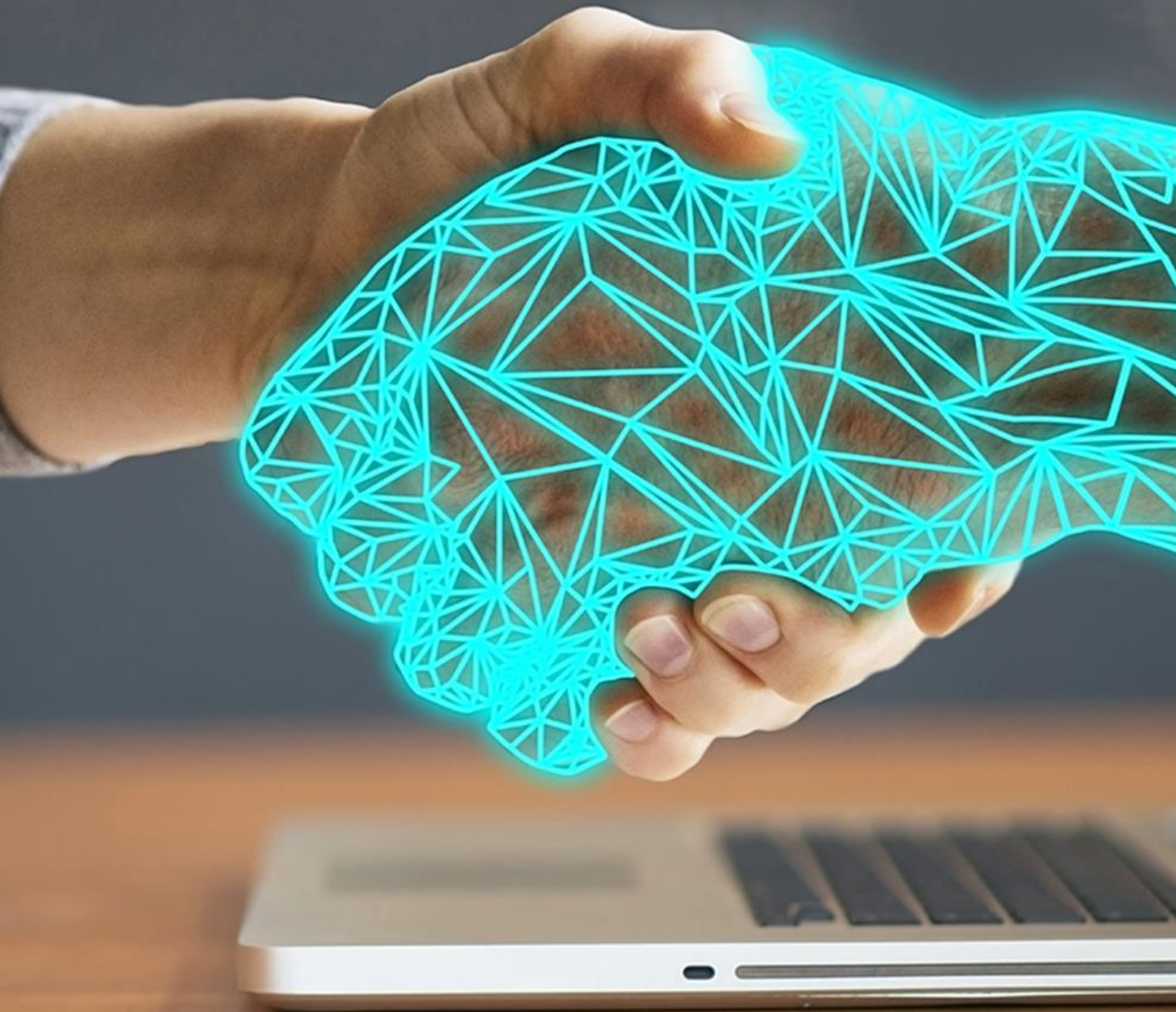


Modelado del mercado de las tierras raras



Manuel González Plaza
Trabajo Final ADE
2/12/2022

Contenido

1. Introducción	4
2. Metales de tierras raras	6
a. Definición y tipos	6
b. Fluctuaciones históricas en los precios	8
c. Implicaciones medioambientales de su extracción	11
3. Oferta de metales de tierras raras	13
a. Proceso de producción de las tierras raras	13
b. Factores externos que condicionan la oferta de las tierras raras	16
c. Producción mundial.....	18
4. Demanda de las tierras raras	22
a. Principales usos de los metales de tierras raras	22
b. Factores externos que afectan a la demanda de tierras raras.....	26
c. Demanda global de las tierras raras.....	28
5. Modelo del mercado de las tierras raras.....	30
a. Indicadores de la oferta	30
b. Indicadores de la demanda.....	33
c. Explicación de los precios.....	35
6. Conclusiones	42
7. Referencias.....	44

1. Introducción

Motivación:

El campo de la tecnología ha experimentado un gran avance en las últimas décadas. El aumento de las inversiones en el campo de la investigación, la mejora de los recursos, y la percepción del cambio climático han sido los grandes responsables de este gran desarrollo.

Al igual que cualquier otro desarrollo, esta evolución ha empezado desde lo más básico; los elementos que contienen los materiales que forman un aparato.

La mayoría de estos materiales están fabricados con una serie de elementos de la tabla periódica denominados tierras raras.

Las tierras raras fueron descubiertas entre el siglo XXVIII y el siglo XIX. Pero no tuvieron aplicaciones hasta mediados del siglo pasado. Presentan unas grandes prestaciones, entre ellas destacan la gran capacidad de magnetismo, la alta resistencia al calor y la durabilidad del material que lo forma.

