



Revista Científica "Visión de Futuro"
ISSN: 1669-7634
ISSN: 1668-8708

revistacientifica@fce.unam.edu.ar
Universidad Nacional de Misiones
Argentina

MINERALES Y MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS: POTENCIAL Y OPORTUNIDADES PARA ARGENTINA

Murguía, Diego

MINERALES Y MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS: POTENCIAL Y OPORTUNIDADES PARA ARGENTINA

Revista Científica "Visión de Futuro", vol. 26, núm. 1, 2022

Universidad Nacional de Misiones, Argentina

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357967638005>

DOI: <https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2021.26.01.003.es>

© 2021 Revista Científica "Visión de Futuro" - Facultad de Ciencias Económicas - UNaM



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.



MINERALES Y MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS: POTENCIAL Y OPORTUNIDADES PARA ARGENTINA

Minerals and critical raw materials: potential and opportunities for Argentina

*Diego Murguía
CONICET/Instituto Interdisciplinario de Economía
Política, Argentina
diegomurguia@yahoo.com.ar*

DOI: <https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2021.26.01.003.es>
Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=357967638005>

Recepción: 02 Marzo 2021
Aprobación: 12 Abril 2021

RESUMEN:

Los minerales y las materias primas “críticas” son usualmente definidos como aquellos que presentan gran importancia económica y alto riesgo de interrupciones en su suministro. Su aprovechamiento integral (su minería, re-uso y reciclaje) abre una ventana de oportunidad para países ricos en recursos como Argentina. En base a una revisión bibliográfica, este trabajo presenta un panorama general del potencial de materiales críticos y de políticas públicas para promover su aprovechamiento bajo principios de sostenibilidad.

Los resultados de exploraciones históricas indican que Argentina cuenta con potencial geológico-minero de minerales críticos. Sin embargo, se requieren inversiones para poner en valor, estandarizar y digitalizar los datos disponibles. Asimismo, es necesario jerarquizar dichos minerales en las agendas públicas de investigación e incentivar la exploración. La potencialidad en recursos secundarios es difícil de estimar dada la falta de datos sobre generación y reciclaje de chatarra industrial, baterías y otros productos desecharados.

En un contexto internacional de crecientes exigencias socio-ambientales y persistente conflictividad, alcanzar una gestión sostenible de los minerales críticos (y no críticos) implica superar el modelo “extractivista”. Para ello es clave transformar la naturaleza de los vínculos entre el sector minero, el sistema científico-tecnológico, el entramado productivo local y las comunidades como también las formas de tomar decisiones estratégicas sobre su utilización.

PALABRAS CLAVE: Minerales estratégicos, Extractivismo, Cadena de valor minera, Articulación científico-productiva, Valorización de los residuos.

ABSTRACT:

“Critical” minerals and raw materials are usually defined as those that present great economic importance and high risk of supply disruption. Their integral use (mining, reuse and recycling) opens a window of opportunity for resource-rich countries such as Argentina. Based on a bibliographic review, this work presents an overview of the potential of critical materials and public policies to promote their use under sustainability principles. The results of historical explorations indicate that Argentina has geological-mining potential of critical minerals. However, new investments are required to value, standardize and digitize the available data. It is also necessary to rank these minerals in the public research agendas and encourage their exploration. The potentiality in secondary resources is difficult to estimate given the lack of data on the generation and recycling of industrial scrap, batteries and other discarded products. In an international context of growing socio-environmental demands and persistent conflict, achieving a sustainable management of critical (and non-critical) minerals implies overcoming the “extractivist” model. For this, it is essential to transform the nature of the linkages between the mining sector, the scientific-technological system, the local productive network and the communities, as well as the ways of making strategic decisions about their use.

KEYWORDS: Strategic minerals, Extractivism, Mining value chain, Science-production articulation, Waste valorization.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales efectos positivos de la pandemia del covid19 ha sido brindar mayor impulso político y acelerar el avance de la agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (en adelante ODS) de las Naciones Unidas, especialmente las acciones para la lucha contra el cambio climático. El retorno de los Estados Unidos de Norteamérica (en adelante EE.UU.) al Acuerdo de París se alinea con las políticas que vienen implementando Europa y China para acelerar la descarbonización de sus matrices energéticas. Las

Naciones Unidas reconocen la importancia fundamental del sector minero para la vida moderna y afirman que su gestión sostenible contribuirá de manera significativa al logro de los ODS y sus metas, incluida la transición energética (ANUMA, 2019). Las proyecciones indican que entre 2020 y 2060 la extracción global de minerales metalíferos y no metalíferos se multiplicará por 2,5 y 1,8 veces respectivamente (OECD, 2019) y que gran parte de dicho aumento se deberá a la transición energética, la cual será muy intensiva en el uso de minerales como grafito o cobre. Por ejemplo, se estima que la producción de grafito, litio, y cobalto se incrementará más de 450 % para el año 2050 (Hund et al., 2020).

Si bien la extracción de minerales es esencial para lograr los ODS, la minería continuará generando conflictos, presiones e impactos socio-ambientales en las regiones donde se encuentran los recursos. Desde la segunda mitad del siglo XX, la especialización de países en sectores intensivos en recursos naturales ha sido considerada una “maldición” por distintas corrientes de pensamiento, entre ellas teorías económicas¹ y político-institucionales. Según estas últimas, la relación negativa entre recursos naturales y desarrollo económico se atribuye a la falta de un “buen gobierno” con respecto a cómo se apropián, distribuyen y utilizan las rentas provenientes de los recursos naturales (Ross, 1999). Hoy día en un marco global de gobernanza de los recursos de naturaleza multi-nivel y multi-actoral (Bache y Flinders, 2004), hay un llamado a mejorar la arquitectura de la gobernanza (Ali et al., 2017). Para ello son necesarios nuevos mecanismos de coordinación que permitan desacoplar el crecimiento económico del uso de los recursos naturales, sin traspasar los “límites planetarios” (Steffen et al., 2015).

Las empresas mineras han adoptado ampliamente, al menos en sus informes de sostenibilidad, la retórica de los ODS² y buscan alinear sus actividades con ellos. Los reguladores también impulsan cambios: la Comisión Europea ha establecido como pilar fundamental de su estrategia para aumentar la resiliencia en el aprovisionamiento de materias primas, la diversificación de su suministro a través de importaciones responsables³. En Londres, la Bolsa de Metales ha introducido requisitos de suministro responsable para sus marcas aprobadas. Este tipo de regulaciones establecen un estándar global con implicancias para países productores como Argentina ya que se exige la implementación de medidas y su certificación. En respuesta a dichos requerimientos, Chile promueve el concepto de “minería verde” mediante el cual se incentiva la eficiencia energética e hídrica y se aplican metodologías de trazabilidad para certificar las mejoras (Alta Ley, 2019).

En un contexto global de nuevas tensiones geopolíticas, creciente demanda de minerales y persistente conflictividad socio-ambiental⁴ asociada a la minería, los grandes países consumidores de minerales identifican aquellas materias primas esenciales para la defensa, la seguridad nacional y el funcionamiento de sus industrias y economías. Tanto la Comisión Europea, EE. UU como Canadá y Australia han clasificado como “críticas” aquellas materias primas con suma importancia económica y potencial de interrupciones en la oferta global. Según lo reconoce la Comisión Europea en el nuevo Pacto Verde Europeo⁵, el acceso a los recursos, especialmente a las materias primas críticas, es una cuestión de seguridad estratégica para cumplir con su ambición de lograr la neutralidad climática en 2050. De modo similar, en marzo de 2021, Brasil instituyó una política de apoyo al licenciamiento ambiental para proyectos con “minerales estratégicos” (Decreto 10.657/2021) los cuales son definidos como i) aquellos donde Brasil tiene elevada dependencia importadora en áreas clave de la economía (e.g. potasio), ii) aquellos de importancia para uso en industrias de alta tecnología y iii) aquellos con ventajas comparativas esenciales para la generación de superávit en la balanza comercial (e.g. hierro, niobio).

