

Tierras raras en Chile: recursos estratégicos para esta nueva era.

Natalia Pozo Morales¹

Resumen

Las tierras raras son un conjunto de 17 elementos minerales que está emergiendo como alternativa crucial en el desarrollo tecnológico y las energías renovables. Estos elementos desempeñan un papel fundamental en el progreso tecnológico, científico y militar. Aunque no son menos abundantes que otros minerales, su extracción a un costo económico es poco común. Se busca acercar el mundo de las tierras raras y su estado del arte actual, analizando la situación de las explotaciones de tierras raras (ETR) en Latinoamérica, en donde las reservas más importantes de este mineral se encuentran en países como Brasil, México, Bolivia, Argentina y Venezuela. Finalmente, se analiza cuál es la postura de Chile y su perspectiva geoeconómica ante este nuevo nicho minero, que surge en el contexto de una carrera mundial por el desarrollo industrial sostenible.

Abstract

The Rare Earths are a group of 17 mineral elements that are emerging as crucial alternatives in technological development and renewable energy. These elements play a fundamental role in technological, scientific, and military progress. While they are not less abundant than other minerals, their cost-effective extraction is uncommon. The aim is to provide insight into the world of Rare Earths and their current state of the art, analyzing the status of Rare Earth mining operations (REM) in Latin America, where significant reserves of this mineral are found in countries such as Brazil, Mexico, Bolivia, Argentina, and Venezuela. Finally, the position of Chile and its geoeconomics perspectiva in the face of this new mining niche developing within the context of a global race for sustainable industrial development is examined.



Palabras clave

Tierras raras
Lantánidos
Recursos estratégicos

Keywords

Rare Earth Elements
Lanthanides
Strategic resources

1 Geógrafa y diplomada en Planificación y Ordenamiento Territorial, Pontificia Universidad Católica de Chile. Investigadora, Universidad Católica del Norte. (nvpozo@uc.cl).



Introducción

En el panorama actual global, marcado por la búsqueda incansable de alternativas a los combustibles fósiles, así como por la continua innovación de materiales destinados a integrarse en las matrices energéticas de las naciones y la adopción de tecnologías vanguardistas, es cada vez más común que se mencionen las “tierras raras”. Estos elementos minerales están emergiendo como alternativas cruciales en el ámbito del desarrollo tecnológico, debido a las posibilidades que ofrecen para su avance, en especial de, las energías renovables. Las tierras raras comprenden un conjunto de 17 elementos químicos que incluye el escandio, la monacita y los lantánidos, los que desempeñan un papel fundamental en el progreso tecnológico, científico y militar.

Conforme a lo establecido en un informe de la Comisión Chilena del Cobre,² resulta pertinente destacar que, si bien estos minerales no son menos abundantes que el plomo o el oro, es poco común encontrarlos en cantidades que permitan su extracción a un costo económico.

Además, el mismo informe señala que la demanda de estos minerales está estrechamente vinculada al desarrollo de tecnologías modernas, como la óptica, la iluminación, las pantallas LED, las baterías portátiles y la electromovilidad. En otras palabras, el crecimiento de la demanda de elementos de tierras raras se atribuye al avance hacia la electrificación.

Es por esto que es relevante comenzar a considerar estas nuevas demandas, pues si bien Chile se destaca por su histórica posición como país minero, la explotación de tierras raras plantea un nuevo y significativo desafío tanto para la industria minera nacional como para nuestros profesionales y técnicos.

Historia e importancia de las tierras raras en el mundo

El estudio de las tierras raras se remonta al siglo XIX, cuando la mayoría de estos elementos fueron descubiertos. La excepción fueron itrio (1794), el lutecio (1907) y el prometio (1943), el primero fue hallado en 1794 por el mineralogista y químico finlandés Johan Gadolin, en una roca oscura llamada gadolinita (que también contenía cerio, lantano y hierro), que fue nombrada de esta manera en su honor.

Hasta 1885 se creía que la presencia de estos minerales en la naturaleza se limitaba principalmente a algunas localidades dispersas en Escandinavia y los montes Urales, lo que llevó a la errónea suposición de que eran elementos escasos, razón por la cual se les denominó “tierras raras”. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, su rareza radica más en la dificultad de encontrar cantidades económicamente viables para su extracción, a pesar de su abundancia en el planeta.³

Las tierras raras se pueden clasificar en dos tipos: las raras ligeras (LREEs, por sus siglas en inglés, *light rare earth elements*) y las tierras raras pesadas (HREEs, por sus siglas en inglés, *heavy rare earth*

2 COCHILCO. *Inversión Minera en Chile. Actualización de la cartera de inversiones 2016 - 2025*. 2016. Ministerio de Minería. [en línea], disponible en: <https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Informe%20Inversiones%202016-2025.pdf>; Se recomienda ver a RIESGO, María Victoria. *La inversión en minería de tierras raras. Evaluación económica preliminar de proyectos mineros de una materia prima crítica para la Unión Europea*. 2020. [en línea], Disponible en: <https://riubu.ubu.es/handle/10259/6637>.

