

HISTORIA DE LA QUÍMICA



ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS: DE CURIOSIDAD CIENTÍFICA A RECURSO ESTRATÉGICO

Dos mentiras, diecisiete elementos y vitaminas para tecnología moderna

José M. Gómez Martín

Dpto. Ingeniería Química y de Materiales

La situación geopolítica actual está muy ligada a la tabla periódica. En las continuas guerras comerciales, y no tan comerciales, entre los países más poderosos del mundo se usan elementos químicos como armas para la negociación. En realidad, los utiliza principalmente un solo contendiente, el que los posee, China. Entre estos elementos químicos los **elementos de tierras raras (ETR)**, o tierras raras, destacan sobre los demás porque están de rabiosa actualidad (2025-2026). Quien las ha puesto de moda es el actual presidente de Estados Unidos, Donald Trump, que está empeñado en conseguirlas, casi al precio que sea. Aunque por algunas declaraciones no queda claro si sabe muy bien qué son, porque parece meter en ese saco a otros elementos como el litio o el grafito. Para ello forzó un acuerdo con Ucrania, después de un primer intento que salió rana (acalorado intercambio de opiniones en el Despacho Oval entre Trump y Zelensky el 28 de febrero de 2025), que se firmó el 30 de abril de 2025. Por este acuerdo, Estados Unidos tiene acceso preferencial a la explotación de los minerales críticos de Ucrania. Sin embargo, según algunos expertos, no están claros los yacimientos que posee Ucrania, ya que los datos que se manejan provienen de la época de la URSS. Aunque esto no impidió que Rusia los invadiera (febrero de 2022), según algunas opiniones, precisamente por sus yacimientos de litio y grafito.

Pero ¿qué son y por qué son tan importantes las tierras raras?

De entrada, en su nombre hay dos mentiras, porque ni son tierras ni son raras. La denominación de **tierras** viene de la época de Lavoisier, y hacía referencia a los óxidos de los metales porque estos no se conocían en su forma pura. En aquella época había elementos que solo se podían obtener como óxidos (como tierras), no se podían aislar con la tecnología de la época. Pero en realidad sí se han podido aislar, y además los minerales de los que proceden son, por ejemplo, carbonatos (bastnasita) o fosfatos (monacita). Y la denominación de raras se debe a que en un principio solo había yacimientos en Suecia (Ytterby y Bastnäs). En realidad, no son escasas en la corteza terrestre, elementos como el **lantano, el cerio, el neodimio, el escandio o el itrio** son tan abundantes como el cobre, el cromo o el níquel, y superiores al plomo, al estaño o al molibdeno (ver **figura 1**). Algunos si son menos abundantes, como el **prometio**, qué si se puede considerar raro, pero es radiactivo con una vida media de algo menos de 20 años para el prometio-145, y de algo menos de tres años para el prometio-147.

