

2022



FUNDACIÓN  
CHILENA DEL  
PACÍFICO

# ALIANZAS PÚBLICO-PRIVADAS PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN DE RECURSOS MINEROS: EL CASO DE LAS TIERRAS RARAS

Estudio realizado por Dorotea López, Ignacio Sánchez y Andrés Bórquez.





UNIVERSIDAD DE CHILE  
Instituto de Estudios Internacionales



# **ALIANZAS PÚBLICO-PRIVADAS PARA LA INDUSTRIALIZACIÓN DE RECURSOS MINEROS**

## **El caso de las tierras raras**

**Estudio realizado para la Fundación Chilena del Pacífico**

**Santiago**

**22 de diciembre de 2022**

### **Equipo de investigación:**

Dorotea López Giral

Andrés Bórquez Basáez

Ignacio Sánchez González

## Highlights

Estudio sobre los potenciales aprendizajes para Chile de la industrialización de las tierras raras en el Asia Pacífico. En este ejercicio se comparó a China, Australia y Vietnam. Si bien, los tres casos son diferentes entre sí, todos compartían la característica de incorporar una mirada estratégica en el desarrollo de esta minería.

Las tierras raras han ido convirtiéndose en insumos claves de la cuarta revolución industrial. Su trascendencia radica en que son materias primas básicas para desarrollar la electromovilidad y la transición energética, así como para la industria militar y aeroespacial.

Los países asiáticos que tienen reservas han ido incorporando una mirada integral buscando generar capacidad de procesamiento y comercializar productos intermedios o aplicaciones finales. Un asunto crítico es que su producción está altamente concentrada en pocos países. China, Australia y Vietnam concentran más del 60% de las reservas mundiales. De allí nace el interés del mercado internacional para identificar nuevos actores que permitan ampliar el espectro de proveedores. Hay tierras raras livianas y pesadas. Esta distinción es clave porque las tierras livianas suelen ser menos valoradas por su baja concentración.

Chile puede ser pionero en América del Sur en el desarrollo de la industria de tierras raras. Cuenta con más de 700 diferentes relaves mineros con potencial de minerales de tierras raras. Además, es uno de los tres países en el mundo que tiene depósitos de arcillas iónicas que permiten una extracción sin uso de explosivos, molienda y residuos sólidos, entre otras ventajas. Estos elementos permitirían posicionar al país como un actor relevante del suministro de minerales para la transición energética verde. Las tierras raras, sumado al cobre y al litio son insumos esenciales para los motores y baterías eléctricas.

Es importante que Chile incorpore una mirada estratégica, en esto, el Estado debe jugar un rol protagónico procurando determinar el potencial geológico de tierras raras, abrir espacios de cooperación pública-privada, atraer inversión extranjera que pueda estar en función del desarrollo local e incorporar una visión sostenible y sustentable. La experiencia del Asia Pacífico puede ser relevante. Esta región pasó de la extracción al desarrollo de productos intermedios y finales convirtiéndose en actores claves de la cadena de valor global.

# CONTENIDOS

<b>INTRODUCCIÓN</b>	4
<b>CAPÍTULO I</b>	7
<b>Papel de los minerales para la transición energética y el rol del Estado en este reto</b>	7
<b>I.1. ¿Qué son las tierras raras?</b>	10
<b>I.2. Usos de las tierras raras y principales productos</b>	11
<b>I.3. Mercado global</b>	13
<b>I.4. Valor geopolítico de las tierras raras</b>	13
<b>CAPÍTULO II</b>	15
<b>Experiencias de desarrollo de recursos mineros</b>	15
<b>I.2. Los casos de estudio</b>	15
I.2.1. El caso de Australia	15
I.2.2. El caso de China	19
I.2.3. El caso de Vietnam	23
<b>II.2. Análisis comparado de los tres casos</b>	26
<b>CAPÍTULO III</b>	32
<b>El Caso de Chile</b>	32
<b>III.1. ¿Hay oportunidades para Chile?</b>	32
<b>Referencias</b>	41

## INTRODUCCIÓN

Los minerales estratégicos han adquirido en los últimos años una presencia y un valor cada vez mayores en los mercados mundiales, en particular por su papel en el desarrollo de nuevas y sofisticadas tecnologías. Las tierras raras gracias a sus propiedades magnéticas y conductoras se han convertido en una materia prima clave para la electrónica utilizada por sectores tan diversos como son el informático, la electromovilidad y el militar.

China y Australia son dos de los tres principales productores mundiales, concentrando más del 75% de la oferta mundial mediante un modelo de cadena de integración de extracción, refinación y producción de productos intermedios (Statista, 2022). En relación con las reservas, China, Vietnam y Australia concentran más de 70 mil toneladas métricas de tierras raras equivalente al 60% de las reservas mundiales.

En los casos mencionados, el Estado ha jugado un rol determinante para ir avanzando en la industrialización del sector. Debido a la alta dependencia que conlleva el hecho que haya pocos oferentes a nivel internacional, y que sus propiedades sean elementales para la sustentabilidad de la producción de los principales dispositivos de la cuarta revolución industrial, son varios los países que están buscando nuevas vías de suministros de las tierras raras. Como lo señala el Subsecretario de Relaciones Económicas Internacionales en un Seminario de la Fundación Chilena del Pacífico, las economías de Asia han tenido una acelerada industrialización desde fines de la Segunda Guerra Mundial, dada la adopción de políticas de desarrollo productivo y políticas industriales dirigidas a industrias con alto potencial de crecimiento y amplias externalidades (SUBREI, 2022).

En este contexto, Chile podría constituir una posible alternativa de suministro para la cuenca americana del Pacífico. Sin embargo, un problema es desarrollar las capacidades para aprovechar el recurso a su disposición. Según el Ministerio de Minería chileno se poseen importantes depósitos de tierras raras, pero para confirmar su volumen se requieren estudios de exploración. En esta misma línea, en el país se identifican más de 750 relaves de la gran minería con tierras raras que no han sido extraídas (BNAmericas, 2020). Estos relaves son residuos del cobre que al no contar con una política de extracción, refinamiento y transformación, están sin explotar. De hecho, esto permitiría establecer una economía circular al extraer tierras raras desde los residuos de cobre, logrando no solamente mayores ingresos mineros sino también avanzar hacia una minería más sustentable.

En esta configuración, la participación del Estado chileno podría tener un papel clave para desarrollar esta industria, convirtiéndola en uno de los proveedores globales y permitiendo posicionar al caso chileno como nueva plataforma regional de insumos de la cuarta revolución industrial como son el litio, las tierras raras y el hidrógeno verde. Considerando que los reportes internacionales señalan que la demanda por estos insumos crece a la par con el avance tecnológico, y debido al aumento de tensiones entre las potencias, éstas se han

convertido en productos estratégicos y geopolíticos. Esto se enmarca en la estrategia de modificar la canasta exportadora del país, en la misma línea que se ha discutido el tener una empresa nacional del Litio que permita agregar valor. Para lo que el Presidente ha propuesto generar una institucionalidad destinada a la gestión de salares y al resultado de éstos, el litio es considerado un metal estratégico. Al respecto se han estudiado diversas alternativas, como una asociatividad público-privada pero donde el Estado tendrá una representación mayoritaria o al de unir en una empresa lo que viene haciendo Codelco en el salar de Maricunga y Enami en el distrito de salares desde el 2016.

En este trabajo se analiza la experiencia sobre tierras raras de tres casos exitosos como el de los países de la Cuenca Asiática del Pacífico (Australia, China y Vietnam). Si bien estos casos comparten en común la fuerte participación del Estado, cada uno tiene sus particularidades en relación con las estrategias de desarrollo. Así se generan algunas recomendaciones sobre desafíos y oportunidades de la extracción, refinamiento y transformación de aleaciones de tierras raras en productos intermedios utilizados en aplicaciones comerciales y de defensa, que permitan ser un insumo para generar una estrategia de industrialización en Chile.

En el primer capítulo se introduce el papel de los minerales para la transición energética, las características generales de experiencias de desarrollo de recursos mineros y se explica de forma general sobre las tierras raras y sus usos, así como su valor geopolítico. Posteriormente, el Capítulo 2 estudia los tres casos de la Cuenca Asiática del Pacífico, a partir del accionar de empresas nacionales o cualquier otra entidad controlada por el Estado, en esquemas de colaboración con el sector privado. En el Capítulo 3 se presentan algunas recomendaciones para Chile basadas en la revisión de los países analizados y en la visión de expertos nacionales e internacionales.

## **Nota metodológica**

Este reporte se sustenta en una metodología cualitativa de aproximación al fenómeno de estudio. En concreto se trata de un análisis de fuentes primarias y secundarias. En relación a las primeras se establecen mediante una decena de entrevistas a expertos nacionales e internacionales y la revisión de leyes y documentos oficiales. Sobre las segundas se estableció una revisión de la literatura y reportes de centros de pensamiento internacionales. En esta configuración, el estudio se estructura en tres etapas. Primero se analiza en términos generales la industria y el mercado de las tierras raras a nivel mundial. En una segunda etapa, se procede a realizar un estudio comparado de tres casos claves que han desarrollado una estrategia nacional de tierras raras en la cuenca asiática del pacífico. Por un lado, se puso atención el caso de China, el cual el Estado tiene un rol activo en todas las etapas del proceso desarrollo de la minería de tierras raras. Luego, se analiza el caso de Vietnam donde el Estado ha buscado impulsar la industrialización de las tierras raras basado en la cooperación internacional con países que cuentan con tecnología y son altos demandantes de estos minerales. Finalmente, se analiza el caso de Australia donde el Estado juega un papel de facilitador y regulador para la inserción activa de actores privados en el desarrollo de la industria minera. En una tercera etapa del estudio, se extraen recomendaciones desde el estudio comparado que pueden ser útiles para estudiar el caso chileno. Este ejercicio se complementa con entrevistas a profundidad con especialistas chilenos.

## CAPÍTULO I

### **Papel de los minerales para la transición energética y el rol del Estado en este reto**

Las discusiones sobre transición energética y la búsqueda de nuevas formas de producción no han sido ajenas a las discusiones internacionales, regionales, ni locales. Al respecto, cabe recordar el Acuerdo de París del año 2015, suscrito en el marco de la 21<sup>a</sup> Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) por 196 Partes, incluido Chile. En este entendido, aquellos objetivos con miras en lograr formas de producción bajas en carbono forman parte de las obligaciones suscritas por el Estado y por tanto, emprender acciones en diversos sectores se enmarcan en este fin.

Si bien la industria minera ha sido objeto de variadas críticas por parte de la sociedad civil y comunidades en cuanto a los impactos socioambientales que pueden derivarse (Camargo, 2014; Delgado, 2010), diversos informes técnicos y la literatura reciente identifican que la minería tendrá un rol fundamental en la descarbonización de las economías y en su tránsito hacia nuevas formas de producción, con miras a la sostenibilidad, la economía circular y el uso de tecnologías con menor huella ambiental como la electromovilidad, la iluminación y pantallas LED, imanes permanentes, entre otros (Martínez y del Valle, 2014; Blumenthal y Diamond, 2022).

Incluso, la reducción de emisiones de carbono y la demanda creciente de tecnologías energéticas limpias requieren de la producción de minerales y metales clave como el grafito, el litio y el cobalto, cuya producción podría aumentar incluso un 500% en los próximos 30 años (Banco Mundial, 2017; 2020).

Esta creciente demanda de minerales y metales estratégicos para la transición energética ofrece oportunidades económicas para los países en desarrollo ricos en recursos minerales como Chile, así como a las entidades del sector privado. No obstante, es probable que surjan importantes retos si la transición energética limpia impulsada por el clima no se gestiona de forma responsable y sostenible (Banco Mundial, 2020), y, en consecuencia, cobra relevancia decisiva la situación identificada por la industria nacional y el Ministerio de Minería en relación a los relaves depositados tras proyectos mineros que no han sido (re)explotados (BNAmericas, 2020).

El Ministerio de Minería, en 2020, destacó el potencial de los relaves en Chile y cómo una política de tierras raras se vuelve fundamental para lograr externalidades positivas y avanzar hacia una economía sustentable (Chile Minería, 2020). El Gobierno identificó las capacidades de las alianzas público-privadas (incluyendo asociaciones gremiales) para potenciar la “minería secundaria” e incluso, para trabajar conjuntamente en la formulación de un Plan Nacional de Relaves (Mining Press, 2020; Guía Minera de Chile, 2020), con el



fin de aprovechar los residuos de una industria que, en principio, no era consciente de su potencial en sostenibilidad.

