

Revista de Ciencias Sociales

Economía de las Tierras Raras: Factores para el desarrollo tecnológico y económico de Ecuador

Cedeño-Loor, Tito*
Folgado-Fernández, José**
Sorhegui-Ortega, Rafael***

Resumen

La siguiente investigación analiza los factores que condicionan el desarrollo de una cadena de valor de tierras raras en Ecuador mediante la aplicación de la técnica MICMAC a treinta y cinco drivers definidos a partir de literatura científica y de entrevistas a 25 expertos. Los factores de mayor poder de impulso pertenecen al ámbito institucional y de inserción internacional; mientras que la mayoría de los factores técnicos, geológicos, de infraestructura, mercado y operación, se comportan como dependientes. No emergieron factores de enlace, lo que indica que el sistema se percibe en una fase preindustrial, dominada por decisiones políticas más que por cuellos tecnológicos. La ruta política debe estar encaminada a corto plazo, la estabilización y publicación de un marco legal y fiscal para tierras raras, asegurar un catastro transparente, fijar la estrategia de tierras raras a acuerdos comerciales y reconocimiento internacional de estándares de desempeño Ambiental, Social y de Gobernanza, y reforzar los mecanismos de transparencia y anticorrupción. Ecuador tiene margen para construir ventaja competitiva, pero es una ventaja de gobierno, no solo de recursos geológicos. En conclusión, si se planifica una buena ruta desde lo institucional, el resto de las variables reaccionará a favor del mercado de tierras raras.

Palabras clave: Tierras raras; gobernanza minera; política de minerales; modelo MICMAC; Ecuador.

* Magister en Economía. Docente Investigador en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, El Carmen, Ecuador. E-mail: tito.cedeno@uleam.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6583-1233>

** Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales. Docente Investigador en la Universidad de Extremadura, Cáceres, Extremadura, España. E-mail: jafolgado@unex.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2917-0938>

*** Doctor en Ciencias Económicas. Docente en la Universidad Bolivariana del Ecuador, Durán, Ecuador. E-mail: rasorheguio@ube.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7882-5246>

Rare Earth Economics: Factors for the technological and economic development of Ecuador

Abstract

The following research analyzes the factors that influence the development of a rare earth value chain in Ecuador by applying the MICMAC technique to thirty-five drivers defined from scientific literature and interviews with 25 experts. The most powerful driving factors are institutional and related to international integration, while most of the technical, geological, infrastructure, market, and operational factors behave as dependent. No linking factors emerged, indicating that the system is perceived as being in a pre-industrial phase, dominated by political decisions rather than technological bottlenecks. The political path forward should focus on the short term: stabilizing and publishing a legal and fiscal framework for rare earths, ensuring a transparent registry, aligning the rare earths strategy with trade agreements and international recognition of Environmental, Social, and Governance (ESG) performance standards, and strengthening transparency and anti-corruption mechanisms. Ecuador has room to build a competitive advantage, but it is a governance advantage, not solely one based on geological resources. In conclusion, if a sound institutional strategy is implemented, the other variables will react favorably to the rare earth market.

Keywords: Rare earth elements; mining governance; minerals policy; MICMAC model; Ecuador.

Introducción

La transición energética y la digitalización coloca en contexto a las tierras raras como insumo que da una estrategia global de la innovación y la tecnología. Los múltiples usos van desde los imanes permanentes que se usan para aerogeneradores y vehículos eléctricos hasta los instrumentos para defensa, electrónica de potencia, resonancia magnética y catalizadores (Chen et al., 2024; Cuadros-Muñoz et al., 2024).

Balaram (2019), expone una problemática a pesar de la abundancia de estos minerales, siendo la concentración económica de los yacimientos como la principal y le siguen las barreras tecnológicas de separación y las exigencias socioambientales. Esto hace que la oferta sea rígida y procíclica, sujeta a la volatilidad de precios y ciertos riesgos geopolíticos.

Se escoge la República del Ecuador como estudio de caso por sus desafíos y oportunidades. Se puede destacar que el país se puede convertir en un potencial

geológico, puesto que no está bien mapeado las tierras raras (REE) como las reservas que tienen factibilidad técnica y como desafío está enmarcar este potencial a la gobernanza sectorial, el desempeño Ambiental, Social y de Gobernanza (ESG) y la infraestructura exigida por el mercado de alto valor agregado (McNulty et al., 2022).