HISTORIA DE LA QUÍMICA

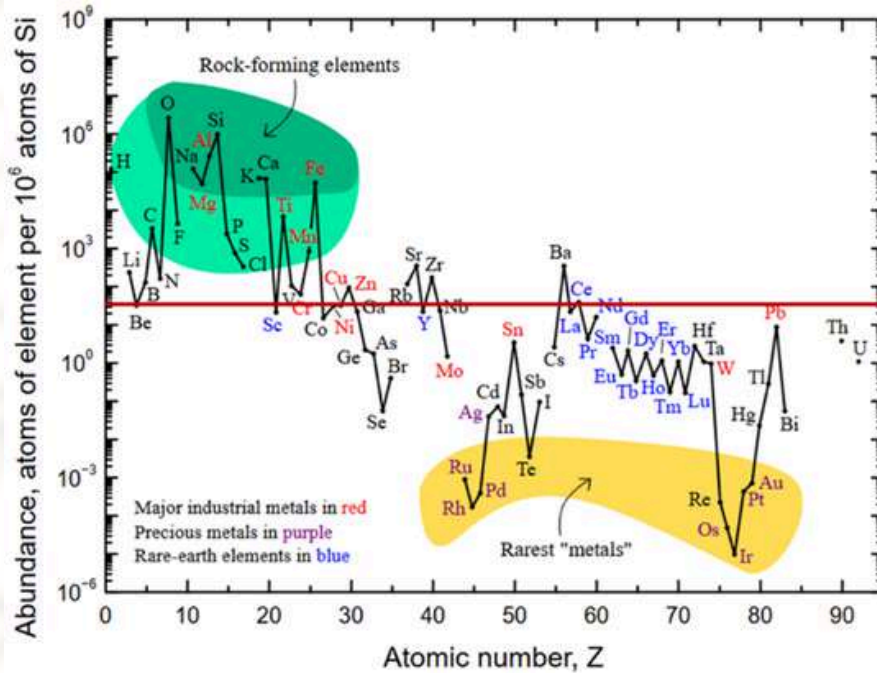


Figura 1. Abundancia de elementos químicos en la corteza Terrestre (Gordon B. Haxel, Sara Boore, and Susan Mayfield from USGS; Dominio público).

La primera noticia de uno de estos elementos se produjo en Suecia, cuando en la mina de cuarzo de Ytterby, en la isla de Resarö cerca de Estocolmo, **Carl Axel Arrhenius** (no confundir con el Arrhenius de la teoría clásica ácido/base), teniente del ejército sueco, encontró en 1787 una piedra negra, que bien podía haber confundido con carbón. Pero Arrhenius tenía conocimientos de mineralogía y química y, solo por su peso, sabía que no era carbón. La llamó **tungsten** (piedra pesada) de Ytterby, renombrada como iterbita y posteriormente como gadolinita, y le mandó una muestra a **Johan Gadolin**, que estaba en la universidad de Åbo, para que la analizara. Arrhenius esperaba que encontrara wolframio, el elemento que acababan de descubrir los hermanos Delhuyar en 1783. Gadolin se tomó su tiempo, y en 1792 lo analizó encontrando que estaba formado por sílice, alúmina, óxido de hierro y por un 38% de un óxido (tierra) desconocido al que llamó itria, y al nuevo elemento **itrio**. El nombre se puso en honor a Ytterby, el pueblo donde se había encontrado el mineral. **Se había descubierto la primera tierra rara**. En aquella época se consideraba evidencia suficiente para proponer la existencia de un nuevo elemento el descubrimiento de su óxido, aunque el metal puro no se pudiera aislar. Pasaron 36 años hasta que **Friedrich Wöhler** aisló el itrio en 1828. El itrio no ha sido el único elemento que debe su nombre al pueblo de Ytterby; el terbio, el erbio y el iterbio también honran a este pueblo. Todos estos elementos se aislaron del tungsten de Ytterby. Existe la duda de si Gadolin realmente identificó la itria u óxido de itrio o si, lo que él supuso que era el óxido de un nuevo elemento, era en realidad una mezcla de óxidos de elementos de tierras raras.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Según se desarrollaron nuevas técnicas analíticas, se comprobó, varias veces, que lo que se pensaba que era una tierra rara en realidad incluía algunas más. Sin embargo, siempre existirá esta duda, ya que las muestras de gadolinita con las que trabajó desaparecieron en el incendio que arrasó gran parte de la ciudad de Åbo (actual Turku en Finlandia) en septiembre de 1827.