La jerarquización de las materias primas críticas representa una nueva oportunidad para países ricos en recursos como la Argentina. Sin embargo, su aprovechamiento requiere que el sector minero se adapte a las exigencias internacionales y avance sobre los desafíos que pesan sobre su competitividad⁶. En Argentina dichos desafíos incluyen aspectos económicos (impositivos, costos, tipo de cambio, etc.) y de infraestructura (energética, logística, comunicacional, etc.) pero también de política. En este sentido, es necesario superar la política “extractivista” (exportación de commodities) y de generación de economías “de

enclave”⁷ en dirección a una estrategia de desarrollo que fomente las capacidades tecnológicas y productivas locales. Aprovechar la oportunidad implica emplear los minerales como una plataforma para un desarrollo industrial innovador (Roger, 2019) que permita generar proveedores dinámicos⁸ y vínculos intensivos en conocimiento con el entramado productivo local. Dicho camino contribuirá a subsanar algunos de los cuestionamientos estructurales que subyacen a la conflictividad socio-ambiental.

El objetivo de este artículo es brindar un panorama general de la potencialidad de minerales y materias primas críticas disponible en el territorio argentino y de políticas públicas necesarias para su aprovechamiento bajo principios de sostenibilidad. Entre otras cuestiones, esto último implica pasar de una “política minera” orientada fundamentalmente a la exportación de commodities hacia una “política de minerales” enfocada en el manejo integral de los minerales (economía circular) y el desarrollo de la cadena de valor minera.

El artículo se estructura como sigue: luego de la metodología se presenta una visión del potencial de minerales y materiales críticos (recursos primarios y secundarios o reciclables), desafíos, oportunidades y necesidades de investigación asociadas a la potencialidad de generar encadenamientos productivos. En tercer lugar, se presentan sugerencias de políticas públicas para avanzar en la dirección de una producción minera responsable. Finalmente, el artículo se cierra con conclusiones.

DESARROLLO

Metodología y alcance

El enfoque utilizado se basa en una revisión bibliográfica y de resultados de proyectos de investigación desde una perspectiva que entiende a la competitividad de los recursos minerales como un concepto multi-variable. Bajo dicha perspectiva evaluar la competitividad de un yacimiento implica ponderar variables económicas con variables institucionales, sociales y ambientales, incluidas de eficiencia en el uso de los recursos (Reuter, 2005).

La evaluación del potencial de minerales y materias primas críticas se realizó en base a la revisión de los datos e información disponible en resultados de campañas de prospección y exploración publicados en anales del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR). Dicho organismo cuenta con el principal repositorio nacional oficial de datos geológicos y coopera con organismos internacionales en la evaluación del potencial de minerales críticos. Se debe resaltar que los datos disponibles para minerales críticos son producto, en su mayoría (excepto el litio y el uranio), de exploraciones históricas dado que, la inversión en exploración en las últimas décadas se ha destinado a la búsqueda de cobre, oro y plata (Such, 2018). Otra excepción es el elemento indio, descubierto recientemente por investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) mediante una cooperación con empresas mineras (Jovic et al., 2015).

El potencial de los recursos primarios se recopiló en la Tabla N° 1 para 19 materiales y minerales críticos seleccionados a partir de las últimas listas elaboradas por la Comisión Europea (2020, 30 materias primas⁹) y el Departamento del Interior de los EE.UU (2018, 35 minerales¹⁰).

Ambas instituciones clasifican un elemento como “crítico” según su importancia económica y el riesgo de interrupciones en su cadena de abastecimiento. Dicha selección permite mostrar un panorama general, simplificado y no exhaustivo del potencial geológico e implica excluir minerales de importancia para la transición energética que no son clasificados como “críticos” y donde Argentina tiene potencial, como el níquel. La selección se realizó en base a aquellos minerales de mayor potencialidad según información de reservas en el anuario 2020 del Servicio Geológico Norteamericano (USGS, 2020) e información en el inventario de recursos del SEGEMAR (Zappettini, 1999c).

Los usos principales de cada mineral y la principal fuente de aprovisionamiento como recurso secundario (tasa de reciclaje¹¹) que figura en la Tabla N° 1 se extrajeron de la documentación de la Comisión Europea

(European Commission, 2020a, 2020b). La columna “recursos primarios” detalla las provincias donde se localizan los principales yacimientos conocidos y ejemplos, en base a la bibliografía de acceso público, especialmente en base a Gozalvez et al., (2004) para minerales industriales y Zappettini (1999a) para metalíferos. En adición a los 19 minerales mencionados se incluyó también el hidrógeno, el cual, si bien no es considerado un elemento crítico, es de relevancia para impulsar la transición energética.

El análisis de potencialidad de los recursos secundarios se realizó considerando aquellos minerales que pueden ser reciclados, es decir, cuyo uso no es disipativo, como por ejemplo el antimonio. A ello se adicionó una referencia al potencial que existiría en los residuos mineros alojados en minas no operativas. En Argentina no se conoce el potencial de recuperar metales a partir de dichas instalaciones dado que no se los ha considerado una potencial fuente de abastecimiento y no hay registros estandarizados sobre los contenidos.

La revisión de antecedentes históricos de producción por mineral se hizo en base a anales del SEGEMAR (Zappettini, 1999c). Respecto de posibilidades de generar eslabonamientos productivos¹², las sugerencias se basan en la bibliografía disponible la cual incluye informes técnicos y artículos académicos. La recopilación de políticas públicas tiene como base análisis sectoriales realizados por especialistas, recomendaciones en planes nacionales y proyectos de investigación europeos enfocados en minerales críticos, especialmente a partir de recomendaciones del proyecto SCRREEN (<http://scrreen.eu/>).

Una aproximación al potencial minero y de encadenamientos productivos

Materiales primarios (minería)

De los materiales y minerales críticos analizados (véase Tabla N° 1), en Argentina solo se producen dos: boratos (naturales y refinados) y litio (carbonato y cloruro), ambos en la Puna y con producción de relevancia internacional: Argentina se ubica como el tercer productor mundial de litio (Jerez et al., 2017) y entre los seis principales exportadores de boratos (DAPM, 2018). A futuro la producción podría aumentar aún más ya que el país se ubica entre los tres países con mayores reservas y recursos de litio (Jerez et al., 2017; USGS, 2020) y dispone de importantes reservas de boratos.

En el caso de los boratos, específicamente de aquellos que se exportan sin ser procesados, las empresas productoras están orientadas al mercado externo, principalmente a Brasil donde el boro es usado como fertilizante de suelos. El factor limitante para aumentar la producción yace en los costos ya que los productores envían las cargas por camión, lo cual representa un costo de casi el doble en comparación a productores en Bolivia. Ello indica la necesidad de mejorar la infraestructura ferroviaria del lado argentino. Respecto de posibles encadenamientos, a diferencia del litio, los boratos si presentan casos de avance hacia adelante en la cadena de valor con empresas que han sabido ingresar en segmentos de alto valor agregado, como por ejemplo la pyme Agenor en Salta (DAPM, 2018).

