

UN BREVE ANÁLISIS DE LAS FUENTES POTENCIALES DE TIERRAS RARAS PARA SU APROVECHAMIENTO COMO MINERALES ESTRATÉGICOS EN MÉXICO

Sarai Velazquez-Peña ^a, Felipe de Jesús Villalobos-Delgado ^a, Adrián Bonilla-
Petriciolet ^{a*}

^a Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Av. López Matéos 1801,
Fracc. Bonagens, CP. 20256, Aguascalientes, México. petriciolet@hotmail.com

Resumen

El valor comercial e industrial de las tierras raras se ha incrementado en las últimas décadas ya que estos minerales son ampliamente utilizados en la fabricación de componentes electrónicos beneficiando a los sectores de la comunicación, transporte e incluso en aplicaciones militares. Se estima que existen alrededor de 3185 posibles yacimientos de tierras raras a nivel mundial, siendo China el principal proveedor. El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) ha indicado la presencia de depósitos de tierras raras en territorio nacional. Sin embargo, las reservas son inferiores en comparación con las de otros países para su extracción. Por lo tanto, el diagnóstico e identificación de fuentes no convencionales o alternas de tierras raras para su aprovechamiento son un nicho de oportunidad para México. En esta nota de divulgación se analizan brevemente las fuentes potenciales de explotación de estos minerales estratégicos en México. Este diagnóstico indica que la exploración y recuperación de tierras raras en sedimentos costeros, así como el reciclaje de productos electrónicos desechados, constituyen una opción prometedora para el desarrollo nacional. Sin embargo, son necesarios esfuerzos científicos y tecnológicos para su explotación industrial sostenible.

Palabras clave: Yacimientos convencionales, Extracción de minerales, Depósitos no convencionales.

AN ANALYSIS OF THE POTENTIAL SOURCES OF RARE EARTH ELEMENTS FOR THEIR UTILIZATION AS STRATEGIC MINERALS IN MEXICO

Abstract

The commercial and industrial value of rare earths has increased, as these minerals are widely used in the manufacture of electronic components, benefiting the communication, transportation, and military sectors. It is estimated that there are approximately 3185 potential rare-earth deposits worldwide, with China being the leading supplier. The United States Geological Survey (USGS) has identified rare-earth deposits in the national territory. However, the reserves of Mexico are lower than those of other countries for their extraction. Therefore, diagnosing and identifying unconventional or alternative sources of rare earth elements for exploitation represents a unique opportunity for Mexico. This contribution briefly analyzes the potential sources of exploitation of these strategic minerals in Mexico. This assessment indicates that the exploration and recovery of rare earth elements from coastal sediments and the recycling of discarded electronic products are promising options for national development. However, scientific and technological efforts are needed for its sustainable industrial exploitation.

Keywords: Conventional deposits, Mineral extraction, Unconventional deposits.

1. Introducción

Las tierras raras poseen propiedades magnéticas, catalíticas, ópticas y eléctricas que resultan atractivas para diversos sectores tecnológicos e industriales. Este conjunto de elementos químicos se encuentra conformado por el grupo de los lantánidos más el Itrio (Y) y Escandio (Sc), siendo un total de 17 elementos metálicos. Varios factores han incrementado el interés en la exploración, extracción y purificación de estos elementos a nivel global, siendo el más importante su amplio aprovechamiento en diversos productos de la vida cotidiana incluyendo tecnología para los sectores de medicina, aplicaciones militares, comunicaciones, energías limpias, transporte, fibra óptica, aleaciones de acero, catalizadores para la industria petroquímica, motores híbridos, aviación, entre otros (Zhao y col., 2025). La creciente demanda de estos elementos ha propiciado su clasificación como elementos estratégicos y de interés de seguridad nacional (Massari y Ruberti, 2013; Fernández, 2017; Artiushenko y col., 2023; Depraiter y Goutte, 2023).