Los elementos y tiempos de maduración de un mercado para tierras raras pueden ser extensos y pueden añadir cierta complejidad como la distribución de tierras raras livianas sobre las pesadas (LREE/HREE), definiendo una necesidad de un análisis estructurado de factores e influencia entre ellos que estimulen y aceleren el mercado (Schreiber et al., 2021). La problemática radica en priorizar impulsores que permitan enfocar y no tener un diagnóstico disperso a decisiones de política minera, industrial y de atracción de inversión extranjera directa para generar alto retorno y agregar valor a la economía ecuatoriana.

El objetivo de la investigación es identificar y priorizar relaciones de influencia entre factores que impulsen y condicionan el

desarrollo competitivo, sostenible y que puede generar una cadena de valor de tierras raras en Ecuador. La motivación de este objetivo es detectar motores de política e inversión que realice un efecto multiplicador y proponer un esquema que se pueda implementar en el corto y mediano plazo.

1. Revisión teórica de los principales impulsores

Se analizaron los impulsores desde la visión teórica y evaluada empíricamente por otros autores y que han llevado a aportar al campo científico del objeto por analizar.

1.1. Potencial geológico y calidad del recurso

Chen et al. (2024), mencionan que el mercado de tierras raras depende del volumen y la tenencia de la tierra, presentando leyes y tonelajes que condicionan las decisiones de beneficio, lixiviación y separación. Rezai et al. (2025), colocan en el tablero los tipos de yacimiento, la textura y procesamiento como clave de la oferta en el mercado (Calidad de los recursos). Balaram (2019), analiza el balance entre livianos y pesados, puesto que esta distribución responde al inicio del depósito y control de los retornos (Tipo de depósito).

Asimismo, Smythe et al. (2013) analizan la distribución de elementos y mineralogía automatizada (QEMSCAN/MLA) dando respuesta a la flotación, magnetismo y peso en el consumo de reactivos (Complejidad mineralógica). Zhu et al. (2015), examinan rutas de separación y gestión de residuos cuando ocurre la presencia de torio y uranio para mitigar pasivos ambientales (Plan de manejo radiológico). Hofstra y Kreiner (2021), mencionan que la disponibilidad de catastro, geoquímica, geofísica y cartografía digital, acelera la exploración y reduce costos hundidos (Acceso y calidad de datos).

1.2. Marco legal y gobernanza

Tilton et al. (2018), indican que las reglas claras, estabilidad normativa y regulaciones es un determinante de la inversión en minería. Otto et al. (2006), muestran que cuando existen derechos claros sobre el subsuelo (concesión o áreas protegidas) reducen los costos de transacción y el riesgo de conflictos de superposición. Hilson (2012), menciona que el tiempo de los permisos ambientales o de construcción deben ser ágiles por las autoridades competentes, caso contrario podría ser una limitación para el desarrollo de un país.

Por su parte, Daniel et al. (2011) señalan que se requiere un régimen fiscal que tenga una estructura competitiva para liberar los riesgos tecnológicos y que se incline al bienestar del país. Kolstad y Wiig (2009), indican que la transparencia en contratos, pagos y permisos, reduce los costos de transacción y mejora la percepción del país ante bancos de desarrollo, fondos verdes o socios tecnológicos. Owen y Kemp (2013), mencionan que la minería de tierras raras puede superponerse con territorios indígenas o sensibles. Tener reglas claras de consulta y participación (licencia social) evita judicialización y demoras que pueden costar años.

1.3. Ambiente y social

Sonter et al. (2018), indican que las REE pueden requerir pilas de lixiviación, presas de relaves o almacenamiento de residuos y esto en zonas sensibles encarece la mitigación o lo vuelve inviable. Norgate y Jahanshahi (2010), señalan que los yacimientos no se encuentren en zonas con estrés hídrico, puesto que puede tener competencia con otros usos que necesitan agua. Schreiber et al. (2016), mencionan que un país debe tener electricidad limpia y de esa forma poder usarlo como un argumento de mercado, caso contrario deberá compensarlo o invertir en eficiencia energética para minimizar huella de carbono.