Hoy en día, las tierras raras están presentes a nuestro alrededor, cualquier dispositivo, aparato o electrodoméstico contiene estos elementos. Una escasez en el suministro de estos elementos puede desenlazar en un desabastecimiento mundial en tecnología, como fue la crisis de los microchips en 2021.

Por otro lado, los ODS y el pacto verde europeo para 2050 han impulsado la transición hacia las energías limpias y renovables. Las tierras raras son esenciales en los sistemas de refrigeración y las bombas de calor eficientes, en los coches híbridos, en las turbinas eólicas o en los paneles solares.

La dependencia de estos elementos es extrema, tanto en nuestra vida cotidiana a nivel individual, como a nivel colectivo. En este mercado, China es la mayor potencia de producción y de exportación de tierras raras, por lo tanto, si hablamos de dependencia energética limpia, hablamos de China.

Modelo:

Por todos estos motivos, se ha decidido hacer un modelo predictivo sobre los precios de estos metales raros.

El modelo recogerá seis variables que serán: El tipo de interés Wu-Xia, la producción mensual de tierras raras en China, el índice de ESG, el índice GREA (Global Real Economic Activity Index), el precio de las tierras raras, y el valor del dólar. Un cambio drástico en alguno de estos indicadores influye y provoca un cambio a su vez en el precio de estos elementos en el mercado.

Mediante las otras cinco variables se pretende explicar la alteración del precio en caso de que hubiera un “shock” en alguna de ellas. De esta manera, se encontrarán la o las variables que realmente representen y expliquen ese cambio en el precio.

Estos indicadores están formados por datos mensuales que abarcan desde octubre de 2010 hasta noviembre de 2022.

Tras la ejecución del modelo se han obtenido los siguientes resultados: Las variables más significativas son el tipo de interés de USA, el Índice de ESG y el GREA.

Especialmente el Índice de ESG es el indicador que mejor explica el modelo estudiado. Esta variable ha ido incrementando su valor en el precio según han ido pasando los años, y todo apunta a que va a ser una variable determinante para posibles futuros estudios del mercado.

2. Metales de tierras raras

a. Definición y tipos

Las tierras raras son un grupo de 17 elementos de la tabla periódica, concretamente se atribuyen al tercer grupo de dicha tabla, ya que poseen características químicas similares. Su distinción reside en las diferentes propiedades y utilidades físicas que pueden presentar estos elementos.

Sus nombres son: escandio, itrio, lantano, cerio, praseodimio, neodimio, prometeo, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, iterbio y lutecio.

Los quince últimos elementos pertenecen al grupo de los lantánidos, mientras que los dos primeros, el escandio y el itrio se incluyen en este grupo ya que frecuentemente se encuentran mezclados con estos lantánidos en los yacimientos.

The image shows a standard periodic table of elements. The lanthanide series (elements 57-71) and the actinide series (elements 89-103) are highlighted with a red border. The lanthanide series includes Scandium (Sc), Yttrium (Y), and the elements from Lanthanum (La) to Lutetium (Lu). The actinide series includes Francium (Fr), Radium (Ra), and the elements from Actinium (Ac) to Lawrencium (Lr). A key indicates that the atomic number is shown above the symbol and the element name is below it.

Periodic Table of the Elements																	
1 H Hydrogen (1.007 94)																	2 He Helium 4.002 602
3 Li Lithium (6.941)	4 Be Beryllium 9.012 2											5 B Boron (10.811)	6 C Carbon (12.011)	7 N Nitrogen (14.007)	8 O Oxygen (15.999)	9 F Fluorine (18.998)	10 Ne Neon (20.180)
11 Na Sodium (22.990)	12 Mg Magnesium (24.305)											13 Al Aluminum (26.982)	14 Si Silicon (28.086)	15 P Phosphorus (30.974)	16 S Sulfur (32.06)	17 Cl Chlorine (35.45)	18 Ar Argon (39.948)
19 K Potassium (39.098)	20 Ca Calcium (40.078)	21 Sc Scandium (44.956)	22 Ti Titanium (47.88)	23 V Vanadium (50.942)	24 Cr Chromium (51.996)	25 Mn Manganese (54.938)	26 Fe Iron (55.845)	27 Co Cobalt (58.933)	28 Ni Nickel (58.693)	29 Cu Copper (63.546)	30 Zn Zinc (65.38)	31 Ga Gallium (69.723)	32 Ge Germanium (72.63)	33 As Arsenic (74.922)	34 Se Selenium (78.96)	35 Br Bromine (79.904)	36 Kr Krypton (83.80)
37 Rb Rubidium (85.468)	38 Sr Strontium (87.62)	39 Y Yttrium (88.906)	40 Zr Zirconium (91.224)	41 Nb Niobium (92.906)	42 Mo Molybdenum (95.94)	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium (101.07)	45 Rh Rhodium (102.91)	46 Pd Palladium (106.36)	47 Ag Silver (107.868)	48 Cd Cadmium (112.411)	49 In Indium (114.818)	50 Sn Tin (118.710)	51 Sb Antimony (121.757)	52 Te Tellurium (127.6)	53 I Iodine (126.905)	54 Xe Xenon (131.29)
55 Cs Cesium (132.905)	56 Ba Barium (137.327)	57-71 lanthanoids	72 Hf Hafnium (178.49)	73 Ta Tantalum (180.948)	74 W Tungsten (183.84)	75 Re Rhenium (186.207)	76 Os Osmium (190.23)	77 Ir Iridium (192.22)	78 Pt Platinum (195.084)	79 Au Gold (196.967)	80 Hg Mercury (200.59)	81 Tl Thallium (204.383)	82 Pb Lead (207.2)	83 Bi Bismuth (208.98)	84 Po Polonium (209)	85 At Astatine (210)	86 Rn Radon (222)
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89-103 actinoids	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (263)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (265)	109 Mt Meitnerium (266)	110 Ds Darmstadtium (267)	111 Rg Roentgenium (268)	112 Cn Copernicium (269)	113 Uut Ununtrium (270)	114 Fl Flerovium (271)	115 Uup Ununpentium (272)	116 Lv Livermorium (273)	117 Uus Ununseptium (274)	118 Uuo Oganesson (276)
57 La Lanthanum (138.905)	58 Ce Cerium (140.12)	59 Pr Praseodymium (140.908)	60 Nd Neodymium (144.24)	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium (150.36)	63 Eu Europium (151.964)	64 Gd Gadolinium (157.25)	65 Tb Terbium (158.925)	66 Dy Dysprosium (162.50)	67 Ho Holmium (164.930)	68 Er Erbium (167.255)	69 Tm Thulium (168.934)	70 Yb Ytterbium (173.054)	71 Lu Lutetium (174.967)			
89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium (232.038)	91 Pa Protactinium (231.036)	92 U Uranium (238.029)	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (260)			