Las tierras raras pueden ser clasificadas en dos grupos (en función del peso atómico y

ubicación en la tabla periódica): Tierras Raras Ligeras y Tierras Raras Pesadas (LREE y HREE por sus siglas en inglés, respectivamente), siendo estas últimas las más escasas sobre la corteza terrestre (Drobniak y Mastalerz, 2022; Artiushenko y col., 2023). La clasificación de estos elementos estratégicos se puede observar en la Tabla 1. Los elementos considerados como tierras raras no son minerales escasos, ya que su presencia en la corteza terrestre es más abundante que la de otros minerales de interés industrial. Sin embargo, estos elementos no se encuentran como mineral único y son “raros” o “poco comunes” los depósitos donde éstos se encuentran concentrados o en cantidades significativas (Dushyantha y col., 2020).

Generalmente, la composición química de los minerales que contienen tierras raras incluye carbonatos, fosfatos, haluros, óxidos, silicatos, entre otros (Mariano y Mariano, 2012). A nivel mundial, se estima que más del 95% de la extracción de tierras raras es a partir de los minerales bastnasita, monacita y xenotima, como se observa en la Figura 1 (Fernandez, 2017; Balaram, 2019; Drobniak

y Mastalerz, 2022). Se debe mencionar que las cantidades de tierras raras contenidas en los minerales son del orden de concentraciones traza (es decir, partes por billón o trillón), siendo inusual su aparición

en concentraciones significativas. Se estima que el elemento químico con mayor abundancia sobre la corteza terrestre del grupo de las tierras raras es el cerio (Ce) y se presenta como óxido.

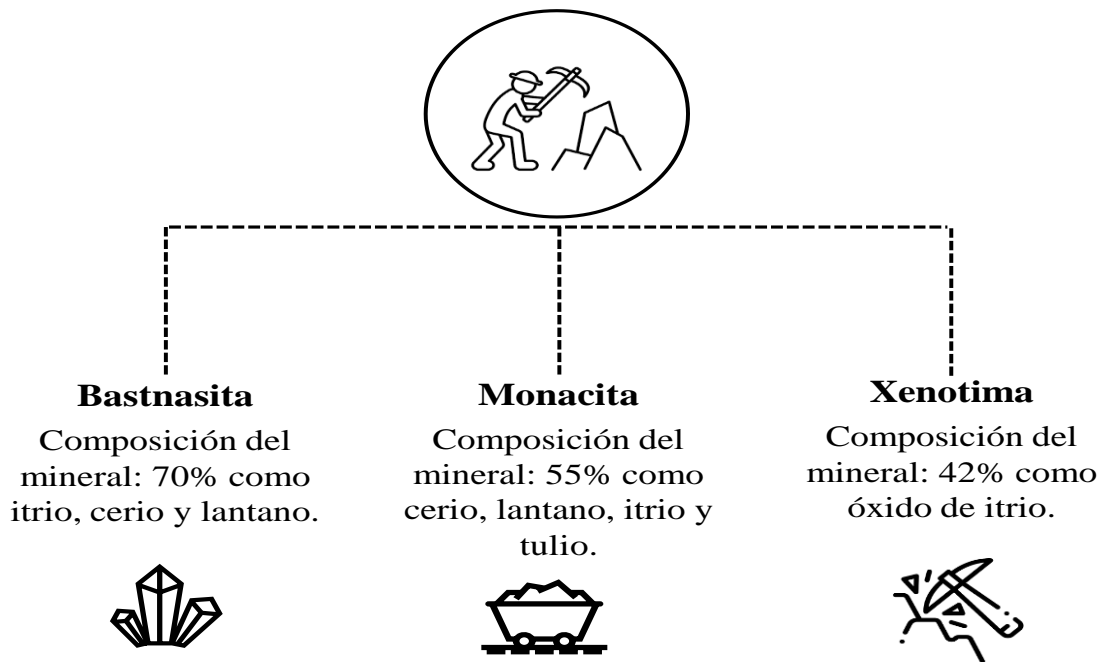


Figura 1. Minerales principales para la extracción de tierras raras.

Tabla 1. Clasificación de los elementos considerados como tierras raras.