Las iniciativas económicas del Estado como las mencionadas, que pueden ser emprendidas en el sector de la minería, se condicen con las tendencias actuales en el ámbito global recomendadas por entidades financieras internacionales. En este sentido, la iniciativa *Climate-Smart Mining* del Banco Mundial pretende una gestión de la industria minera con una huella medioambiental y climática menor, junto con la obtención de beneficios a propósito de la creciente demanda de minerales y metales (Banco Mundial, 2020). En el caso de Chile, el rol del Estado en la extracción y el procesamiento sostenibles de minerales y metales para asegurar el suministro de tecnologías energéticas limpias, se vuelve fundamental, pues a través de su potestad regulatoria puede exigir la minimización de la huella social, medioambiental y climática a lo largo de la cadena de valor de estos materiales.

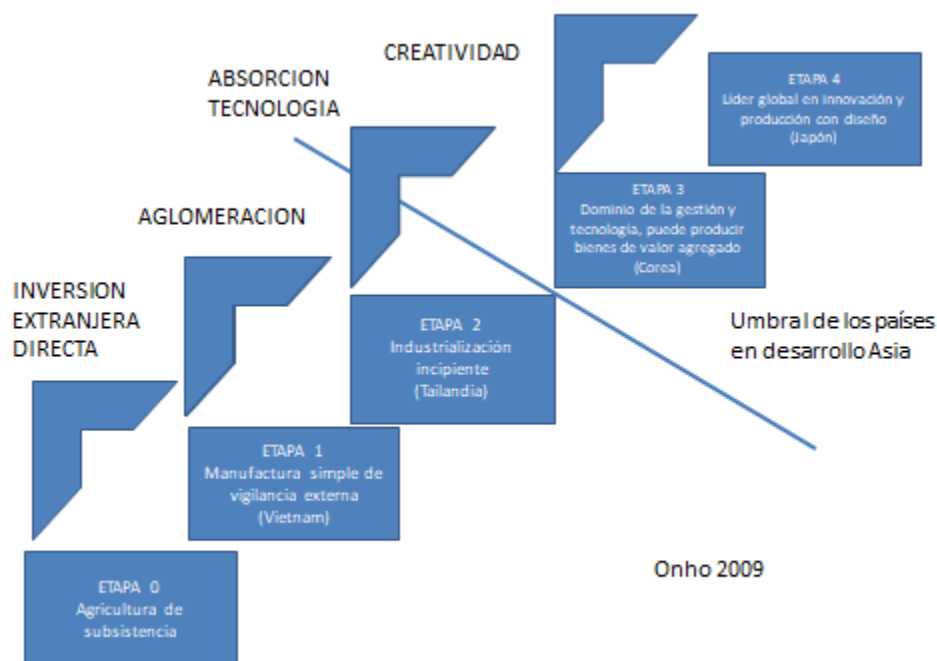
Sin embargo, una presencia activa del Estado sigue siendo discutida. La literatura actual gira en torno a la pregunta sobre si los gobiernos pueden orientar el mercado hacia un desempeño industrial más eficazmente de lo que lo haría un mercado libre, incluso en ausencia de una falla del mercado de tipo neoclásico. Han surgido economistas como Rodrik o Stiglitz que proponen un “consenso con rostro humano”, con mejor institucionalidad y que combine la ortodoxia con una buena política social (Acemoglu & Robinson, 2012).

El componente más evidente es con respecto al papel del Estado, que adopta un posicionamiento no neutral, una muy cercana vinculación al sector privado y una marcada voluntad industrializadora, precisamente un tema que se aborda hoy de manera relevante en América Latina (Chang, 2004; Guillén, 2008; Rodrik, 2003). La literatura sobre política comercial (Rodrik, 2004a) ha constatado que los países que han logrado alcanzar el desarrollo lo han hecho en el marco de una disposición proactiva de sus Estados, que dirigieron su inserción en los ambientes globales hacia estructuras productivas intensivas en trabajo o empleo calificado (Devlin & Moguillansky, 2010). En estos países se concibió la relación entre el Estado y el mercado de manera orgánica.

Estos países establecieron políticas públicas industriales que no cerraron mercados, sino que permitieron colaborar para que las empresas pudieran entrar de forma competitiva en el comercio internacional, condicionando los créditos y las políticas de apoyo al desempeño exportador (Ahumada, 2022).

Diversos autores han intentado explicar el desarrollo centrándose particularmente en las economías asiáticas, similar al enfoque de etapas de desarrollo popular de Ohno (2009), quien explicó la transición de la pobreza al desarrollo avanzado con un modelo de desarrollo de cinco etapas en la investigación de los países dentro de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN) que se presenta en el Esquema I.

## Esquema I. Etapas para alcanzar la industrialización en países asiáticos



**Fuente:** Onho (2009)

En este entendido, la minería ha sido una de las grandes preocupaciones, pues siendo fuente de importante riqueza y crecimiento para la economía, genera mayores dificultades de superar la tercera etapa que se plantea en el esquema, y que permite a un país sofisticar su canasta productiva, un problema que algunas veces se ha equiparado al de la trampa del ingreso medio<sup>1</sup>. La obtención de resultados diferentes radica en la positiva interacción de dos factores clave: el dinamismo privado y el diseño de políticas indicadas. Acciones de política requeridas.

La literatura en el análisis de estos casos concluye que las acciones necesarias son más agresivas que el Consenso de Washington, que es la recomendación política estándar del Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional consistente en desregulación, privatización, integración internacional y creación de un buen entorno empresarial. Asimismo, analizando otras experiencias, es posible diseñar y ejecutar estrategias significativas para acelerar la industrialización, como aquellas medidas orientadas a mejorar la transferencia de tecnología, la educación y la formación, la comercialización de IED, la

<sup>1</sup> Este concepto representa aquella situación en la que un país emergente no logra superar un umbral de crecimiento económico mayor a un promedio de 5%, pese a haber experimentado niveles mucho mayores de expansión de su producto interno bruto en años o períodos anteriores.

financiación de las PYME, la gestión, infraestructuras, logística, clusters industriales, polígonos industriales, entre otras (Onho, 2009).

## **I.1. ¿Qué son las tierras raras?**

Las denominadas “tierras raras” son una clase de metales pertenecientes al grupo IIIB de la tabla periódica, y una de sus principales características es su alta electropositividad (Cortés & del Valle, 2014). En atención a los compuestos y efectos de estos elementos químicos - que en total suman 17-, han sido consideradas como parte de los minerales estratégicos, especialmente por su valor, demanda, dificultad de explotación y relevancia para las funciones más cotidianas de la sociedad actual, teniendo un papel especialmente trascendente en la transición energética (Algora, 2021).

Estos metales son utilizados en sectores tan variados como el sector informático, de la electromovilidad, el militar, o el tecnológico a gran escala, gracias a sus propiedades magnéticas y conductoras. De allí nace el interés de los Estados que cuentan con reservas de tierras raras por desarrollar una industria eficiente que permita explorar, explotar y producir estos minerales, otorgándoles un rol estratégico comercial y geopolítico.

Con todo, el valor comercial o geopolítico de las tierras raras dependerá de las composiciones o de los grupos de elementos químicos que se encuentren presentes en ellas. Al respecto, dentro de los lantánidos, es posible dividirlos en dos grupos, las tierras raras livianas o ligeras (*Light Rare Earth Elements*, LREE) y tierras raras pesadas (*Heavy Rare Earth Elements*, HREE). Las primeras comprenden a los elementos lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometio, samario y europio; mientras que las segundas al gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio, incluyendo generalmente también al itrio y al escandio como HREE (Marczenko *et al*, 2000), aunque su número atómico sea menor al de las LREE, no obstante, sus propiedades fisicoquímicas y la presencia conjunta en la naturaleza las hacen semejantes.

Inicialmente debido a la baja ley del mineral de la mayoría de los yacimientos de tierras raras y la complejidad de la separación, la extracción era rentable en sólo unos pocos lugares, principalmente como un subproducto de la extracción de otro metal (Gupta y Krishnamurthy, 2005). Actualmente hay 120 millones de toneladas de reservas globales de tierras raras, de las cuales un tercio de estas reservas se encuentran en China. También se encuentran depósitos considerables en Vietnam, Brasil, India y Australia. Las tierras raras son materias primas esenciales para una gama de productos y emergen en la misma dirección que el cobre y el litio, en el sentido de que se proyecta como una buena oportunidad en la medida de que se analice con mayor profundidad las diferentes perspectivas asociadas al desarrollo de una nueva industria (técnica, económica, comercial, geopolítica, etc.). La demanda anual de Tierras Raras se duplicó a 125.000 toneladas métricas (t) en los últimos 15 años hasta 2021

y se prevé que alcance las 315.000 t en 2030. En esta misma línea, se pronostica que el valor del consumo mundial de óxido de tierras raras magnéticas se triplicará de 15 mil millones de dólares en 2022 a 46,2 mil millones de dólares para 2035. En ese sentido, la siguiente sección revisará, mediante un estudio comparado, la experiencia de tres países pertenecientes a la Cuenca del Pacífico, a saber, China, Vietnam y Australia, por cuanto son Estados que han desplegado políticas estatales para fomentar la innovación en las actividades de extracción, refinación y transformación de aleaciones de tierras raras en productos intermedios, utilizados en aplicaciones comerciales, de defensa o de energías renovables o limpias.

Las experiencias permitirán contar con distintas visiones y perspectivas sobre el rol del Estado en esta materia, bien operando directamente mediante entidades empresariales públicas, o mediante la participación mixta de actores privados por la vía de contratos, licitaciones u otros mecanismos de participación, que hayan sido exitosos en los respectivos contextos nacionales. La experiencia comparada puede constituir una base de conocimiento que coadyuve a la comunidad multisectorial, a los hacedores de política, y al sector privado en Chile, a impulsar una tasa de producción mayor de tierras raras, posicionando a Chile como un proveedor clave de los minerales del futuro tecnológico, incluyendo el litio. Las tierras raras representan una oportunidad para generar alianzas público-privadas que permitan desarrollar la matriz exportadora, con agregación de valor y vinculada a las ventajas naturales de la minería.

Se reconoce en la literatura que durante la transición económica de una sociedad basada en recursos a una sociedad orientada a la industria y los servicios, el consumo de agregados, es decir, piedra, arena y grava, en el sector de la construcción “aumenta en la misma o incluso un grado superior al rendimiento económico” (Schiappacasse et al., 2019).

Chile no ha estado exento del debate sobre las tierras raras, sus efectos ambientales y a las comunidades y las potencialidades. Sin embargo es necesario desarrollar análisis con mayor profundidad, sobre todo por la presencia de estos elementos en los mencionados relaves, pero también por los yacimientos en el sur del país de arcillas iónicas, cuestión que puede significar un espacio de oportunidad importante. Las concentraciones de este elemento representan el 10% de la extracción y producción mundial (BNAmericas, 2022).

En este sentido, el foco de atención se ha dirigido a las arcillas iónicas en el último tiempo, toda vez que, además de la concentración, conforman el depósito de menor costo de extracción conocido de este tipo (Minería Chilena, 2018).

## **I.2. Usos de las tierras raras y principales productos**

Las tierras raras han sido utilizadas en el sector agrícola, químico, farmacéutico y médico desde épocas muy tempranas, sin embargo, posteriores investigaciones dieron cuenta de los



potenciales usos y propiedades que estos elementos podrían tener, por lo que su uso se enfocó en los productos tecnológicos, lo que incidió asimismo en su valor y demanda (Evans, 1996; Krebs, 2006; Martínez y del Valle, 2014; Algora, 2022).

En este sentido, el aprovechamiento de las tierras raras tiene asidero en una vasta gama de aplicaciones y usos. Por ello, han sido relevantes para los trabajos exploratorios en materia de catalizadores de reacciones orgánicas y compuestos organometálicos. Asimismo, en los sectores mencionados anteriormente, estos elementos se encuentran presente en utensilios para el tratamiento de cáncer y tumores, o para la determinación de hormonas y antígenos virales, así como en máquinas de rayos X (Jori, Ferreyra, y Capparelli, 2015).

Por otro lado, estos elementos minerales han comenzado a formar parte de sectores de interés nacional, como es la energía y la seguridad, en cuanto a sus usos industriales y militares. Así, son utilizadas en la industria de hidrocarburos para el refinamiento de petróleo, y son aplicadas en el campo militar, por cuanto son componentes fundamentales de los motores de aviones de combate, de misiles de orientación, de satélites espaciales y de detección de misiles, y de sistemas de comunicación (Martínez y del Valle, 2014; Jori, Ferreyra, y Capparelli, 2015).

Actualmente, las nuevas aplicaciones de las tierras raras han incrementado su demanda y valor estratégico y geopolítico a escala global. Los usos en productos tecnológicos de gran escala, son los que han dotado a estos elementos de una mayor relevancia, no sólo en atención a la guerra comercial y tecnológica entre China y Estados Unidos, sino que también por la capacidad que podrían revestir a un país para coadyuvar en la industrialización de su economía.