Imagen 1: Tabla periódica.

Fuente: WordPress

Desde que en 1794 se descubriera el Itrio hasta 1947 se fueron encontrando estos 17 metales raros y su importancia aumentó con la investigación en física atómica, física cuántica y la química.

Fueron denominadas tierras raras, ya que se pensaba que eran escasos y muy difíciles de hallar, sin embargo, se encuentran en numerosos yacimientos dispersos por el mundo.

Hoy en día están presentes en muchos de los componentes de los aparatos que usamos en nuestra vida cotidiana; móviles, televisores, automóviles, imanes, catalizadores, fluorescentes, etc. También tienen vital importancia en el terreno industrial, por ejemplo, en los procesos catalíticos del refinamiento del petróleo, en las cerámicas técnicas superconductoras, en fibras ópticas, en refrigeración, almacenamiento de energía, vidrios especializados, baterías nucleares, tubos de rayos X.

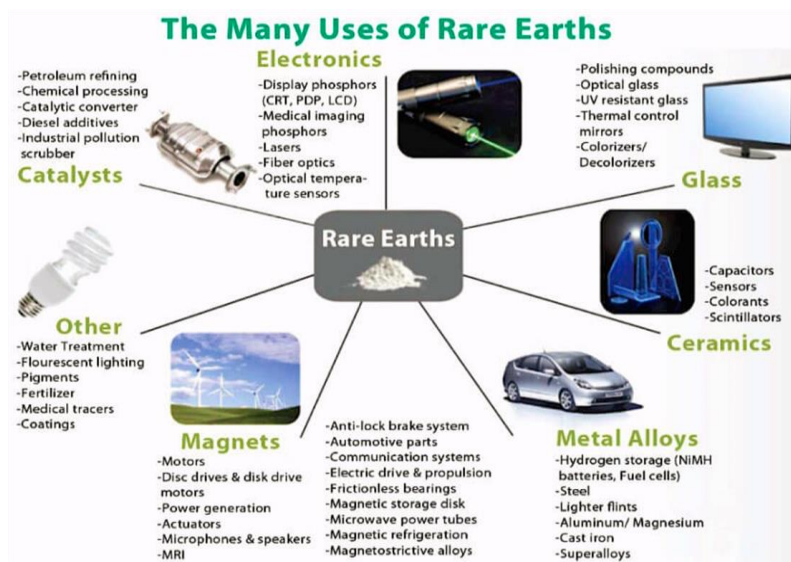


Imagen 2: Aplicaciones tierras raras.

Fuente: Molycorp inc., (n.d).

Las numerosas aplicaciones que estos elementos en el campo de la tecnología han disparado su demanda en los últimos años, desatándose así una guerra comercial por su dominio entre las mayores potencias mundiales.

Existen grandes reservas de estos elementos en casi cualquier parte del mundo, por lo que la escasez no es un problema. La dificultad reside en la viabilidad económica de la obtención de dichas tierras raras, ya que para que sean realmente útiles deben tener una concentración mínima en el mineral

donde yacen. Al tener una gran dependencia de sofisticados recursos tecnológicos y contaminantes hace que solo unos pocos yacimientos sean realmente explotables.

Las mayores reservas mundiales las posee China con más de un treinta por ciento, seguido de Brasil, Vietnam y Rusia.

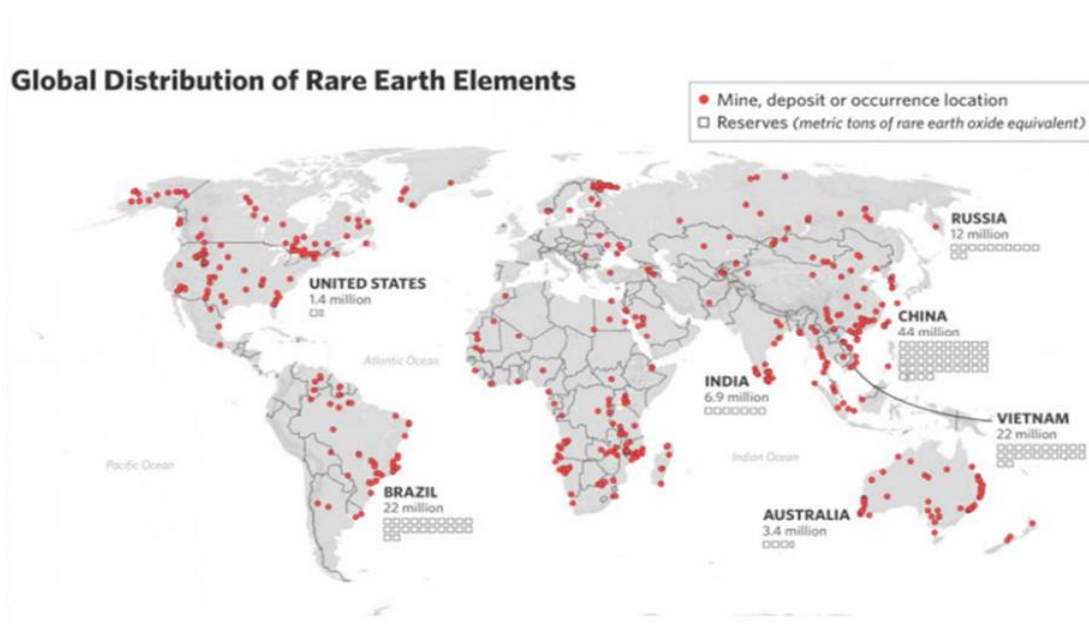


Imagen 3: Reservas mundiales de tierras raras.