Diadla y Ramsamy (2022), revelan que los residuos finos deben mejorar la seguridad

bajo estándares internacionales y crear un plan de residuos. Rychkov et al. (2018), mantienen el plan de residuos, pero con protocolos con países con experiencia en estos tipos de residuos. Bebbington et al. (2008), colocan énfasis en el costo social, puesto que este puede influir en los tiempos de permisos y en el costo de seguridad, o incluso en la decisión de inversión.

1.4. Infraestructura y logística

Bridge (2008), menciona que la logística mediante el acceso vial que fluye hacia los puertos, resulta importante, puesto que puede bajar costos y mejorar la percepción social. Humphreys (2015), señala como es necesario tener acceso a puertos, debido a que muchos países no tienen las plantas de separación o de servicios especializados y se encuentran en otros países. Norgate y Jahanshahi (2010), indican que un factor clave es la electricidad, puesto que esta industria necesita flujos eléctricos en operación continua. Fandrich et al. (2007), indican que es necesario tener laboratorios y servicios analíticos que acorte el ciclo de prueba y control de calidad. Lujala (2010), recalca sobre la seguridad y el orden público, puesto que tanto las maquinarias como los reactivos tienen un alto valor monetario y a su vez las primas de seguro pueden aumentar.

1.5. Mercado y finanzas

Chen y Li (2025), mencionan que las REE tienen mercados pequeños y, por tanto, más volátiles. Humphreys (2015), indica que las tierras raras son intensivas en inversión y en conocimiento y no se financian igual que una cantera de minera básica. Wübbecke (2013), menciona que tener acuerdos de compra con usuarios finales (motores, imanes, refinadores) reduce el riesgo comercial.

1.6. Tecnología e innovación

Xie et al. (2014), indican que el factor tecnológico es un factor determinante, puesto que se orienta a la separación de ciertos óxidos para la pureza comercial que tiene mayor valor agregado. Binnemans et al. (2013), muestran que se debe realizar una ruta de proceso en piloto para reducir la incertidumbre técnica y es un requisito de muchos financiadores. Goodenough et al. (2018), mencionan que, si las recuperaciones metalúrgicas son bajas, la economía del proyecto se debilita, por tanto, las recuperaciones se conectan con los rendimientos financieros.

1.7. Capital humano y productividad

Cohen y Levinthal (1990), mencionan que las REE requieren geólogos especializados, metalurgistas con experiencia en SX/IX, especialistas en residuos con radionúclidos, puesto que la falta de este talento puede convertirse en una limitación. Turner y Xue (2018), indica que se necesita gestión de proyectos que organicen de forma óptima el cronograma y presupuestos de bajo control, puesto que un atraso minero puede ocasionar un deterioro de la tasa interna de retorno.

1.8. Macro y geopolítica

Henisz (2000), indica que el riesgo país sigue siendo un indicador válido para los inversionistas, respetando la estabilidad del gobierno con los contratos y la seguridad jurídica. Malamud (2015), recalca que los países deben tener acuerdos comerciales para facilitar el comercio con mercados que consumen o acumulan REE, mejorando la competitividad del producto. Pouresmaieli et al. (2023), mencionan que se debe tener una política orientada a qué minerales son prioritarios, qué incentivos se tiene y la sinergia con el sector privado, de esta manera,

se alinean los actores y facilita la coordinación interinstitucional. Buijs et al. (2012), sugieren el emparejamiento de las regulaciones de los países compradores para conocer la exigencia, trazabilidad, reducción de huella de carbono y el respeto a los derechos humanos.

2. Metodología

A continuación, se describe el procedimiento para aplicar la técnica MICMAC (Matriz de Impactos Cruzados – Multiplicación Aplicada para Clasificación) sobre el conjunto de 35 *drivers* previamente definidos para el desarrollo de las tierras raras en Ecuador.

