en los países productores y/o con reservas significativas, es liderada por China y las economías agrupadas en el Minerals Security Partnership. Al respecto, proliferan los acuerdos con países de todos los continentes para asegurar el suministro de minerales.

El desarrollo de una estrategia de minerales estratégicos puede interrelacionarse con otras iniciativas sectoriales. Al respecto la “Política Nacional Minería”, “Estrategia Nacional para el Fortalecimiento de la Capacidad de Fundición y Refinería”, “Estrategia Nacional del Litio” y la “Política Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación” ofrecen orientaciones y buenas perspectivas para conectarse con la nueva estrategia.

Propuesta de pasos a seguir para definir un listado de minerales estratégicos para Chile

Bajo el entendido de que se desea avanzar hacia la definición de un Listado de Minerales Estratégicos para Chile, se propone continuar con los siguientes pasos:

- Profundizar en aquellos aspectos relacionados con los criterios y metodologías empleados para definir minerales estratégicos. Revisar consideraciones geológicas, económicas y sociales.
- Definir los criterios e indicadores que se tomarán en consideración para evaluar el carácter estratégico de los minerales en nuestro país.
- Priorización de minerales estratégicos para conformar un listado de minerales preliminar.
- Alineación de listado de minerales con políticas y estrategias nacionales. Esta etapa podría considerar la definición de las directrices para la elaboración de un documento técnico que contenga la metodología para la evaluación del carácter estratégico de un mineral y que serviría de base para las actualizaciones del listado en los años siguientes.
- Basado en los pasos anteriores, formular un listado de minerales estratégicos para nuestro país.



13 Referencias

- Agencia Nacional de Minería- Colombia. 2023. «Lineamientos para el establecimiento de Minerales Estratégicos en Colombia.»
- Australian Government, Department of Industry, Science and Resources. 2023. *Critical Minerals Strategy 2023–2030*.
- Barry, F. 2007. «Foreign direct investment and institutional co-evolution in Ireland. *Scandinavian Economic History Review*, 55(3), 262-288.»
- Bayter, María, Fredy Rodríguez, Hernán Sierra, Manuel Ortega, Carlos Tovar, Jhon García, Juan Ruíz, Hélder Barbosa, Jenny Rincón, y Wilman Cañas. 2023. *Determinación de minerales de interés estratégico para Colombia*. Agencia Nacional de Minería -Grupo de Promoción.
- Breznitz, D. 2007. «Innovation and the State. In *Innovation and the State*. Yale University Press.»
- British Geological Survey. 2021. «UK criticality assessment of technology critical minerals and metals.»
- Castillo, Emilio, Irene del Real, y Constanza Araya. 2023. «Minerales críticos para la transición energética y la posición estratégica de Chile.»
- Chadha, Rajesh, Ganesh Sivamani, y Karthik Bansal. 2023. *Assessing the Criticality of Minerals for India: 2023 (CSEP Working Paper 49)*. New Delhi: Centre for Social and Economic Progress.
- European Commission. 2023. «Study on the Critical Raw Materials for the EU 2023.»
- Gligo, N. 2007. «Políticas efectivas para atraer inversión extranjera directa en América Latina y el Caribe. CEPAL.»
- Gobierno de Chile. 2022. *Decreto 2: aprueba Política Nacional Minera 2050*. Diario Oficial.
- Gobierno de Chile. 2023. «Estrategia Nacional del Litio.»
- Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E. et al. 2019. *Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles*. *Nature* 575, 75–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>.
- House of Commons Committee. 2023. «A rock and a hard place: building critical mineral resilience.»
- Hund, K., La Porta, D., Fabregas, T. P., Laing, T., & Drexhage, J. 2023. «Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. World Bank Group.»
- Igarapé Institute. 2023. «Brazil’s critical and strategic minerals in a changing world.»
- International Organizing Committee for the World Mining Congresses. 2021. *World Mining Data 2021*.
- Minister of Natural Resources. 2022. *The Canadian Critical Minerals Strategy*.
- Ministério de Minas e Energia. 2021. «Decreto 10.657 de 24 de marzo 2021.»
- Ministerio de Minería. 2022. «Potencial de minerales críticos en Chile.» Presentación.
- Ministry of Mines. 2023. *Critical Minerals for India*. Ministry of Mines.
- Monge-González, R. 2017. «Ascendiendo en la cadena global de valor: El caso de Intel Costa Rica.»
- Morales, P. 2022. «Situación de la industria del litio en Australia. Biblioteca Nacional de Chile / BCN.»
- Morgan Stanley Research. 2024. «Commodity Matters, Copper: Substitution and Scrap.»



- Naciones Unidas. 2024. *Acción por el clima*. 27 de marzo. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>.
- . 2014. *For a livable climate: Net-zero commitments must be backed by credible action*. 27 de marzo. <https://www.un.org/en/climatechange/net-zero-coalition>.
- Nedopil, Christoph. 2023. «Countries of the Belt and Road Initiative.» Green Finance & Development Cente, Shanghai. Último acceso: 4 de julio de 2024. www.greenfdc.org.
- Olivera, B., Tornel, C., & Azamar, A. 2022. «Minerales críticos para la transición energética. Conflictos y alternativas hacia una transformación socioecológica.»
- Pavlinek, P. 2002. «The role of foreign direct investment in the privatization and restructuring of the Czech motor industry. *Post-communist economies*, 14(3), 359-379.»
- Regüero, Manuel, y González-Barros. 2014. «Minerales críticos en Europa: metodología para la evaluación de la criticidad de los minerales.» *Revista de la sociedad española de mineralogía*.
- Sacroisky, A. 2009. «Agencias de desarrollo de inversiones y políticas de focalización: experiencias comparadas y lecciones para la Argentina.»
- SEGEMAR; SECMIN; COFEMIN. s.f. *Minerales críticos, minerales estratégicos y minerales de importancia económica estratégica*.
- Spar, D. 1998. «Attracting high technology investment: Intel's Costa Rica plant. World Bank Occasional Paper No. 11, Washington, DC, World Bank.»
- U.S. Department of Energy. 2023. «Critical Materials Assessment.»
- . 2024. *U.S. Department of Energy*. marzo. <https://www.energy.gov/cmm/what-are-critical-materials-and-critical-minerals>.
- U.S. Geological Survey. 2024. «Mineral commodity summaries.» U.S. Geological Survey. doi:<https://doi.org/10.3133/mcs2024>.
- USGS,. 2021. «Methodology and Technical Input for the 2021 Review and Revision of the U.S. Critical Minerals List.» <https://www.usgs.gov/search?keywords=critical+minerals>.
- Zappettini, Eduardo. 2021. *Minerales y metales críticos y estratégicos*. Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales N° 45, 19 pp.



Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por:

Ronald Monsalve
Analista de Mercado Minero

José Pedro Ruiz-Tagle
Analista de Mercado Minero

Patricia Gamboa Lagos
Directora de Estudios y Políticas Públicas

Septiembre / 2024

Se autoriza la reproducción total o parcial de este Informe, siempre que la fuente “Comisión Chilena del Cobre” y/o “Cochilco” sea citada, salvo que se indique lo contrario.

Copyright by Cochilco, todos los derechos reservados.

