CIENCIA, TECNOLOGÍA Y GEOPOLÍTICA

Ni tierras ni raras: El motor oculto que moviliza el futuro de la tecnología mundial

De la química atómica a la medicina de alta precisión, la transición energética y el dominio geopolítico: cómo los orbitales 4f de 17 elementos químicos redefinen nuestra vida cotidiana. Un informe exhaustivo elaborado por estudiantes de 6º Año del Colegio Capuchinos de Concordia.

1. El mito del nombre: ¿Por qué no son «tierras» ni «raras»?

En el lenguaje cotidiano, la denominación **«tierras raras»** evoca la imagen de minerales exóticos, extremadamente escasos y al borde de la extinción. Sin embargo, desde la perspectiva de la química y la geología, esta denominación es un anacronismo histórico que corresponde al grupo de **17 elementos químicos** integrado por el **escandio (Sc, Z=21)**, el **itrio (Y, Z=39)** y los 15 miembros de la familia de los **lantánidos** (desde el lantano, Z=57, hasta el lutecio, Z=71).

El origen del nombre se remonta a finales del siglo XVIII en Suecia, cuando la palabra *«tierra»* se empleaba para nombrar a los óxidos metálicos que no podían disolverse ni separarse con la tecnología química de la época. Se las calificó de *«raras»* no por su escasez en la corteza terrestre, sino porque los minerales que las contenían eran poco frecuentes y de difícil aislamiento. En realidad, elementos como el **cerio**, el **itrio** o el **neodimio** son más abundantes en la litosfera que metales preciosos como el oro, la plata o el mercurio.

2. La arquitectura atómica: El secreto en los orbitales 4f

Las propiedades insustituibles de estos elementos se fundamentan en su microestructura atómica. A lo largo de la serie de los lantánidos, se produce el **llenado progresivo del subnivel electrónico 4f**, cuyos orbitales están profundamente protegidos por los electrones de los niveles exteriores 5s, 5p y 6s.

Esta particularidad genera dos consecuencias clave:

1. **Cationes trivalentes (Ln^{3+}) y contracción lantánida:** La atracción nuclear comprime la nube electrónica, reduciendo el radio iónico de 1,02 Å en el Lantano a 0,86 Å en el Lutecio. Al compartir radios y cargas casi idénticos, presentan un comportamiento químico muy similar y aparecen siempre mezclados en los mismos yacimientos.
2. **Efectos magnéticos y Regla de Oddo-Harkins:** Sus electrones desapareados (sólo uno de un máximo de dos por orbital) otorgan momentos magnéticos y ópticos únicos. A nivel atómico, los elementos de número atómico par (Nº par de electrtones o protones, como por ejemplo el **cerio** o **neodimio**) son sustancialmente más estables y abundantes en la naturaleza que los de número impar.



3. Tres pilares fisicoquímicos: Magnetismo, resistencia térmica y luz

Las tecnologías del siglo XXI descansan sobre tres pilares proporcionados por las tierras raras:

Supermagnetismo permanente: La aleación de **neodimio**, hierro y boro (NdFeB) permite fabricar los imanes permanentes más potentes del mundo, haciendo posible miniaturizar motores eléctricos manteniendo una gran potencia.

Termorresistencia y Punto de Curie: En motores que operan entre 150 °C y 180 °C, el neodimio puro corre el riesgo de alcanzar su *Punto de Curie* y perder su magnetismo. Para evitarlo, se añaden pequeñas proporciones de **disprosio (Dy)** y **terbio (Tb)**, elevando la tolerancia térmica hasta los 200 °C (o empleando imanes de samario-cobalto para temperaturas extremas).

Óptica y Luminiscencia: El **europio (Eu)** y el **terbio (Tb)** aportan luminiscencia en pantallas LED; el **lantano (La)** y el **cerio (Ce)** se destacan en vidrios ópticos de alta refracción y catalizadores; y el **itrio (Y)** junto al **gadolinio (Gd)** son fundamentales en cerámicas avanzadas y superconductores.

4. Aplicaciones revolucionarias: Energías limpias, medicina y computación cuántica

Sin estos elementos, la sociedad moderna retrocedería tecnológicamente a la década de 1960. Sus aplicaciones transforman campos esenciales:

Electromovilidad y Energías Renovables: Un generador eólico marino consume en promedio **120 kg de neodimio y 12 kg de disprosio por cada megavatio (MW)** instalado. En el sector automotriz, más del 90% de los vehículos eléctricos e híbridos emplean motores de imanes permanentes. Ante el riesgo de escasez, firmas como Renault, BMW y Tesla desarrollan motores de inducción sin imanes, mientras Toyota ha logrado reducir hasta un 50% el neodimio sustituyéndolo por lantano y cerio.