2.1. Modelo MICMAC

El objetivo del modelo MICMAC es medir y clasificar a los treinta y cinco *drivers*

según dos dimensiones. La primera, es el poder de influencia (o motricidad): cuánto impacta un *driver* sobre los demás; y el segundo, es el nivel de dependencia: cuánto depende ese *driver* de los demás para activarse o manifestarse. La combinación de estas dos dimensiones permite ubicar cada factor en uno de los cuadrantes clásicos de MICMAC:

- a. Autónomos (baja influencia, baja dependencia).
- b. Dependientes (baja influencia, alta dependencia).
- c. De enlace (alta influencia, alta dependencia).
- d. Motores o impulsores (alta influencia, baja dependencia).

Los *drivers* analizados desde la literatura científica y el criterio de los expertos se agruparon en ocho categorías (ver Cuadro 1). Estas categorías son geología y recursos; marco legal y gobernanza; ambiental y social; infraestructura y logística; mercado y finanzas; tecnología e innovación; capital humano y productividad; macro y geopolítica.

Cuadro 1
Impulsores o drivers

Código	Categoría	Factor (Driver)
Dr1	Geología y recursos	Conocimiento geológico
Dr2	Geología y recursos	Calidad de recursos
Dr3	Geología y recursos	Tipo de depósito
Dr4	Geología y recursos	Complejidad mineralógica (LREO/HREO)
Dr5	Geología y recursos	Co-ocurrencia de radionúclidos (Th/U) y manejo
Dr6	Geología y recursos	Acceso y calidad de datos geológicos abiertos
Dr7	Marco legal y gobernanza	Estabilidad del marco legal minero
Dr8	Marco legal y gobernanza	Seguridad de tenencia y catastro
Dr9	Marco legal y gobernanza	Tiempos y predictibilidad de permisos
Dr10	Marco legal y gobernanza	Régimen fiscal competitivo
Dr11	Marco legal y gobernanza	Anticorrupción y transparencia
Dr12	Marco legal y gobernanza	Consulta previa y FPIC
Dr13	Ambiental y social	Sensibilidad ambiental
Dr14	Ambiental y social	Disponibilidad de agua
Dr15	Ambiental y social	Huella de carbono de la energía
Dr16	Ambiental y social	Gestión de relaves y residuos finos
Dr17	Ambiental y social	Gestión de residuos peligrosos
Dr18	Ambiental y social	Percepción social
Dr19	Infraestructura y logística	Acceso vial/puentes a yacimientos

Cont... Cuadro 1

Dr20	Infraestructura y logística	Proximidad/capacidad portuaria
Dr21	Infraestructura y logística	Confiabilidad y costo de electricidad
Dr22	Infraestructura y logística	Laboratorios y servicios analíticos
Dr23	Infraestructura y logística	Seguridad y orden público
Dr24	Mercado y finanzas	Precios y volatilidad
Dr25	Mercado y finanzas	Acceso a financiamiento
Dr26	Mercado y finanzas	Offtakes con OEMs/transformadores
Dr27	Tecnología e innovación	Acceso a tecnología de separación
Dr28	Tecnología e innovación	Capacidad de plantas piloto y pruebas metalúrgicas
Dr29	Tecnología e innovación	Recuperaciones y rendimiento esperados
Dr30	Capital humano y productividad	Profesionales especializados
Dr31	Capital humano y productividad	Capacidad de gestión de proyectos (PMO)
Dr32	Macro y geopolítica	Riesgo-país y estabilidad política
Dr33	Macro y geopolítica	Acuerdos comerciales con mercados destino
Dr34	Macro y geopolítica	Política nacional de minerales
Dr35	Macro y geopolítica	Requisitos ESG de compradores

Fuente: Elaboración propia, 2025.

2.2. Diseño de la matriz de influencia directa

Se construye una matriz cuadrada M de dimensión $n \times n$, donde $n=35$. Cada fila y cada columna representa el mismo conjunto ordenado de *drivers* $\{D_1, D_2, ..., D_{35}\}$.

$$M = [m_{ij}]_{35 \times 35} \quad (1)$$

Donde el elemento m_{ij} representa la influencia directa del driver D_i sobre el driver D_j . Para el caso de la selección se adopta una escala discreta de cuatro niveles:

- $m_{ij} = 0$, cuando no hay influencia directa.
- $m_{ij} = 1$, cuando existe influencia débil.
- $m_{ij} = 2$, cuando existe influencia media.
- $m_{ij} = 3$, cuando existe influencia alta.