3 KLINGER, Julie Michelle. *Rare earth frontiers: From terrestrial subsoils to lunar landscapes*. Cornell University Press. 2018.



elements).⁴ Las principales fuentes económicas de tierras raras son los minerales bastnasita, monacita y loparita, además de las arcillas lateríticas que absorben iones. Estos elementos se presentan en forma metálica, con colores que varían de gris

hierro a plateado, y suelen ser blandos, maleables y dúctiles. Sin embargo, son en general reactivos, especialmente a altas temperaturas o cuando se encuentran finamente divididos, lo que plantea el desafío de separarlos de otros minerales.⁵

Elementos de tierras raras	Símbolo	Tipo	Propiedades y características notables
Lantano	La	Liviana	Color plateado, maleable y dúctil
Cerio	Ce	Liviana	Utilizado en catalizadores automotrices
Praseodimio	Pr	Liviana	Usado en aleaciones para mejorar resistencia a la corrosión
Neodimio	Nd	Liviana	Componente esencial en potentes imanes permanentes
Prometio	Pm	Liviana	Radiactivo, utilizado en fuentes de energía nucleares
Europio	Eu	Pesada	Emite luz roja en la fluorescencia y es usado en pantallas LED
Gadolinio	Gd	Pesada	Tiene alta capacidad para absorber neutrones en reactores
Terbio	Tb	Pesada	Utilizado en dispositivos ópticos y en láseres
Disproso	Dy	Pesada	Se emplea para imanes de alta resistencia y en tecnología láser
Holmio	Ho	Pesada	Utilizado en láseres médicos y en aleaciones magnéticas
Erbio	Er	Pesada	Empleado en fibras ópticas y como dopante en láseres
Tulio	Tm	Pesada	Se usa en dispositivos de comunicación de fibra óptica
Iterbio	Yb	Pesada	Se utiliza en láseres de estado sólido y en estudios médicos
Lutecio	Lu	Pesada	Se emplea en aleaciones de alta resistencia y en celdas solares
Escandio	Sc	No se considera un lantánido	Utilizado en aleaciones y en luces de alta intensidad
Itrio	Y	No se considera un lantánido	A menudo se agrupa con las tierras raras, se usa en superconductores y láseres

Tabla N.º 1: elementos de tierras raras

Fuente: Elaboración de la autora en base a Klinger, 2017.

Para extraer tierras raras se utilizan diferentes métodos, que incluyen reactivos ácidos, reactivos neutros, agentes de extracción macrocíclicos y mezclas sinérgicas, para separar las tierras raras de diferentes medios acuosos. Cada método tiene sus propias ventajas y desventajas, y se selecciona en función de las necesidades específicas de la extracción de las tierras raras. Estas formas pueden

resumirse en 4:⁶

1. Extracción con reactivos ácidos: se utilizan reactivos como calixarenos, ácidos alquilfosfóricos y hidroxioximas para extraer las tierras raras de medios acuosos. Estos reactivos forman complejos con los minerales y se extraen a la fase orgánica. Entre las ventajas de esta forma de extracción está

4 AVENDAÑO, Patricio. Evaluación de factibilidad técnico ambiental de una planta de extracción de tierras raras en Chile. Memoria para optar al título de ingeniero civil químico. 2017. [en línea], disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150686/Evaluacion-de-factibilidad-tecnico-ambiental-de-una-planta-de-extraccion-de-tierras-raras-en-Chile.pdf?sequence=1>

5 USGS. Rare-earth elements. Reports. 2017. [en línea], disponible en: <https://www.usgs.gov/publications/rare-earth-elements>.

6 ALGUACIL, Francisco & RODRIGUEZ, F. Procesos de separación de las tierras raras. Revista de Metalurgia. N.º 33. 1996.



la alta selectividad y eficiencia, mientras que su desventaja está en que algunos reactivos ácidos pueden ser tóxicos y corrosivos.

2. Extracción con reactivos neutros: el tributilfosfato (TBP) y otros agentes de extracción neutros se utilizan para extraer las tierras raras de medios acuosos. Estos agentes forman complejos con los minerales y se extraen a la fase orgánica. Entre las ventajas de este proceso se encuentra que es ampliamente utilizado y fácilmente disponible, mientras que entre sus desventajas está su menor capacidad de selectividad en comparación con otros métodos de extracción.
3. Extracción con agentes de extracción macrocíclicos: se emplean éteres corona y ligandos macrocíclicos junto con agentes de extracción para separar las tierras raras. Estos sistemas forman complejos con los minerales y se extraen a la fase orgánica. Entre sus ventajas está también su alta selectividad y eficiencia en la extracción. Mientras que entre sus desventajas se presenta que a algunos macrocíclicos, que pueden ser costosos y difíciles de sintetizar.
4. Mezclas sinérgicas: se han experimentado mezclas sinérgicas de diferentes agentes de extracción para mejorar la eficiencia de la extracción de las tierras raras. Estas mezclas combinan dos o más agentes, favoreciendo la extracción de los minerales en comparación con el uso de cada agente de extracción por separado. Entre las ventajas está la mayor eficiencia en la extracción de las tierras raras. Mientras que entre sus desventajas, se presenta el hecho de que este tipo de extracción puede

ser más complejo y costoso de implementar.