TABLA N° 1:
Panorama de materiales y minerales críticos (selección) en Argentina

Material	Usos principales, incluido relevancia para la transición energética	Lista CE (2020)	Lista EE.UU (2018)	Recursos primarios (potencial geológico-minero)		Recursos secundarios
				Provincias con mayor potencial, ejemplos		
Antimonio	Baterías (aleación) para vehículos, retardador de llamas	✓	✓	La Rioja, Jujuy Quebrada de la Cébila, yacimiento Coiruro, Rinconada	Lavandaio (1999a)	Reciclaje de baterías de ácido-plomo
Barita (baritina)	85 % se usa para el sector de petróleo/gas (todo de perforación); en menor medida para pinturas, etc.	✓	✓	Salta, Jujuy, Neuquén, Mendoza Depósitos en la Cordillera Oriental (Salta, Jujuy), Cuenca Neuquina, etc.	Brodtkorb et al. (1999); Gozalvez et al. (2004)	En general no se re-usa ni se recicla
Berilio	Aleación en industrias aeroespacial y de defensa, automotriz y electrónica	✓	✓	San Luis, Catamarca, Córdoba, Tucumán Recursos sub-explorados en pegmatitas	Godeas et al. (1999)	Se recicla de chatarra industrial
Boratos naturales	Vidrio, fertilizante, químicos, imanes neodimio-hierro-boro para molinos eólicos y aislante de fibra de vidrio	✓		Puna (Salta, Jujuy), Catamarca Duros en Tincaleyu, Sijes y Loma Blanca y blandos en Salta, Jujuy y Catamarca	Alonso (1999) DAPM (2018) Gozalvez et al. (2004)	No se reciclan. Tasa de reciclaje es menor al 1%
Cobalto	Super-aleaciones y catalizadores. De importancia para baterías de vehículos eléctricos.	✓	✓	La Rioja, San Luis, Salta y Catamarca Yacimientos King Tut, Las Águilas, la Niquelina-Esperanza, Fiambalá	Bjerg y Sabalúa, (1999); Schamaluk y Brodtkorb (1999)	Recuperable de chatarra industrial y de baterías
Estroncio	Imanes, aleaciones maestras, pigmentos, vidrio, cinc, etc.	✓	✓	Neuquén y Mendoza Depósitos en Cuenca Neuquina, Tábanos, etc.	Brodtkorb et al. (1999b); Gozalvez et al. (2004)	Tasa reciclado menor a 1%
Fluorita (espato flúor)	Ácido fluorhídrico (refrigerante), industria del vidrio, cerámica, metalurgia, acero y hierro	✓	✓	Catamarca, La Rioja, San Juan y otras Yacimientos en Sierras Pampeanas y La Rioja, Cerro Pata de Indio en San Juan	Gozalvez et al. (2004); Zappettini (1999a)	Uso disipativo. Tasa de reciclado menor a 1%
Grafito natural	Producción de acero, electrodos, refractarios, baterías (activo anódico)	✓	✓	La Rioja Depósitos en Villa Unión	Lavandaio (1999b)	Bajo reciclaje (tasa < 3%)
Indio	Oxido de estanfo e indio para pantallas electrónicas, cristal líquido, etc.	✓	✓	Santa Cruz Yacimientos en el Macizo del Deseado	Jovic et al. (2015)	Reciclado de chatarra industrial
Litio	Baterías recargables, agregado en vidrios y cerámicas, etc.	✓	✓	Jujuy, Salta, Catamarca, San Luis, Córdoba Salares en la Puna y pegmatitas en Córdoba y San Luis	DNPM (2019) Jerez et al. (2017)	Solo se recicla el litio de baterías
Metales del grupo platino	Catalizadores, galvanoplastia, pilas (celdas) de combustible y tecnologías del hidrógeno	✓	✓	San Luis Yacimiento polimetálico Las Águilas	Bjerg y Sabalúa (1999)	Se recicla de catalizadores de vehículos
Niobio	90 % se usa para aceros de alta resistencia, imanes superconductores, etc.	✓	✓	Salta Distrito El Quemado	Gallisky y de Upton (1993)	Bajo reciclaje
Potasio	Fertilizante y otros usos industriales diversificados		✓	Neuquén, Mendoza, Puna Cuenca potásica huitiriniana y Mendoza	Gabriele (1999) Jérez et al. (2019)	No se recicla
Tantalio	Capacitadores, superaleaciones, robótica, inteligencia artificial, etc.	✓	✓	Salta y San Luis Distrito El Quemado y la Estanzuela	Gallisky (1999)	Reciclable, baja tasa de reciclado
Tierras raras	Catalizadores, vidrio, imanes, medicina, etc.	✓	✓	San Luis, Jujuy, Salta y S. del Estero Rodeo de los Molles, Puna y Cord. Oriental, Jasimampa, Rangel	Lira et al. (1999) Zappettini (1999b)	Se recicla itrio y europio
Titanio	Pigmentos, polímeros, usos aeroespaciales, medicina, etc.	✓	✓	Catamarca, Buenos Aires Cerro Cascabel y C. Rico, arenas del litoral	Schamaluk y Curci (1999)	Tasa de reciclado del 19 %
Tungsteno (wolframio)	Carburos cementados, aleaciones para herramientas duras	✓	✓	San Luis, Córdoba, La Rioja, Jujuy, etc. Tusaquillas (Jujuy), Ambul y Santa Rosa (Córdoba), Sierra Velasco (La Rioja), etc.	Brodtkorb y Ortiz Suarez (1999)	Tasa de reciclado cerca del 40 %
Uranio	95 % se utiliza para combustible en reactores nucleares		✓	Chubut, Salta Mendoza, Río Negro Proyectos varios avanzados	DNPM (2019) Such et al. (2016)	Baja recicabilidad
Vanadio	Aleaciones, aceros especiales	✓	✓	Córdoba, Neuquén, Río Negro El Guaico, Tordillo, Amarillo Grande	Candiani (1999)	Reciclabilidad media

Fuente: Elaboración Propia en base a la Comisión Europea (CE), el Departamento de Interior de EE.UU, Panorama Minero (2020) y las fuentes citadas.

En referencia al litio, en los últimos años y vinculado a las proyecciones de una creciente demanda futura de baterías para vehículos eléctricos, el metal se ha convertido en uno de los principales receptores de la inversión exploratoria en Argentina (Such, 2018). Si bien algunas provincias como Jujuy lo han declarado un recurso natural “estratégico”, el Código de Minería (ley 1919/1886) lo considera un mineral ordinario factible de ser entregado en concesión a privados sin exigir condiciones especiales, por ejemplo, respecto de transferencia tecnológica y/o agregado de valor. Bajo dicho marco legal el litio es extraído por empresas multinacionales

que lo exportan como commodity y mantienen vínculos con el entramado productivo local poco intensivos en conocimiento (Marín et al., 2015).

En el contexto actual las reservas de litio aún representan una oportunidad especial para vincular el sistema científico con el productivo y superar la política exportadora de commodities que lo caracteriza. Dicha oportunidad ha sido manifestada por el Foro Interuniversitario de Especialistas en Litio, el cual constituye la principal red federal de científicos expertos en litio en Argentina. Según un comunicado reciente del Foro13, su objetivo es fomentar el agregado de valor en la cadena del litio tanto “aguas abajo” (producción de derivados de litio, fabricación de baterías) como “aguas arriba” (desarrollo de proveedores para exploración y procesamiento, por ejemplo, mediante la co-producción).

Actualmente desde el gobierno nacional existe un renovado impulso a avanzar “aguas abajo” en la cadena de valor del litio mediante acuerdos estratégicos con China (Once Diario, 2021a), el proyecto de ley de promoción a la Movilidad Sustentable y la inclusión de la minería como objetivo social de la empresa Integración Energética Argentina S.A. Si bien el fomento de encadenamientos “aguas abajo” ha sido un objetivo tradicional de políticas desarrollistas desde antaño, en el caso del litio, estudios recientes han demostrado que en Argentina la promoción de eslabonamientos hacia atrás (o “aguas arriba”) tiene mayor potencial y enfrenta obstáculos menos importantes que la búsqueda de encadenamientos hacia adelante (López et al., 2019; Obaya et al., 2020; Obaya y Pascuini, 2020). Entre dichos obstáculos figuran la necesidad de planificación, de acumulación de experiencia y capital, de fortalecimiento de las capacidades estatales, de vinculación de la trama productiva con el sistema nacional de innovación, entre otros (Roger et al., 2017).

A su vez la extracción de litio en Argentina conlleva importantes desafíos sociales y ambientales como son la implementación adecuada de la consulta previa, libre e informada a comunidades indígenas¹⁴ (Gómez, 2019) y de los impactos en el balance hídrico regional y en los humedales conectados hidrológicamente con los salares (Sticco et al., 2019). Dichos aspectos requieren mayor investigación (Mignaqui, 2019) y representan áreas clave para una mayor vinculación entre el sistema científico y el productivo. Al igual que la huella hídrica, la huella de carbono resulta relevante para la competitividad del litio. Las empresas automotrices exigen la reducción de la huella de carbono y priorizan las empresas que lo demuestran. Un ejemplo reciente en Catamarca es el caso de la empresa BMW la cual eligió como proveedora de litio a Livent debido a que su producción litífera genera un 25 % de gases de efecto invernadero menor que otros métodos de producción (Once Diario, 2021b).