Fuente: El mercado de tierras raras. Un mercado estratégico -Dialnet

b. Fluctuaciones históricas en los precios

Desde el comienzo de su comercialización hasta la actualidad, los precios de estos elementos han ido variando debido a diversos acontecimientos.

China entra en el mercado en 1980, y su rápida adaptación y escalada en cuanto a la producción de estos elementos hicieron que los países de occidente (en concreto USA) fueran perdiendo el poder de decisión o manejo de precios que tanto tiempo habían controlado.

En la década de los 90 China se queda con el absoluto control de este mercado estratégico. No solo posee la mayoría de los depósitos y reservas, sino que también se beneficia de tener el monopolio de exportación mundial.

En el año 2010 empezaron a saltar las alarmas sobre la falta de abastecimiento mundial en el futuro. El ministerio de comercio de China anunció una drástica reducción de exportaciones de tierras raras en los próximos años, esto supuso una gran alteración en el mercado de estos elementos.

China ingresó en la Organización Mundial del Comercio (OMC) en 2001. Desde entonces, se ha visto obligada a aceptar las reglas de juego del comercio internacional. Sin embargo, las incumplió en el año mencionado anteriormente, en 2010, cuando decidió reducir sus exportaciones drásticamente en un 72%, poniendo en jaque la industria tecnológica global y alzando los precios hasta niveles sin precedentes: crearon una burbuja. (Gómez Gabás, Natalia E., 2020)

Ese año, el precio del neodimio y praseodimio, de uso común en imanes, subió a \$ 225/kilo, respectivamente (en los dos años anteriores a este evento, su promedio de precio había sido de alrededor de \$ 60/kilo). El disprosio, también utilizado en imanes permanentes de neodimio-hierro-boro, experimentó una subida aún más pronunciada: el precio promedio pasó de \$ 310/kilo en 2010 a \$ 1,600/kilo en 2011. Este aumento en las materias primas traería consigo un aumento en los productos finales (Lindstrom, 2020).

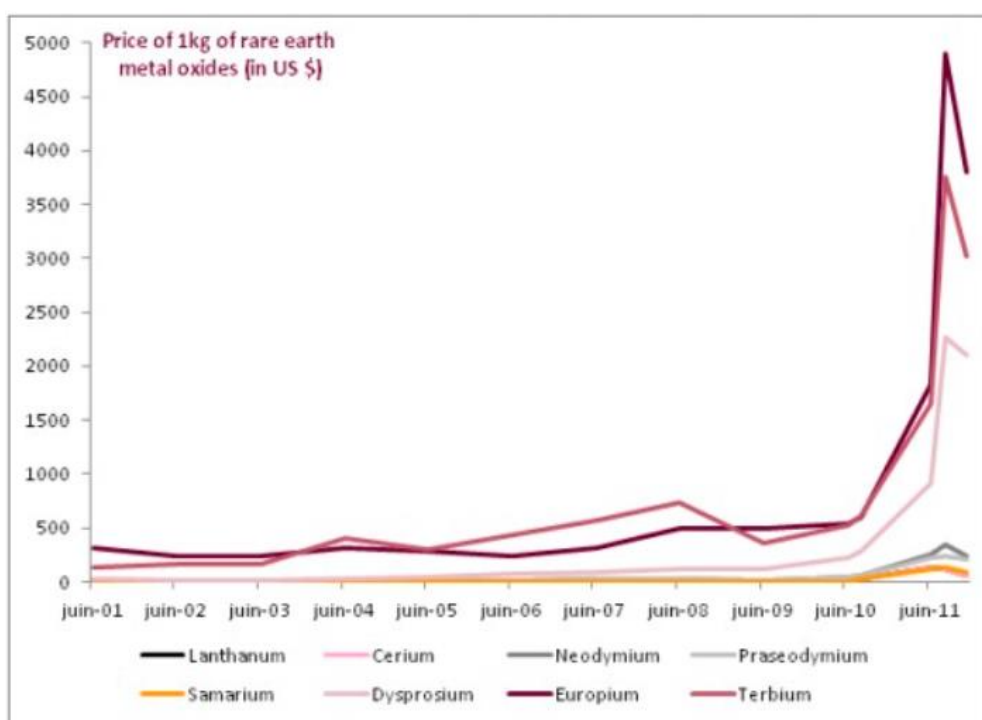


Figura 4: Consecuencia de las estrategias monopolistas de china en la década de los 2000.

Fuente: Gómez Gabás, Natalia E. (2020). *Global Strategy*.