Las tierras raras, aunque esenciales para la infraestructura tecnológica de la vida moderna, pasaron casi un siglo sin encontrar aplicaciones significativas. Como destaca Klinger,⁷ su primer uso exitoso se centró en proporcionar electricidad de manera fiable y económica, gracias a los mantos de gas de Carl Auer von Welsbach, desarrollados a finales del siglo XIX, los que contenían cerio (Ce) en baja cantidad, permitiendo iluminar ciudades antes de la expansión de los tendidos eléctricos.

Desde ahí, entre 1930 y 1980, la mayoría de las aplicaciones de tierras raras se encontraban en catálisis, vidrio, cerámica y metalurgia. Fue recién a finales de la década de los 80 cuando comenzaron a utilizarse en comunicaciones y electrónica.

Actualmente, estos minerales poseen diversas aplicaciones, siendo fundamentales para el desarrollo de partes o composiciones de diversos objetos y productos que conforman el estilo de vida actual, abarcando desde baterías, lámparas halógenas, marcapasos, celulares, computadores hasta turbinas eólicas, paneles solares, drones, bombas inteligentes y componentes de navegación,⁸ asimismo, se utiliza, en sistemas de guía, fibra óptica y equipos militares (como el misil Patriot y municiones de precisión), esto debido a elementos como el disprosio, neodimio, praseodimio, samario y terbio, ya que permiten garantizar su funcionamiento, la precisión y la exactitud de objetivos.⁹

7 KLINGER, Julie Michelle. *Op. Cit.*

8 ÁLVAREZ Calderón, Carlos & TRUJILLO Palacio, John. "Geopolítica de las tierras raras: un recurso natural estratégico para la seguridad multidimensional del Estado". *Revista Científica General José María Córdova*. 2020. Nº 18. 335-355. [en línea], disponible en: <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.587>

9 PREGO, Ricardo. *Las tierras raras, una pieza clave en el puzzle de la energía*. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Energía y Geoestrategia 2021. Cap. 5: 309-3782021. [en línea], disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/258002>



En resumen, estos minerales son fundamentales para el desarrollo de tecnologías como energías renovables y sostenibles, de información y tecnologías militares. Es decir, las tierras raras son esenciales para el funcionamiento de la tecnología moderna a nivel global, sin estos minerales, situaciones cotidianas como el Internet, los sistemas de navegación por satélite, la aviación y la atención médica de emergencia, no podrían funcionar.¹⁰

El desarrollo de la industria de tierras raras está emergiendo como un nuevo motor de crecimiento económico para los Estados y una oportunidad para diversificar la matriz productiva. No obstante, también conlleva desafíos socioambientales como la gestión de residuos tóxicos, la conservación del entorno y la protección de las comunidades locales. Para abordar estos desafíos, es esencial implementar prácticas ambientales sostenibles, fomentar la educación y la conciencia ambiental, y asegurar la participación de las comunidades en las decisiones relacionadas con la industria de tierras raras.

De acuerdo a lo indicado, la inversión en tecnologías más limpias y la investigación de alternativas sostenibles son fundamentales para minimizar el impacto ambiental y garantizar el bienestar de las regiones donde se desarrolla la industria y su influencia.¹¹

Contexto de las tierras raras en el mundo y Latinoamérica

En la actualidad las mayores reservas mundiales de tierras raras están en China, Vietnam, Brasil y Rusia, en donde China mantiene el liderazgo mundial de la producción de estos minerales abasteciendo prácticamente el 60% del mercado actual.¹² En el contexto de la distribución de reservas y exportaciones se identifican diversas particularidades entre los países productores y líderes en la producción y exportación de tierras raras.

China se perfila como el líder mundial en producción y exportación de tierras raras, situación que ha alcanzado tras una historia que se remonta fines de los años 40,¹³ debido a los 44 millones de toneladas en reservas de tierras raras que posee, liderando la comunidad internacional con 34% de las reservas totales, evidenciando un crecimiento constante en sus exportaciones, que alcanzaron los 210.000 toneladas en 2022.¹⁴

Otro país con grandes reservas y que históricamente ha sido un productor de tierras raras es Brasil, con un total de 21 millones de toneladas representa el 16% de las reservas globales y en el año 2022, sus exportaciones experimentaron una significativa disminución, descendiendo a 80 millones de toneladas desde los 500 millones reportados en 2021.¹⁵

10 ABRAHAM, David. *The elements of power: Gadgets, guns, and the struggle for a sustainable future in the rare metal age*. 2015.