Otros minerales críticos de importancia son el antimonio, la baritina, la celestina (principal fuente del estroncio), la fluorita, los metales del grupo platino y el grafito natural. Para los tres primeros existen antecedentes históricos de producción en operaciones mineras a cielo abierto y laboreos subterráneos. La baritina se ha extraído en el pasado en las provincias de Jujuy, Mendoza y Neuquén mientras que la celestina es exclusiva del ámbito de la Cuenca Neuquina (Lavandaio y Catalano, 2004). La fluorita se presenta en yacimientos ampliamente distribuidos en el territorio nacional. En el pasado hubo minería de fluorita en Catamarca, Córdoba, San Juan, Mendoza, Río Negro y Chubut. El antimonio, los metales del grupo platino y el grafito natural no han sido objeto de esfuerzos de exploración recientes ni explotaciones de relevancia. A su vez hay un déficit de estudios que permita comprender qué medidas son necesarias para que su extracción sea económicamente posible y cuál es su potencial en términos de poder sustituir importaciones y generar encadenamientos productivos locales.

Con respecto al tantalio y el tungsteno, existen antecedentes históricos de producción de tantalio (y columbio) para uso siderúrgico en San Luis y Córdoba, aunque de mayor importancia fueron las explotaciones de tungsteno (wolframio) en las provincias de La Rioja, Catamarca, Córdoba, San Juan, Mendoza y San Luis. A diferencia de dichos minerales, no se conocen datos históricos de extracción ni de titanio ni de niobio (Lavandaio y Catalano, 2004). El tungsteno es la materia prima crítica de mayor importancia económica según la última evaluación de materias primas críticas de la Comisión Europea y, al igual que el tantalio y el titanio, se prevé continúe aumentando su demanda.

Otros metales críticos en la Tabla N° 1 de gran importancia, pero con escaso conocimiento de su potencial geológico-minero son el grupo de los metales producidos como sub-productos, los cuales incluyen al berilio, cobalto, indio y las tierras raras. Dichos metales se producen en minas en forma de sub-productos de metales principales¹⁵ como cobre, plomo y cinc, níquel, hierro, manganeso, cromo, etc. Los subproductos no son el principal móvil de un proyecto minero, sino que se producen como un adicional de acuerdo a las posibilidades del diagrama de proceso y de recuperación metalúrgica de cada mina. Como antecedentes históricos en Argentina figura la producción de berilo en la mina Las Tapias (Córdoba) y de cobalto en la faena King Tut (La Rioja), sin que se conozca producción de tierras raras en el país. Respecto del mineral indio, el cual se obtiene como subproducto del cinc, se encuentra escasamente estudiado desde el punto de vista genético y minero. Su descubrimiento es reciente y se ha dado en depósitos polimetálicos epitermales en el Macizo del Deseado (por ej. en el proyecto Pingüino). Ello indica que aún existe un gran potencial en otros depósitos de la Patagonia con características similares que no han sido analizados geoquímicamente por indio o no se han utilizado los procedimientos analíticos necesarios para determinar su presencia (Jovic et al., 2015).

El uranio es otro mineral considerado crítico ya que la energía nuclear, si bien no puede ser considerada una “energía limpia”¹⁶, genera muy bajas emisiones de gases de efecto invernadero. A su vez existen proyectos de uranio que pueden generar minerales críticos como subproductos, por ejemplo, tierras raras o vanadio (véase proyecto Amarillo Grande). En Argentina no se extrae uranio para producir concentrado desde 1997 y, desde entonces, las tres centrales nucleares funcionan con materia prima importada (Such et al., 2016). La potencial reactivación de yacimientos uraníferos en Mendoza o Chubut tiene potencial de sustituir importaciones de productos de uranio necesarios para todas las actividades de producción, investigación y desarrollo de tecnología nuclear. Dicho potencial se encuentra restringido por varios factores. A nivel político, si bien el gobierno actual está impulsando la energía nuclear mediante acuerdos con China¹⁷, en ejercicios realizados en el marco de la Plataforma “Escenarios Energéticos Argentina 2040”¹⁸ (en la cual participaron múltiples actores, incluidos gubernamentales), la generación nuclear fue en general poco incorporada por la mayoría de los escenaristas (Beljansky et al., 2018). Desde un punto de vista social, la reactivación de yacimientos uraníferos en Mendoza o La Rioja debería confrontar con la oposición de parte de movimientos sociales. Dichos movimientos rechazan la minería del uranio debido al riesgo de generar contaminación durante la operación y/o luego del cierre de mina, una percepción influenciada, entre otros factores, por la existencia de pasivos ambientales mineros en viejas minas de uranio (Brúculo, 2019; Wagner, 2008).

El potasio, el cual se utiliza en un 90 % como fertilizante, presenta un elevado potencial ya que el consumo global se encuentra en aumento y se espera que la demanda se incremente impulsada por una mayor necesidad de fertilizantes para la producción de alimentos. Argentina presenta un elevado potencial en los salares del Altiplano-Puna y en los depósitos de la Cuenca Huitríniana, los cuales conforman la cuenca potásica más importante de Latinoamérica y una de las más extensas del mundo. En Argentina la demanda actual de potasio para fertilización de suelos es baja lo cual desincentiva su extracción para el abono de suelos. Empero, toda la producción local de fertilizantes potásicos se realiza con potasio importado y prácticamente todo el consumo doméstico proviene de importaciones. Estas características del mercado argentino indican la posibilidad de que la producción nacional pueda destinarse a sustituir potasio para la producción de fertilizantes y para su exportación.

Sin embargo, dicho potencial se encuentra restringido por la necesidad de mejorar la logística del transporte desde los yacimientos hasta los centros de consumo, dado que los precios actuales no compensan los costos de producción ni el recupero de la inversión (Jérez et al., 2019). En el caso del yacimiento Potasio Río Colorado (en adelante PRC), actualmente está en discusión un proyecto de corredor ferroviario denominado “tren Norpatagónico” el cual conectaría el puerto de Bahía Blanca con el yacimiento de Vaca Muerta y podría servir para exportar el potasio de dicho proyecto. Si bien las obras de adecuación de infraestructura ferroviaria y compra de maquinarias para el proyecto PRC abren una oportunidad para los

proveedores locales, incluida la industria ferroviaria, ello requiere de políticas activas para evitar que los insumos sean importados utilizando los beneficios previstos en la ley 24.196/93 (Fabrizio, 2010).

Otro gran desafío en torno a los yacimientos de potasio, por ejemplo, en Mendoza, ha sido el de la licencia social para proyectos grandes como PRC. En este caso la oposición social se debe principalmente al temor a la salinización del río Colorado causada por los residuos (colas de sal) que deja la extracción del potasio en el área de la mina, en una zona árida donde el agua tiene un valor estratégico (Wagner y Giraud, 2011). Una posible solución a dicho riesgo podría provenir del uso de nuevas tecnologías, como por ejemplo de la empresa canadiense Gensource Potash para el proyecto Tugaske, la cual ha desarrollado un método extractivo que no produce colas de sal como residuos ni emplea piletas en superficie para procesar la salmuera (Ruiz Leotaud, 2020).