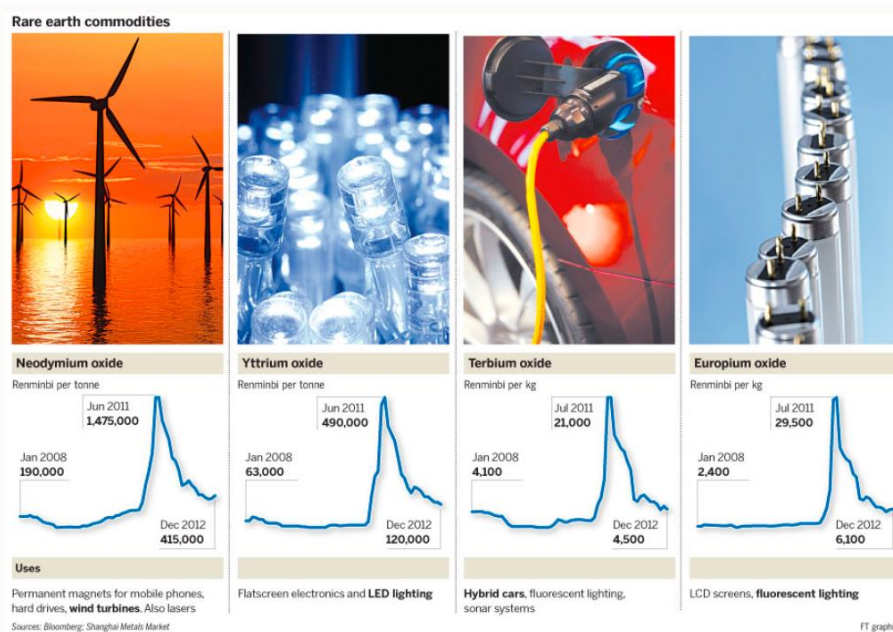


Figura 5: Evolución de los precios de las tierras raras del 2010 al 2013.

Fuente: WordPress

Según El Confidencial (2014), a lo largo de los años, China inició un juego muy delicado que consistía en bajar los precios para forzar el cierre de depósitos rivales para que pudiesen comprarlos más tarde, obtener un monopolio y controlar los precios. Específicamente, el objetivo era la mina de Mountain Pass de EE.UU.

Una vez se llegó a una solución con sus correspondientes sanciones al país asiático, China volvió a las prácticas comerciales normales en 2015 gracias a un proceso de resolución de disputas de la Organización Mundial del Comercio, pero hoy todavía representa más del 80 por ciento de la producción mundial de tierras raras.

La estabilidad de los precios de estos metales se ha mantenido durante los últimos años hasta ser azotados por la crisis de la COVID-19. La pandemia provocó una enorme subida en los precios de todos los semiconductores lo que se ha originado por un encarecimiento de las materias primas entre las que se encuentran las tierras raras.

Según Nakkei, el principal índice bursátil de desarrollo de mercado de Japón, los precios de estos metales de tierras raras han aumentado significativamente en comparación con el primer trimestre de 2020. Elementos como el neodimio y el praseodimio, menos conocido, han crecido un 75% anual a partir de 2020. El Terbio usado en ledes, pantallas planas y celdas de combustible ha

subido más de un 60%. También la cantidad de los demás metales de la familia de las tierras raras aumentó en más del 50% durante el mismo período.

Aprovechando la situación actual y el encarecimiento de todos los materiales utilizados en el campo de la tecnología, China en el último año ha empezado a imponer importantes controles de exportación, provocando un aumento de costes; una estrategia para volver a luchar contra los ataques estadounidenses, retomar la idea monopolista de antaño y liderar la economía mundial de la tecnología.

c. Implicaciones medioambientales de su extracción

Las tierras raras juegan un papel muy importante en la transición energética global y en los objetivos de desarrollo sostenible. Se pretende que en un futuro se sustituyan las energías fósiles con las prestaciones de estos elementos. Las tierras raras son capaces de producir energía totalmente limpia gracias a sus propiedades químicas, catalíticas y ópticas.

La solución más evidente es explotar y extraer la mayor cantidad de estos elementos, ya que existen estudios como el realizado por el Ministerio de Infraestructuras de los Países Bajos (Jiménez, 2018) que indican que los suministros actuales de las tierras raras son insuficientes para alcanzar la meta de los ODS. Sería necesario una producción que supere con creces la actual durante los próximos años. A este problema se le añade la alta concentración de yacimientos que hay en China por lo que esta transición quedará ligada únicamente al gigante asiático.

Estas altas prestaciones que nos aportan las tierras raras contrastan con la dificultad y el impacto medioambiental que genera su extracción. Se encuentran en minas en las que también existen minerales altamente radioactivos como puede ser el uranio, y el torio. Esto hace que se necesiten una serie de productos químicos muy contaminantes para poder ser extraídos sin peligro aparente.

Se estima que para la extracción de una tonelada de cualquiera de estos elementos se utiliza alrededor de 11.000 m³ de gas mezclado por sustancias contaminantes como el dióxido de azufre, el ácido sulfúrico, y ácido fluorhídrico.

Tras su extracción es necesario un tratamiento de limpieza y de procesado. Para ello se utilizan grandes cantidades de agua. Al finalizar este proceso quedan 200 m³ de agua totalmente contaminada que no se puede tratar. Estas aguas residuales no solo pueden suponer una alteración

tóxica a la cadena agroalimentaria, sino que también pueden encontrarse diluidos los minerales altamente radioactivos de la extracción: el uranio y el torio. (Carrillo, 2009)

El impacto medioambiental no solo se ve reflejado en el gas utilizado, o el agua desperdiciada, también afecta a los alrededores del lugar de extracción. Las minas a cielo abierto de ETR alteran el paisaje de su entorno y emiten gases nocivos a la atmósfera. Tanto la fauna, la flora, el suelo, y el agua de la zona quedan altamente contaminados por la radiación.