11 AVENDAÑO, Patricio. *Op Cit*.

12 USGS. *Rare Earths Statistics and Information*. 2023. [en línea], disponible en: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-rare-earths.pdf>.

13 BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE (BCN). *Asesoría técnica parlamentaria: Tierras Raras*. Departamento de estudios, extensión y publicaciones. 2016. Disponible en: <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23720/2/Informe%20Tierras%20Raras.pdf> MARTINEZ, José. & VALLE, Alma. Las tierras raras: un sector estratégico para el desarrollo tecnológico de China. Cuadernos de Trabajo del Cechimex, revista bimestral. 2014. Consultado en: <https://dusselpeters.com/CECHIMEX/CuadernosdelCechimex20146.pdf>.

14 USGS. 2023. *Op. Cit*.

15 *Ibidem*



Por su parte, Rusia comparte el mismo porcentaje de reservas mundiales que Brasil (16%) y mantiene sus exportaciones estables en 2.600 toneladas durante 2021 y 2022.

Vietnam, con un 17% de las reservas globales, experimentó un crecimiento explosivo en sus exportaciones, aumentando de 400 a 4.300

toneladas en un solo año.

Finalmente, India, con el 5% de las reservas mundiales, mantuvo constantes sus exportaciones, en 2.900 toneladas en 2021 y 2022. Estos datos capturan las dinámicas que han mostrado el manejo de las tierras raras a nivel mundial.¹⁶

País	Reserva por país (toneladas)	% de reserva (según reserva mundial)	Exportaciones 2021 (toneladas)	Exportaciones 2022 (toneladas)
Brasil	21.000.000	16%	500	80
China	44.000.000	34%	168.000	210.000
Rusia	21.000.000	16%	2.600	2.600
Vietnam	22.000.000	17%	400	4.300
India	6.900.000	5%	2.900	2.900
Reservas de Cobre	15.100.000	12%	115.600	80.120
Mundial	130.000.000	100%	290.000	300.000

Cuadro N° 2. Reservas y exportaciones de Tierras Raras a nivel mundial.

Fuente: Elaboración de la autora en base a USGS, 2023.

A nivel latinoamericano, son varios los países que poseen reservas importantes de tierras raras dentro de sus territorios, siendo el líder en la producción y exportación de tierras raras Brasil.

Actualmente, la minera brasileña Serra Verde se convertirá en la primera proveedora de tierras raras de Occidente. En junio de 2023 partió la entrega de la primera fase de su planta Pela Ema en el estado de Goiás y ya proyecta su segunda planta. Este proyecto cuenta con 4 de los minerales esenciales para la producción de motores de vehículos y turbinas eléctricas, con lo que se convierte en

un actor clave del mercado, esto ha llevado a que actualmente se sigan fomentando campañas de exploración, que llevaron al descubrimiento de un depósito de gran importancia, que abarcan aproximadamente 1.400 hectáreas, en donde, según los primeros prospectos, se encontraría una buena distribución de elementos pesados y ligeros de tierras raras.¹⁷

Asimismo, podemos encontrar reservas de estos minerales en otros países como Bolivia, Argentina, y México, Venezuela.¹⁸

¹⁶ *Ibidem*.

¹⁷ DIARIO FINANCIERO. "Brasil corre con ventaja frente a Chile en el mercado de las tierras raras, elementos clave de la transición energética". *Diario Financiero*. 25 de agosto de 2023. [En línea], disponible en: <https://dfmas.df.cl/df-mas/coffee-break/brasil-adelanta-a-chile-y-esta-a-un-paso-de-convertirse-en-la-primera> DIARIO FINANCIERO. "Minera Aclara descubre depósito de tierras raras en Brasil 10 veces más grande que el de Penco en Chile". 11 de octubre de 2023. [en línea], disponible en: <https://dfsud.com/america/minera-aclara-descubre-deposito-de-tierras-raras-en-brasil-10-veces-mas>.

¹⁸ STRATFOR. *The geopolitics of rare earth elements*. 2019. [en línea], disponible en: <https://worldview.stratfor.com/article/geopolitics-rare-earth-elements>.



En el caso de México, comenzó proyectos de sustentabilidad energética generando procesos de exploración desde el año 2013, los que ya han brindado concentraciones de tierras raras de entre 4% a 15%, según la zona. Por ejemplo, en Oaxaca se encuentran concentraciones de 10 % a 15 % y en Hidalgo de 4% a 5%, en Coahuila, Sonora, Sinaloa y Durango también llegaron a 4%, lo que podría fomentar inversiones mineras en estos sectores.¹⁹ Asimismo, la UNAM²⁰ ha fomentado múltiples trabajos de sus estudiantes en torno a la separación, tratamiento, geoquímica, entre otros, para el aprovechamiento de tierras raras.