Por último, es necesario mencionar el hidrógeno, un combustible limpio con gran potencial en Argentina para la producción de hidrógeno gris (a partir de petróleo y carbón), azul (a partir de gas natural, actualmente la opción más barata) y verde a partir de energías renovables intermitentes (eólica, solar). La tecnología de producción y almacenamiento de hidrógeno está bajo investigación en Argentina desde la década de 1970 y se han logrado hitos como la planta experimental en Pico Truncado, la planta piloto en la Antártida y la planta piloto de hidrógeno electrolítico de la empresa Hychico en Chubut, la cual produce hidrógeno verde a partir de la energía que genera el parque eólico Diadema (Bolcich, 2018). Con respecto al almacenamiento, se pueden mencionar la experimentación de la empresa Hychico con el modo subterráneo y avances en el desarrollo de pilas de combustible (Serquis, 2020). Asimismo, es destacable el lanzamiento en 2020 del consorcio H2ar, liderado por la empresa Y-TEC. Si bien en Argentina la tecnología está aún en una fase muy inicial y no cuenta con involucramiento del sector minero, a nivel global dicho sector trabaja de manera asociativa para acelerar desarrollos en equipos mineros (Mitchell, 2020). En Chile el Ministerio de Energía identificó que el sector minero podría beneficiarse de la producción de hidrógeno verde en proyectos de cobre y emplearlo para uso combinado en motores de combustión dual, celdas de combustible para transporte de pasajeros y sistemas de respaldo energético (Vásquez y Salinas, 2019). A diferencia de Chile, en Argentina aún el sector minero no cuenta con experiencias ni con evaluaciones de potencial similares.

Materiales secundarios (reciclaje, re-uso)

Al realizar una aproximación al potencial de minerales críticos que podrían recuperarse de fuentes secundarias se debe, en primer lugar, señalar la falta de datos al respecto. Ello es producto de la ausencia de un sistema estadístico que genere y publique datos sobre las características de los residuos sólidos que ingresan a circuitos de disposición final (y de aquellos que no ingresan). Si bien existen jurisdicciones como la Ciudad Autónoma de Buenos Aires o Mendoza que cuantifican la generación de residuos sólidos urbanos de relevancia en términos de minerales críticos, como por ejemplo los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (en adelante RAEE), no existe un sistema estadístico federal para conocer el volumen generado, recolectado e ingresado a circuitos formales de reciclaje.

En segundo lugar, es necesario resaltar que si bien existen jurisdicciones que han sancionado leyes para la gestión integral de residuos sólidos urbanos, conocidas informalmente como "leyes de basura cero" (Ciudad Autónoma de Buenos Aires, La Plata, Rosario, etc.), avanzar hacia ciclos más cerrados de manejo de los residuos es aún muy incipiente. Según un estudio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, un 42 % de los municipios del país cuenta con plantas de separación de residuos sólidos, pero solo el 8,3 % tiene la planta operativa (Telam, 2017). En Buenos Aires solo se recupera el 6 % de los residuos que se producen (Rocha, 2017).

Considerando dichas limitaciones, se puede señalar que existe un potencial desconocido de minerales críticos plausibles de ser recuperados en los RAEE. Dado que no existen en Argentina empresas con la tecnología para recuperar minerales críticos, hay otras que se dedican al acopio y envío a plantas recuperadoras

en Europa, como por ejemplo el Grupo Pelco. Sin embargo, más allá de los RAEE, también existe potencialidad de reciclado de antimonio y cobalto (baterías agotadas), metales del grupo platino (asociados al reciclaje de vehículos automotores, sus baterías de ácido plomo y catalizadores), tungsteno y vanadio (aceros). Respecto de las baterías de plomo-ácido, en Argentina se estima que se descartan anualmente 4,5 millones las cuales podrían ingresar al circuito formal de reciclaje con el fin de reciclar sus componentes, siendo el plomo el metal de mayor interés. Sin embargo, no se conoce el porcentaje de baterías que ingresa al circuito formal (SAyDS y MPyT, 2018). Más allá de eso, de aquellas que, si ingresan, solo se recicla el plomo y los plásticos, sin recuperarse metales críticos como el antimonio o el cobalto. Esto se debe a que en general el modelo de negocios de las empresas y el marco normativo, diseñado desde una perspectiva lineal (“de la cuna a la tumba”), priorizan la perspectiva de los residuos peligrosos bajo la Convención de Basilea y su adecuada disposición final.

En referencia al tungsteno, éste tiene gran potencial de ser recuperado a partir de la valorización del carburo de tungsteno contenido en los conos de trépanos que se utilizan para la industria petrolera y minera, en catalizadores y cintas transportadoras. El tungsteno contenido en dichos residuos goza de un elevado valor económico al estar más concentrado que en el mineral que extrae la minería. Si bien el tungsteno no aparece priorizado en los planes nacionales de economía circular, como por ejemplo en el Plan de Acción Nacional de Industria y Cambio Climático, el mismo ha cobrado protagonismo en las mesas de economía circular que implementa el Ministerio de Desarrollo Productivo.

Otro potencial polimetálico aún desconocido se encuentra en los residuos de viejas operaciones mineras. Usualmente la perspectiva que ha primado respecto de los residuos mineros ha sido la de la seguridad ambiental, es decir, de priorizar el cierre, la seguridad y la estabilidad físico-química de los sitios mineros. A pesar de ello, en Argentina hay numerosos casos de operaciones mineras que fueron cerradas de modo inadecuado y se convirtieron en un pasivo ambiental minero como fueron los casos de Abra Pampa en Jujuy (hoy día remediado) o San Antonio Oeste en Río Negro (parcialmente remediado). Sin embargo, además de la dimensión ambiental, las autoridades mineras deben considerar la posibilidad de recuperar metales valiosos. Un ejemplo en Argentina es el proyecto Mina Martha (Santa Cruz) donde se obtuvieron metales preciosos mediante el retratamiento de los residuos almacenados en el dique de colas. Un primer paso en dicha dirección es evaluar el potencial en viejas instalaciones mineras, lo cual supone realizar una caracterización mineralógica y geoquímica del contenido y del volumen de los recursos históricos alojados en escombreras y diques de cola. Dicha caracterización debiera seguir una metodología estándar de modo similar a la cubicación de recursos y reservas en yacimientos primarios, lo cual permitiría cuantificar los materiales contenidos y valorizables, incluidos los minerales críticos.

Otro paso necesario es que tanto las autoridades a cargo de los inventarios como también aquellos organismos técnicos de apoyo estén al tanto de las últimas tecnologías disponibles y en desarrollo (emergentes) para la revalorización de los residuos mineros. Por ejemplo, en relación a pasivos de minería de uranio, existen nuevas investigaciones que abren posibles caminos para la recuperación de niobio, titanio y tantalio a partir de las colas de la producción de uranio (Mendez et al., 2018). Un estudio reciente en el Reino Unido descubrió la posibilidad de tratar el uranio empobrecido (residuo) como catalizador para convertir etileno en etano. Ello abre la posibilidad de utilizar los productos químicos resultantes del proceso para la generación de energía (Tsoureas et al., 2020).

Políticas para impulsar el aprovechamiento integral de los materiales críticos bajo principios de sostenibilidad

En Argentina avanzar en la agenda de un uso más eficiente de los materiales críticos implica un aprovechamiento integral de los yacimientos primarios y secundarios para lo cual se deben enfrentar

desafíos legislativos, de política, económicos y socio-culturales. A continuación, se describen sugerencias y recomendaciones de políticas para superarlos.

En primer lugar, a nivel de autoridades mineras es necesario impulsar la modernización de las políticas mineras (nacionales y provinciales) en base a las tendencias internacionales comenzando por su alineamiento con la agenda de los ODS. Ello implica, en el marco de la Planificación Estratégica de la Secretaría de Minería de la Nación (Res. 47/2020), avanzar con prioridades como la descarbonización de la matriz energética, mejorar la calidad de los procesos de consulta y promover el desarrollo de proveedores en sectores estratégicos como el de las energías renovables, software y certificación, por ejemplo, de la huella de carbono e hídrica (de especial relevancia para la minería del litio).

En segundo lugar, es imperativo mejorar el conocimiento de los materiales disponibles y su visibilidad para potenciales inversores. Respecto de los recursos primarios, es fundamental avanzar con incentivos fiscales para potenciar la exploración avanzada de minerales críticos, por ejemplo, dentro de los beneficios que brinda la ley 24.196/93 o mediante incentivos especiales, por ejemplo, a semejanza de las acciones de transacción en Canadá (Murguía, 2019). Asimismo, es necesario fomentar más la cooperación y complementación del sector privado con el sistema de ciencia y tecnología con el objetivo de establecer sinergias en la exploración de minerales críticos, a ejemplo de los descubrimientos del mineral indio en el Macizo del Deseado. También es necesario mejorar la calidad de la información pre-competitiva (base de datos geo-espacial con resultados de exploración) con énfasis en los minerales críticos. Respecto de los recursos secundarios, es necesario trabajar en acuerdos entre las autoridades para la creación de sistemas estadísticos que permitan generar datos e indicadores sobre la cantidad de residuos que se generan (por ej. a nivel municipal) y su potencial de recuperación de minerales críticos.