Estos nuevos usos están presentes en una variedad de productos estratégicos, tales como televisores inteligentes, iluminación de bajo consumo, motores híbridos y eléctricos, teléfonos celulares, cámaras, fibra óptica, baterías recargables y nucleares, imanes permanentes, escáneres, entre otros (Martínez y del Valle, 2014; Jori, Ferreyra, y Capparelli, 2015).

Por tanto, se aprecia que las tierras raras tendrán un papel relevante en las nuevas transformaciones a nivel internacional que tendrán lugar en la transición energética, a propósito del protagonismo creciente de la electromovilidad, la conservación de la energía, y la utilización de biocombustibles; así como en las gobernanza tecnológica que ya es parte de las realidades locales y objeto de regulación, como es el 5G en América Latina, el reforzamiento de la banda ancha, aumento de la fibra óptica y el Internet de las Cosas -que se sustenta en la utilización de dispositivos electrónicos inteligentes- (Leskelä, Kukli, y Ritala, 2006; Blumenthal y Diamond, 2022).

### **I.3. Mercado global**

El mercado global de las tierras raras actualmente ha sido enfocado en el sector de las energías renovables, y en atención a las futuras aplicaciones en este sector, se prevé un importante aumento de la demanda de estos elementos hacia 2050 (Banco Mundial, 2017; 2020). Al respecto, los minerales críticos serán objeto de importantes volúmenes de comercio internacional para los proyectos de inversión y desarrollo de vehículos eléctricos, baterías recargables, parques eólicos y plantas fotovoltaicas (Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos, 2022a).

Cabe hacer presente que las principales investigaciones, y el comercio mismo de tierras raras ha estado presente en los países industrializados, toda vez que las requieren para la elaboración de los productos intensivos en conocimiento antes mencionados. El principal escollo es la dependencia de ciertos proveedores, en un intento de diversificar las fuentes de obtención de estos elementos. En este sentido, tanto Estados Unidos, como Europa y Australia pretenden reducir su dependencia de China como exportador de tierras raras (Abigail y Alastair, 2020).

Se ha especificado que la oferta actual ha logrado hacer frente a la demanda mundial, principalmente a cargo de China con un control casi monopólico de extracción (Torres Muñoz, 2022). En relación a la demanda, entre los años 2006 y 2021 se ha duplicado, alcanzando 125.000 toneladas métricas (t), y se proyecta que alcance las 315.000t hacia 2030 (Torres Muñoz, 2022).

### **I.4. Valor geopolítico de las tierras raras**

La producción de las tierras raras está altamente concentrada en pocos países abriendo espacios a manipulaciones del mercado y desastres naturales, cambios políticos o problemas ambientales. China tiene una mayor ventaja en la producción, ya que representó el 68 por ciento de la producción mundial en 2019.

Estos metales han ido convirtiéndose en insumos claves de la cuarta revolución industrial. Su trascendencia radica en que son materias primas básicas para acometer la transición energética impuesta por el progresivo cambio climático y para las transformaciones hacia la digitalización, así como para la industria militar y aeroespacial (Algora, 2021).

En un principio solo se utilizaban con fines agrícolas, en la medida de que la investigación científica fue avanzando se descubrieron sus múltiples aplicaciones industriales y tecnológicas. Las tierras raras se han convertido en minerales de importancia estratégica para la economía, la vida cotidiana, la industria de defensa y de alta tecnología. Se reconocen sus aplicaciones desde el ámbito cotidiano con los televisores y smartphones hasta el ámbito

militar con las *smartbombs*, pasando por muchos otros usos como en la producción de energía eólica en forma de motores magnéticos (Cortés & del Valle Giles, 2014).

Lo anterior refleja la relevancia que tienen las tierras raras desde el punto de vista geopolítico. Los países que tienen reservas gradualmente han ido incorporando una mirada integral buscando generar su propia capacidad de procesamiento y comercialización como producto intermedio o mediante una aplicación final. En esta misma línea, el control de estos recursos naturales se ha convertido en una cuestión clave para la protección de los intereses nacionales e internacionales de las potencias mundiales debido a su aplicabilidad en asuntos de seguridad tradicional (industria de defensa) y seguridad no tradicional (enfrentar los impactos del cambio climático y la transición energética).

## CAPÍTULO II

### Experiencias de desarrollo de recursos mineros

En este capítulo se revisan las características generales de las experiencias de desarrollo en recursos mineros y se analizan los casos de tres países seleccionados, Australia, China y Vietnam. Estos han desarrollado diversas estrategias con elementos interesantes que pueden ser considerados en el diseño de una estrategia de futuro para Chile. La complejidad de los problemas para el desarrollo sustentable de la minería y la diversidad resultante a escala global señalan la necesidad del continuo intercambio de experiencias en el campo de conocimientos, métodos, tecnologías y otras soluciones (Dubinsky, 2013).

#### I.2. Los casos de estudio

##### I.2.1. El caso de Australia

###### *Estrategia*

Desde el año 2016 las autoridades australianas concebían a las tierras raras como un espacio de oportunidad para que tanto el Estado como el sector privado avanzaran hacia un mayor desarrollo de la industria, y poder producir productos con un mayor valor agregado (Departamento del Tesoro, 2017).

En 2019, el gobierno creó la Oficina de Facilitación de Minerales Críticos para proporcionar asesoramiento político y estratégico a nivel nacional y facilitar el desarrollo del sector (Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos, 2022a), la cual comenzó a operar en enero del año siguiente. La misión de esta repartición estatal consiste en apoyar el crecimiento del sector de minerales críticos y ayudar a asegurar la inversión, la financiación y el acceso al mercado para los proyectos mineros (World Energy Trade, 2020; Mining Technology, 2020).

Más recientemente, en marzo del presente año, con el objetivo de convertir a Australia para el año 2030 en una potencia mundial de minerales críticos que sea parte integrante de las cadenas internacionales de suministro de minerales críticos y tecnologías cruciales para la economía global, el gobierno australiano publicó su “Estrategia para los Minerales Críticos 2022”, documento que presentó importantes proyectos, fondos e inversiones estatales para un mayor desarrollo de la industria, con un importante rol del Estado en el liderazgo de estas iniciativas. También, el instrumento resumió las principales iniciativas llevadas a cabo desde el año anterior.



En particular, el entonces Ministro de Recursos y Aguas, Keith Pitt, aseguró que dichas inversiones apuntaban hacia una “capacidad manufacturera soberana”, e integrar a Australia en las “cadenas de suministro mundiales de tecnologías que van desde los teléfonos móviles hasta los aviones de combate” (Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos, 2022a). Si bien la prensa ha interpretado estas iniciativas como una contestación a la creciente influencia china en la industria global de tierras raras, debido a declaraciones oficiales de personeros de gobierno (Bloomberg, 2022), el hecho es que Australia ha reafirmado la importancia del rol público tanto para “liberar el importante potencial de la industria”, como para “apoyar la investigación y desarrollo, y una estrategia industrial actualizada” (Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos, 2022b).

La inversión estatal australiana se justifica precisamente en el hecho que las cadenas de suministro de minerales críticos son vulnerables a las interrupciones, y van ligadas casi intrínsecamente a riesgos de mercado y volatilidad de precios, lo que dificulta la concreción de acuerdos comerciales o de inversión (Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos, 2022).

Las líneas de acción que contempla esta iniciativa de gobierno se centran en:

- i.** Reducción del riesgo de los proyectos en todas las fases de desarrollo, superando obstáculos y atrayendo así la inversión privada.
- ii.** Creación de un entorno propicio de minerales críticos para que la industria minera prospere, mediante la investigación y desarrollo, normativa y acreditación para mantener las ventajas competitivas, e infraestructuras y complejos compartidos para atraer inversiones.
- iii.** Fortalecimiento de las asociaciones internacionales con aliados y socios estratégicos, que permitan compartir el conocimiento y asegurar acuerdos comerciales.

Los contenidos de la primera línea de acción identificada, relacionada a reducir el riesgo de proyectos, tratan sobre la Inversión Gubernamental, la Instalación de Minerales Críticos, la Iniciativa Aceleradora de Minerales Críticos, la Iniciativa de Manufactura Moderna y Atracción de la inversión.

La Inversión Gubernamental se implementa con el fin de superar las brechas y atraer la inversión privada. En este sentido, el Gobierno estima que dicho objetivo se basa en generar certidumbres y apoyos de largo plazo. Asimismo, se avizora que la inversión pública estratégica acelerará la llegada de los distintos proyectos al mercado, y una vez se encuentren operativos, tendrán mejores oportunidades para cerrar acuerdos de compra. A su turno, la operación económica activa del Estado bajo esta modalidad otorga la confianza a los inversionistas para concretar negocios.

Otra arista importante de esta línea de acción es la implementación del programa Instalación de Minerales Críticos (*Critical Minerals Facility*), la cual cuenta con un presupuesto de

\$2.000 millones de dólares australianos para que el Estado pueda suscribir contratos de mutuo con empresas mineras. No obstante, cabe resaltar que las empresas elegibles que pueden optar a estos préstamos son aquellas que se encuentren alineadas con la política estatal contenida en la Estrategia para los Minerales Críticos 2022.

Se prevé que el programa de Critical Minerals Facility, cuyo principal foco es el desarrollo de proyectos mineros propiamente tal, también tendrá efectos colaterales positivos como el aumento de los índices de empleabilidad, tanto en términos cuantitativos como de cualificación.

Por otro lado, la Estrategia Nacional entiende la necesidad de crear, colaborativamente, cadenas de suministro de minerales críticos más diversificadas y seguras. Mediante una política estatal centrada en el mercado, Australia pretende ser el protagonista en la región del Indopacífico de uno de los mayores centros de competencias y capacidades.

En cuanto a la atracción de la inversión, el Gobierno australiano por vía de la oficina Austrade se encuentra invirtiendo en la búsqueda e implementación de alianzas internacionales estratégicas sobre minerales críticos, y también busca liderar la instalación de centros regionales.

### ***Características de la industria***

#### *Exploración*

La Iniciativa Aceleradora de Minerales Críticos de Australia pretende dotar al país de una importante reserva de proyectos de minerales críticos de calidad para contribuir al crecimiento y la capacidad soberana del sector australiano. Al respecto, el Gobierno concentrará su atención y recursos para apoyar a los proyectos “que contribuyan a la solidez de las cadenas de suministro mundiales” y que se encuentren en una fase inicial o intermedia (Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos, 2022a).

Las fases iniciales, especialmente de exploración y de estudios de factibilidad de proyectos, suelen ser de altos costos y se sitúan en escenarios de riesgos financieros, toda vez que los costos de capital o de exploración/explotación pueden resultar mucho más elevados de lo previsto, o las reservas de mineral pueden ser de una calidad y/o cantidad mucho menor de lo previsto (Nethery, 2003). Por ello, con miras a cubrir ese riesgo o para aminorar el impacto económico de las actividades, la Iniciativa Aceleradora pretende reducir las barreras técnicas y de mercado mediante el apoyo a los estudios de viabilidad, a los trabajos de diseño de ingeniería, la implementación de pruebas piloto y la construcción de plantas de demostración de calidad de los productos.

#### *Extracción*

Por otro lado, los proyectos que se encuentran en fases intermedias de implementación, los proyectos mineras pueden acceder a la Iniciativa de Manufactura Moderna, la cual contempla un fondo estatal de \$274,4 millones de dólares australianos para financiar proyectos de construcción de refinerías, plantas industriales o mejorar las cadenas de suministro y los procesos de producción de *smartphones*, computadores, baterías recargables, vehículos eléctricos, paneles solares, material de defensa y de alta tecnología.

### *Transformación*

En relación con la creación de un entorno propicio de minerales críticos para que la industria minera prospere, el país contempla la investigación y desarrollo como un elemento pivote para ello, así como la generación de normativa y acreditación para mantener las ventajas competitivas.

Un importante proyecto en materia de investigación y desarrollo consiste en la creación del Centro Nacional Virtual de I+D sobre Minerales Críticos (*Virtual National Critical Minerals R&D Centre*), el cual tiene como objetivo generar propiedad intelectual australiana relativa al procesamiento de minerales críticos, desobstaculizar las cadenas de suministro estratégicas mediante el conocimiento e impulsar la investigación colaborativa de vanguardia.

Otra de las políticas enmarcadas en construir entornos adecuados para el desarrollo de los minerales críticos, es aquella que pretende construir grandes centros regionales que sirvan como un espacio de concierto entre los distintos sectores que hacen posible el funcionamiento de la industria. En efecto, se estima que la concentración de los productores, usuarios y exportadores de minerales estimulará la innovación y atraerá el talento, catalizará la inversión en infraestructuras de apoyo, impulsará la economía de escala y potenciará el empleo y crecimiento en las regiones que hospedan los *hubs*.