Tierras raras ligeras	Tierras raras pesadas
Escandio, Sc	Gadolinio, Gd
Lantano, La	Terbio, Tb
Cerio, Ce	Disprobio, Dy
Praseodimio, Pr	Holmio, Ho
Neodimio, Nd	Erbio, Er
Prometio, Pm	Tulio, Tm
Samario, Sm	Iterbio, Yb
Europio, Eu	Lutecio, Lu
	Itrio, Y

Los principales depósitos para la extracción de tierras raras se pueden clasificar en dos tipos: primarios y secundarios. Los depósitos primarios son formados en el interior de la tierra por procesos metamórficos y/o por la interacción del magma e hidrotermales y se asocian comúnmente con rocas ígneas alcalinas y carbonatitas. Los depósitos secundarios son aquellos que se generan por procesos de meteorización o erosión, como es el caso de las lateritas y bauxitas (Mariano y Mariano, 2012; Balaram, 2019; Squadrone y col., 2020).

China, Vietnam, Brasil y Rusia son los países que contienen los mayores depósitos de tierras raras a nivel mundial, con reservas estimadas de 44, 22, 22 y 18 millones de toneladas, respectivamente. En particular, China es el productor y exportador más

importante de estos elementos, cubriendo más del 70% del mercado global. En los últimos años, la creciente demanda por abastecer tierras raras ha generado el interés por identificar fuentes alternativas a las convencionales para la recuperación de estos elementos.

Para el caso particular del continente americano, Brasil, Estados Unidos, Canadá y Groenlandia poseen en conjunto más de 25 millones de toneladas de depósitos de tierras raras como óxidos, como se observa en la Figura 2. Actualmente, estos países tienen presencia comercial en el mercado de tierras raras del continente. Por tanto, en esta nota de divulgación se describen algunas fuentes alternas que México puede aprovechar para satisfacer la demanda de tierras raras.

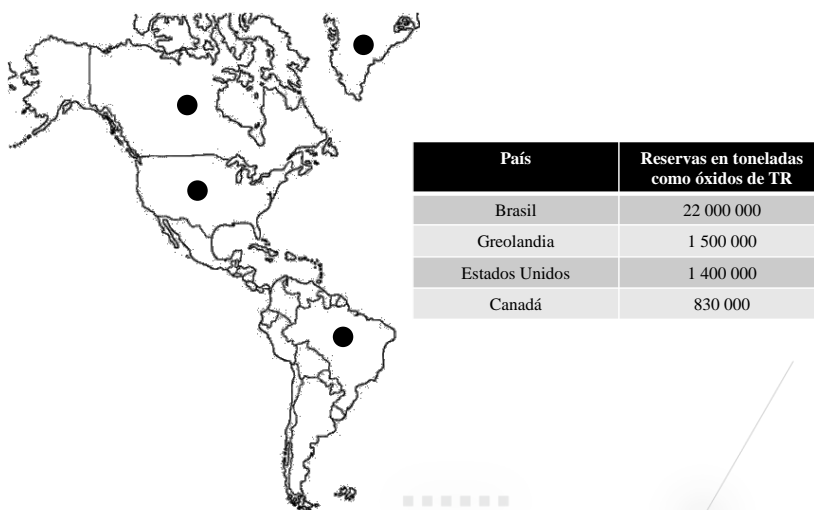


Figura 2. Distribución actual de reservas de tierras raras identificadas en el continente americano.

2. Desarrollo

Para la elaboración de la presente nota, se realizó una revisión de fuentes bibliográficas nacionales e internacionales reconocidas por la comunidad científica. En primera instancia, se recopiló información general sobre las tierras raras de artículos científicos, además de algunos datos de interés, como el tipo de mineral, el tipo de yacimiento, principales proveedores globales y fuentes alternativas para la obtención de tierras raras. Los datos sobre depósitos globales se obtuvieron del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Finalmente, algunos datos nacionales se obtuvieron de fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO).

