

Reciclando cosas raras

Dra. Astrid Delfina Toache Perez

Instituto Politécnico Nacional - UPIT

Abstract

Current technologies depend on little-known but essential elements: rare earths. Although they are not scarce on Earth, their extraction is complex and polluting. These elements are used in screens, electric vehicles, medicine, and more. However, their demand is growing and resources are being depleted, which is why their recovery from electronic waste is being sought through different methods such as acid leaching, pyrometallurgy, or more environmentally friendly techniques. Recycling rare earths not only reduces environmental impact, it also boosts access to clean technologies and paves the way for a circular and sustainable economy.

Keywords: Rare earths, electronic waste, recovery, circular economy.

Resumen

Las tecnologías actuales dependen de elementos poco conocidos pero esenciales: las tierras raras. Aunque no son escasas en la Tierra, su extracción es compleja y contaminante. Estos elementos se usan en pantallas, autos eléctricos, medicina y más. Sin embargo, su demanda crece y los recursos se agotan, por esta razón se busca su recuperación a partir de la basura electrónica mediante diferentes métodos como lixiviación ácida, la pirometalurgia o técnicas más ecológicas. Reciclar tierras raras no solo reduce el impacto ambiental, también impulsa el acceso a tecnologías limpias y marca el camino hacia una economía circular y sustentable.

Palabras clave: Tierras raras, basura electrónica, recuperación, economía circular.

Introducción

Gracias a las nuevas tecnologías podemos tener una vida más organizada, una casa más limpia, comunicarnos con personas en cualquier parte del planeta en tiempo real, utilizar energías limpias en casa, dispositivos para tener experiencias de realidad virtual y mucho más, pero ¿has considerado que elementos de la tabla periódica son esenciales para su funcionamiento?, y aún más, ¿sabes el daño que esta tecnología genera al planeta?, ¿existirá alguna forma de evitar los daños colaterales? A continuación, trataremos de contestar estas preguntas.

En la actualidad, las tecnologías más modernas necesitan elementos de la tabla periódica muy especiales para poder tener todas las características que las hacen novedosas, algunos de estos elementos son galio, indio, germanio y elementos de tierras raras (TR) (escandio, itrio y los 15 elementos del grupo de lantánidos) (Ohene Opare, Struhs & Amin Mirkouei, 2021) principalmente. Sin embargo, en el escenario global, los depósitos minerales de estos elementos son cada vez más escasos, excluyendo a China quien actualmente es considerado un monopolio en la extracción y producción de más del 90% de TR a nivel mundial, generando que este país pueda tener control del uso, el costo y la distribución de estos elementos (Shen, Y., Moomy, R. & Eggert, R.G., 2020), en consecuencia, es que se buscan alternativas para recuperar estos elementos presentes en diversos aparatos y equipos electrónico que estén en desuso y utilizarlos en nuevas tecnologías.

¿Por qué son raros?

Para empezar los elementos de TR no llevan su nombre por ser “escasos” en la corteza terrestre, de hecho, se

encuentran en abundancia de manera similar al níquel, cobre, zinc o estaño, sin embargo, a diferencia de los elementos mencionados las TR están distribuidas alrededor del mundo, pero en muy bajas concentraciones y en conjunto a otros minerales y/o elementos que incluso pueden llegar a ser tóxicos o radioactivos, lo que hace que se requiera una gran cantidad de pasos (trituration, cribado, uso de agentes químicos, tratamientos térmicos, etc.) para su obtención. El proceso de extracción de TR se puede resumir en 4 etapas (pre-concentración, purificación, separación y refinado), sin embargo, estos elementos cuentan con características físico-químicas muy similares lo que hace muy complicado el último proceso de refinado y es por esta complejidad que adquieren el nombre de “raras”. De igual manera obtener las TR de la corteza terrestre genera impactos irreversibles al medio ambiente y a la salud de los seres vivos, tales como la erosión y pérdida

de suelos fértiles, contaminación tanto aguas superficiales como subterráneas, destrucción de hábitats, entre muchos otros daños (Ohene Opore, Struhs & Amin Mirkouei, 2021).

Pero... ¿cuál es la importancia de estos elementos “raros”?

Desde 1890 los elementos de TR han tenido aplicaciones cruciales en diferentes sectores de la industria, son ampliamente utilizados en equipos militares, en medicina, agricultura, electrónica, energía verde y en nuevos materiales que a pasos agigantados van incursionando en la industria, tal es así que se han referido a estos elementos como las “vitaminas de la industria” (Tao *et al.*, 2022), al mismo tiempo estos elementos adquieren gran importancia en la generación de nuevas y mejores tecnologías que permiten la transición hacia una economía verde (Pangsy-Kania & Flouros, 2022).