### *El comercio internacional de las tierras raras*

Parte de la estrategia de Australia se basa en el fortalecimiento de las asociaciones internacionales con aliados y socios estratégicos, que permitan compartir el conocimiento y asegurar acuerdos comerciales. se centra en las alianzas internacionales. El Estado reconoce que es necesario contar con socios estratégicos para afianzar los negocios de los proyectos mineros, bien sean entidades públicas, Estados, o empresas privadas. Esta línea de acción promueve el mayor desarrollo de las actuales relaciones del país con Estados Unidos, el Reino Unido, la India, la República de Corea y los Estados miembros de la Unión Europea, con el fin de facilitar el comercio y la inversión, mejorar las normas globales, colaborar en la investigación y el desarrollo y evaluar la oferta y la demanda.

Por otro lado, se destaca especialmente el rol de los acuerdos bilaterales para promover el comercio y la inversión extranjera en el sector.

En cuanto a los volúmenes de comercio de tierras raras, a la fecha de realización de este trabajo, los datos del Banco Mundial para el caso de Australia cuentan con información hasta el año 2018.

## **I.2.2. El caso de China**

### ***Estrategia***

El desarrollo de la industria de las tierras raras en China remonta a la década de los ochenta con la creación de tres instancias de investigación y asistencia a los tomadores de decisión. Anteriormente a esta fecha, en la década de los sesenta, se extraían tierras raras en la región interior de Mongolia con una producción costosa y la calidad estaba lejos de los productores internacionales (Wübbeke, 2013). En concreto, establecieron el Laboratorio Estatal Clave de Química y Aplicaciones de Materiales de Tierras Raras para la investigación, el Centro de Información de Tierras Raras de China y la Sociedad China de Tierras Raras. Estos espacios fueron vitales para que el gobierno muy tempranamente adoptara dos medidas en vías de desarrollar la industria de tierras raras en China. En primer lugar, se optó por alentar a las empresas locales para que se asocien con industrias de tierras raras a nivel internacional. En concreto se resalta la cofinanciación con empresas y centros de origen japonés para desarrollar estudios y establecer instalaciones industriales. Ver más detalles en los casos de Inoue Japan Research y The Rare Earth Research and Technology Transfer Centre (Fuyuno, 2012). Las primeras áreas de desarrollo se enfocaron en una perspectiva de los biomateriales funcionales de tierras raras para usos principalmente en temas agrícolas (Wang et al 2006). Sin embargo, gradualmente los recursos se fueron inclinando hacia un enfoque de aplicación como fuente de materia prima estratégica para las altas tecnologías. En segundo lugar, las autoridades chinas crearon a finales de los 80 dos programas específicos para impulsar la investigación aplicada en el desarrollo de la industria (ver en las referencias Programa 863 y 973).

En 1990 el gobierno chino declaró las tierras raras como mineral protegido y estratégico. Esto significó cuatro implicaciones concretas. En primera instancia los proyectos de minería y fundición de tierras raras requerían la aprobación de la Comisión Estatal de Desarrollo y Planificación (SDPC), donde los inversores extranjeros sólo podían participar en empresas conjuntas con empresas chinas. En segunda instancia se mandata al Ministerio de Tierras y Recursos para que establezca nuevos planes de desarrollo para las tierras raras como un tipo de producto estratégico. En tercer lugar, se establecieron cuotas de extracción emitiendo permisos limitados para la producción privada y se implementó un mecanismo de fijación de precios unificado.

En el cambio de milenio, en específico el 2002, el gobierno reestructuró la industria mediante la creación de conglomerados estatales. Se establecieron dos compañías separadas por zonas



geográficas. En la zona norte se estableció China Northern Rare Earth Group Company y en la zona sur China Southern Rare Earth Group Company. Anteriormente, la producción dentro de China estaba dispersa entre muchos productores. Esta dispersión se notaba en los tres niveles (extracción, refinamiento y transformación) con más de 170 empresas registradas oficialmente (Rao et al, 2009). Esto conllevaba que los niveles de producción siempre superaran la cuota establecida por el gobierno debido a la fragmentación de políticas y la falta de comunicación entre los diferentes actores. La reorganización de las industrias fue canalizada desde la Oficina de Materias Primas del Ministerio de Industria y Tecnología de la Información mediante la formulación de un Plan de Desarrollo que redujo de 170 a 20 mediante procesos de fusiones y adquisiciones con énfasis en empoderamiento de los dos grandes grupos estatales. La reorganización tuvo como objetivo mejorar el control estatal central sobre la industria poniendo énfasis en el mediano plazo en detener la minería ilegal muy extendida hasta entonces y frenar los efectos adversos de una industria fragmentada y con altos niveles de contaminación ambiental. Complementariamente esta reorganización conlleva la limitación de exportación de tierras raras. El Ministerio de Comercio se encargaba de emitir las licencias de exportación y de establecer los contingentes de exportación. Debido al aumento de la demanda interna y el potencial en el sector tecnológico, se eliminó el descuento sobre las tierras raras exportadas y, en su lugar, el gobierno introdujo derechos de exportación para proteger el suministro interno de minerales estratégicos (Tse 2011). Esto genera disputas comerciales con las grandes potencias tecnológicas en la Organización Mundial del Comercio (Wübbecke, 2013).

La transformación de la industria activó un amplio conjunto de iniciativas concertadas políticas que involucran a muchos ministerios diferentes, gobiernos locales, y actores del mercado. Esto no estuvo exento de desafíos provocando varias tensiones en términos de implementación y consecuencias. El gobierno central debe confiar en la cooperación de los gobiernos locales. A menudo, las políticas nacionales sólo pueden ser eficaces si se implementan localmente. Los gobiernos provinciales tienen un fuerte control en la industria, a través de la vigilancia, supervisión, concesión de licencias y control de las empresas mineras locales. Beneficiándose de impuestos e ingresos, especialmente los gobiernos de los condados en áreas pobres de Mongolia Interior, Sichuan y Jiangxi han Interés por aumentar la producción (Ganglian Zixun, 2012).

El estado central intentó involucrar a las empresas mineras propiedad del gobierno en la minería local como China Minmetals y Chinalco, y dotarlos de una posición fuerte a largo plazo (Zhang et al 2011). Pero muchas de estas empresas fueron incapaces durante mucho tiempo de obtener licencias mineras locales, ya que los gobiernos provinciales querían proteger sus propias empresas (Zhongguo Hangye Yanjiu Wang, 2011). Las empresas del estado central podrían volverse activas solo en fundición y separación.

Aunque la reorganización aumentó el grado de concentración, la industria tardó varios años en desfragmentarse entre empresas centrales, provinciales y algunas privadas. El rápido

desarrollo del mercado de tierras raras ha llevado a China a ser más cuidadosa con sus recursos, especialmente dado que ya se han extraído entre el 10% y el 15% de sus reservas (Kynicky1, 2012). China ha reducido las cuotas de exportación para combatir los problemas ambientales asociados con la minería y para hacer frente a su propia demanda creciente. En la actualidad, la aplicación de alta gama de materiales de tierras raras ya se ha convertido en un aspecto central del gobierno chino en vías del desarrollo de la industria de tierras raras.

La última etapa del proceso de reorganización se acaba de realizar el 2021 mediante la fusión de tres entidades estatales para establecer China Rare Earth Group Co. Ltd. Este movimiento permite tener a China como la megaempresa más grande del mundo en esta materia. En concreto China Rare Earth Group Co. Ltd representará aproximadamente el 62 por ciento de sus suministros nacionales de tierras raras pesadas. La recién inaugurada empresa operará bajo la supervisión directa de la Comisión de Supervisión y Administración de Bienes del Estado del Consejo de Estado y se estima que tendrá un mayor poder de fijación de precios de las tierras raras, lo que probablemente traerá cambios en la cadena de suministro mundial de tierras raras (China Briefing 2022).

En la actualidad, según la Agencia Internacional de Energía (AIE), China alberga aproximadamente el 87 % de los elementos de tierras raras (REE). A pesar de la falta de consenso sobre el grado exacto en que China domina las cadenas de suministro, se estima que China controla hasta el 60 % de la extracción de la minería de tierras raras del mundo y el 85% del proceso de refinación de elementos de tierras raras.

### ***Características de la industria***

#### *Exploración*

China lleva 50 años desarrollando programas nacionales para explorar y desarrollar la industria de las tierras raras. Los planes incluyeron el levantamiento de laboratorios y equipos dedicados al estudio de estos minerales. Este enfoque a largo plazo arrojó resultados significativos y sentó las condiciones para que China pueda expandir su producción durante la década de los ochenta (Ferreira y Critelli 2022). Ya en la década de los noventa los líderes chinos declararon estos elementos como recursos minerales "estratégicos" y desde ahí comenzaron a centrarse en garantizar que las reservas de minerales continúan siendo abundantes. Esto incluye metas de acopio y una alta gestión por el Estado de China.

#### *Extracción*

En paralelo a los procesos de exploración, las autoridades chinas han intentado atraer inversores extranjeros para establecer instalaciones mineras y de procesamiento en el país. China ha puesto énfasis en plantear un enfoque integrado que permita a los actores locales y a los capitales extranjeros acceder a materias primas, capacidad de refinación, transformación y al mercado chino como espacio de comercialización. China es un importante consumidor

de elementos de tierras raras en bruto. Esta política busca que las empresas extranjeras compartan el uso de sus tecnologías con otras compañías locales como condición para beneficiarse del mercado de este gigante asiático. Esta línea de acción ha resultado muy controvertida en el marco de la OMC (Algora 2021).

### *Transformación*

China tiene una mayor ventaja en la producción, ya que representa el 68% de la producción mundial en 2019. Es probable que esta proporción sea mayor debido a la minería ilegal que no se registra oficialmente. De acuerdo a estimaciones, entre el 50 y el 60% de la producción de tierras raras en China es considerada ilegal o contrabando (Ferreira y Critelli 2022).

En términos de transformación, desde la década de los noventa, China inclinó su campo de acción hacia el desarrollo de una cadena de suministro integrada en minería. Declaró el desarrollo de las industrias domésticas de REE como un objetivo estratégico bajo el marco de la estrategia Made in China 2025. China ahora controla la mayor parte de la cadena de valor global y representa casi el 90% de la capacidad de refinación global de REE. En esta misma línea, en 2020, la inversión china en I+D ha alcanzado a la de los países desarrollados. El 44% de la inversión tecnológica mundial ya tiene su origen en Asia y, en 2030, habrá alcanzado el 50% si mantiene su ritmo de crecimiento (Ferràs, 2020).

### *El comercio internacional de las tierras raras*

Una de las principales características del comercio de tierras raras para el caso de China ha sido la implementación de cuotas de exportación. La literatura al respecto señala que las cuotas de exportación suelen ser motivadas para asegurar el suministro local o como medios para influir en los precios de mercancías específicas. También se aluden a razones de protección del medio ambiente.

En el caso de China el Ministerio de Comercio (MOFCOM) ha ido fluctuando la asignación de cuotas a las empresas. La cuota de exportación ha disminuido casi un 50 por ciento desde 2008, hasta que se abolió en 2014. Durante el régimen de cuotas, China no distinguía entre los minerales raros a nivel individual, pero dividió el tonelaje total de las exportaciones como tierras raras ligeras y tierras raras medianas y pesadas. Esto ha llevado a las empresas chinas prefiriendo exportar tanto como sea posible las tierras con alto valor pesado (Mancheri et al 2019).

Un estudio de Mancheri et al (2019) demuestra que las cuotas sobre el volumen de exportación interrumpe directamente en la oferta global. Influye positivamente en el precio internacional y degrada la resiliencia del sistema. La influencia positiva de las restricciones a la exportación de China en el precio internacional impulsa la inversión en la producción primaria no china. Sin embargo, más allá de los proyectos que podrían surgir en el exterior

no operan como una alternativa al suministro chino debido al nivel de concentración del mercado global.

Otra característica del caso chino ha sido la aplicación de un alto impuesto a la exportación de las tierras raras. Se aplicaron impuestos a la exportación de hasta el 27%. Los exportadores de REE, incluidas las empresas extranjeras, se enfrentan a una supervisión más estricta de sus actividades comerciales (Mancheri et al, 2019). A partir de mayo de 2015, el gobierno chino eliminó los impuestos a la exportación de REE e introdujo un nuevo impuesto a los recursos basado en el valor en lugar del volumen. Los concentrados pesados de tierras raras más críticos pagan un impuesto general del 27% en todas las regiones, y los concentrados ligeros de tierras raras pagan un impuesto del 11,5% en Mongolia Interior, el 9,5 % en la provincia de Sichuan y el 7,5% en la provincia de Shandong (Argus, 2015).