Sin embargo, fue anteriormente cuando se tuvo noticias de otro mineral inusualmente denso. En 1751, **Axel Fredrik Crönstedt** encontró un mineral marrón rojizo, en las minas de Bastnäs, al que denominó piedra pesada (*tungsten*) de Bastnäs. Pero, de su análisis concluyó que era wolframio, su inusual peso le confundió. A la misma conclusión llegó Scheele en 1781, cuando analizó el mismo mineral que le había enviado un quinceañero Wilhem Hisinger (que era el hijo del propietario de la mina de Bastnäs). Pero, después del descubrimiento del itrio, Hisinger, ya con formación científica, y trabajando con Berzelius, le convenció para volver a analizar el tungsten de Bastnäs, pensando que llevaría itrio en su composición. La sorpresa vino cuando concluyeron, en 1803, que había un óxido (tierra) de un nuevo elemento, al que llamaron **Ceria**, por el planeta enano Ceres recientemente descubierto en 1801 (posteriormente asteroide entre las órbitas de Marte y Júpiter). Ceres era la diosa romana de la agricultura, las cosechas y la fertilidad. Al mineral le llamaron cerita y al óxido ceria. Curiosamente, al mismo tiempo y sin conocimiento de su investigación, **Martin Heinrich Klaproth**, trabajando en Berlín con una muestra del mismo mineral llegó a la misma conclusión. Actualmente se consideran a los tres los descubridores del cerio.



Figura 2. De izquierda a derecha: Carl Axel Arrhenius, Johan Gadolin y Axel Fredrik Crönstedt. Dominio público, Wikimedia commons).

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Desde entonces, no sin algunos errores por el camino, se han ido descubriendo todos los elementos de tierras raras, siendo el último el **prometio** en 1945. Se sabía que debía de existir un elemento desconocido, de número atómico 61, entre el neodimio y el samario, pero nadie había logrado identificarlo, a pesar de los múltiples intentos que hubo. En cierta época su aislamiento llegó a suponer un conflicto científico entre Estados Unidos e Italia. Incluso se llegó a pensar que no existía cuando **Ida Noddack**, tres veces nominada a los premios Nobel de Química, postuló, después de haberlo buscado con ahínco, que debía de ser radiactivo con una vida media inferior a la edad de la tierra. Pero el **Proyecto Manhattan** vino al rescate, sin saberlo, ya que no era su objetivo. En 1945 en los laboratorios Clinton en Tennessee, posteriormente rebautizados como Laboratorio Nacional de Oak Ridge, fue confirmada su existencia por **Jacob A. Marinsky, Lawrence E. Glendenin y Charles D. Coryell**. El prometio apareció analizando los subproductos de la fisión del uranio en un reactor nuclear de grafito. Entre estos productos estaban el praseodimio, el neodimio y ¡el prometio! Sin embargo, esto no tenía ningún interés militar, y dado que todo en ese proyecto se consideraba secreto, no se supo de este descubrimiento hasta 1947. Se llegó a pensar que solo se podía obtener de forma artificial, hasta que en la década de los sesenta se detectaron trazas en minerales de uranio (pechblenda), como subproducto de la fisión espontánea del U^{238} . Actualmente se estima que su abundancia en la corteza terrestre es de 500-600 g, por lo que probablemente sea la única tierra rara, realmente rara. Este elemento fue bautizado así en honor a Prometeo, el titán de la mitología que robó el fuego de los dioses del Olimpo y se lo entregó a la humanidad.



Figura 3. De izquierda a derecha: Ida Noddack (Por Dome de, CC BY-SA 3.0), Jacob A. Marinsky, Lawrence E. Glendenin y Charles D. Coryell (Dominio público).

Las tierras raras son un conjunto de 17 elementos químicos con nombres bastante curiosos (**ver tabla**) y que se subdividen en tierras raras ligeras y pesadas. El europio es el límite y se le considera ligera, aunque podemos encontrar clasificaciones que le agrupan dentro de las pesadas.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