Medicina de Alta Precisión: En **Resonancia Magnética Nuclear (RMN)**, el **gadolinio (Gd)** se inyecta como contraste para obtener imágenes tridimensionales sin radiación. En **Tomografía por Emisión de Positrones (PET)**, cristales de **lutecio (Lu)** captan la aniquilación de positrones para mapear tumores.

Smartphones y Hardware Cuántico: Están presentes en procesadores, altavoces y motores de vibración de teléfonos móviles. En computación cuántica (basada en **qubits** y en los principios de *superposición, entrelazamiento e interferencia*), el **erbio (Er)** lidera en redes cuánticas, el **europio (Eu)** e **itrio (Y)** en almacenamiento, y el **neodimio (Nd)** junto al **disprosio (Dy)** en el control mediante láseres.

4. El monopolio de China y la geopolítica global

A nivel mundial, las reservas superan los 120 millones de toneladas. Sin embargo, la oferta está hiperconcentrada: **China posee 44 millones de toneladas**, representando más del 60% de la extracción minera y el 90% del refinado global. Esto responde a la visión fijada por Deng Xiaoping en 1992: *«Oriente Medio tiene petróleo, China tiene tierras raras»*.

Tras el bloqueo de exportaciones a Japón en 2010 (que disparó el precio del disprosio de 100 a 2.510 U$D/kg), las potencias occidentales declararon a las tierras raras como **materiales críticos y estratégicos**.

5. El panorama en América Latina y el desafío ambiental

Brasil y Argentina: Brasil es el líder regional con entre 21 y 22 millones de toneladas en reservas. **Argentina posee un potencial exploratorio muy prometedor**, habiéndose identificado yacimientos en provincias como **Salta, Jujuy, San Luis y el sur de Santiago del Estero**.

El costo ambiental: Procesar una tonelada de óxidos de tierras raras genera **10.000 m^3 de gases tóxicos**, **75 m^3 de aguas residuales ácidas** y **1 tonelada de residuos radiactivos** (por torio y uranio). Por ello, el sector busca migrar hacia esquemas de economía circular, minería urbana y reciclaje.

6. Conclusión

Para que no queden dudas, queda claro que las tierras raras no son ni tierras ni raras y están golpeando la puerta de nuestras casas, la ventana de nuestros escritorios y la mesa de muchos gobiernos clamando que sin esas "vitaminas" no somos tecnológicamente nada. Como mínimo, no tendríamos a nuestro alcance todos esos avances que a diario utilizamos, a menudo desconocemos y nunca paran de sorprendernos.

INVESTIGACIÓN REALIZADA DESDE CONCORDIA

Este artículo sintetiza el trabajo académico de revisión bibliográfica realizado por los estudiantes de **6º Año 'B' (Promoción 2025)** del **Colegio Capuchinos** de Concordia, Entre Ríos, en el área de *Química*.

Autores: BARRETO, M.; BENET, F.; BENÍTEZ ORTIZ, L.; BREPPE TABENI, G., CHAMPOMIER BLESTSCHER, C.; DACUNDA, S.; DOMÉ, L.; DUROCHER, M.; FRANCO MILERA, F.; GALARZA, J. E.; GAZZOLA, A.; LEIVA CASTELL, M.; MARCONE, L.; MATHERON, J. I.; RIVERO, G.; ROMERO, M.; VÁZQUEZ PONS, J. B.; VIGNE, G. D.; ZUBIZARRETA, Á. M.

PRINCIPAL BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1-https://www.ieee.es/Galerias/fichero/cuadernos/Energia_y_Geoestrategia_2021.pdf
2-https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/tecnologia/motores-electricos-tierras-raras-son-posibles-son-alternativas/20200124185136032768.html (OCT/2025)
3-https://www.rhimagnesitaindia.com/blog/extreme-heat-resistant-materials-types-and-examples/52
4-https://buntingmagnetics.com/blog/how-much-heat-can-rare-earth-magnets-take
5-https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-rare-earths.pdf
6-https://earthrarest.com/rare-earth-production-by-country/
7-https://global.toyota/en/newsroom/corporate/21139684.html