Esta matriz tiene un tratamiento de la diagonal m_{ii} se fija en 0:

$$m_{ii} = 0 \quad \forall i = 1, ..., 35 \quad (2)$$

Obteniendo la matriz M, las medidas para influencia y dependencia directas: Influencia directa del *driver* , suma por fila:

$$I_i^{(d)} = \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad (3)$$

Esta suma muestra la influencia que ejerce el factor i sobre el resto de manera

directa. Dependencia directa del *driver* , suma por columna:

$$D_i^{(d)} = \sum_{j=1}^n m_{ij} \quad (4)$$

Esta suma muestra la dependencia que ejerce el factor i sobre el resto de manera directa. Estas dos listas y permiten crear un gráfico de dispersión (influencia versus dependencia).

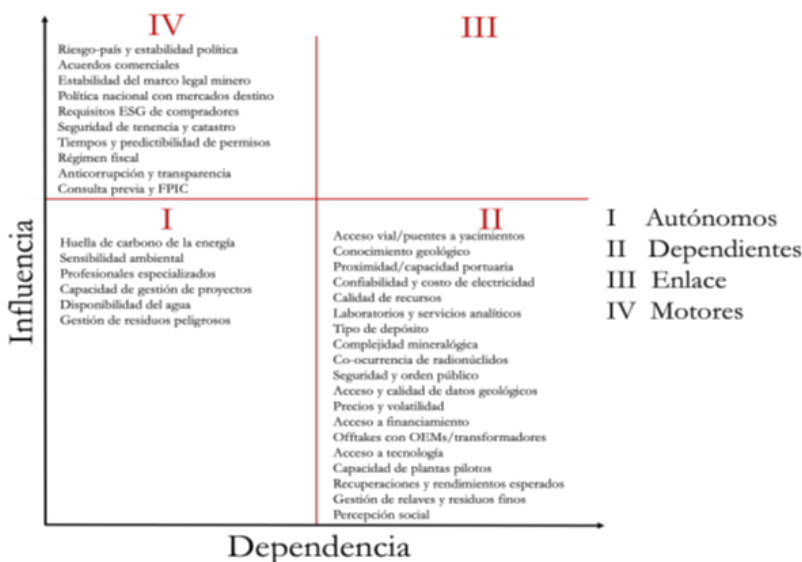
Se realizaron entrevistas a 25 expertos, escogiendo la moda de las respuestas de los expertos. Los expertos debían cumplir los siguientes criterios. Al menos 5 años en minería, geología económica, consultores especializados en minería y política minera.

3. Resultados y discusión

La Figura I, muestra el resultado de la aplicación de la matriz de impactos cruzados, donde el eje vertical muestra la influencia y eje horizontal la dependencia, se encuentra dividido en cuatro cuadrantes. Estos cuadrantes están diseñados para el sistema ecuatoriano para beneficiarse de elementos de

tierras raras, está diseñado por condicionantes estructurales como el marco legal, riesgo-país y capacidades tecnológicas. Adicional

se muestran nudos de implementación como el marco normativo, requisitos ambientales, financiamiento y *offtakes*.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura I: Modelo MICMAC para el sistema complejo de un mercado de tierras raras

3.1. Factores motores

El cuadrante superior izquierdo, muestra los factores que pueden ser usados en políticas públicas aplicados a las tierras raras, puesto que estos factores son los que empujan al resto del sistema complejo. Este cuadrante muestra un sistema base institucional y comercial, al establecer una política pública que establezca el sistema, se puede alinear el resto de los factores que impulsarían el mercado de tierras raras. El riesgo país es el punto más alto de influencia, puesto que los cambios de políticas no son muy apreciables por los inversionistas como una forma de riesgo (Henisz, 2000). Este factor no tiene tanta dependencia, debido a que los expertos lo analizan como variable

exógena al sector minero y están mediadas por cambios macroeconómicos.

La estabilidad del marco legal minero, seguridad de tenencia y catastro, tiempos y predictibilidad de permisos, se encuentran en este cuadrante por ser las reglas del mercado y se muestra que manteniendo estos factores se puede dar un acierto en la política pública, puesto que todo el sistema se puede activar para mejora del mercado de tierras raras.