Según el informe de la "Base de datos global de ocurrencia de elementos de tierras raras" proporcionada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), se han identificado 3185 lugares geográficos para la extracción de tierras raras a nivel global (Orris y col., 2018). Latinoamérica cuenta con 265 lugares reconocidos para la recuperación de estos elementos químicos, los cuales se ubican en Argentina, Bolivia,

Brasil, Chile, Colombia, México, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. Se estima que aproximadamente 5.4% de estos depósitos pertenecen a México, donde una quinta parte corresponde a yacimientos con potencial de extracción de dichos elementos críticos. En la Tabla 2 se muestra la distribución de tierras raras en México donde se puede identificar que las entidades federativas de Tamaulipas y Chihuahua se reportan como depósitos potenciales para la recuperación de tierras raras, y Fátima en Coahuila como posible depósito.

Las localidades de El Indio y El Muerto (Oaxaca) corresponden a zonas de ocurrencia de tierras raras en el país, mientras que la localidad de Placer de Guadalupe (Chihuahua) ha sido clasificada como posible ocurrencia. Barra de Colotepec y Telixtlahuaca (Oaxaca), Encantada-Buena Vista, Las Carmelas y La Cueva Canon (Coahuila), San Antonio del Mar (Baja California) y Yuca (Chihuahua) corresponden a la clasificación de exhibición de minerales. Los principales elementos químicos del grupo de tierras raras presentes en los depósitos mencionados son: Ce, Y, La, Nd y Tm.

Tabla 2. Distribución de reservas potenciales de tierras raras en México. Fuente: Orris y col. (2018).

<i>Localidad</i>	<i>Entidad federativa</i>	<i>Estatus de identificación</i>	<i>Tipo de mineral</i>	<i>Tierras raras identificadas</i>
Barra de Colotepec	Oaxaca	Exhibición	No identificado	No identificado
El Indio	Oaxaca	Ocurrencia	No identificado	No identificado
El Muerto	Oaxaca	Ocurrencia	Allanita, monacita, perrierita, fergusonita, blomstrandina (aeschnita), policrasa, queralita, xenotima, kobeita, pirocloro	Ce, Y, Nd
Encantada-Buena Vista	Coahuila	Exhibición	No identificado	No identificado
Fátima	Coahuila	Probable Depósito	No identificado	No identificado
La Cueva Canon	Coahuila	Exhibición	No identificado	No identificado
Las Carmelas	Coahuila	Exhibición	No identificado	No identificado
Mariana	Chihuahua	Depósito	No identificado	No identificado
Picacho	Tamaulipas	Depósito	Bastnasita, cheralita, britolita	Y, Ce, La
Placer de Guadalupe	Chihuahua	Probable Ocurrencia	No identificado	No identificado
San Antonio del Mar	Baja California	Exhibición	Monacita	Ce, La, Y, Tm
Sierra de Tamaulipas	Tamaulipas	Depósito	Eudialita, monacita, britolita, allanita	Ce, La, Y, Tm
Telixtlahuaca	Oaxaca	Exhibición	No identificado	No identificado
Yuca	Chihuahua	Exhibición	No identificado	No identificado

Se ha reportado que la presencia de tierras raras puede encontrarse en minerales que contienen hierro (Fe), plata (Ag) y cobre (Cu). México cuenta con una producción de 61 mil toneladas de Cu, 477 mil toneladas de

Ag y 640 mil toneladas de Fe, de acuerdo con los datos emitidos por el INEGI. Este tipo de yacimientos de minerales podría representar un nicho de oportunidad para la recuperación de tierras raras, en bajas concentraciones, y se

podría prever su incremento con respecto al enriquecimiento de las zonas mineras en función del tiempo (Kasper-Zubillaga y col., 2008; Godwyn-Paulson y col., 2022; INEGI, 2023;).