Tabla 1: Ejemplos de la aplicación de elementos de Tierras Raras (TR) en diferentes áreas.

Área de Aplicación	Ejemplos
Equipos militares	Sistemas de radar y sensores, Propulsión, Visión nocturna y camuflaje, Submarinos (propulsión silenciosa), Tecnología satelital y espacial.
Medicina	Tecnología láser para procedimientos quirúrgicos, Diagnóstico por imágenes (RM y Rayos X), Tratamientos contra el cáncer, Prótesis y liberación controlada de fármacos.
Agricultura	Conservación de semillas, Reducción de toxicidad de metales, Fertilizantes y pesticidas sostenibles.
Electrónica	Sensores y sistemas espaciales, Discos duros y dispositivos de memoria avanzada, Baterías recargables y celdas de combustible, Telecomunicaciones.
Energía verde	LEDs de bajo consumo de energía, Almacenamiento de energía renovable, Generación de energía solar, Vehículos eléctricos.
<i>Nota:</i> (OpenAI, 2025).	

¿Cómo se pueden recuperar las TR de la basura electrónica y eléctrica?

Hoy en día hay una amplia investigación para el reciclaje de TR a partir de basura electrónica, un ejemplo es la técnica de lixiviación ácida, utilizando la combinación de ácidos muy fuertes como ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3) y ácido clorhídrico (HCL) (Yuksekdag *et al.*, 2022); otro método muy utilizado en las empresas de reciclaje es la pirometalurgia, la cual incluye el uso de hornos especiales con elevadas temperaturas además, en estos procesos es posible obtener residuos de aceite y gas que pueden ser utilizados como alternativas a los combustibles fósiles (Andooz *et al.*, 2022). Por último, con la intención de utilizar métodos y procesos que sean menos agresivos con el medio ambiente se han estudiado y aplicado la bio-lixiviación, que emplean microorganismos o biomateriales para la recuperación de TR sin embargo,

estos procesos siguen siendo lentos y poco eficientes en comparación con los métodos mencionados anteriormente (Ohene Opare, Struhs & Amin Mirkouei, 2021).

Más actualmente se estudian procesos sustentables, menos abrasivos y que requieren menor cantidad de energía y tiempo para la recuperación de TR, por ejemplo procesos que utilizan la sonoquímica, donde se utiliza frecuencias muy altas de sonido que, sumergidas en soluciones, crean microburbujas que son capaces de romper los enlaces que mantienen las TR unidas a otros elementos (Lütke *et al.*, 2023), así mismo, los procesos electroquímicos, donde se hace pasar energía a través de una solución acuosa llamada electrolito para de igual manera romper enlaces y recuperar las TR que se encuentren en solución (Balaram, 2024).