En relación a los residuos mineros, sería deseable que los proyectos existentes de inventariado de pasivos ambientales mineros incluyan métodos estandarizados para muestreo analítico del potencial de recuperación de elementos críticos. Para ello existe potencial de sinergias y colaboración entre las autoridades mineras e investigadores del sistema nacional de ciencia y tecnología, nacionales y extranjeros. Por ejemplo, se podría cooperar con el Centro de Excelencia Internacional SMI-ICE-Chile, el cual realizó en 2019 un primer taller para avanzar en la elaboración de una metodología confiable, rápida y de bajo costo para caracterizar residuos mineros. En Chile también es relevante el Consorcio JRI-Ecometales el cual publicó un manual para reprocesamiento de colas mineras. En España un ejemplo de valorización y recuperación de residuos mineros es el de la mina Penouta de cuyas colas y escombreras se recupera tántalo y niobio (Blengini et al., 2019).

En tercer lugar, es necesario jerarquizar la cuestión de la eficiencia y transitar desde una perspectiva enfocada en los minerales primarios ("la política minera") hacia un aprovechamiento integral de los materiales ("políticas de minerales"). Para ello el sistema científico nacional tiene un rol que cumplir como socio del sector corporativo para fomentar la co-producción en yacimientos primarios y/o en la creación de procesos industriales innovadores para recuperar minerales críticos, por ejemplo, para recuperar antimonio y cobalto de baterías de plomo-ácido agotadas. En Europa el proyecto de investigación "NUOVOPb"19 logró separar materiales en baterías de plomo-ácido agotadas y recuperarlos mediante un proceso de reciclaje hidrometalúrgico. Dicho proceso permite producir óxido de plomo con un coste inicial de una séptima parte de los métodos de reciclaje existentes.

En cuarto lugar, se sugiere modernizar ("circularizar") no solo las políticas sino también los marcos normativos que regulan los sistemas de producción los cuales han sido forjados bajo perspectivas lineales y usualmente no consideran a los residuos como potenciales materias primas. Ello es necesario para regular el manejo de sustancias que las autoridades ambientales consideran de alta peligrosidad por su toxicidad (por ej. cromo, berilio) las cuales son valoradas por las industrias electrónicas y digitales (Fernández Protomastro, 2013). Para poder avanzar con el reciclaje, un primer paso es mejorar la eficiencia de la recolección mediante incentivos a los usuarios finales para la separación en origen, la formalización de los trabajadores del sector y la introducción de la responsabilidad extendida del productor en el marco legal. Otro paso importante

para dinamizar la recuperación de plomo de baterías de plomo-ácido es la reforma a la ley de residuos peligrosos 24.051/91 para habilitar la recuperación de corrientes de residuos junto a un aumento de canales de distribución formales y mayor transparencia en el mercado (SAyDS y MPyT, 2018).

En quinto lugar, la recuperación de metales secundarios (tanto críticos como no críticos, por ejemplo, de oro a partir de los RAEE) requiere de construcción de capacidades tecnológicas y desarrollo de nuevos procesos adaptados a las condiciones de contexto de las empresas locales. También son necesarios mecanismos de compensación económica para las empresas que se dedican al reciclaje con el fin de que puedan tener previsibilidad y estabilidad de ingresos, especialmente en los ciclos de bajos precios de los metales.

En sexto lugar, es fundamental la capacitación de los diferentes actores en la cadena de valor en torno a oportunidades respecto de minerales críticos. Dichas capacitaciones deben estar complementadas por procesos de vinculación y transferencia de conocimientos sobre tecnologías existentes y en desarrollo entre autoridades mineras, empresas mineras, proveedores y el sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación. Este último, junto a los sistemas provinciales, podría buscar una mayor alineación de las agendas de investigación con las necesidades de las autoridades mineras y ambientales y jerarquizar los minerales críticos en los temas estratégicos de organismos como el CONICET. A su vez es recomendable que los planes nacionales que incluyen a la economía circular, por ejemplo, el Plan de Acción Nacional de Industria y Cambio Climático, hagan mención a las oportunidades en torno a la extracción y/o recuperación de minerales críticos, como por ejemplo el cobalto.

Por último, respecto del tema desarrollo de proveedores y cadena de valor, estudios recientes han detectado un escaso nivel de cooperación entre instituciones públicas de investigación (especialmente universidades), empresas y autoridades mineras (Marín et al., 2020). Ello indica la necesidad de buscar una articulación de alto nivel para impulsar líneas de investigación focalizadas en la cadena de valor minera, donde se investigue cuáles son los segmentos con mayores posibilidades para el ingreso de proveedores nacionales, especialmente en consideración de oportunidades vinculadas a minerales críticos.

CONCLUSIONES

La identificación de minerales como “críticos” por diferentes organismos internacionales jerarquiza su importancia de mercado y abre oportunidades para países ricos en recursos. Si bien se presume gran potencial, el Estado argentino no dispone aún de un sistema federal de datos actualizados y estandarizados que permita conocer el potencial de minerales críticos contenidos y valorizables en recursos primarios y secundarios. A su vez, Argentina tampoco ha desarrollado una política o estrategia de aprovechamiento específica para este tipo de materiales.

El aprovechamiento integral de los minerales críticos (y no críticos) bajo principios de sostenibilidad requiere que las autoridades nacionales y provinciales coordinen acciones para impulsar no solo políticas sino también procesos de diálogo multi-actorales de calidad. Dichos espacios debieran ser útiles para el intercambio de oportunidades de negocio y de capacitación, pero también para el intercambio de datos, informaciones y argumentos entre actores con posiciones heterogéneas sobre qué hacer con los recursos minerales. A su vez debieran permitir generar estrategias consensuadas para el uso de los recursos naturales como plataforma para la innovación y el desarrollo industrial basado en las capacidades científicas y tecnológicas domésticas. La competitividad de los minerales críticos depende no solo de la rentabilidad de futuros proyectos sino también de un cambio estructural en cómo se gestionan los recursos, para qué se los extrae y de cómo y quiénes participan en los procesos de toma de decisiones.

RESUMEN BIBLIOGRÁFICO

Diego Murguía

Dr. en Ingeniería Ambiental (Universidad de Kassel) y MSc. en Manejo Sostenible de Recursos (Universidad Técnica de Múnich). Investigador Asistente del CONICET, Instituto Interdisciplinario de Economía Política, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Miembro del Consejo Académico de la Maestría en Gestión del Negocio Minero de la Universidad Católica de Cuyo (San Juan) y miembro del Panel Interdisciplinario de Expertos de la Cámara Argentina de Empresas Mineras.