Bajo el marco de la guerra comercial con Estados Unidos y de los efectos en las cadenas de suministros durante la pandemia China ha elevado sus cuotas anuales de producción de tierras raras en un 20% interanual. Esto se encuentra entre los niveles más altos registrados en el mercado chino, en un intento de aliviar la escasez de suministros para los fabricantes (Reuters, 2021).

### **I.2.3. El caso de Vietnam**

#### *Estrategia*

Vietnam, un país de rápido crecimiento, ha estado experimentando una transición de un sistema comunista a un sistema capitalista de Estado desde mediados de la década de 1980, al igual que en otras naciones del Este y el Sudeste Asiático, la historia reciente de este país evidencia una profunda transformación que ha permitido el paso de una sociedad principalmente agrícola a una industrializada y urbanizada, de forma acelerada. Durante las últimas tres décadas de crecimiento económico rápido y con uso intensivo de energía y diversos materiales, que son utilizados principalmente en la construcción y tecnologías, Vietnam superó el umbral de los países de ingresos medios en 2011 (Banco Mundial, 2019). A pesar de los continuos esfuerzos de privatización y reforma, los sectores industriales, incluido el mercado de la electricidad, siguen estando controlados en gran medida por el Estado.

Vietnam se seleccionó como caso de estudio por su rápido crecimiento e industrialización y su empresa estatal, la Ley de Minerales establece que el gobierno está a cargo de la gestión de las actividades mineras en el país, con diferentes poderes asignados a varias autoridades, pero también por su reciente estrategia de transferencia tecnológica con Japón y Australia. Se ha planteado como fundamental impulsar la transferencia, dominio y desarrollo de tecnología desde el extranjero hacia Vietnam en los campos prioritarios para 2025, con

orientación al 2030, según un decreto firmado recientemente por el viceprimer ministro vietnamita Vu Duc Dam (Vietnam Law & Legal Forum, 2022).

El caso de Vietnam, donde un mayor proceso de urbanización e industrialización está creando rápidamente mercados en expansión para el uso de agregados, particularmente en megaciudades, como Ciudad Ho-Chi-Minh y la Región Metropolitana de Hanoi (HMR) (Schiappacasse et al, 2019). La promoción de la industrialización y la modernización se encuentran entre los principales objetivos del Gobierno central vietnamita, donde se espera que la proporción de la población urbana aumente del 38 % en 2015 al 45 % en 2020 y al 50 % en 2025. En 2015, el Gobierno Central reconoció que era necesario fortalecer la gestión estatal para la explotación de minerales, considerando las necesidades de corto y largo plazo para lograr el desarrollo económico, la eficiencia social y la protección del medio ambiente

La industria minera ha sido reconocida como uno de los sectores más fuertes de la economía de Vietnam durante más de una década, la planificación minera se desarrolla a un alto nivel administrativo, y contiene consideraciones medioambientales y laborales que cada vez toman mayor relevancia. Está prohibido realizar proyectos en las reservas de minerales para explotar de forma indebida, en virtud de un decreto recién promulgado por el Gobierno. En 2010, la Ley de Minerales creó marco regulatorio para administrar las industrias extractivas del país que ha permitido el tener un marco de planificación para la extracción de recursos minerales. De manera similar, el mapeo geológico de recursos minerales como la decisión 1388/QĐ-TTg/13-08-2013 aprobada por el Primer Ministro, Nguyễn Tấn Dũng, hacen evaluaciones geológicas que son definitivas en la gestión en el futuro.

Es crucial pronosticar la viabilidad futura de la minería en Vietnam, ya que la nación depende de la industria como estímulo para el desarrollo y el crecimiento económico (Thayer, 2009; Morris, 2013). En el contexto actual, las cuestiones que rigen el futuro de la minería y los minerales de Vietnam son difíciles y complejas (Schiappacasse et al., 2019). Finalmente, hay que controlar la corrupción y la excesiva burocracia. Un dato que se ha destacado es el peligro del rentismo en los recursos naturales, que debe ser controlado para no perder competitividad (Dorband et all., 2022)

Durante la última década Vietnam ha optado por una estrategia de desarrollo basada en recibir transferencia de tecnología para mejorar la competencia dentro del sector de los minerales vietnamitas y en los mercados mundiales. Para esto se introdujo un nuevo marco legal focalizado en reducir el monopolio estatal de las actividades científicas y tecnológicas permitiendo que los centros de investigación y desarrollo establecieran relaciones contractuales con individuos y organizaciones no estatales. En esta línea, Vietnam ha llegado al punto en que sólo puede asegurar un mayor progreso si se potencia la creación de valor interno. Los problemas procedimentales más graves en el diseño y ejecución de estrategias en Vietnam se han identificado en la falta de participación de la comunidad empresarial y la falta de coordinación interministerial, que en conjunto hacen que las políticas aprobadas sean

ineficaces e incluso inaplicables. En cualquier país en desarrollo, la implementación de políticas es un gran desafío debido a la escasez de presupuesto, recursos humanos recursos y mecanismos adecuados. Es por esto que hay que considerar estos elementos al diseñar una política. Esto exige una acción gubernamental adecuada, en lugar de *laissez-faire*, orientar y complementar el dinamismo del sector privado y evitar la trampa del ingreso medio. En esta línea debe cambiar el proceso de formulación de políticas. El alcance y la secuencia de las reformas deben ser elegidas cuidadosamente para minimizar la energía política y social necesaria para cambiar el sistema mientras maximizar sus impactos positivos (Ohno, 2009).

### *Exploración*

Vietnam comenzó sus trabajos de exploración desde la década de los cincuenta descubriendo depósitos en 5 zonas geográficas con alto potencial, distribuidas principalmente en el noreste del país (Nam Xe North, Nam Xe South, Dong Pao, Muong Hum y Yen Bai). Vietnam cuenta principalmente con depósitos de monacita, xenotima y la bastnaesita. A medida que continúan los llamados a desacoplarse de China tras la guerra comercial entre la nación asiática y Estados Unidos, la búsqueda de fuentes de reemplazo se ha vuelto más activa. Vietnam posee las segundas reservas más grandes del mundo de elementos de tierras raras. Aunque los recursos están actualmente sin desarrollar, Vietnam tiene el potencial de ayudar a equilibrar el monopolio de tierras raras de China. Pero el problema no es realmente la ubicación de las tierras raras, es su extracción y procesamiento sustentable y sostenible, dificultades que enfrenta el caso de Vietnam.

### *Extracción*

En un comienzo Vietnam ha concentrado su atención en el proceso de exploración. Las tecnologías de procesamiento se han mantenido principalmente como proyectos de investigación a escala de laboratorio y semi-industrial, casi sin aplicaciones a escala industrial (Nhu Thi Kim Dung et al 2021). En esta configuración, más allá del gran potencial la minería de las tierras raras sigue operando en baja escala con procesos de extracción principalmente manuales y con baja orientación al cuidado del medio ambiente. Se estima que la minería de las tierras raras implica grandes pérdidas en los procesos de extracción (hasta un 60%) y entre sus principales desventajas son las bajas capacidades para separar completamente las REE (Nhu Thi Kim Dung, 2021).

### *Transformación*

En cuanto a la transferencia de tecnología para mejorar la competencia dentro del sector de los minerales vietnamitas y en los mercados mundiales se introdujo un nuevo marco legal para su desarrollo, se ha desaparecido el monopolio estatal de las actividades científicas y tecnológicas al permitir que los centros de investigación y desarrollo establecieran relaciones contractuales con individuos y organizaciones no estatales. Para ello se introdujeron reglas

de transferencia de tecnología de acuerdo con la política de puertas abiertas respecto a la inversión extranjera directa y se estableció el marco legal para proteger los derechos de propiedad intelectual (OCDE-Banco Mundial, 2014). Los primeros frutos de estos cambios se observaron el 2010 cuando representantes de las empresas mineras VIMICO, de Vietnam, y DONGPAO, de Japón, acordaron cooperar en la explotación y procesamiento de las tierras raras en el mayor yacimiento de Vietnam. Fruto de esto, una década después, Vietnam logra suscribir acuerdos de transferencia de tecnología con empresas japonesas. En 2021, empresas vietnamitas y japonesas se unieron en un evento en la ciudad portuaria norteña de Hai Phong, con el fin de conectar la oferta y la demanda de equipos tecnológicos para ambos países. Japón ha contribuido significativamente a la economía de Vietnam, en el desarrollo a través del comercio, la inversión, la ayuda y el intercambio humano y de conocimientos (Fuyuno, 2012). Las empresas y los funcionarios están particularmente interesados en impulsar la competitividad industrial de Vietnam y han iniciado una serie de programas bilaterales con este fin. Incluyen la construcción de infraestructura especialmente en energía y transporte, educación y capacitación de humanos industriales recursos y una serie de diálogos políticos bilaterales orientados a la acción.

### *El comercio internacional de las tierras raras*

Actualmente, Vietnam exporta menos del 1% de la cantidad de REE; la producción apenas alcanzó las 400 toneladas métricas en 2021. Esto no se condice con el nivel de reservas disponibles. La apuesta que se encuentra desarrollando Vietnam para revertir este escenario ha sido estrechar la relación con demandantes de estos minerales como Japón y establecer asociaciones con otros proveedores clave como es el caso australiano. El 2018 Australia y Vietnam establecieron una asociación estratégica para estrechar las cooperaciones en múltiples áreas. Entre estas se encuentra el desarrollo de las tierras raras partiendo de la base que comparten intereses comunes en ser actores clave para diversificar la cadena de suministro. Australia se plantea como un socio que puede proporcionar la experiencia técnica y el capital necesario para acelerar el desarrollo de la industria vietnamita. Un caso que se resalta es la colaboración de la minera australiana Blackstone minerals con el gobierno vietnamita. Si bien por el momento trabajan en un proyecto de Níquel se están estableciendo los estándares para procesos de evaluación y ejecución desbloquear el potencial de Vietnam como un proveedor de minerales críticos (The Diplomat 2022).

## **II.2. Análisis comparado de los tres casos**

El estudio de los tres casos presentados, a saber, de Australia, China y Vietnam, permitió dar cuenta de los elementos más distintivos de cada uno, así como ciertos factores comunes entre ellos. Mediante el análisis de la estrategia nacional, y de las características de la industria de

tierras raras (en particular, acerca de la exploración, extracción, transformación y comercio internacional), se desprende una serie de dimensiones de análisis.

En este sentido, la matriz comparativa de los tres casos presenta 12 dimensiones que se presentan a modo ilustrativo a continuación.

En cuanto a la *planificación a largo plazo*, es posible identificar en las tres unidades de análisis que existen estrategias o planes nacionales que buscan posicionar a la industria nacional a nivel regional o global, mediante una planificación estructurada de las etapas y actores involucrados.

La segunda dimensión aborda la *institucionalidad*, en donde se distinguen oficinas especializadas de minerales críticos o tierras raras, y en otros casos, una institucionalidad variada que ejerce competencia sobre los minerales.

En tercer lugar, la matriz considera la *coordinación entre agencias*. Los resultados apuntan a que tanto Australia como China presentan altos niveles de comunicación y repartición de facultades entre entidades estatales que ejercen competencia especializada en el ámbito de las tierras raras.

La cuarta dimensión sobre *estrategias de transferencia tecnológica* encuentra sustento en todos los casos, pues los tres Estados analizados han considerado en su institucionalidad o a nivel normativo la posibilidad de promover la transferencia y/o desarrollo de tecnología entre actores.

La quinta dimensión acerca del *relevamiento de los recursos disponibles* identifica en China el control estatal para conceder autorizaciones y gestiones de recursos disponibles, mientras que en Vietnam se destaca el mapeo geológico y las estimaciones de futuro.

En sexto lugar, la *flexibilidad y dinamismo* es analizada. Los tres casos presentan poco dinamismo y sujeción relativamente estricta a los planes nacionales. Al respecto, si bien Australia reconoce que se adaptará a las distintas fases de los proyectos, sí exige que estos se encuentren alineados con la política estatal para acceder a los distintos beneficios y oportunidades.

En la séptima dimensión, *inversión*, se da la situación de un rol activo del Estado, por tanto, ésta tiene el carácter de pública, o en alianza con el sector privado.

Los *programas de capacitación* ocupan la octava dimensión de la matriz. En esta sede los tres casos comparten una necesidad declarada de aumentar capacitación, no obstante, Australia y China cuentan con programas avanzados de apoyo a la industria para la implementación de pruebas piloto, investigación, construcción de plantas y formación para potenciar ventajas estratégicas.



En relación a las *proyecciones futuras*, Australia y China cuentan con estrategias claras en orden a constituirse como actores líderes en la región del Asia Pacífico (Australia) y el mundo (China) en el desarrollo centros de capacidades y tecnologías asociadas

La décima dimensión sobre las *alianzas público-privadas* permite conocer los casos en cuanto a la articulación de ambos sectores. Mientras en Australia y China existen iniciativas ya maduras, en Vietnam son de reciente aparición.