TIERRAS RARAS ORDENADAS POR AÑO DEL DESCUBRIMIENTO					
AÑO DEL DESCUBRIMIENTO	ELEMENTO	SÍMBOLO	Nº ATÓMICO	TIPO	DESCUBRIDOR(ES)
1794	Itrio	Y	39	Pesada	Johan Gadolin (químico finlandés)
1803	Cerio	Ce	58	Ligera	Jöns Jacob Berzelius y Wilhelm Hisinger (suecos); independientemente Martin Heinrich Klaproth (alemán)
1839	Lantano	La	57	Ligera	Carl Gustaf Mosander (químico sueco)
1843	Terbio	Tb	65	Pesada	Carl Gustaf Mosander (químico sueco)
1843	Erbio	Er	68	Pesada	Carl Gustaf Mosander (químico sueco)
1878	Holmio	Ho	67	Pesada	Marc Delafontaine y Jacques-Louis Soret (suizos); aislado posteriormente por Per Teodor Cleve (sueco)
1878	Iterbio	Yb	70	Pesada	Jean Charles Galissard de Marignac (químico suizo)
1879	Samario	Sm	62	Ligera	Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran (químico francés)
1879	Tulio	Tm	69	Pesada	Per Teodor Cleve (químico sueco)
1879	Escandio	Sc	21	Ligera	Lars Fredrik Nilson (químico sueco)
1880	Gadolinio	Gd	64	Pesada	Jean Charles Galissard de Marignac (químico suizo)
1885	Praseodimio	Pr	59	Ligera	Carl Auer von Welsbach (químico austriaco)
1885	Neodimio	Nd	60	Ligera	Carl Auer von Welsbach (químico austriaco)
1886	Disprosio	Dy	66	Pesada	Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran (químico francés)
1901	Europio	Eu	63	Ligera	Eugène-Anatole Demarçay (químico francés)
1907	Lutecio	Lu	71	Pesada	Georges Urbain (químico francés); independientemente Carl Auer von Welsbach (austriaco) y Charles James (británico-estadounidense)
1945	Prometio	Pm	61	Ligera	Jacob A. Marinsky, Lawrence E. Glendenin y Charles D. Coryell (químicos estadounidenses)

Clasificación habitual:

- Ligera (LREE): La–Eu y Sc
- Pesada (HREE): Gd–Lu e Y

Datos destacados:

- El primero en descubrirse fue el Itrio (1794).
- El último en descubrirse fue el Prometio (1945).

Abreviaturas:

LREE = Tierras raras ligeras | HREE = Tierras raras pesadas

Tabla creada por IA (ChatGPT).

De entre todos los descubridores, queremos destacar a [Carl Auer von Welsbach](#) porque además de científico (trabajó con Bunsen), se le considera el descubridor del praseodimio y del neodimio, y tuvo una importante visión comercial que permitió sacar a las tierras raras del laboratorio y llevarlas a la industria. En 1839 [Carl Gustav Mosander](#), había descubierto en la cerita el lantano (de *lanthanein*: estoy oculto) y otra tierra rara que él denominó didimio (de *didymos*: gemelo) y didimia a su óxido. Sin embargo, años después, en 1885, Carl Auer von Welsbach trabajando con la didimia consiguió obtener dos nuevas tierras raras. A una la denominó **praseodidimio** (de *prasio*: verde claro, que era el color del óxido) y a la otra **neodidimio** (de *neo*: nuevo gemelo). Dado que Mosander falleció en 1858 nunca supo que su didimio eran dos tierras raras no una. El nombre de estas dos tierras raras finalmente fueron praseodimio y neodimio, y son probablemente las más importantes en la actualidad por sus aplicaciones en imanes permanentes.

Pero Auer no se quedó solo a nivel de laboratorio, sino que consiguió desarrollar aplicaciones para las tierras raras. En 1890 patentó un sistema de iluminación con el que mejoró la iluminación de las lámparas de gas. Desarrolló una tela de algodón, que impregnada con nitrato de torio y de cerio, se transformaba, al quemarse, en una red de óxidos alrededor del quemador, proporcionando una intensa luz blanca que aumentaba considerablemente la iluminación (en la primera patente de 1885 consiguió una luz verdosa que no gustó a los consumidores). Se conoció como **lámpara Auer** (*Auerlicht*) o manta o camisa de Welsbach y fue la primera aplicación industrial de las tierras raras.