El régimen fiscal hacia la minería es un motor porque este instrumento es de rápido ajuste y puede llamar la atención de los inversionistas. La transparencia y prácticas de anticorrupción coloca en manifiesto la vinculación directa con la capacidad de atraer inversión extranjera directa y de firmar *offtakes*

como empresas sujetas a este tipo de leyes.

Los acuerdos comerciales y política nacional son analizados por los expertos como parte de una estrategia de inserción en cadenas de valor tecnológicas, dejando énfasis que no es solo tener tierras raras en la geología ecuatoriana, sin entrar a mercados que paguen bien. Este factor lleva de la mano a los requisitos ambientales, económicos y sociales de los compradores (de alto valor), puesto que suelen solicitar trazabilidad, baja huella de carbono y respeto a los derechos humanos.

3.2. Factores dependientes

Este cuadrante tiene la mayoría de los factores y el análisis de los expertos es que son resultados condicionados de decisiones institucionales. Ahora bien, al ser extenso se va a dividir para su comprensión. El primer grupo, concentra un análisis que no construyen carreteras, ampliar puertos o generación de energía con fines de estabilizar si no existe primero una seguridad jurídica o normativas claras, siendo observable la relación entre los factores dependientes con los factores motores.

El segundo grupo, incorpora la geología, datos y recursos. Los expertos analizan a la geología como información disponible para el inversionista, esto podría verse reflejado en un catastro abierto, de que las campañas mineras estén financiadas y de que los datos se publiquen. La calidad de recursos, tipo de depósito y complejidad mineralógica es dependiente porque su explotación y puesta en valor está sujeta a que exista un entorno que la haga rentable.

El tercer grupo, involucra al mercado, financiamiento y tecnología, siendo el acceso a financiamiento percibido por los expertos que los bancos o inversionistas no van a establecer una relación financiera sino se alinea con compromisos ESG. Asimismo, la tecnología y la capacidad empresarial están guiadas a la viabilidad política y comercial. El cuarto grupo, lleva consigo seguridad, residuos y percepción social, siendo parte de un análisis de campaña de transparencia y beneficios para

la sociedad civil.

3.3. Factores autónomos

Este cuadrante contiene a los factores que no cambian la estructura del sistema complejo y a su vez no son cambiados por el mismo sistema, siguen siendo factores que se tiene que monitorear y mantener niveles aceptables. La sensibilidad ambiental es autónoma puesto que ni la política fiscal ni un tratado de libre comercio mueve al sistema, lo que sí se puede mover es el costo de operar con el medio ambiente y está asumida en las diferentes gestiones de residuos (Oblitas et al., 2019).

Los profesionales especializados y la capacidad de gestión de proyectos son factores que no afectan a cambios institucionales o de mercado, dándole un contexto que tiene que controlarse o medirse por las capacidades de absorción. La disponibilidad del agua y gestión de residuos peligrosos puede afectar directamente al proyecto minero, pero no envía un mensaje de reordenar a la política nacional como estrategia de desarrollo.

Conclusiones

El modelo MICMAC evidenció un bloque con factores motores que ejercen alta influencia sobre el resto del sistema y, al mismo tiempo, dependen muy poco de él. Se evidencia que mientras no se ordene lo institucional y reputacional del país, la geología, la tecnología y la infraestructura no llegarán a extenderse. La mayoría de los factores técnicos y operativos se comportan como resultados del entorno institucional. Los expertos consideran que Ecuador no resolverá esos componentes “desde abajo”; sólo se activarán cuando las señales de estabilidad, transparencia y alineación ESG emitidas por el Estado sean creíbles. La ausencia de factores de enlace evidencia que el sector se percibe en una fase preindustrial. Se evidencia que el efecto multiplicador es desde lo político-

comercial hasta lo técnico y operativo, puesto que se encuentra en una etapa inicial.

La ruta política debe estar encaminada a corto plazo, a la estabilización y publicación de un marco legal y fiscal para tierras raras, asegurar un catastro transparente, fijar la estrategia de tierras raras a acuerdos comerciales y al reconocimiento internacional de estándares ESG, así como reforzar los mecanismos de transparencia y anticorrupción.