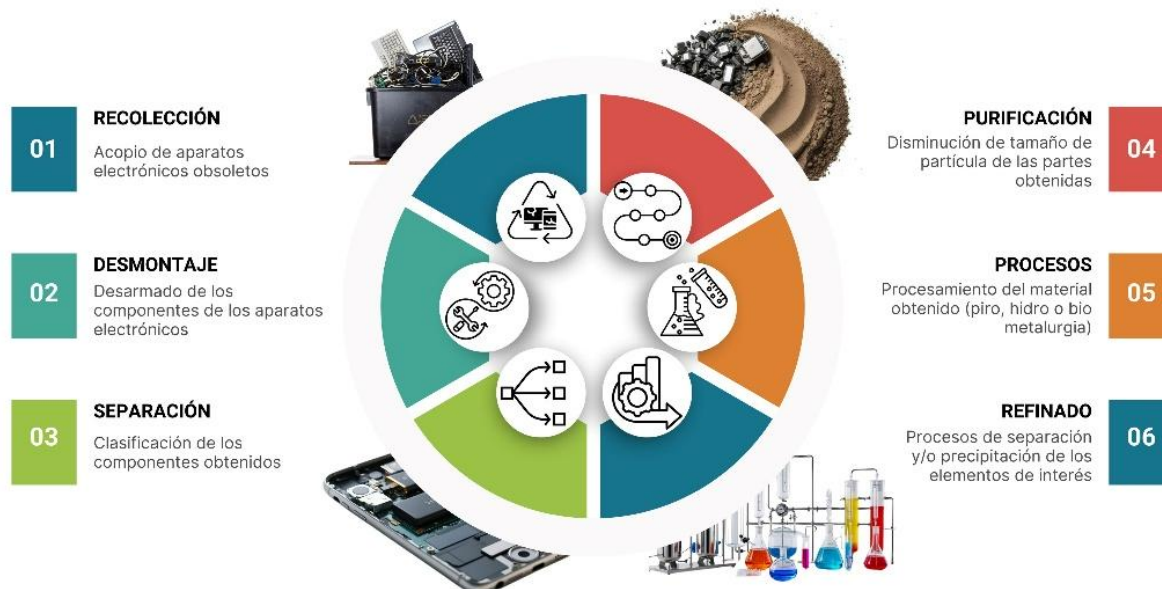


Figura 1: Principales pasos en el proceso de recuperación de TR a partir de basura electrónica.

¿En que podrían reutilizarse estos elementos? Y ¿Qué características deben tener para su reutilización?

Los elementos de TR recuperados a partir de electrónicos obsoletos,

pueden utilizarse en la generación de nuevas tecnologías (dispositivos móviles, baterías recargables, en equipos médicos, en la generación de energías limpias, imanes de alta potencia, entre

otros). Además, su recuperación desde fuentes secundarias permite los costos de producción, lo que facilita el acceso a tecnologías avanzadas para un mayor número de personas (Paleologos *et al.*, 2025).

No obstante, para que la reutilización sea viable, es fundamental que los elementos de TR que han sido recuperados cumplan con ciertas características esenciales, como una alta pureza, es decir, que estén libres de contaminantes o residuos no deseados y que el proceso de recuperación sea eficiente, causando un menor daño ambiental en comparación con los métodos tradicionales de minería (Paleologos *et al.*, 2025).

En conclusión, la alta demanda de TR y su dificultad de obtención, resalta su papel esencial en la innovación tecnológica y sugiere que la demanda de estos elementos seguirá en aumento por ello, resulta indispensable adoptar un enfoque basado en la economía circular y verde, las cuales promueven la recuperación y reutilización de elementos críticos para la generación nuevas tecnologías (Balaram, 2024).

Referencias

- [1] Andooz, A., Eqbalpour, M., Kowsari, E., Ramakrishna, S., & Cheshmeh, Z. A comprehensive review on pyrolysis of E-waste and its sustainability, *J. Clean. Prod.*, 333, 130191, 2022.
- [2] Balaram, V., *Sustainable Recovery of Rare Earth Elements by Recycling of E-Waste for a Circular Economy: Perspectives and Recent Advances*, Environmental Materials and Waste (Second Edition), 2024, pp. 499-544.
- [3] Lütke, S., Pinto, D., Callegaro Brudi, L., Silva, L., Cadaval Jr., T., Duarte, F., . . . Dotto, G., Ultrasound-assisted leaching of rare earth elements from phosphogypsum, *Chem. Eng. Process.*, 191, 109458, 2023.
- [4] Ohene Opare, E., Struhs, E., & Amin Mirkouei, A., A comparative state-of-technology review and future directions for rare earth element separation. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 143, 110917, 2021.
- [5] OpenAI. (2025, Enero 16). Retrieved Enero 16, 2025, from ChatGPT: <https://openai.com/index/chatgpt/>
- [6] Paleologos, E., Mohamed, A.-M., Singh, D., O'Kelly, B., Gamal, M., Mohammad, A., . . . Leong, E.-C., Sustainability challenges of clean-energy critical minerals: copper and rare earths, *Env. Geotech.*, 12[2], pp. 88-100, 2025.
- [7] Pangsy-Kania, S., & Flouros, F. (23-24 November 2022). Rare Earth Elements as A Huge Economic Challenge For The Future of Green Economy. Proceedings of the 40th International Business Information Management Association, (pp. 530-538). Seville, Spain.
- [8] Shen, Y., Moomy, R., & Eggert, R.G., China's public policies toward rare earths, 1975–2018. *Miner. Econ.*, 33, pp. 127-151, 2020.
- [9] Tao, Y., Shen, L., Feng, C., Yang, R., Qu, J., Ju, H., & Zhang, Y., Distribution of rare earth elements (REEs) and their roles in plant growth: A review, *Environ. Pollut.*, 298, 118540, 2022
- [10] Yuksekdog, A., Kose-Mutlu, B., Zeytuncu-Gokoglu, B., Kumral, M.,

Wiesner, M., & Koyuncu, I., Process optimization for acidic leaching of rare earth elements (REE) from waste electrical and electronic

equipment (WEEE), *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 29, pp. 7772-7781, 2022.