La *estrategia de posicionamiento regional* conforma la dimensión undécima. Los tres casos estudiados presentan lineamientos de acción específicos en orden a constituirse como actores relevantes y estratégicos en la industria de tierras raras o minerales estratégicos.

Finalmente, la dimensión sobre *inversión en I+D* identifica que Australia y China cuentan con programas pormenorizados de investigación y desarrollo en el sector de la minería no tradicional o estratégica, con el fin de desarrollarla de una manera óptima y que se condiga con la política estatal. Vietnam, por su parte, aún se encuentra en un estadio débil de implementación.

A continuación, se presenta la matriz comparativa de los casos de Australia, China y Vietnam.

**Cuadro I. Comparación de los tres casos y algunas lecciones preliminares**

<b>Factor</b>	<b>Australia</b>	<b>China</b>	<b>Vietnam</b>
<b>Planificación a largo plazo</b>	Estrategia para los Minerales Críticos 2022	Plan de reorganización y desarrollo de tierras raras & Made in China 2025	Planes institucionales de largo plazo de proyectos hasta el 2035
<b>Institucionalidad</b>	Creación de la Oficina de Facilitación de Minerales Críticos	<u>Etapa inicial:</u> Laboratorio Estatal de Química y Aplicaciones de Materiales de Tierras Raras para la investigación; Centro de Información de Tierras Raras de China; Sociedad China de Tierras Raras	Ley de Minerales y sus documentos rectores. Las leyes pertinentes también incluyen las relativas a la tierra, los recursos hídricos, la protección del medio ambiente, las regalías, la planificación y la inversión.

		<p><u>Etapa actual:</u>  Oficina de Materias Primas del Ministerio de Industria y Tecnología de la Información;  Conglomerados estatales (China northern rare earth group company y southern rare earth group company).</p>	<p>La Constitución de Vietnam establece que los recursos naturales subterráneos, así como los recursos en las aguas territoriales, en la plataforma continental y en el espacio aéreo, son propiedad de todo el pueblo de Vietnam.</p> <p>Los organismos reguladores clave que administran la Ley de Minerales incluyen:</p> <p>El Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente (MONRE), Ministerio de Industria y Comercio (MOIT), el Ministerio de la Construcción (MOC), el Ministerio de Planificación e Inversiones (MPI) y las Direcciones Provinciales de Planificación de Inversiones (DPI)</p>
<p><b>Coordinación entre agencias</b></p>	<p>Oficina de Facilitación de Minerales Críticos y Austrade (oficina de comercio internacional), junto con las demás reparticiones de rango inferior</p>	<p>Ministerio de Tierras y Recursos, Comisión Estatal de Desarrollo y Planificación (SDPC), Oficina de Materias Primas del Ministerio de Industria y Tecnología, Gobiernos Provinciales,</p>	<p>Ministerios y el Primer Ministro</p>

		Ministerio de Comercio	
<b>Estrategias de transferencia tecnológica</b>	Posicionamiento en hubs regionales, sumado al proyecto de creación del Centro Nacional Virtual de I+D sobre Minerales Críticos, puede potenciar la transferencia tecnológica a nivel local o regional.	En la décadas de los ochenta y noventa se implementó la política de <i>joint venture</i> incentivando la transferencia tecnológica de actores relevantes de los países desarrollados (ver los casos de Inoue Japan Research y Tredas International de Estados Unidos)	Estrategia de transferencia tecnológica con Japón; Decisión 138/QD-TTg para promover la transferencia, dominio y desarrollo de tecnología desde el extranjero hacia Vietnam
<b>Relevamiento de los recursos disponibles</b>		Control estatal para las autorizaciones y gestiones de los recursos disponibles (ver el rol de la Comisión Estatal de Desarrollo y Planificación y la Oficina de Materias Primas del Ministerio de Industria y Tecnología)	Mapeo geológico y estimaciones de futuro
<b>Flexibilidad y dinamismo</b>	Adaptación de los recursos y estrategias a las distintas fases de los proyectos mineros, pero sujetos a que éstos se alineen con la política estatal	Poca flexibilidad, basado en planificaciones de largo plazo.	Se sugiere dar mayor dinamismo a la inversión y la creación de APP, para que el sector no quede rezagado.
<b>Inversión</b>	Inversión pública con el objeto de reducir el riesgo de proyectos en todas sus fases y atraer inversión privada	Cofinanciación con empresas para el desarrollo de estudios e instalaciones industriales; Inversión en materias	Empresas de propiedad estatal

		primas estratégicas para altas tecnologías	
<b>Programas de capacitación</b>	Apoyo a los estudios de viabilidad, trabajos de diseño de ingeniería, implementación de pruebas piloto y construcción de plantas de demostración de calidad de los productos, mediante la Iniciativa Aceleradora de Minerales Críticos	National Basic Research Program (1997). También llamado 973 Program. Investigación y formación básica para lograr ventaja estratégica.	Existe conciencia de la necesidad de aumentar los recursos en capacitación laboral, aunque existen algunos programas.
<b>Alianzas público-privadas</b>	<i>Critical Minerals Facility</i> ; Iniciativa Aceleradora de Minerales Críticos; Iniciativa de Manufactura Moderna	Articulación con los gobiernos regionales que canalizan los permisos de los actores del sector privado.	Estatual y de reciente aparición.
<b>Estrategia de posicionamiento regional</b>	Austrade y búsqueda de implementación de alianzas internacionales; Liderar en la región Indopacífica un centro de competencias y capacidades; Desarrollo de <i>hubs</i> regionales de encuentro entre actores vinculados.	Mediante la reciente fusión de tres entidades estatales para establecer China Rare Earth Group Co. Ltd China se posiciona como el líder regional en los tres procesos de desarrollo de las tierras raras (extracción, refinamiento y transformación).	El apoyo de Japón ha sido fundamental en el posicionamiento.
<b>Inversión en I+D</b>	Centro Nacional Virtual de I+D sobre Minerales Críticos	Investigación enfocada en desarrollo de la industria	Aún muy débil para seguir creciendo.

**Fuente:** elaborado por los autores en base a la investigación

## CAPÍTULO III

### El Caso de Chile

#### III.1. ¿Hay oportunidades para Chile?

Chile cuenta con más de 700 diferentes relaves mineros, en los cuales se ha identificado presencia de tierras raras en al menos media docena de ellos. Como se indicara en Capítulo I de este trabajo, el Gobierno de Chile identificó el potencial de estos depósitos de la minería tradicional, anticipando un Plan Nacional de Depósitos de Relaves para una Minería Sostenible, el cual cuenta con tres lineamientos principales de acción: seguridad de la población, medio ambiente, y economía circular e innovación (Ministerio de Minería, 2020). El objetivo de esta innovadora política radica en la gestión sustentable de los relaves, desde las etapas tempranas como el diseño y construcción, pasando por la operación y el eventual cierre. Asimismo, pretende abordarlos en todos sus distintos estados (activos, inactivos y abandonados), gestionando y controlando los riesgos latentes para la población y el medio ambiente (SONAMI, 2020).

En efecto, la justificación de este Plan Nacional considera un contexto actual marcado por relaves abandonados, desastres internacionales, exigencia de transparencia, aumento en la conflictividad social y los efectos del cambio climático (Ministerio de Minería, 2020).

De acuerdo a los datos del Ministerio de Minería (2020), la cantidad de relaves activos al año 2019 ascendía a 106, coexistiendo con 463 inactivos y 173 abandonados, totalizando 742. En conformidad con el artículo 6 del Código de Minería, sobre los relaves abandonados puede constituirse una concesión, siempre y cuando estos se encuentren en terrenos abiertos y francos. Por ende, un mayor desarrollo de esta política puede significar un nuevo impulso a la industria e implementar proyectos mineros sostenibles de tierras raras, aprovechando las escorias y relaves, que son considerados como cosas accesorias del establecimiento de beneficio del cual provienen, conforme al Código del ramo.

El lineamiento sobre Economía Circular e Innovación del Plan Nacional pretende crear oportunidades económicas y “promover la investigación e implementación de nuevas tecnologías” (Ministerio de Minería, 2020), lo cual evoca a ciertas experiencias de los tres casos estudiados.

En paralelo a la política implementada por el Ministerio, la cual ya cuenta con avances en cuanto al rastreo satelital de relaves, actividad llevada a cabo por el Observatorio Nacional de Depósitos de Relaves, existen proyectos empresariales que pretenden explorar y explotar yacimientos con presencia de tierras raras.

En este contexto, cabe resaltar dos casos locales. Por un lado, está el Proyecto de Ecometales, en el cual participa una filial de la empresa estatal Codelco, donde se está analizando estos

elementos que no son tradicionales en la minería nacional. En concreto están realizando un levantamiento de información sobre las tierras raras. Otro caso es el proyecto Biolantánidos, el cual se ubica en la comuna de Penco y se encuentra en estudio desde hace cuatro años, ya que solo existen tres depósitos formados por arcilla iónica fuera de China actualmente, los otros casos se encuentran en Brasil y Uganda. Asimismo, el yacimiento presenta grandes cantidades de praseodimio, neodimio, terbio y otros más. El proyecto propone construir y operar una planta de procesamiento apta para producir cerca de 1700 toneladas anuales de REE y será ingresado a tramitación ambiental el 2023. En la actualidad, el proyecto BioLantánidos pasó a ser llamado Aclara tras la incorporación de la empresa de capitales peruanos Hochschild Mining. Según el gerente general Rodrigo Ceballos este cambio busca transmitir transparencia a la opinión pública y en particular a las comunidades vecinas, igualmente posicionarse como un proyecto tecnológico de mediana minería con desarrollo responsable y con impactos positivos para la zona (Biobio Chile, 2021).

### **III.2. Recomendaciones para Chile**

Mediante las entrevistas a expertos nacionales e internacionales, además del análisis de la literatura y el estudio comparado de los casos se desprenden recomendaciones que pueden ser funcionales para evaluar la factibilidad de desarrollar una industria de tierras raras en Chile. Las recomendaciones se organizan en tres categorías: rol del estado, mecanismos de colaboración público-privada y gobernanza.

#### ***Rol del Estado***

A lo largo de las entrevistas se pudo constatar que existe un consenso sobre el rol que debería desempeñar el Estado como el principal habilitador ante la eventual industrialización de la empresa de tierras raras en el país.

En este sentido, el Estado debe preparar el terreno, es decir, realizar el levantamiento inicial, para que luego ingresen las empresas privadas o eventualmente desarrollar una empresa con participación estatal para invertir en la industria de las tierras raras. En este supuesto, el Estado estaría resguardando su capital y entregando las bases óptimas tanto para desarrollar la industria, como también, para incentivar a los privados a invertir y compartir la carga. El rol de habilitador pone atención en una fuerte participación del Estado en la etapa inicial (fase de exploración y en el levantamiento de una reglamentación clara para las siguientes etapas), y que luego gradualmente vaya abriendo el espacio para otros actores, sin descartar la participación de una empresa estatal o mixta. Esto responde a una lógica de facilitación en un sector donde los costos iniciales son elevados. El específico, el Estado bajo este rol permite:

1. Establecer una estrategia de exploración
2. Invertir en el proceso de exploración con la articulación público-privada;
3. Entregar información valiosa y pertinente para la explotación de las tierras raras (datos, delimitación de terreno, análisis de terreno, datos de calidad, posible alcance a la explotación de los yacimientos, etc.);
4. Habilitar las inversiones estableciendo estándares laborales y medioambientales (dada la información entregada, los privados o una empresa estatal interesada inviertan);
5. Distribuir riesgos monetarios y;
6. Abrir las ventanas de cooperación no solo con empresas locales, sino que también hacia el mercado exterior, considerando a otros países como inversionistas.

A este respecto, los casos de China, Vietnam y Australia muestran que el Estado ha jugado un rol protagónico en abrir la industria, participando de manera activa en la etapa de exploración. En esta misma línea, estos casos muestran que la creación de centros de transferencia de tecnología e investigación sobre tierras raras pueden constituir una buena práctica inicial en términos de colaboración que puede ser aplicada en Chile.

Asimismo, es necesario que Chile como Estado realice esfuerzos para desarrollar la existencia de estos minerales, no exclusivamente de tierras raras, sino que también de otros importantes para la minería nacional como el Litio.

### ***Mecanismo de colaboración pública y privada***

Tanto los entrevistados como el estudio comparado resaltan que la cooperación público-privada es clave para la sostenibilidad de la industria. La articulación entre actores estatales y privados tiene una larga trayectoria en el caso chileno. Aún más en la industria minera donde Chile ha logrado establecer varios casos de éxito a través de su empresa estatal CODELCO. En concreto, en este estudio se identifican dos espacios de articulación:

***Exploración:*** el Estado de Chile como habilitador, debe facilitar la información detallada y pertinente sobre la potencialidad de la explotación de estos minerales, estableciendo las concentraciones existentes, la delimitación del terreno, y los estudios de factibilidad. Es decir, realizar todo el proceso de exploración. Una vez que se facilite y se creen las condiciones, se abre el espectro a los privados para que se incorporen a la empresa.