HISTORIA DE LA QUÍMICA

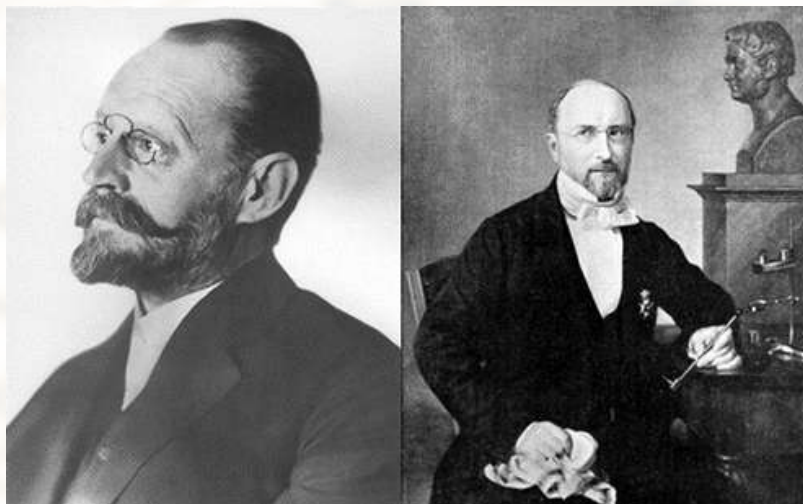


Figura 4. (Izda.) Carl Auer von Welsbach (Dominio público) y (drcha.) Carl Gustaf Mosander (Por Painting by Karl Gustaf Plagemann, Dominio público).

Este sistema consistía en una camisa incandescente con un 99% de óxido de torio y 1% de óxido de cerio. Era tal la luz que emitía que se considera que podía competir con las lámparas eléctricas de filamento de carbono de entonces. La ventaja estaba en el brillo y el precio, eran más barata que las eléctricas. El éxito de la lámpara Auer fue tal que en 1913 se fabricaron 300 millones, que se usaban en hospitales, hoteles, restaurantes, iluminación de ciudades, etc. de todo el mundo. Auer consiguió en 1901 el título de barón von Welsbach, siendo su lema “más luz” (*plus lucis*). Posteriormente su llama se apagó dejando paso a la luz eléctrica. Actualmente se sigue empleando en lámparas portátiles de camping, pero con itrio no con torio, aunque todavía podrían existir algunas con torio, pero no en España.