Al margen de los efectos de su extracción, su tratamiento implica el uso de productos químicos muy agresivos. Argumentos de este tipo han alentado corrientes muy críticas contra los ETR, dado que, si bien es cierto que, por ejemplo, la instalación de placas solares o el uso de coches eléctricos evitan la contaminación atmosférica por emisión de CO₂, por otro lado, ocasionan incalculables destrozos en las regiones de su extracción. Es decir, que las energías renovables, no son tan «verdes» o «limpias» como se pudiera considerar. En un futuro, incluso pudieran haber causado daños superiores a los procedentes de las energías fósiles o las energías nucleares. (M^a Dolores Algora Weber, 2021)

3. Oferta de metales de tierras raras

a. Proceso de producción de las tierras raras

Las reservas de tierras raras abundan en toda la corteza terrestre, pero sólo la minoría contiene estos elementos con la concentración suficiente para que se rentabilice su coste de explotación. Según el Servicio Geológico de Estados Unidos, las reservas actuales se encuentran en torno a 120 millones de toneladas.

China, Brasil, Vietnam y Rusia son los países con mayor porcentaje de reservas en el mundo, lo que les convierte en los que más capacidad tienen para producir estos elementos, ya que tienen altas probabilidades de que en alguno de sus yacimientos exista la concentración mínima requerida.

A continuación, se muestran dos imágenes que representan la capacidad productiva de tierras raras en el mundo.

La primera es un gráfico comparativo de las reservas de los países mencionados anteriormente y el resto de los países del mundo, en él se puede observar la diferencia abismal que existe entre cualquiera de ellos y los demás países. La segunda imagen representa los yacimientos mundiales de estos minerales.

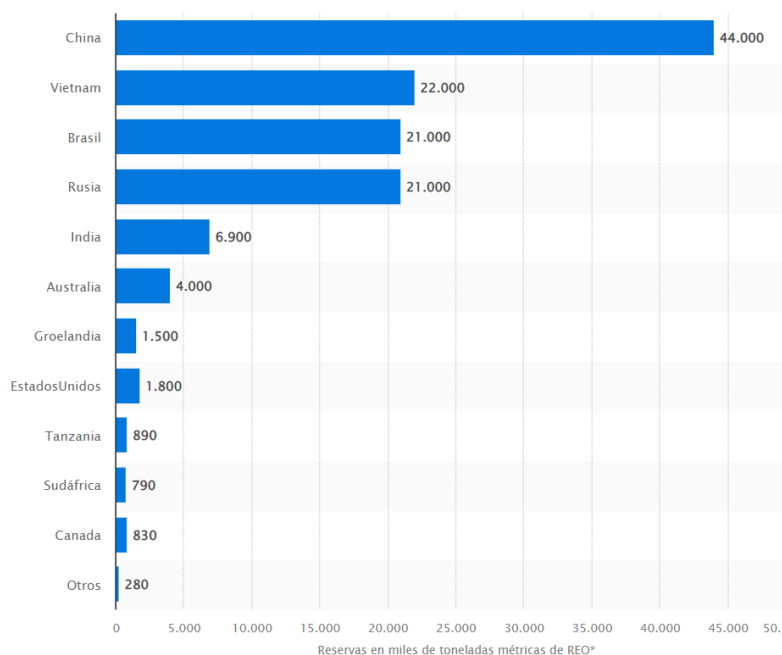


Figura 6: Distribución de las reservas mundiales de tierras raras.

Fuente: Statista (2021)



Imagen 7: Distribución de los yacimientos mundiales de las tierras raras.

Fuente: Gómez Gabás, Natalia E. (2020). *Global Strategy*.

Para la correcta extracción de estos elementos tan delicados se han de seguir minuciosamente una serie de etapas que serán explicadas a continuación.

Desde su extracción hasta su comercialización pasan por una serie de procesos físicos y químicos costosos para obtener la pureza deseada.

En primer lugar, se hace una exploración geológica como cualquier explotación mineral. En esta explotación se determina tanto la viabilidad y la rentabilidad del proyecto en función de los niveles de concentración que tiene ese elemento en el yacimiento. La minería de extracción se puede realizar en medio abierto, subterráneo, mediante arenas pesadas o por lixiviación in situ de arcillas.

El siguiente proceso es la extracción del propio material mediante excavaciones. Una vez obtenido el mineral, comienzan las etapas de separación; primero la separación física y luego la química, es decir, desde la más simple hasta la más delicada.

Se empieza con la etapa de beneficio o concentración, que simplemente limpia la mena y elimina las posibles impurezas. Se reduce el tamaño del material extraído para dar visibilidad a los minerales que sean de valor para poder aplicar las siguientes técnicas de separación. La separación magnética, se utiliza para separar elementos con carga magnética de los que no la tienen, y la separación gravimétrica para separar fracciones pesadas. Por último, la fuerza electrostática es utilizada para separar los minerales conductores.

A partir de la siguiente etapa se emplean tratamientos químicos para seguir con la separación del material. Se basa en la disolución de los elementos que contienen los minerales.

La quinta etapa, separa los óxidos individualmente. Existen cinco métodos distintos para realizar el procedimiento según el pH y los ácidos/base utilizados. Esta técnica se repite hasta alcanzar la pureza y concentración deseada

Una vez obtenida esa concentración, se sigue un proceso de refinación para que sean transformados en metales puros o aleaciones