Otro país del cono sur que posee reservas es Argentina. Si bien, actualmente no tiene producción local de tierras raras (ETR), pero en recursos registra 190 mil toneladas de reservas principalmente de neodimio. Los territorios que poseen estas reservas son Salta, Jujuy, San Luis, Santiago del Estero, San Juan, Córdoba y la plataforma continental de Buenos Aires con los depósitos de Distrito Rangel, Isis-Osiris-Ra, Rodeo de los Molles, Jasimampa y Valle Fértil,²¹ lo que podría generar polos económicos entorno a este mineral.

Dentro de este mismo panorama, Venezuela es otro país que posee diversas reservas y explotaciones de tierras raras a lo largo de la corteza terrestre. Su localización se encuentra al norte del estado Bolívar, en la zona minera sur del territorio

del Arco Minero del Orinoco. Es por ello que el Estado dictaminó una gaceta oficial (Nº 42.230 bajo el Decreto Nº 4.598,) a tierras raras junto con otros minerales, como elementos estratégicos para la transformación y comercialización, dada la alta importancia que tienen para el desarrollo de la industria metalmeccánica y tecnológica del país, reservando al ejecutivo su exploración, explotación, beneficio-transformación y comercialización, por lo que quedan sujetos al régimen de reserva previsto en el Decreto con Rango, Valor y Fuerza de Ley Orgánica, que Reserva al Estado las Actividades de Exploración y Explotación del Oro y demás Minerales Estratégicos.²²

En el caso de Bolivia, según reportes de la Fundación Jubileo,²³ no hay reservas identificadas en forma concreta de estos minerales, principalmente porque aún no se comienzan a buscar ni tampoco se implementan políticas en este campo, solo los años 2016 a 2018 se realizaron en el Servicio Nacional de Geología y Minería trabajos de prospección y exploración en relación con las tierras raras. La presencia de estos minerales se encuentra en la parte occidental y oriental del país.

Por otra parte, el mismo reporte destaca la presencia de tierras raras en la parte occidental y oriental de Bolivia. (Ayopaya, Salinas de Garci Mendoza, Mallku Khota, Colavi, San Luis de Chullchucani, San Ramón, San Ignacio, Guarayos, etc.), planteando

19 PETROQUIMEX. "México con Posibilidades para Producir" Tierras Raras para Energía Renovable". 2014. Revista *Petroquimex*. Edición 69. [en línea], disponible en: <https://petroquimex.com/pemex-continuar-estrategia-petrolera-con-compromiso-ambiental/>.

20 UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México. Repositorio Institucional de la UNAM. *Tierras Raras*. 2023. [en línea], [consulta 05-11-2023], disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/?q=tierras%20raras>

21 ZAPPETTINI, Eduardo. "Elementos de las tierras raras. Panorama general y evaluación del potencial en la República Argentina". Serie *Contribuciones Técnicas*, Nº 48. 2022. [en línea], disponible en: <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4223>.

22 MINISTERIO DE DESARROLLO MINERO ECOLÓGICO. "Tierras Raras" mineral estratégico de la nación". Reporte de prensa. 21 de abril 2022. [en línea], disponible en: <http://www.desarrollominero.gob.ve/tierras-raras-mineral-estrategico-de-la-nacion/>

23 FUNDACIÓN JUBILEO. "Minería un sector estratégico frente a nuevos desafíos". Serie *Debate Público* N.º 87. 2021. [en línea], disponible en: <https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2021-58a36-3mineriajub.pdf>



la necesidad de aplicar métodos modernos de exploración de última generación, con precisión y alta resolución, para convertir esta actividad en uno de los pilares de la economía; y la urgencia de que sea un tema atendido en el ámbito nacional. Es por ello que el mismo reporte hace un llamado al sector minero boliviano para generar iniciativas y proyectos para la explotación de tierras raras que existen en el territorio, pues el carácter estratégico de estas crecerá con el tiempo.

Chile y las tierras raras

Históricamente, Chile ha sido un importante actor en la industria minera mundial, desempeñando un papel relevante en el sector terciario de la economía, caracterizándose por su rica producción de minerales clave como el salitre y el cobre, que han sido fundamentales para el desarrollo económico nacional. Además, en los últimos años, el país ha emergido como un importante productor de litio, un mineral crucial en la fabricación de baterías y tecnología de energía renovable.