Diversas investigaciones han reportado la posibilidad de considerar las rocas graníticas, rocas sintéticas, rocas alcalinas saturadas, pegmatitas, calizas dolomíticas y las vetas de origen hidrotermal como posibles yacimientos mineros para el aprovechamiento de tierras raras (Kato y col., 2011; Fernández, 2017). Otra de las fuentes alternas para el aprovechamiento de tierras raras en México son los depósitos costeros (bancos de arena, apatitas, esquistos marinos, minerales carbonatados, esqueletos de coral, y fosforitas) y depósitos fluviales (Kato y col., 2011), los cuales son considerados como áreas de oportunidad para ser valorizadas y explotadas, ver Figura 3. Es conveniente indicar que se estima que las concentraciones de tierras raras en estas fuentes no convencionales sean, en general, bajas (Godwyn-Paulson y col., 2022). En particular, el cerio (Ce) es el elemento más abundante en las zonas costeras y su riqueza se debe a las actividades mineras de Cu (Kasper-Zubillaga y col., 2008; Mariano y

Mariano, 2012; Godwyn-Paulson y col., 2022).

Estudios recientes han reportado la presencia de tierras raras en sedimentos, playas y cuencas oceánicas. Algunos estudios han indicado que las reservas oceánicas son 100 veces superiores a la reserva global (Balaram, 2019). Se ha estimado que aproximadamente 1 km² (por 10 metros de espesor) puede cubrir 1/15 de la demanda global (Kato y col., 2011). En este sentido, surge una oportunidad para la exploración y la investigación. Hasta la fecha, no se han identificado estudios que se centren específicamente en evaluar el potencial de recuperación de tierras raras en entornos costeros o de playa. Sin embargo, existen estudios que confirman la presencia de estos elementos en dichas fuentes (Godwyn-Paulson y col., 2022; Shukla y col., 2024).

Otra fuente no convencional considerada para la recuperación potencial de tierras raras consiste en el reciclaje de desechos electrónicos. Según la PROFECO y otras fuentes oficiales, México genera anualmente 1.1 - 1.2 millones de toneladas de residuos electrónicos (Semarnat, 2020; Saldan-Duran y col., 2020; Procuraduría Federal del Consumidor, 2025). Estos residuos contienen elementos valiosos que incluyen las tierras

raras y representan una alternativa de recuperación. El reciclaje de los componentes electrónicos también permitiría la recuperación de otros elementos metálicos como el oro, plata, platino, paladio, por mencionar algunos ejemplos (Drobniak y Mastalerz, 2022). Es conveniente indicar que el contenido de tierras raras en residuos electrónicos puede variar significativamente dependiendo del tipo de residuo, el cual representa un reto tecnológico adicional para la implementación de estrategias de reciclaje.

Bajo esta perspectiva, es importante considerar los costos de inversión y su implementación. Dichos costos abarcan desde la exploración hasta los procesos metalúrgicos, los cuales pueden variar según

el tipo de precursor mineral y su grado de purificación. Los procesos para la obtención de estos elementos estratégicos pueden incluir molienda, clasificación, separación física (gravimétrica, magnética) o química (lixiviación), así como procesos de purificación tanto físicos (adsorción, membranas) como el uso de agentes químicos (solventes) (Ganguli y Cook, 2018; Shuai y col., 2024; Zhao y col., 2025). Asimismo, es fundamental realizar la evaluación de los impactos ambientales relacionados con la extracción y purificación de las tierras raras a partir de fuentes primarias o de costas, así como las opciones más viables para su reciclaje incluyendo la implementación de apropiadas políticas públicas que impulsen esta alternativa (Zhao y col., 2025).