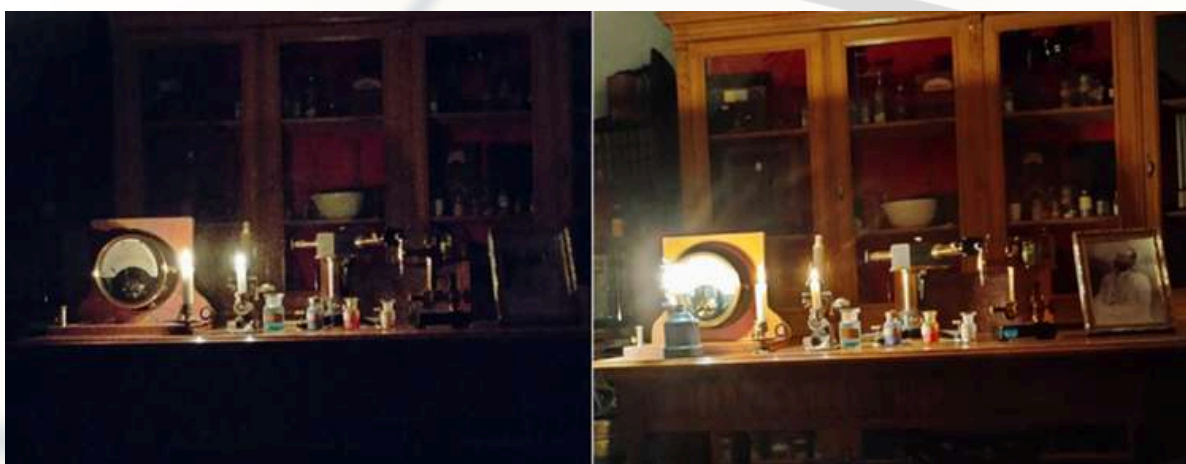


Figura 5. Brillo de la camisa incandescente comparado con el de las velas en el Museo Auer von Welsbach (Von M.Dufek - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0).

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Su curiosidad y capacidad de observación le llevó a desarrollar y patentar, en 1903, el **ferrocerio**, un material pirofórico, que se incendia espontáneamente cuando se lima o raspa. Esto se debe a que con la fricción se producen pequeñas virutas que se oxidan casi instantáneamente al contacto con el oxígeno del aire, produciendo una lluvia de lascas incandescentes que pueden alcanzar temperaturas muy elevadas (3000-3500°C). Su ferrocerio estaba formado por una aleación de cerio (70%) e hierro (30%) y lo llamaron **Auermetall** (también *cereisen* o *ferrocerium*). En 1907 fundó la empresa Treibacher Chemische Werke (posteriormente Treibacher Industrie AG), establecida en Althofen (Austria), para producir ferrocerio a escala comercial. Rápidamente se extendió su uso para encendedores de cigarrillos y encendedores portátiles para uso cotidiano y al aire libre. ¡Otro gran éxito comercial! En 1908 se fabricaron 4 millones desplazando casi por completo a las cerillas francesas.



Figura 6. (Izda.) Camisa incandescente (por Fourpointsix, CC BY-SA 3.0). (centro) Publicidad de los encendedores de Auermetall y (drcha.) Anuncio en ebay.

Su carácter emprendedor no paraba, y gracias a su trabajo en el desarrollo de filamentos metálicos para bombillas fabricó la “*Auer-Oslicht*”, con un filamento de osmio. El 10 de marzo de 1906 registró la marca Osram (de osmio y wolframio). Se trataba de una lámpara eléctrica incandescente de arco voltaico que daba una intensa luz al pasar corriente eléctrica entre sus electrodos de grafito. Auer empleó fluoruros de tierras raras para aumentar la intensidad. Se llegaron a emplear en los proyectores de las salas de cine. En 1919 se fundó la compañía OSRAM al fusionarse la compañía de Auer, la Deutsche Gasglühlicht-Aktiengesellschaft, con los departamentos de iluminación de AEG y Siemens & Halske. Actualmente la capitalización de mercado de *ams OSRAM* ronda los 4690 millones de dólares.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Actualmente las tierras raras forman parte de todas las listas de materias primas fundamentales o minerales estratégicos que han publicado países como Estados Unidos o la propia Unión Europea, lo que indica la importancia que tienen. Su importancia deriva de sus especiales propiedades magnéticas y luminiscentes debido a su especial configuración electrónica.

Sus propiedades luminiscentes son las que las hace fundamentales en aplicaciones industriales como la fabricación de pantallas y monitores (televisiones, tabletas, smartphones, etc.). La presencia de tierras raras permite mejorar la calidad de la imagen al conseguirse colores más intensos, saturados y llamativos que transmiten energía, alegría y vitalidad. El itrio permite mejorar la eficiencia luminosa, el gadolinio hace que se consigan colores más vibrantes, el terbio produce color verde, el europio rojo, el praseodimio amarillo-verde, el disprosio y el lantano blanco, etc. En la fabricación de diodos emisores de luz, más conocidos como **luminarias LED** (*Light Emitting Diode*), la aplicación de fósforos de tierras raras permite crear una luz blanca de alta calidad o colores específicos. El fósforo de cerio emite luz amarilla, el de terbio verde, el de europio roja o azul, el de lutecio un blanco cálido, etc. En las lámparas fluorescentes se emplea itrio y europio para conseguir esa luz blanca.