Sin embargo, en lo que respecta a las tierras raras, el estado del arte en Chile es más bien reciente e incipiente. A pesar de su experiencia en la extracción de minerales, la explotación y producción de tierras raras, se encuentra en una fase inicial de desarrollo en el país y su potencial en este campo está empezando a ser explorado, en la medida que las demandas globales y la importancia estratégica de estos

elementos aumentan en la industria tecnológica y energética.²⁴

Los grandes desafíos nacionales radican en la complejidad de la extracción de estos minerales y la falta de experiencia en su producción. No obstante, en el año 2011, el SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería) realizó el primer mapa geoquímico con el fin de promover la exploración minera. Los primeros resultados fueron los muestreos realizados en el norte del país: Arica, Pisagua e Iquique.²⁵ Dentro de los hallazgos, se destacó la presencia de zonas de concentración de tierras raras en la cuenca del río Lauca y el cerro Colorado.

Asimismo, como destaca Avendaño,²⁶ en el año 2013, a través de un proyecto CORFO realizado por la Cámara Chileno Alemana de Comercio, enfocado en la identificación de elementos valiosos en residuos mineros y su recuperación como productos comerciales, encontró presencia de tierras raras en relaves de la Región de Atacama, siendo el cerio, lantano y neodimio los elementos de mayor abundancia.

Sin embargo, en la actualidad el proyecto con mayor avance e investigación es la planta de tierras raras ubicada en Penco, Región del Biobío en el sur de Chile. Por otra parte el Informe de Tierras Raras (2023) de la Universidad Bernardo O'Higgins da cuenta del proyecto llevado por la empresa minera Aclara Resource, que desde este año 2023 está desarrollando en el Módu-

24 OLIVERA, Beatriz, TORNEL, Carlos, AZAMAR, Aleida. *Minerales críticos para la transición energética. Conflictos y alternativas hacia una transformación socioecológica*. 2022. [en línea], disponible en: <https://mx.boell.org/sites/default/files/2022-12/minerales-criticos-e-book-ok.pdf>

25 SERNAGEOMIN. Seminario "Estudios geológicos en la zona Norte de Chile: Información para el desarrollo regional" Auditorio Ruinas de Huanchaca, Antofagasta. Realizado el 13 de marzo del 2015. [en línea], disponible en: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/09/Geoquimica-Norte-Chile-Seminario-Antofagasta.pdf>

26 AVENDAÑO, Patricio. *Op. Cit.*



lo Penco, a 15 kilómetros de Concepción, en una superficie de 600 hectáreas (con 200 mil hectáreas más para futuras exploraciones de tierras raras), la producción de óxidos de tierras raras de calidad procedentes de yacimientos de arcilla iónica (tierras raras pesadas), con el fin de convertirse en un proveedor líder para las empresas de tecnologías limpias.

El proceso bajo el cual se realizaría la extracción se llama *circular mineral harvesting* (Cosecha Circular de Minerales), que minimizaría los impactos negativos ya que no utiliza explosivos, no tiene chancado ni produce residuos líquidos. Este se iniciaría retirando la capa vegetal (la cual volvería a ser repuesta en conjunto con la tierra no utilizada) para extraer el mineral, a su vez, no requeriría de diques, ya que el agua se reciclará en su 95%, mientras el otro 5% de agua utilizada sería domiciliaria reciclada a través de un convenio con la Empresa de Servicios Sanitarios del Biobío (ESSBIO), acompañado de una certificación de que no se producirán efectos contaminantes constatada por auditores externos.²⁷

Lo señalado nos indica que, para abordar los desafíos en la industria de tierras raras, es esencial considerar una colaboración entre el sector público y privado. El Estado puede desempeñar un papel clave al proporcionar incentivos y regulaciones que fomenten la inversión en la exploración y producción. Las asociaciones estratégicas entre empresas mineras y el sector público serían un punto trascendental si se busca acelerar el desarrollo de la industria al aprovechar la experiencia y los recursos de ambas partes.

El desarrollo de la industria de tierras raras puede tener un impacto significativo en varios sectores de la sociedad, por una parte está el sector económico y el desarrollo de la industria energética, la industria minera y la industria militar, por otra parte están las importantes aplicaciones que beneficiarían a las comunidades donde se desarrolle la industria y en esta radica la importancia de su involucramiento en los momentos de decisiones y acciones.

La necesidad de inversión en investigación y desarrollo de tecnologías de extracción y reciclaje de tierras raras se está dando, en especial, en pos de la innovación en la minería y la tecnología ambiental, en donde la capacidad de reciclar tierras raras de productos obsoletos o en desuso puede reducir la dependencia en la minería y fomentar la sostenibilidad en el uso de estos recursos.

Como se puede deducir, la industria de tierras raras en Chile representa un campo en expansión con grandes desafíos por abordar aún, considerando que el mundo avanza hacia una economía más verde y tecnológicamente más desarrollada, Chile tiene ventajas que podrían adquirir una importancia estratégica.