Si bien, no se observa un consenso, se señala que las empresas privadas pueden realizar estas actividades en conjunto con el Estado para explorar en conjunto y hacer sondeos de los yacimientos. La CORFO o el Ministerio de Minería pueden abrir

convocatorias para que el sector privado o profesionales puedan participar en esta etapa. En esta articulación, se indica que es necesario mantener los canales de intercambio de información abiertos para que se puedan trabajar con las mejores prácticas posibles. Estas experiencias también permiten discutir los nuevos pasos o desafíos en el desarrollo de la industria.

***Extracción:*** una vez completada la primera etapa, una o varias empresas privadas aceptan desarrollar la industria gracias a la información valiosa y de calidad que se les entregó. En esta línea, comienzan a desarrollar la industria desplegando los recursos financieros para llevarla a cabo. Una única empresa nacional que absorba toda la industria emergente puede ser muy costosa porque las concentraciones de tierras raras deben medirse por yacimientos, generar perforaciones gigantes y estratégicos en el terreno con mallas de sondeo. Entonces, en esta segunda etapa, de la mano de la articulación público-privada, se abre espacio de articulación para que la industria pueda crecer sin que los fondos fiscales tengan que asumir todo el riesgo de la operación. En las entrevistas se menciona que un privado no va a hacer inversiones mientras tenga certitud de que existen yacimientos suficientes para desarrollar una industria. En esta misma línea, se resalta en las entrevistas que en esta etapa es clave que el Estado pueda ir diseñando las reglas y estándares que deberán asumir los actores privados que participen en el desarrollo de la industria.

Por tanto, se puede desprender de las entrevistas que en el caso de una asociación con el sector privado, el Estado debe actuar de forma práctica para estimar su grado de participación en el desarrollo de la industria, esto permitirá que el sector privado pueda identificar su espacio de interacción. En las entrevistas se hace referencia que en los proyectos de alto riesgo se requiere de una flexibilidad empresarial para adaptarse a lo cambiante del mercado. En este punto se resalta que no necesariamente las empresas estatales tienen una estructura que les posibilite ajustarse a las dinámicas y condiciones cambiantes del mercado internacional. Esto es considerado un punto crucial a evaluar en el caso de que se desarrolle un modelo con alta participación de una empresa Estatal. En la misma línea, se señala que los privados, tienen la capacidad de ajustarse a los costos de la competencia internacional, acomodándose a la flexibilidad del mercado mundial.

### ***Gobernanza pública***

Se extrae desde la recolecta de información que la gobernanza debe enfocarse principalmente en establecer reglas y reglamentos para que cada actor pueda insertarse sabiendo los espacios de interacción en el desarrollo de la industria. Esto conlleva que la gobernanza sea basada en la facilitación de la articulación y que esta ponga foco en generar estándares altos y sostenibles en el tiempo.



En las entrevistas y en la revisión de los casos comparados en el Asia Pacífico se resalta el establecimiento de una política de crecimiento sostenido basada normas con estándares internacionales. El cambio climático es cada vez más un factor crítico para la sostenibilidad y sustentabilidad de la minería, y las tierras raras no son una excepción. En esta línea, se plantea que la gobernanza debe priorizar el establecimiento desde el comienzo de prácticas que permitan buscar soluciones basadas no solo en la mitigación de variables ambientales, también que incorporen el conocimiento y tecnología para hacer sostenible el desarrollo de una nueva industria minera. En este contexto, el caso de Australia puede ser interesante para extraer mecanismos de implementación que distribuyan responsabilidades a la hora de establecer la gobernanza de la industria de las tierras raras.

En esta misma línea, se resalta que la gobernanza pública pueda establecer un marco normativo que rige las actividades intersectoriales y que favorezca una institucionalidad pública. Esta institucionalización debe articular las interacciones con los ministerios, organismos y consejos mineros. Acá la experiencia entre el Ministerio de Minería para el caso del cobre puede ser una hoja de ruta.

## **CONCLUSIONES Y DESAFÍOS**

Es evidente que necesitamos modificar la matriz productiva del país, a una que contenga mayor valor agregado, y que los minerales representan una oportunidad. Los ejemplos de otros países son ilustrativos, pero nunca debe perderse de vista las condiciones particulares y los contextos en que surgen las oportunidades.

La proyección de la producción de minerales es una tarea desafiante con muchos requisitos que incluyen datos confiables y técnicas apropiadas para predecir la capacidad de producción para satisfacer la demanda nacional y mundial, así como un análisis de las políticas que pueden mejorar o atenuar la extracción (Northey et al., 2014). Esta cita refleja la principal conclusión de este estudio exploratorio sobre las tierras raras. Chile tiene oportunidades para explorar, extraer y desarrollar una industria de tierras raras, pero esto involucra un proceso de largo plazo donde se requieren equilibrar múltiples variables como la minera, económica, ambiental y geopolítica. En otras palabras, es relevante incorporar una mirada integral para desarrollar una estrategia de tierras raras sostenible y sustentable. Esto debe prevalecer desde la primera etapa exploratoria. En esta línea, desde este trabajo se pueden extraer seis desafíos principales:

### **1) Determinar el potencial geológico nacional**

En primer lugar, Chile se encuentra en un estado incipiente de conocimiento del panorama de concentración de tierras raras, por tanto, no se conoce si estas concentraciones son importantes o no. Es relevante que en Chile se discuta si se quiere avanzar en una nueva industria minera. Si se logra un consenso en este punto, el segundo aspecto crítico es planificar un proceso de exploración el cual puede tardar varios años. Se requiere un potencial geológico que determine la base en la cual se está trabajando o se va a trabajar. Este proceso debe incorporar las experiencias de la minería chilena, las tecnologías disponibles y una mirada de economía verde. En esta línea, desde las entrevistas se extrae que las capacidades geológicas en Chile son de alto nivel, hay buenos geólogos y Chile se mueve en grandes redes de intercambio de experiencia internacional, por lo cual se podría hacer sin inconvenientes.

La exploración es vital para que los privados puedan aproximarse a ingresar en la industria de las tierras raras. Entonces, hay que avanzar en nuevas etapas para conocer las reservas existentes y así ver si estas realmente muestran una incidencia económica importante. En este sentido, es clave limitar la discusión de las tierras raras como un todo. El hecho que haya tierras raras en un lugar, dice poco. Los expertos entrevistados señalan que hay tierras raras livianas y pesadas. Esta distinción es clave porque las tierras livianas suelen ser menos valoradas por su baja concentración.

## **2) Factibilidades medioambientales para abrir una nueva industria minera**

En segundo lugar, el desarrollo de una nueva industria minera debe considerar si existen las condiciones medioambientales que aseguren la sostenibilidad y sustentabilidad del negocio. Deben darse varias condiciones para que un proyecto de tierras raras sea atractivo. Es difícil desarrollar industrias de tierras raras puesto que en los procesos de extracción y refinamiento el consumo de agua es extensivo. En esta línea, es recomendable ponderar los potenciales proyectos mineros en base a si son de roca o son de otro tipo de yacimientos como el de arcilla iónica. Los primeros requieren una extracción mediante explosivos y molienda, dejando mayor volumen de residuos sólidos. Al mismo tiempo necesitan de mayor utilización de agua en el proceso global. El agua desempeña un papel decisivo y su disponibilidad es cada vez más restringida. Este asunto va más allá de la industria, también es un tema sensible para las comunidades, ya que la limitación de disponibilidad afecta directamente a la seguridad alimentaria y suministro para el uso diario. En este sentido, la existencia de daños colaterales puede ser significativa sobre todo a largo plazo.

## **3) Concentración del mercado de las tierras raras**

En tercer lugar, un factor importante es el alto nivel de concentración en pocos países que tiene el mercado de las tierras raras a nivel internacional. Esto ha sido señalado por los expertos como un asunto crítico. De hecho, la plataforma STATISTA estima que China, Australia y Vietnam concentran más del 60% de las reservas mundiales. En esta línea, China controla más del 70% de la producción de tierras raras a nivel global. De allí nace el interés del mercado internacional para identificar nuevos actores que permitan ampliar el espectro de proveedores. En este sentido, que Chile pueda competir con estos actores es complicado porque el manejo de la oferta y la estructura de precios está altamente dependiente de los movimientos y transformaciones que puedan llevar. Sobre este punto, los especialistas mencionan que Chile puede abrirse espacio en el mercado cooperando con los actores que ya están en el sector u otros países que requieran este suministro para elaborar productos relacionados con tierras raras.

## **4) Actores internacionales siguen demandando tierras raras, pero al no encontrar proveedores se intensificará la búsqueda de sustitutos.**

Un eventual desarrollo de la industria de tierras raras en Chile no necesariamente tiene un panorama óptimo, principalmente por el tiempo requerido para instalar capacidad productiva en las diferentes etapas. En estos momentos, existen otras prioridades en la industria minera chilena como es el caso del desarrollo del Litio. Si se genera una industria del litio en Chile esta se demoraría una década en desarrollarse y hacer que esté en su máxima producción. En esta línea, sumar una nueva industria no sería tan evidente considerando los recursos limitados de cuenta el Estado. La demanda de las tierras raras ha ido creciendo significativamente y al no contar con suficiente oferta pueden emerger sustitutos. De hecho,

durante las entrevistas se indicó el caso de grandes conglomerados japoneses como Toyota que buscan en paralelo desarrollar tecnología para la electromovilidad principalmente en base al hidrógeno verde para depender menos de las tierras raras. Según un reporte publicado por la Biblioteca del Congreso Nacional señala que la demanda anual de estos metales se duplicó en los últimos 15 años. Igualmente, se pronostica que el valor del consumo mundial se triplicará de 15 mil millones de dólares en 2022 a 46 mil millones de dólares para 2035. En el caso de que Chile cuente con reservas significativas debe estimar que no entrar a tiempo podría dejar al país fuera de juego para participar en las cadenas de abastecimiento globales.

### **5) El impacto geopolítico puede abrir espacio para la cooperación y transferencia de tecnología para los países que tienen reservas**

Finalmente, es importante resaltar que el desarrollo de las tierras raras tiene una configuración relevante para posicionar a Chile como un actor clave del suministro de minerales para la transición energética verde. Las tierras raras, sumado al cobre y al litio, posicionan a Chile con tres de los minerales críticos para el desarrollo de la electromovilidad y la cuarta revolución industrial. Esto puede ser una oportunidad para que Chile atraiga inversión extranjera que pueda estar en función del desarrollo local incluyendo dar mayor valor agregado a las industrias asociadas a estos minerales. Acá la experiencia de los países del Asia Pacífico puede ser relevante para el caso chileno. En esta región pasaron de la extracción al desarrollo de productos intermedios derivados de los minerales. Esto les permitió gradualmente enviar no solo la materia prima, sino que sumar valor agregado al participar en la cadena de suministro de productos intermedios.

### **6) Estado Facilitador o Estado Emprendedor**

Si bien hay consenso de que el Estado debe jugar un rol determinante en la industria de las tierras raras, no hay acuerdo de hasta dónde debe involucrarse. En general, se extrae desde la opinión de los expertos que el Estado en el corto plazo debe facilitar la evaluación y potencial aprobación de las iniciativas que ya existen. Esto permitiría contar con experiencias concretas a nivel nacional. En este punto se resalta que las tierras raras son minerales concesibles, entonces no es necesario seguir el camino del litio, sino que más bien el del cobre o cualquier otro mineral de Chile.

En una segunda instancia, se extrae que el Estado puede ser un actor clave en entregar información de calidad sobre el potencial geológico del país. Un privado no se suele involucrar en este proceso, y la experiencia comparada muestra que el Estado es el gran proveedor de este insumo. De hecho en algunos casos, es el Estado el que participa de manera activa en la exploración y en el establecimiento de un catastro nacional de reservas.

En una mirada de mediano plazo, y en el caso de que se constate que Chile cuenta con potencial geológico, el Estado debe poner atención en la reactivación de la explotación minera. Algunos expertos señalan que este proceso se puede hacer mediante políticas

públicas de incentivo. Otros no cierran la posibilidad de que el Estado juegue un rol de emprendedor interactuando con el sector privado y la cooperación internacional.