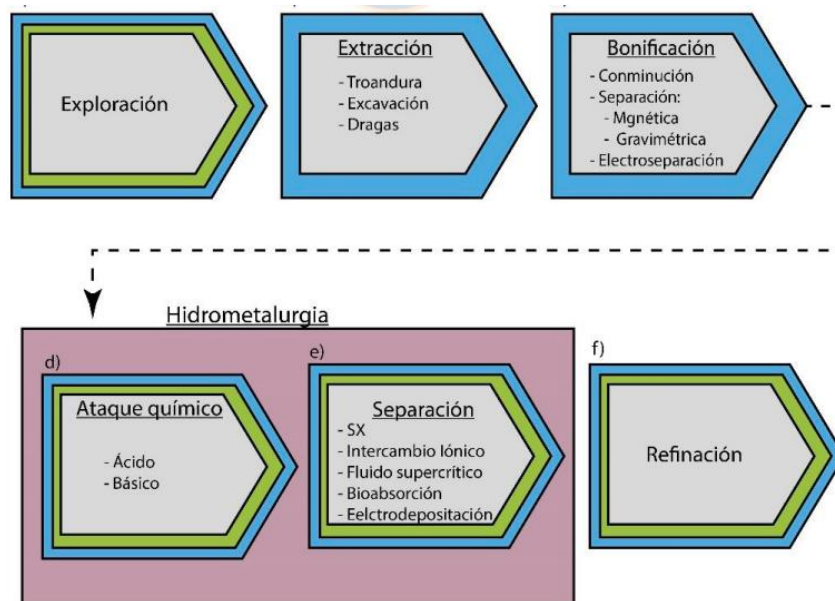


Imagen 8: Proceso de extracción de las tierras raras.

Fuente: Ignacio Andrés Pavez C. (2020).

b. Factores externos que condicionan la oferta de las tierras raras

Para poder describir los factores e indicadores que han podido involucrar en el desarrollo de esta industria, hay que diferenciarlos en dos grupos, los globales y los específicos.

Todos estos factores que se explicarán a continuación han influido de manera directa o indirecta desde el comienzo de esta actividad hasta la actualidad.

Los factores globales incluyen todos los que inciden en el desarrollo económico: entre otros, cabe destacar el crecimiento del PIB (a mayor crecimiento, mejor desempeño de la empresa, mayor optimismo,), y el tipo de interés. (cuanto menor es, más opciones tiene una empresa para poder desarrollar sus proyectos y lograr su crecimiento, y hace que sean menos atractivas las alternativas de tipos de interés fijo que a su vez estimularían el mercado de renta variable).

Entre los factores específicos, destaca el aumento de la actividad de la industria en la última década, que ha visto reflejado un fuerte incremento de sus ventas e ingresos. El factor más importante dentro de la minería es la fluctuación de los precios de los minerales y que evidentemente está estrechamente ligado a la oferta y demanda del momento.

Como ya se ha comentado anteriormente, la demanda está creciendo a un ritmo casi insostenible. Tanto las numerosas aplicaciones que están surgiendo para metales en cualquier campo tecnológico como los objetivos de desarrollo sostenible o los acuerdos de 2050 ligados a la fuerte dependencia de energías verdes en un futuro próximo han originado una brecha entre la demanda y la oferta que sigue siendo hoy en día un cuasimonopolio de China.

Las exportaciones del gigante asiático al resto del mundo se están reduciendo por este motivo, ya que cada año necesitan más cantidad para el desarrollo de estas tecnologías en auge. Por lo tanto, los países con potenciales yacimientos se han visto obligados a explotarlos para combatir la posible escasez de los metales.

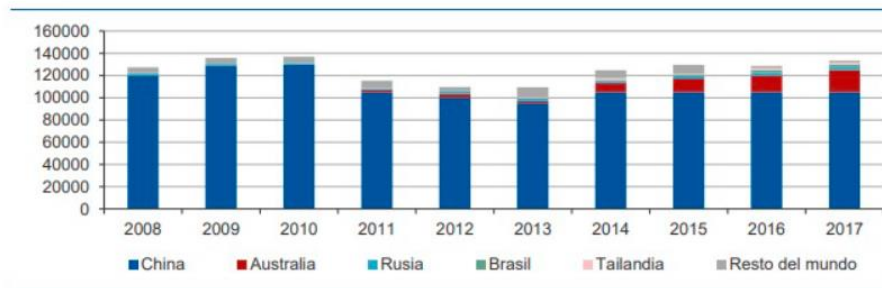


Figura 9: Producción histórica de tierras raras. (toneladas)

Fuente: Gómez Gabás, Natalia E. (2020). *Global Strategy*

Existen otros factores que son los que influyen en las compañías, en el resultado de su ejercicio y en su posición en bolsa.

Uno de los principales es la integración de los depósitos de tierras raras, siendo la situación óptima un depósito con variedad de tierras raras, con alta concentración de óxidos lantánidos y bajo nivel de impurezas, y con facilidad para su extracción (mejor un depósito superficial que uno subterráneo, en que los costes son más elevados).

Un segundo factor es la capacidad de acceder a financiación: normalmente los proyectos mineros se financian con deuda y recursos propios en proporciones de 80%/20%, pero las condiciones se han endurecido y ahora se exige mayor aportación de recursos propios y además la financiación es más cara. La capacidad de financiación también condiciona proyectos de expansión en depósitos con muchas reservas, pero de difícil acceso. (Alejandro Scherk Serrat, 2011).

A su vez, deberían de ser considerados una serie de factores de riesgo a nivel macroeconómico.

El principal parámetro macroeconómico que afecta a estas empresas es la inflación, que aumenta los costes operativos, elevando los tipos de interés y el riesgo de tipo de cambio.

Por último, factores nuevos que pueden influir en la dinámica de estos mercados son el descubrimiento de nuevos yacimientos, cuyos efectos suelen ser a muy largo plazo al necesitarse normalmente varios años para poderlos explotar, y la aparición de productos innovadores alternativos. Ambos fenómenos inciden en la oferta positivamente de forma que suelen presionar los precios a la baja. (Alejandro Scherk Serrat, 2011).

c. Producción mundial

A lo largo de la última década, las tierras raras ido incrementando su valor hasta llegar a ser los recursos naturales más codiciados del planeta. Hoy en día son elementos tan relevantes y necesarios que se les ha llegado a denominar como “oro negro”.