Ecuador tiene margen para construir ventaja competitiva, pero es una ventaja de gobierno, no solo de recursos geológicos. Si se planifica una buena ruta desde lo institucional, el resto de las variables reaccionará a favor del mercado de tierras raras.

Referencias bibliográficas

- Balaram, V. (2019). Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact. *Geoscience Frontiers*, 10(4), 1285-1303. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005>
- Bebbington, A., Hinojosa, L., Bebbington, D. H., Burneo, M. L., y Warnaars, X. (2008). Contention and ambiguity: Mining and the possibilities of development. *Development and Change*, 39(6), 887-914. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7660.2008.00517.x>
- Binnemans, K., Jones, P. T., Blanpain, B., Van Gerven, T., Yang, Y., Walton, A., y Buchert, M. (2013). Recycling of rare earths: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 51, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.037>
- Bridge, G. (2008). Global production networks and the extractive sector: Governing resource-based development. *Journal of Economic Geography*, 8(3), 389-419. <https://doi.org/10.1093/jeg/ibn009>
- Buijs, B., Sievers, H., y Tercero, L. A. (2012, November). Limits to the critical raw materials approach. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, 165(4), 201-208. <https://doi.org/10.1680/warm.12.00010>
- Chen, P., Ilton, E. S., Wang, Z., Rosso, K. M., y Zhang, X. (2024). Global rare earth element resources: A concise review. *Applied Geochemistry*, 175, 106158. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.106158>
- Chen, Y., y Li, J. (2025). The determinants and volatility of prices in the energy and critical mineral markets. In X. Sun y Q. Ji (Eds.), *Energy and Critical Mineral Security in China* (pp. 219-241). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-96-7147-2_9
- Cohen, W. M., y Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128-152. <https://doi.org/10.2307/2393553>
- Cuadros-Muñoz, J.-R., Jimber-del-Río, J.-A., Sorhegui-Ortega, R., Zea-De la Torre, M., y Vergara-Romero, A. (2024). Contribution of rare earth elements is key to the economy of the future. *Land*, 13(8), 1220. <https://doi.org/10.3390/land13081220>
- Daniel, P., De Mooij, R., Matheson, T., y Michielse, G. (2011). *Iceland: Advancing Tax Reform and the Taxation of Natural Resources*. International Monetary Fund. <https://www.imf.org/external/pubs/ft/scr/2011/cr11138.pdf>
- Dladla, S. D., y Ramsamy, S. (2022). Practical steps to Global Industry Standard on Tailings Management (GISTM) compliance for operational tailings storage facilities in South Africa.

- Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 122(6), 283-290. <https://www.saimm.co.za/Journal/v122n06p283.pdf>
- Fandrich, R., Gu, Y., Burrows, D., y Moeller, K. (2007). Modern SEM-based mineral liberation analysis. *International Journal of Mineral Processing*, 84(1-4), 310-320. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2006.07.018>
- Goodenough, K. M., Wall, F., y Merriman, D. (2018). The rare earth elements: Demand, global resources, and challenges for resourcing future generations. *Natural Resources Research*, 27(2), 201-216. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9336-5>
- Henisz, W. J. (2000). The institutional environment for economic growth. *Economics & Politics*, 12(1), 1-31. <https://doi.org/10.1111/1468-0343.00066>
- Hilson, G. (2012). Corporate social responsibility in the extractive industries: Experiences from developing countries. *Resources Policy*, 37(2), 131-137. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.01.002>
- Hofstra, A. H., y Kreiner, D. C. (2021). *Systems-Deposits-Commodities-Critical Minerals Table for the Earth Mapping Resources Initiative*. Open-File Report 2020-1042. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20201042>
- Humphreys, D. (2015). *The Remaking of the Mining Industry*. Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9781137442017>
- Kolstad, I., y Wiig, A. (2009). Is transparency the key to reducing corruption in resource-rich countries? *World Development*, 37(3), 521-532. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2008.07.002>
- Lujala, P. (2010). The spoils of nature: Armed civil conflict and rebel access to natural resources. *Journal of Peace Research*, 47(1), 15-28. <https://doi.org/10.1177/0022343309350015>
- Malamud, C. (2015). Regional integration and cooperation in Latin America: Diagnosis and proposals. *Global Journal of Emerging Market Economies*, 7(2), 92-120. <https://doi.org/10.1177/0974910115574168>
- McNulty, T., Hazen, N., y Park, S. (2022). Processing the ores of rare-earth elements. *MRS Bulletin*, 47(3), 258-266. <https://doi.org/10.1557/s43577-022-00288-4>
- Norgate, T., y Jahanshahi, S. (2010). Low grade ores – Smelt, leach or concentrate? *Minerals Engineering*, 23(2), 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.10.002>
- Oblitas, J. F., Sangay, M. E., Rojas, E. E., y Castro, W. M. (2019). Economía circular en residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, XXV(4), 196-208. <https://produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/rcs/article/view/30527>
- Otto, J., Andrews, C., Cawood, F., Doggett, M., Guj, P., Stermole, F., Stermole, J., y Tilton, J. (2006). *Mining Royalties: A global study of their impact on investors, government, and civil society*. The World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/103171468161636902/pdf/372580Mining0r101OFFICIAL0USE0ONLY1.pdf>
- Owen, J. R., y Kemp, D. (2013). Social licence and mining: A critical perspective. *Resources Policy*, 38(1), 29-35. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.06.016>
- Pouresmaeli, M., Ataei, M., Qarahasanlou, A. N., y Barabadi, A. (2023). Integration