Sin embargo, es necesario tener presente que para aprovechar las oportunidades será necesario superar los obstáculos y complejidades actuales, a través de un esfuerzo conjunto del sector público y privado, así como una firme dedicación a la sostenibilidad ambiental y el desarrollo tecnológico.²⁸

27 FLORES, Tomás; BERGER, Felipe. Working Paper *Tierras Raras*. Universidad Bernardo O'Higgins. 2023. [en línea], disponible en: <https://prensa.ubo.cl/wp-content/uploads/2023/05/Informe-Tierras-Raras-mayo.pdf>

28 PAVEZ, Ignacio. Proceso de Extracción de Elementos de Tierras Raras (lantánidos, neodimio y disprosio) de bajo impacto ambiental a partir de relaves geoquímicamente catastrados. 2020. [en línea], disponible en: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/6203>



En los próximos años, el crecimiento de la industria de tierras raras en Chile podría fortalecer su economía y diversificar la matriz productiva minera, como también contribuir al avance global en la investigación y desarrollo de tecnologías de extracción y reciclaje de minerales, lo que podría impactar significativamente la economía y el medioambiente, es por ello que una visión de Estado a largo plazo y la colaboración, enfocadas a las comunidades y el desarrollo territorial sostenible, es esencial para pensar el potencial de este recurso estratégico.

Lo señalado se sustenta en su posición como principal exportador de minerales y su experiencia en la producción de minerales metálicos y no metálicos, que son claves para la transición energética, como son el cobre y el litio, otorgándole un nicho importante para liderar en esta línea, contribuyendo de esta forma al desarrollo de economías y tecnologías renovables, respetuosas con el medioambiente.

Conclusiones

Las tierras raras son elementos minerales claves para el desarrollo de la vida actual, en especial, en el desarrollo tecnológico, energético e industrial. Actualmente, China, Estados Unidos y Australia concentran la producción mundial de tierras raras y Brasil, en el ámbito latinoamericano, es el único que ha alcanzado relevancia internacional. El resto de los países mencionados en el presente artículo, como México, Bolivia, Argentina y Venezuela, se encuentran en las fases iniciales de estudios y exploraciones.

El Estado chileno presenta un abanico de condiciones específicas y oportunidades para el desarrollo de la industria de tierras raras. Por una

parte, tiene una extensa sólida infraestructura y experiencia minera, y, una larga historia en la industria minera y su posicionamiento en el mercado actual como uno de los mayores exportadores de materias primas y minerales estratégicos, como son el cobre y el litio.

Por otra parte, estos minerales son la base para el desarrollo de energías renovables, en especial para la energía eólica y solar, una industria energética de gran proyección en el país, pudiendo ser un autoabastecedor de ciertos minerales que puedan apoyar el desarrollo de estas áreas, impulsando aún más este sector y promover la transición hacia una economía más sostenible.

Esto mismo puede impulsar un fuerte nodo de innovación y el desarrollo en diversas áreas y sectores (energéticos, tecnológicos, entre otros), lo que puede ser aprovechado para impulsar tecnologías más eficientes y sostenibles en la extracción y procesamiento de tierras raras y otros minerales.

Las tierras raras representan una oportunidad y a la vez un desafío para el Estado chileno respecto al desarrollo una industria o de manera sólida y sustentable, generando las condiciones para impulsar la economía y el crecimiento asociado, mientras simultáneamente se promueve una transición hacia energías renovables y se fomenta la innovación y el desarrollo tecnológico en el país.



Bibliografía

- ABRAHAM, David. The elements of power: Gadgets, guns, and the struggle for a sustainable future in the rare metal age. 2015.
- ALGUACIL, Francisco; RODRIGUEZ, F. "Procesos de separación de las tierras raras". *Revista de Metalurgia*. Nº 33. 1996.
- ÁLVAREZ Calderón, Carlos; TRUJILLO Palacio, John. "Geopolítica de las tierras raras: un recurso natural estratégico para la seguridad multidimensional del Estado". *Revista Científica General José María Córdova*. 2020. Nº 18. 335-355. [en línea], disponible en: <http://dx.doi.org/10.21830/19006586.587>
- AVENDAÑO, Patricio. *Evaluación de factibilidad técnico ambiental de una planta de extracción de tierras raras en Chile*. Memoria para optar al título de ingeniero civil químico. 2017. [en línea], disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150686/Evaluacion-de-factibilidad-tecnico-ambiental-de-una-planta-de-extraccion-de-tierras-raras-en-Chile.pdf?sequence=1>
- BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE (BCN). *Asesoría técnica parlamentaria: Tierras Raras*. Departamento de estudios, extensión y publicaciones. 2016. [en línea], disponible en: <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23720/2/Informe%20Tierras%20Raras.pdf>
- CORPORACIÓN CHILENA DEL COBRE (COCHILCO). *Inversión Minera en Chile*
- Actualización de la cartera inversional 2016 - 2025. 2016. Ministerio de Minería. [en línea], disponible en: <https://www.cochilco.cl/Presentaciones/Informe%20Inversiones%202016-2025.pdf>
- DIARIO FINANCIERO. "Brasil corre con ventaja frente a Chile en el mercado de las tierras raras, elementos clave de la transición energética". *Diario Financiero*. 25 de agosto 2023. [En línea], disponible en: <https://dfmas.df.cl/df-mas/coffee-break/brasil-adelanta-a-chile-y-esta-a-un-paso-de-convertirse-en-la-primera>
- DIARIO FINANCIERO. "Minera Aclara descubre depósito de tierras raras en Brasil 10 veces más grande que el de Penco en Chile". 11 de octubre 2023. [en línea], disponible en: <https://dfsud.com/america/minera-aclara-descubre-deposito-de-tierras-raras-en-brasil-10-veces-mas>
- FLORES, Tomás; BERGER, Felipe. *Working Paper Tierras Raras*. Universidad Bernardo O'Higgins. 2023. [en línea], disponible en: <https://prensa.ubo.cl/wp-content/uploads/2023/05/Informe-Tierras-Raras-mayo.pdf>
- FUNDACIÓN JUBILEO. "Minería un sector estratégico frente a nuevos desafíos". Serie Debate Público Nº 87. 2021. [en línea], disponible en: <https://siip.produccion.gob.bo/noticias/files/2021-58a36-3mineriajub.pdf>
- KLINGER, Julie Michelle. *Rare earth frontiers: From terrestrial subsoils to lunar landscapes*. Cornell University Press. 2018.
- MARTINEZ, José; VALLE, Alma. "Las tierras raras: un sector estratégico para el desarrollo tecnológico de China". *Cuadernos de Trabajo del Cechimex*, revista bimestral. 2014. [en línea], disponible en: <https://dusselpeters.com/CECHIMEX/CuadernosdelCechimex20146.pdf>