REFERENCIAS

1. Ali, S. H., Giurco, D., Arndt, N., Nickless, E., Brown, G., Demetriades, A., Yakovleva, N. (2017). Mineral supply for sustainable development requires resource governance. *Nature*, 543(7645), 367-372.
2. Alonso, R. N. (1999). Boratos terciarios de la Puna, Jujuy, Salta, Catamarca. En E. O. Zappettini (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35* (pp. 1779-1826). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
3. Alta Ley. (2019). 2019. Hoja de Ruta 2.0 de la Minería Chilena. Actualización y consensos para una mirada renovada. Santiago, Chile.
4. ANUMA. (2019). Resolución aprobada por la Asamblea de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente el 15 de marzo de 2019. 4/19 la gobernanza de los recursos minerales. (UNEP/EA.4/Res.19; p. 3). Nairobi, Kenia.
5. Bache, I., y Flinders, M. (2004). *Multi-level Governance*. Oxford University Press.
6. Beljansky, M., Katz, L., Alberio, P., y Barbarán, G. (2018). *Plataforma Escenarios Energéticos Argentina 2040. Coincidencias y divergencias sobre el futuro de la energía en Argentina*. Sec. Energía, Fund. Avina, CEARE, ITBA, PNUD, BID.
7. Bjerg, E. A., y Sabalúa, J. C. (1999). Yacimiento de níquel, cobalto y cobre Las Águilas Este y Oeste, San Luis. En E. O. Zappettini (Ed.), *Recursos Minerales de la Rep. Argentina: Anales N° 35* (pp. 309-316). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
8. Blengini, G. A., Mathieu, F., Mancini, L., Nyberg, M., Viegas, H.M., Salminen, J.,.... Calleja, I. (2019). Recovery of critical and other raw materials from mining waste and landfills: State of play on existing practices. Luxemburgo, Unión Europea.
9. Bolcich, J. C. (2018). Hidrógeno y energías renovables: Antecedentes y perspectivas en Argentina. *Ciencia e Investigación*, 68(2), 41-68.
10. Brodkorb, M. K. de, de Barrio, R., del Blanco, M., y Etcheverry, R. O. (1999). Geología de los depósitos de baritina, celestina, yeso y halita de la Cuenca Neuquina, Neuquén y Mendoza. En E. O. Zappettini (Ed.), *Recursos Minerales de la Rep. Argentina: Anales N° 35* (pp. 1041-1046). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
11. Brodkorb, M. K. de, y Ortiz Suarez, A. (1999). Ambiente geológico de formación de los yacimientos de wolframio de San Luis. En E. O. Zappettini (Ed.), *Recursos Minerales de la Rep. Argentina: Anales N° 35* (pp. 227-231). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
12. Brúculo, C. R. (2019). Conflictos socioambientales mineros en provincias argentinas. La resistencia al uranio en la ciudad de La Rioja. *Ágora UNLaR*, 4(10), 40-56.
13. Candiani, J. C. (1999). Distrito polimetálico el Guaico, Córdoba. En E. O. Zappettini y R. J. Sureda (Eds.), *Recursos Minerales de la Rep. Argentina: Anales N° 35* (pp. 661-670). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
14. DAPM. (2018). Panorama de mercado de rocas y minerales industriales - Boratos. Buenos Aires, Argentina: Dirección de Asistencia al Productor Minero, Subsecretaría de Desarrollo Minero, Ministerio de Energía y Minería.

- 15.DNPM. (2019). Cartera de proyectos mineros metalíferos, litio y uranio. Buenos Aires, Argentina: Dir. Nacional de Promoción de la Minería, Secretaría de Política Minera.
- 16.European Commission. (2020a). Study on the EU's list of critical raw materials (2020). Factsheets on Critical Raw Materials. Luxemburgo: Comisión Europea.
- 17.European Commission. (2020b). Study on the EU's list of critical raw materials (2020). Factsheets on Non-critical Raw Materials. Luxemburgo: Comisión Europea.
- 18.Fabrizio, R. (2010). En defensa del desarrollo minero. Industrializar Argentina, 8(13), 6-10.
- 19.Fernández Protomastro, G. (2013). Minería urbana y la gestión de los residuos electrónicos. Buenos Aires: Grupo Uno.
- 20.Gabriele, N. A. (1999). Cuenca potásica huitríniana, Neuquén. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35 (pp. 1083-1089). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 21.Gallisky, M. (1999). Distrito pegmatítico El Quemado, Salta. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35 (pp. 347-350). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 22.Gallisky, M., y de Upton, I. L. (1993). Composición y propiedades de minerales de niobio y tantalio de las pegmatitas graníticas de El Quemado. Asociación Geológica Argentina, 47(3), 323-331
- 23.Godeas, M., Cardó, R., Carrizo, R., Cruz Zuloeta, G., Gonzalez, R., Korzeniewski, L., ... Zubia, M. (1999). Inventario de yacimientos y manifestaciones de minerales metalíferos e industriales de la República Argentina. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35 (pp. 1015-1020). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 24.Gómez, L. (2019). La otra cara del litio: El agua y el derecho a la consulta. En Informe Ambiental Anual 2019 (pp. 260-268). Buenos Aires, Argentina: FARN.
- 25.Gozalvez, M., Herrmann, C., y Zappettini, E. O. (2004). Minerales Industriales de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina: Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino.
- 26.Hund, K., La Porta, D., Fabregas, T. P., Laing, T., y Drexhage, J. (2020). Minerals for Climate Action: Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. Washington D.C.: World Bank.
- 27.Jérez, D., Delbuono, V., Such, A. T., Del Mármol, G., Rajzman, N., Solsona, N., ... Torres Duggan, Ma. (2019). Informe Especial Potasio. Noviembre 2019. Buenos Aires: Dirección Nacional de Promoción de la Minería, Subsecretaría de Desarrollo Minero.
- 28.Jerez, D., Lazarte, H., Delbuono, V., Such, T., y Toledo, E. (2017). El litio: Una oportunidad. Estado de situación. Perspectivas. Buenos Aires: Subsecretaría de Desarrollo Minero.
- 29.Jovic, S. M., Lopez, L., Guido, D. M., Redigonda, J. I., Paéz, G. N., Ruiz, R., y Permuy Vidal, C. (2015). Presencia de indio en sistemas epitermales polimetálicos de Patagonia. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 72(3), 433-437.
- 30.Lavandaio, E. (1999a). Depósitos de antimonio de la quebrada de La Cébila, La Rioja. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la Rep. Argentina: Anales N° 35 (pp. 337-343). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 31.Lavandaio, E. (1999b). Depósitos de grafito de Villa Unión, La Rioja. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35 (pp. 155-162). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 32.Lavandaio, E., y Catalano, E. (2004). Historia de la minería argentina. Tomo 2. (No. 40). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR.
- 33.Lira, R., N. Viñas, E. Ripley, y M. Barbieri. (1999). El yacimiento de tierras raras, torio y uranio Rodeo de los Molles. En E. O. Zappettini, (Ed.), Recursos Minerales de la Rep. Arg.: Anales N°35 (pp. 987-997). Buenos Aires: Inst. de Geol. y Recursos Minerales.
- 34.López, A., Obaya, M., Pascuini, P., y Ramos, A. (2019). Litio en la Argentina: Oportunidades y desafíos para el desarrollo de la cadena de valor. Buenos Aires, Argentina: BID.