## Referencias

- Abigail, M. y Alastair, I. (2020). The Ethics of Rare Earth Elements. *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 5 -30.
- Adamas Intelligence. (2022). Rare Earth Magnet Market Outlook to 2035. Publicado Abril: <https://www.adamasintel.com/report/rare-earth-magnet-market-outlook-to-2035/>
- Algora Weber, María Dolores. (2021). El impacto geopolítico de las tierras raras en el orden internacional. *Economía industrial* 420, 47-58.
- Banco Mundial. (2017). *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*. Washington, DC: World Bank Publications.
- Banco Mundial. (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. Washington, DC: World Bank Publications.
- Biobio Chile.cl (2021). Proyecto de tierras raras Biolantánidos ahora es Aclara. En: <https://www.biobiochile.cl/noticias/economia/negocios-y-empresas/2021/12/12/proyecto-de-tierras-raras-biolantanidos-ahora-es-aclara.shtml>
- Bloomberg. (2022). Australia Plans Rare Earths Boost to Fight China ‘Dominance’. 15 de marzo de 2022. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-03-15/australia-plans-rare-earths-boost-to-challenge-china-dominance?leadSource=uverify%20wall>
- BNamericas. (2020). Chile impulsará minería de tierras raras. <https://www.bnamericas.com/es/analisis/chile-impulsara-mineria-de-tierras-raras>
- BNamericas. (2022). ¿Pueden los elementos de tierras raras ser una oportunidad única para Chile?. En: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/pueden-los-elementos-de-tierras-raras-ser-una-oportunidad-unica-para-chile>
- Blumenthal, J., & Diamond, M. L. (2022). Sustainability of the Internet of Things Requires Understanding of Mineral Demands and Supplies. *Environmental Science & Technology*, 56(14), 9835-9837.
- Chang, H.-J. (2004). Retirar la escalera: la estrategia del desarrollo en perspectiva histórica (Vol. 188). Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Chile Minería. (2020). Ministro Prokurica destaca potencial de Chile para producir “tierras raras”, mineral muy importante para la tecnología. Recuperado en: <https://www.chilemineria.cl/2020/09/ministro-prokurica-destaca-potencial-de-chile-para-producir-tierras-raras-mineral-muy-importante-para-la-tecnologia/>

- Dorband, I. I., Jakob, M., & Steckel, J. C. (2022) Unraveling the political economy of coal: Insights from Vietnam in *In The Political Economy of Coal* (pp. 210-229). Routledge, 15.02.2022 Bücher , Climate and Development.
- Delgado Ramos, G. C. (2010). La gran minería en América Latina, impactos e implicaciones. *Acta sociológica*, 1(54), 17-47.
- Camargo, X. S. (2014). Derecho, minería y (neo) colonialismo. Una aproximación crítica a la regulación de la minería de oro a gran escala en Colombia. *Revista Opera*, (14), 8.
- Cortés, J. I. M., & del Valle Giles, A. V. (2014). Las tierras raras: un sector estratégico para el desarrollo tecnológico de China. Cuadernos del CECHIMEX. 6.
- China Briefing. (2022). China Merges Three Rare Earths State-Owned Entities to Increase Pricing Power and Efficiency. Recuperado en: <https://www.china-briefing.com/news/china-merges-three-rare-earths-state-owned-entities-to-increase-pricing-power-and-efficiency/>
- Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos. (2022a). Estrategia para los Minerales Críticos 2022. [https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2022-09/2022-critical-minerals-strategy\\_0.pdf](https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2022-09/2022-critical-minerals-strategy_0.pdf)
- Departamento de Industria, Ciencia, Energía y Recursos. (2022b). Investment to unlock potential of Australia's critical minerals sector. <https://www.minister.industry.gov.au/ministers/pitt/media-releases/investment-unlock-potential-australias-critical-minerals-sector>
- Departamento del Tesoro. (2017). Doorstop interview, Northparkes Mines. <https://ministers.treasury.gov.au/ministers/michael-mccormack-2016/transcripts/doorstop-interview-northparkes-mines>
- Devlin, R., & Moguillansky, G. (2010). Alianzas publico-privadas: para una nueva visión estratégica del desarrollo (Vol. 108). Santiago: Cepal.
- Dubiński, Józef. (2013). Sustainable Development of Mining Mineral Resources. *Journal of Sustainable Mining*. 12. 1-6. 10.7424/jsm130102.
- Evans, C.H. (1996). *Episodes from the history of the rare earth elements*. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht.
- Fong-Sam, Y. (2013). The mineral industry of Vietnam. *Minerals Yearbook*.
- Guía Minera de Chile. (2020). En Chile existen unos 750 relaves con tierras raras que no han sido extraídas. Recuperado de: <https://www.guiaminera.cl/en-chile-existen-unos-750-relaves-con-tierras-raras-que-no-han-sido->

[extraidas/#:~:text=Esto%20permitir%C3%A1%20una%20econom%C3%ADa%20circular,fuerte%20que%20tiene%20nuestro%20pa%C3%ADs%E2%80%9D](#)

- Guillén, H. (2008). Políticas y estrategias de desarrollo en América latina y Asia (primera parte). *Realidad Económica*, 236, 38-66.
- Gupta, C.K. and Krishnamurthy, N. (2005). *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC Press: Boca Radon.
- Fuyuno, I. (2012). Japan and Vietnam join forces to exploit rare-earth elements. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/nature.2012.11009>
- Jori, N., Ferreyra, L. L., & Capparelli, A. L. (2015). Tierras raras. *Industria & Química*. (267), pp. 29-35
- Kynicky1, Jindrich et al. (2012). Diversity of Rare Earth Deposits: The Key Example of China. *Elements* 8, 361–367.
- Krebs, R. E. (2006). *The history and use of our earth's chemical elements*. Greenwood Press Westport: Connecticut.
- Lemus, Ricardo (2020). Vietnam: políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación *Estudios de Asia y África*, 55 (2), 2020 El Colegio de México A.C. DOI: 10.24201/ea.v55i2.2454
- Leskelä, M., Kukli, K., & Ritala, M. (2006). Rare-earth oxide thin films for gate dielectrics in microelectronics. *Journal of Alloys and Compounds* (418), pp. 27–34.
- Martínez, J., y Del Valle, A. (2014). Las tierras raras: un sector estratégico para el desarrollo tecnológico de China. Cuadernos de trabajo del CHECHIMEX, 3.
- Minería Chilena. (2018). Darán a conocer «Proyecto BioLantánidos: Extracción y Procesamiento de Arcillas Iónicas». En: <https://www.mch.cl/2018/11/14/daran-conocer-proyecto-biolantanidos-extraccion-procesamiento-arcillas-ionicas/>
- Mining Technology. (2020). Mining New South Wales: climate change, coal and opportunity. 15 de enero de 2020. <https://www.mining-technology.com/analysis/mining-new-south-wales-climate-change-coal-and-opportunity/>
- Mining Press. (2020). Tierras Raras en Biobío y Atacama: La potencial caja de ahorro de Chile. Recuperado en: <https://miningpress.com/nota/332618/tierras-raras-en-bio-bio-y-atacama-la-potencial-caja-de-ahorro-de-chile>



- Ministerio de Minería. (2020). Plan Nacional de Depósitos de Relaves para una Minería Sostenible. Recuperado de: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Instrumentos-de-largo-plazo-del-sector-13.pdf>
- Morris, J. (2013). The Vietnamese bauxite mining controversy: The emergence of a new oppositional politics. University of California, Berkeley.
- National Basic Research Program (1997). 973 Program. Recuperado de : <https://web.archive.org/web/20070612185037/http://www.973.gov.cn/English/Index.aspx>
- Nethery, B. (2003). The role of feasibility studies in mining ventures. In Conference Board of Canada, Structuring More Effective Mining Ventures, AMEC Mining and Metals, Vancouver.
- Northey, S., Mohr, S., Mudd, G. M., Weng, Z., & Giurco, D. (2014). Modelling future copper ore grade decline based on a detailed assessment of copper resources and mining. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 190-201.
- Ohno, Kenichi (2009). Avoiding the Middle-Income Trap: Renovating Industrial Policy Formulation in Vietnam, - 10.1353/ase.0.0035, ASEAN Economic Bulletin
- Robinson, J. A., & Acemoglu, D. (2012). *Why nations fail: The origins of power, prosperity and poverty*. London: Profile.
- Rodrik, D. (2003). Institutions, integration, and geography: In search of the deep determinants of economic growth. In D. Rodrik (Ed.), *In Search of Prosperity: Analytic Country Studies on Growth*. Princeton: Princeton University Press.
- Schiappacasse, Paulina; Bernhard Müller; Le Thuy Linh. (2019). Towards Responsible Aggregate Mining in Vietnam. *Resources*, 8 (3). <https://doi.org/10.3390/resources8030138>.
- Statista. (2022). Países líderes en la producción de tierras raras en 2021. Recuperado de <https://es.statista.com/estadisticas/600214/paises-lideres-en-la-produccion-de-tierras-raras/>.
- Thayer, C. A. (2009). Vietnam and the challenge of political civil society. *Contemporary Southeast Asia: A Journal of International and Strategic Affairs*, 31(1), 1-27.
- Tse, P. K. (2011). *China's Rare-Earth Industry*. USGS. <https://pubs.usgs.gov/of/2011/1042/of2011-1042.pdf>
- Vietnam Law & Legal Forum. (2022). Transfer of foreign technologies to Vietnam to be promoted. Recuperado de:

<https://vietnamlawmagazine.vn/transfer-of-foreign-technologies-to-vietnam-to-be-promoted-48231.html>.

Vinacomin (2020), <http://www.vinacomin.vn/>

Wang Jiachen et al. (2006). Development and Prospect of Rare Earth Functional Biomaterials for Agriculture in China. *Journal of Rare Earths* 24, 427-431.

World Energy Trade. (2020). El sector del cobalto de Australia se prepara para un crecimiento a largo plazo. 14 de noviembre de 2020. <https://www.worldenergytrade.com/metales/cobalto/el-sector-del-cobalto-de-australia-se-prepara-para-un-crecimiento-a-largo-plazo>

Wübbecke, Jost. (2013). Rare earth elements in China: Policies and narratives of reinventing an industry. *Resources Policy* 38, 384-394.

Zhang, J., Zhou, C., & Ebbers, H. (2011). Completion of Chinese overseas acquisitions: Institutional perspectives and evidence. *International Business Review*, 20(2), 226-238.

Ferreira, G. & Critelli, J. (2022). “China’s Global Monopoly on Rare-Earth Elements”, *Parameters* 52, no. 1.

Nabeel A. Mancheri, Benjamin Sprecher, Gwendolyn Bailey, Jianping Ge & Arnold Tukker (2019). Effect of Chinese policies on rare earth supply chain resilience, *Resources, Conservation and Recycling* 142, 101-112.

Argus consulting services (2015). Argus Rare Earth Monthly Outlook. Argus Media, London.

Reuters (2021). China hikes 2021 rare earth quotas by 20% to record highs. Revisado en : <https://www.reuters.com/business/energy/china-hikes-2021-rare-earth-quotas-by-20-record-highs-2021-09-30/>

NHU Thi Kim Dung1, PHAM Van Luan, VU Thi Chinh & TRAN Van Duoc. 2021. An Overview of Rare Earth Ores Beneficiation in Vietnam. *Journal of the Polish Mineral Engineering Society* 2(1):227-236.

SONAMI - Sociedad Nacional de Minería. (2020). Plan Nacional de Depósitos de Relaves para una Minería Sostenible. *Boletín Minero* (1340). Recuperado de: <https://www.sonami.cl/v2/boletin-minero-junio-2020/>.

SUBREI - Subsecretaría de Relaciones Económicas Internacionales. (2022). SUBREI participa en seminario sobre experiencias de desarrollo en el Asia Pacífico con representantes de Japón, Corea e India. Recuperado de: <https://www.subrei.gob.cl/sala-de-prensa/noticias/detalle-noticias/2022/09/07/subrei-participa-en-seminario-sobre->

[experiencias-de-desarrollo-en-el-asia-pac%C3%ADfico-con-representantes-de-jap%C3%B3n-corea-e-india#:~:text=7%20de%20septiembre%2C%202022](#)

The Diplomat (2022). An Australia-Vietnam Partnership Could Erode China's Monopoly on Rare Earths. Visitado en: <https://thediplomat.com/2022/11/an-australia-vietnam-partnership-could-erode-chinas-monopoly-on-rare-earths/>

Torres Muñoz, Rafael. (2022). Tierras Raras en la economía baja en carbono: Una oportunidad para Chile. Biblioteca del Congreso Nacimiento. En: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33629/1/Tierras\\_Raras en la Economía Baja en Carbono.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33629/1/Tierras_Raras_en_la_Economia_Baja_en_Carbono.pdf)

Marczenko, Z., Balcerzak, M., Chromium, Z. M., & Balcerzak, M. (2000). Analytical spectroscopy library. *Separation, preconcentration and spectrophotometry in inorganic analysis*, 10, 169-229.