- of renewable energy and sustainable development with strategic planning in the mining industry. *Results in Engineering*, 20, 101412. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101412>
- Rezaei, M., Sanchez-Lecuona, G., y Abdolazimi, O. (2025). A Cross-Disciplinary Review of Rare Earth Elements: Deposit types, mineralogy, machine learning, environmental impact, and recycling. *Minerals*, 15(7), 720. <https://doi.org/10.3390/min15070720>
- Rychkov, V. N., Kirillov, E. V., Kirillov, S. V., Semenishchev, V. S., Bunkov, G. M., Botalov, M. S., Smyshlyaev, D. V., y Malyshev, A. S. (2018). Recovery of rare earth elements from phosphogypsum. *Journal of Cleaner Production*, 196, 674-681. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.114>
- Schreiber, A., Marx, J., Zapp, P., Hake, J.-F., Voßenkaul, D., y Friedrich, B. (2016). Environmental impacts of rare earth mining and separation based on eudialyte: A new European way. *Resources*, 5(4), 32. <https://doi.org/10.3390/resources5040032>
- Schreiber, A., Marx, J., y Zapp, P. (2021). Life Cycle Assessment studies of rare earths production-Findings from a systematic review. *Science of The Total Environment*, 791, 148257. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148257>
- Smythe, D. M., Lombard, A., y Coetzee, L. L. (2013). Rare earth element department studies utilising QEMSCAN technology. *Minerals Engineering*, 52, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.03.010>
- Sonter, L. J., Ali, S. H., y Watson, J. E. M. (2018). Mining and biodiversity: Key issues and research needs in conservation science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1892), 20181926. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>
- Tilton, J. E., Crowson, P. C. F., DeYoung, J. H., Eggert, R. G., Ericsson, M., Guzmán, J. I., Humphreys, D., Lagos, G., Maxwell, P., Radetzki, M., Singer, D. A., y Wellmer, F.-W. (2018). Public policy and future mineral supplies. *Resources Policy*, 57, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.01.006>
- Turner, J. R., y Xue, Y. (2018). On the success of megaprojects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(3), 783-805. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-06-2017-0062>
- Wübbke, J. (2013). Rare earth elements in China: Policies and narratives of reinventing an industry. *Resources Policy*, 38(3), 384-394. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2013.05.005>
- Xie, F., Zhang, T. A., Dreisinger, D., y Doyle, F. (2014). A critical review on solvent extraction of rare earths from aqueous solutions. *Minerals Engineering*, 56, 10-28. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.10.021>
- Zhu, Z., Pranolo, Y., y Cheng, C. Y. (2015). Separation of uranium and thorium from rare earths for rare earth production—A review. *Minerals Engineering*, 77, 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2015.03.012>