- 35.Marín, A., Obaya, M., y del Castillo, M. (2015). Industrias Extractivas Siglo XXI, desafíos y posibilidades de transformación: los casos del litio en Argentina y el cobre en Chile. Montevideo, Uruguay: Red Sudamericana de Economía Aplicada/Red Sur.
- 36.Marín, A., Stubrin, L., Murguía, D., Carreras, E., y Palacín, R. (2020). Innovation and Competitiveness in Mining Value Chains: The case of Argentina. Buenos Aires, Argentina: BID-CENIT/UNSAM.
- 37.Mendez, L., dos Reis, P. M., Zago, M., Reimondez, M., Di Nardo, N., Samames, R., y Risposi, S. (2018). Estudio de factibilidad de recuperación de niobio, titanio y tantalio a partir de colas de la producción de uranio por lixiviación de betafita. Revista Rumbos Tecnológicos, 10, 17-31.
- 38.Mignaqui, V. (2019). Puna, litio y agua. Estimaciones preliminares para reflexionar sobre el impacto en el recurso hídrico. Segunda época, 36, 37-55.
- 39.Mitchell, M. (2020). Mining's Green Hydrogen Consortium. Tackling hydrogen's cost riddle. Energy and Mines, 22, 16-27.
- 40.Murguia, D. (2019). La competitividad del sector minero metalífero argentino en perspectiva: una comparación con Australia y Canadá. Cuyonomics, 2(3), 48-79.
- 41.Obaya, M., López, A., y Pasquini, P. (2020). Curb your enthusiasm. Challenges to the development of lithium-based linkages in Argentina. Resources Policy, in press.
- 42.Obaya, M., y Pasquini, P. (2020). Estudio comparativo de los modos de gobernanza del litio en la Argentina, Chile y el Estado Plurinacional de Bolivia. En M. León, C. Muñoz, y J. Sánchez (Eds.), La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos (pp. 17-85). Santiago: CEPAL.
- 43.OECD. (2019). Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences. Paris: OCDE.
- 44.Once Diario. (2021a). Avanzan negociaciones con China por la producción de baterías de litio y vehículos eléctricos. Once Diario Minero. 2 de marzo.
- 45.Once Diario. (2021b). Destacan el apoyo técnico de la Secretaría de Minería al acuerdo de provisión de litio al Grupo BMW. Once Diario Minero. 2 de marzo.
- 46.Panorama Minero. (2020). Conocer la potencialidad geológica de los elementos críticos es uno de los desafíos que tiene el Estado y la industria. Panorama Minero, 487, 46-49.
- 47.Reuter, M. A. (2005). The metrics of material and metal ecology: Harmonizing the resource, technology and environmental cycles. Amsterdam; London: Elsevier.
- 48.RMF, y CSSI. (2020). La minería y los ODS. Actualización de la situación en 2020. Responsible Mining Foundation y Columbia Center on Sustainable Investment.
- 49.Rocha, L. (2017). Reciclado: sólo se recupera el 6% de los residuos que produce la ciudad. La Nación. 14 de junio.
- 50.Roger, D. D. (2019). Alternativas y propuestas para un desarrollo industrial, tecnológico y científico basado en la energía. Márgenes, V(5), 73-91.
- 51.Roger, D., Nacif, F., Casalis, A., Mignaqui, V., y Lacabana, M. (2017). Exploraciones en torno al litio y su potencial de desarrollo para argentina: Identificación de temas estratégicos de cara a su explotación. Industrializar Argentina, 15(33), 21-34.
- 52.Ross, M. L. (1999). The political economy of the resource curse. World Politics, 51, 297-322.
- 53.Ruiz Leotaud, V. (2020). Canadian miner develops environmentally friendly way to produce potash. Mining.com, 11 de octubre.
- 54.SAyDS, y MPyT. (2018). Plan de Acción Nacional de Industria y Cambio Climático. Versión 1-2018. Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Producción y Trabajo.
- 55.Schamaluk, I. B., y Brodtkorb, M. K. de. (1999). El yacimiento cobalto-aurífero King Tut. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35 (pp. 633-635). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.

- 56.Schamaluk, I. B., y Curci, M. (1999). Concentraciones ferrotitaníferas de Cerro Cascabel y Cerro Rico, Sierra de Ancasti, Catamarca. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35 (pp. 305-308). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 57.Serquis, A. (2020). Pilas de combustible y electrolizadores de alta temperatura: Potenciales y desafíos en Argentina. Presentación en el taller virtual “Transición energética como oportunidad de vinculación tecnológica”, 23 de noviembre.
- 58.Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855-1259855.
- 59.Sticco, M., Scrvaglieri, P., y Damiani, A. (2019). Estudio de los recursos hídricos y el impacto por explotación minera de litio. Cuenca Salinas Grandes y Laguna Guayatayoc - Provincia de Jujuy. Buenos Aires: FARN.
- 60.Such, A. T. (2018). Análisis de presupuestos exploratorios en Argentina. Buenos Aires: Subsecretaría de Desarrollo Minero.
- 61.Such, A. T., Toledo, E., Colón, H., Delbuono, V., y Agatiello, F. (2016). Mercado de uranio. Situación actual y perspectivas. Diciembre 2016. Informe especial. Buenos Aires: Dirección de Economía Minera, Secretaría de Minería de la Nación.
- 62.Svampa, M. (2013). «Consenso de los Commodities» y lenguajes de valoración en América Latina. *Nueva Sociedad*, 244, 30-46.
- 63.Telam (2017). Sólo 8,3% de los municipios cuenta con una planta de separación de residuos sólidos. 29 de mayo.
- 64.Tsoureas, N., Maron, L., Kilpatrick, A. F. R., Layfield, R. A., y Cloke, F. G. N. (2020). Ethene Activation and Catalytic Hydrogenation by a Low-Valent Uranium Pentalene Complex. *Journal of the American Chemical Society*, 142(1), 89-92.
- 65.USGS. (2020). Mineral Commodity Summaries 2020. Reston, Virginia: USGS.
- 66.Vásquez, R., y Salinas, F. (2019). Tecnologías del hidrógeno y perspectivas para Chile. 2da edición. Santiago, Chile: Ministerio de Energía y GiZ.
- 67.Wagner, L. (2008). La lucha contra la contaminación y el saqueo: De las movilizaciones en Mendoza a la unión de las reivindicaciones socioambientales en América Latina. *História Unisinos*, 12(3), 195-206.
- 68.Wagner, L., y Giraud, M. (2011). El proyecto minero Potasio Río Colorado: Conflicto socioambiental, impactos regionales y falta de integridad en la evaluación ambiental. En H. Alimonda (Ed.), *La Naturaleza colonizada. Ecología política y minería en América Latina* (pp. 257-284). Buenos Aires: CLACSO.
- 69.Zappettini, E. O. (1999a). Depósitos de fluorita del Distrito El Alto, Catamarca. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35 (pp. 655-656). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 70.Zappettini, E. O. (1999b). Depósitos de tierras raras y torio de la Puna y Cordillera Oriental, Jujuy y Salta. En E. O. Zappettini (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina: Anales N° 35 (pp. 979-985). Buenos Aires: Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- 71.Zappettini, E. O. (1999c). Recursos minerales de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina: Servicio Geológico Minero Argentino y Subsecretaría de Minería de la Nación.

NOTAS

1. Por ejemplo, en la década de 1950 la escuela de Prebisch atribuía el mal desempeño económico al deterioro de los términos del intercambio de los productos basados en recursos naturales.
2. Un informe reciente de la RMF y el CCSI encontró que la mayoría de las empresas mineras analizadas solo prioriza los ODS de manera superficial y que gran parte de la presentación de informes sobre ODS parece ser meramente “estética” (RMF y CSSI, 2020).
3. Véase COM (2020) 474 final.
4. Entendida como aquella ligada al acceso y control de los bienes naturales y el territorio, que suponen, por parte de los actores enfrentados, intereses y valores divergentes (Svampa, 2013).

5. Véase COM(2019) 640 final.
6. Entendida como un concepto multi-variable donde influyen aspectos institucionales, económicos, sociales y ambientales (Murguía, 2019).
7. Según la literatura de la “maldición de los recursos”, el término refiere a países ricos en recursos naturales cuya explotación genera mínimos encadenamientos con el sistema productivo local.
8. Entendidos como proveedores de bienes o servicios con alto contenido y/o complejidad tecnológica (e.g. software, ingeniería, robótica, etc.) (Marín et al., 2020).
9. Véase <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>
10. Véase <https://www.federalregister.gov/documents/2018/05/18/2018-10667/final-list-of-critical-minerals-2018>
11. Con excepción del vanadio, refiere a la tasa de input de reciclaje (recycling input rate) que indica la fracción de material secundario en el total del input que ingresa para la producción de cada metal.
12. Siguiendo a López et al., (2019) pueden ser hacia atrás, hacia adelante u horizontales (laterales).
13. Véase <https://www.cin.edu.ar/download/comunicado-del-foro-interuniversitario-de-especialistas-en-litio-de-la-argentina-marzo-2020-pdf/>
14. Un derecho humano fundamental de carácter colectivo. La consulta es requerida según el Convenio 169 de la OIT (ley 24.071/92) enmarcado en la Declaración de las Naciones Unidas y la Declaración Americana sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas.
15. Véase las interconexiones según la rueda de los metales (metal wheel) en Reuter (2005).
16. Debido a la generación de residuos nucleares y la necesidad de su almacenaje a largo plazo.
17. Véase noticias respecto del primer Plan Quinquenal (2017-2021) entre China y la Argentina para avanzar con la central Atucha III en <https://www.fundeps.org/argentina-centrales-nucleares/>
18. Véase <https://escenariosenergeticos.org/>
19. Véase <https://cordis.europa.eu/article/id/386817-a-revolution-for-lead-acid-batteries-recycling/es>