- MINISTERIO DE DESARROLLO MINERO ECOLÓGICO. ““Tierras Raras” mineral estratégico de la nación”. Reporte de prensa. 21 de abril 2022. [en línea], disponible en: <http://www.desarrollominero.gob.ve/tierras-raras-mineral-estrategico-de-la-nacion/>
- OLIVERA, Beatriz, TORNEL, Carlos, AZAMAR, Aleida. *Minerales críticos para la transición energética conflictos y alternativas hacia una transformación socioecológica*. 2022. [en línea], disponible en: <https://mx.boell.org/sites/default/files/2022-12/minerales-criticos-e-book-ok.pdf>.
- PAVEZ, Ignacio. *Proceso de Extracción de Elementos de Tierras Raras (lantánidos, neodimio y disprosio) de bajo impacto ambiental a partir de relaves geoquímicamente catastrados*. 2020. [en línea], disponible en: <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/6203>
- PETROQUIMEX. “México con Posibilidades para Producir “Tierras Raras” para Energía Renovable. 2014”. Revista Petroquimex. Edición 69. [en línea], disponible en: <https://petroquimex.com/pemex-continuara-estrategia-petrolera-con-compromiso-ambiental/>
- PREGO, Ricardo. “Las tierras raras, una pieza clave en el puzzle de la energía”. Instituto Español de Estudios Estratégicos. *Energía y Geoestrategia 2021*. Cap. 5: 309-3782021. [en línea], disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/258002>
- RIESGO, María Victoria. *La inversión en minería de tierras raras evaluación económica preliminar de proyectos mineros de una materia prima crítica para la Unión Europea*. 2020. [en línea], disponible en: <https://riubu.ubu.es/handle/10259/6637>
- STRATFOR. *The geopolitics of rare earth elements*. 2019. [en línea], disponible en: <https://worldview.stratfor.com/article/geopolitics-rare-earth-elements>.
- SERNAGEOMIN. Seminario “Estudios geológicos en la zona Norte de Chile: Información para el desarrollo regional”. Realizado el 13 de marzo de 2015. Antofagasta. [en línea], disponible en: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2017/09/Geoquimica-Norte-Chile-Seminario-Antofagasta.pdf>
- SIROIT, Gastón. *América Latina y los minerales críticos para la transición energética. Energía para el Futuro*; Inter-American Development Bank. 2022. [en línea], disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/america-latina-y-los-minerales-criticos-para-la-transicion-energetica/>
- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM). Repositorio Institucional de la UNAM. Tierras Raras. 2023. [en línea], [consulta 05-11-2023], disponible en: <https://repositorio.unam.mx/contenidos?&q=tierras%20raras>
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). “Rare-earth elements”. Reports. 2017. [en línea], disponible en: <https://www.usgs.gov/publications/rare-earth-elements>
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). *Rare Earths Statistics and Information*. 2023. [en línea], disponible en: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-rare-earths.pdf>
- ZAPPETTINI, Eduardo. “Elementos de las tierras raras. Panorama general y evaluación del potencial en la República Argentina”. *Serie contribuciones técnicas*, N° 48. 2022. [en línea], disponible en: <https://repositorio.segemar.gov.ar/handle/308849217/4223>