TIERRAS RARAS: COLORES INTENSOS, TECNOLOGÍA AVANZADA

Las tierras raras son esenciales para producir colores más puros, brillantes y eficientes en las pantallas que usamos cada día.

SIN TIERRAS RARAS

CON TIERRAS RARAS

Más saturación, más contraste y mayor fidelidad de color

¿POR QUÉ SON IMPORTANTES?

- Permiten generar fósforos y materiales luminicos de alta pureza.
- Aumentan el brillo y la eficiencia energética de las pantallas.
- Logran colores más intensos y reales, mejorando nuestra experiencia visual.

ELEMENTOS CLAVE Y SU FUNCIÓN EN EL COLOR

Eu Europio 63 Rojo intenso en fósforos	Tb Terbio 65 Verde brillante en fósforos	Ce Cerio 58 Mejora la eficiencia y estabilidad	Y Itrio 39 Aumenta el brillo y la calidad	La Lantano 57 Mejora la pureza del color
--	--	--	---	--

¿DÓNDE LAS ENCONTRAMOS?

- Pantallas LED, OLED y QLED
- Smartphones y tablets
- Consolas y monitores de alta gama
- Portátiles y televisores

Sin tierras raras, no hay colores intensos. Sin colores intensos, no hay experiencias visuales de calidad.
Las tierras raras hacen posible la **tecnología que ilumina nuestro mundo.**

Figura 7. Imagen generada por IA (ChatGPT).

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Sus propiedades magnéticas son las que han derivado en el desarrollo de los imanes permanentes, necesarios para cualquier tipo de dispositivo electrónico o de sonido, en vehículos eléctricos, máquinas de Resonancia Magnética o especialmente en la generación de energía renovable eólica, entre otros usos. La presencia de neodimio, praseodimio, disprosio y terbio en estos imanes permite obtener campos magnéticos más intensos, mayores densidades energéticas, mayor resistencia a desimantarse (mayor coercitividad), menores pérdidas de propiedades magnéticas con la temperatura, mayor estabilidad térmica, etc. De especial importancia es su uso en la fabricación de aerogeneradores eólicos, donde se necesitan cantidades importantes de neodimio, hasta toneladas para los de mayor potencia (*offshore* o marítimos 15-20 MW).

Tierras raras también se emplean en paneles solares (erbio e iterbio), convertidores catalíticos para vehículos diésel (lantano y cerio), en baterías atómicas (prometio), en las barras de control de reactores nucleares (gadolinio, samario, holmio y erbio absorben neutrones), en sistemas de refrigeración magnética (gadolinio), en sistemas de redes eléctricas inteligentes o *smart grids* (disprosio, terbio, itrio y neodimio se usan en microchips y procesadores), como contraste paramagnético en pruebas de Resonancia Magnética (el gadolinio mejora claridad y detalle), etc.

Pero si hay un uso especialmente importante y estratégico en geopolítica es su uso en la industria militar o armamentística, donde son necesarias para la fabricación de aviones y carros de combate, misiles, piezas de artillería, etc. La OTAN ha publicado una lista de 12 materias primas esenciales para la defensa, donde no podían faltar los elementos de tierras raras: neodimio, disprosio, praseodimio, terbio, samario, itrio o lantano. Por lo tanto, quien controle las tierras raras tiene en su mano el control de esta estratégica industria...y actualmente China domina la extracción (69%) y, sobre todo, el refinamiento de estos elementos (85-90%), además de poseer las mayores reservas conocidas (44 millones de toneladas de óxidos de tierras raras o REO en inglés). Esta situación, de casi monopolio, le permite dominar el mercado, amenazando o cortando su suministro en las batallas comerciales, sobre todo con Estados Unidos. Debido a esta situación Estados Unidos ha vuelto a abrir su mina de Mountain Pass en California, y Australia está impulsando su industria de la extracción y refinado. A pesar de ello la previsión para el 2040 es que China seguirá dominando la producción (>50%).