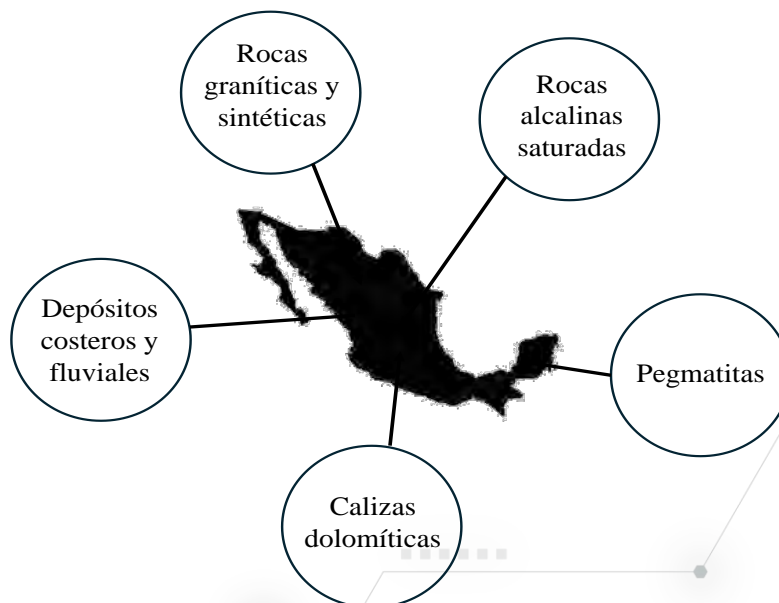


Figura 3. Posibles fuentes para el aprovechamiento de tierras raras en México.

La concentración de tierras raras en dispositivos electrónicos puede variar según el producto y su función. Dichos elementos se utilizan comúnmente en lámparas fluorescentes, semiconductores, baterías, imanes y otras aplicaciones. Sin embargo, es necesario mejorar su recuperación mediante el reciclaje, ya que una gran cantidad de tierras raras termina en vertederos generando contaminación ambiental (Marra y col., 2018). En la literatura se han abordado los métodos disponibles y los principales desafíos asociados al reciclaje de tierras raras a partir de productos de desecho, particularmente residuos electrónicos (Ambaye y col., 2020). Dichos estudios han resaltado los diferentes retos tecnológicos y económicos asociados a dicha fase de reciclaje y recuperación de estos elementos estratégicos.

3. Conclusiones

Los datos reportados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) han permitido la identificación de fuentes potenciales para la recuperación de las tierras raras como elementos estratégicos para el desarrollo nacional. La presencia y el potencial de explotación de estas fuentes de tierras raras deben confirmarse para establecer un plan integral para su

aprovechamiento. Por otra parte, la explotación de las fuentes prometedoras para el aprovechamiento y extracción de tierras raras en México requiere de inversión en investigación y desarrollo tecnológico que promueva la recuperación de estos elementos químicos. El estudio y valorización de fuentes no convencionales de tierras raras es fundamental para desarrollar procesos de recuperación económicamente sustentables que puedan implementarse en el mediano y largo plazo. Los cambios de políticas públicas, la apreciación del valor comercial de las tierras raras derivado de sus aplicaciones tecnológicas y la reducción global de los desechos electrónicos podrían influir en la aplicación de la tecnología enfocada a la extracción de tierras raras.

Referencias bibliográficas

Ambaye, T.G., Vaccari, M., Castro, F.D., Prasad, S. y Rtimi, S. (2020). Emerging technologies for the recovery of rare earth elements (REEs) from the end-of-life electronic wastes: A review on progress, challenges, and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 36052–36074. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09630-2>

Artiushenko, O., da Silva, R.F. y Zaitsev, V. (2023). Recent advances in functional materials for rare earth recovery: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 37, e00681.

<https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00681>

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>

Depraeter, L. y Goutte, S. (2023). The role and challenges of rare earths in the energy transition. *Resources Policy*, 86, 104137.

<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104137>

Drobniak, A. y Mastalerz, M. (2022). Rare Earth Elements: A brief overview. *Indiana Journal of Earth Sciences*, 4.

<https://doi.org/10.14434/ijes.v4i1.33628>

Dushyantha, N., Batapola, N., Ilankoon, I.M.S.K., Rohitha, S., Premasiri, R., Abeysinghe, B., Ratnayake, N. y Dissanayake, K. (2020). The story of rare earth elements (REEs): Occurrences, global distribution, genesis, geology, mineralogy and global production. *Ore Geology Reviews*,

122, 103521.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103521>

Fernandez, V. (2017). Rare-earth elements market: A historical and financial perspective. *Resources Policy*, 53, 26–45.

<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.05.010>

Ganguli, R. y Cook, D.R. (2018). Rare earths: A review of the landscape. *MRS Energy & Sustainability*, 5, e6.

<https://doi.org/10.1557/mre.2018.7>

Godwyn-Paulson, P., Jonathan, M.P., Rodríguez-Espinosa, P.F. y Rodríguez-Figueroa, G.M. (2022). Rare earth element enrichments in beach sediments from Santa Rosalia mining region, Mexico: An index-based environmental approach. *Marine Pollution Bulletin*, 174, 113271.

<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113271>

Kasper-Zubillaga, J.J., Acevedo-Vargas, B., Bermea, O.M. y Zamora, G.O. (2008). Rare earth elements of the Altar Desert dune and coastal sands, Northwestern Mexico. *Geochemistry*, 68 (1), 45–59.

<https://doi.org/10.1016/j.chemer.2006.05.001>

Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., Toda, R., Nakashima, T. e Iwamori, H. (2011). Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience.*, 4 (8), 535–539. <https://doi.org/10.1038/ngeo1185>

Liu, K., Tan, Q., Yu, J. y Wang, M. (2023). A global perspective on e-waste recycling. *Circular Economy*, 2, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.cec.2023.100028>

Mariano, A.N. y Mariano, A. (2012). Rare Earth Mining and Exploration in North America. *Elements*, 8 (5), 369–376. <https://doi.org/10.2113/gselements.8.5.369>

Marra, A., Cesaro, A. y Belgiorno, V. (2018). Separation efficiency of valuable and critical metals in WEEE mechanical treatments. *Journal of Cleaner Production*, 186, 490–502. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.112>

Massari, S. y Ruberti, M. (2013). Rare earth elements as critical raw materials: Focus on international markets and future strategies. *Resources Policy*, 38 (1), 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2012.07.001>

01

Orris, G.J., Seo, Y., Briggs, D.A., Dunlap, P. y Cocker, M.D. (2018). Global rare earth element occurrence database: *U.S. Geological Survey data release*. 10.5066/F7DR2TN4

Procuraduría Federal del Consumidor. (2025). *Obsolescencia programada: Comodidad vs. durabilidad*. Revista del Consumidor, (583), 8–13. https://revistadelconsumidor.profeco.gob.mx/media/revistas/revista_2025_9_completo.pdf

Saldaña-Durán, C.E., Bernache-Pérez, G., Ojeda-Benítez, S. y Cruz-Sotelo, S.E. (2020). Environmental pollution of E-waste: Generation, collection, legislation, and recycling practices in Mexico. *Handbook of electronic waste management*, 421–442. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817030-4.00021-8>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020, 13 de octubre). *Buscan SEMARNAT y PNUD manejo adecuado de residuos electrónicos para evitar afectaciones a la salud y al medio ambiente*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/buscan-semarnat-y-pnud-manejo-adecuado-de->

residuos-electronicos-para-evitar-
afectaciones-a-la-salud-y-al-medio-ambiente

Shuai, Z., Zhu, Y., Gao, P. y Han, Y. (2024). Rare earth elements resources and beneficiation: A review. *Minerals Engineering*, 218, 109011.

<https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.109011>

1

Shukla, M., Verma, S.K., Ramos-Vazquez, M.A., Armstrong-Altrin, J.S., Hernandez-Martínez, K.R., Mishra, S., Malviya, V.P. y Hernandez-Mendoza, H. (2024).

Geochemistry and mineralogy of beach sediments in the northern Gulf of Mexico, Tamaulipas state, Mexico: implication for provenance. *Journal of Palaeogeography*, 13(3), 375–400.

<https://doi.org/10.1016/j.jop.2024.05.002>

Squadrone, S., Brizio, P., Stella, C., Mantia, M., Pederiva, S., Brusa, F., Mogliotti, P., Garrone, A. y Abete, M.C. (2020). Trace elements and rare earth elements in honeys from the Balkans, Kazakhstan, Italy, South America, and Tanzania. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (11), 12646–12657.

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-07792-7>

Zhao, T.Y., Li, W.L., Kelebek, S., Choi, Y., Wu, C.Q., Zhang, W.-J., Wang, C.-Y., Zhao,

Z.-W. y Sadri, F. (2025). A comprehensive review on rare earth elements: resources, technologies, applications, and prospects. *Rare Metals*, 44(10), 7011–7040. <https://doi.org/10.1007/s12598-025-03459-9>