¿Y qué pinta Groenlandia en todo esto de las tierras raras? Pues resulta que tiene unas reservas de tierras raras estimada en 1,5 millones de toneladas de REO, cantidad similar a la que posee Estados Unidos (1,9 millones de toneladas REO). Esto es lo que ha llamado la atención de Donald Trump y su gobierno, y de ahí su empeño en poseerla, aparte de por otras consideraciones geoestratégicas.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Lo curioso es que la cantidad de tierras raras que se necesita en la industria, con la excepción de los aerogeneradores eólicos, es relativamente pequeña, pero son esenciales, sin ellas la industria tecnológica no *sobreviviría*. Por este motivo se dice que son las *vitaminas* de la industria. El acero sería el *esqueleto* y el petróleo la *sangre*.

 LAS 12 MATERIAS PRIMAS ESENCIALES PARA LA DEFENSA Identificadas por la OTAN como críticas para la seguridad y la industria de defensa			
1 ALUMINIO  Se emplea en: • Estructuras aeronáuticas • Blindajes ligeros • Vehículos militares • Municiones 	2 BERILIO  Se emplea en: • Ventanas para rayos X • Sistemas de guiado • Componentes electrónicos de alta frecuencia 	3 COBALTO  Se emplea en: • Superaleaciones para motores • Baterías de alta resistencia • Herramientas de alta durabilidad 	4 GALIO  Se emplea en: • Semiconductores de alta frecuencia • Sistemas de radar • Comunicaciones electrónicas 
5 GERMANIO  Se emplea en: • Óptica infrarroja • Sistemas de visión nocturna • Fibra óptica para comunicaciones 	6 GRAFITO  Se emplea en: • Electrodo para baterías • Componentes térmicos • Materiales de fricción (frenos, embragues) 	7 LITIO  Se emplea en: • Baterías de alta densidad energética • Sistemas de energía portátil • Vehículos no tripulados 	8 MANGANESO  Se emplea en: • Aceros especiales para blindajes • Calzones de armas • Municiones 
9 PLATINO  Se emplea en: • Catalizadores para combustibles • Sensores químicos • Electrónica especializada de alta fiabilidad 	10 ELEMENTOS DE TIERRAS RARAS (Neodimio, Praseodimio, Disprosio, Terbio, etc.)  Se emplea en: • Ímanes de alta potencia • Motores eléctricos • Guiado de misiles • Sistemas de radar avanzados 	11 TITANIO  Se emplea en: • Estructuras de aeronaves • Blindajes • Componentes de misiles • Resistencia a la corrosión en entornos extremos 	12 WOLFRAMIO (TUNGSTENO)  Se emplea en: • Municiones perforantes • Contrapesos de alta densidad • Herramientas de corte y perforación 

Estas materias primas son fundamentales para garantizar la producción, el mantenimiento y la innovación en los sistemas de defensa modernos. Fuente: NATO – Critical Raw Materials Factsheet (2024)

Figura 8. Las 12 materias primas críticas para la defensa de la OTAN. Imagen creada por IA (ChatGPT).

BIBLIOGRAFÍA

- Documental “EE.UU. y Ucrania firman un histórico acuerdo para la explotación de minerales en la nación europea”.
- Prego Reboledo, R. Las tierras raras. CSIC. Catarata.
- Attrep, Moses Jr., Kuroda, P.K. “Promethium in pitchblende”, J.Inorg.Nucl. Chem., 30, 3, 1968, 699-703.
- Biografías y Vidas: Barón de Welsbach (Carl Auer). La enciclopedia biográfica en línea.
- Statista.