Desde el comienzo de su comercialización en el año 1900 hasta mediados de los años 60, la producción mundial rondaba en torno a dos mil toneladas anuales. Las aplicaciones que tenían hasta el momento eran reducidas y el avance tecnológico en este sector estaba prácticamente estancado. Fue a partir de 1966 cuando se registró un importante incremento en la producción superándose las diez mil toneladas en ese año. A partir de ese año, la producción mundial ha ido aumentando con una tasa anual promedio de 4,2%, hasta llegar al año 2012.

Durante la última década, la producción ha ido variando ente las 110.000 y 170.000 toneladas anuales.

El dominio mundial de la producción ido cambiando de dueño, empezó con la hegemonía estadounidense hasta verse superada por el gigante asiático, China.

El siguiente gráfico muestra los países que dominan el mundo en la producción de estos elementos. Por un lado, destaca el período de dominación estadounidense que comenzó a mediados de la década de 1960 y se ha mantenido durante más de dos décadas. Por otra parte, se puede observar cómo China empezó a producir con enorme fuerza al mismo tiempo que EE. UU. a finales de los años ochenta.

Cuando la enorme mina Mountain Pass en California cerró en 2002 debido a los costos operativos relativamente altos, USA fue perdiendo peso gradualmente hasta desaparecer del mercado productivo.

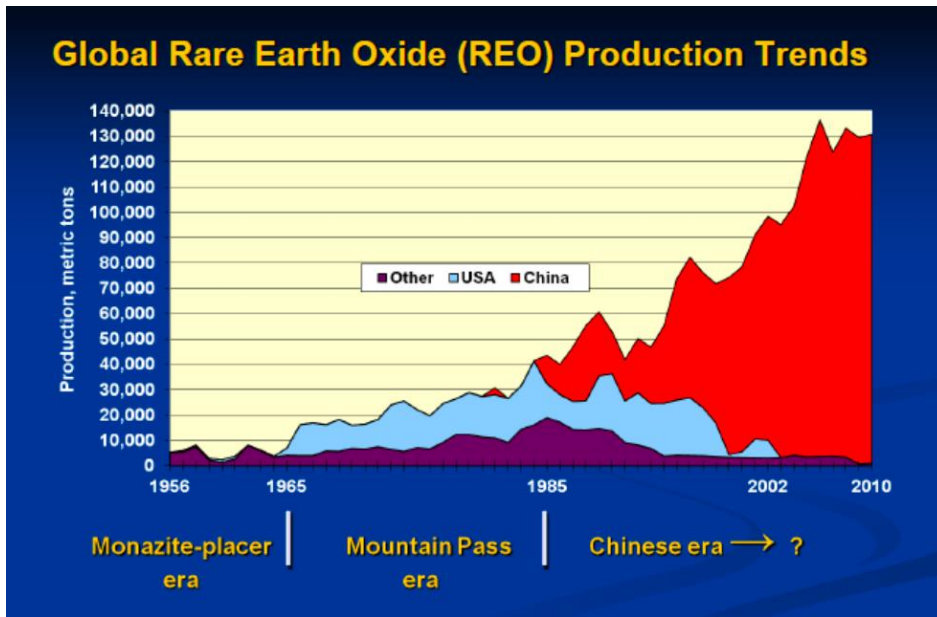


Figura 10: Hegemonía de la producción de las tierras raras 1.

Fuente: Las tierras raras, mercado estratégica. Dialnet.

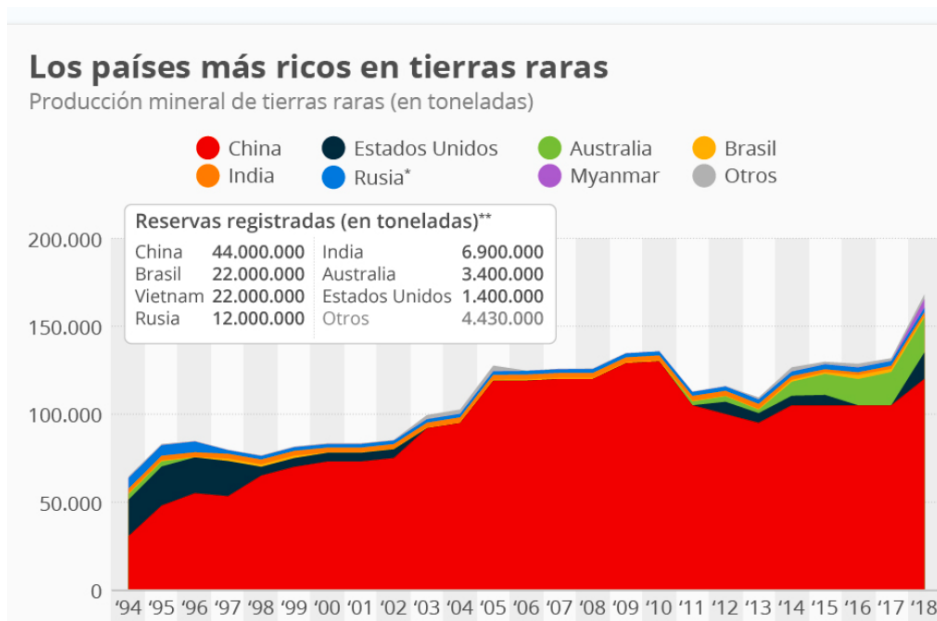


Figura 11: Hegemonía de la producción de las tierras raras 2.

Fuente: Statista (2021).

Como se puede apreciar en el siguiente gráfico, la producción está estrechamente ligada a las reservas de cada país. Los países con más reservas son los que más capacidad de producción tienen. Actualmente la extracción, producción y exportación de China está muy por encima de los países que le siguen debido a las grandes reservas del país, la mano de obra barata y la baja regulación ambiental.

Producción REE

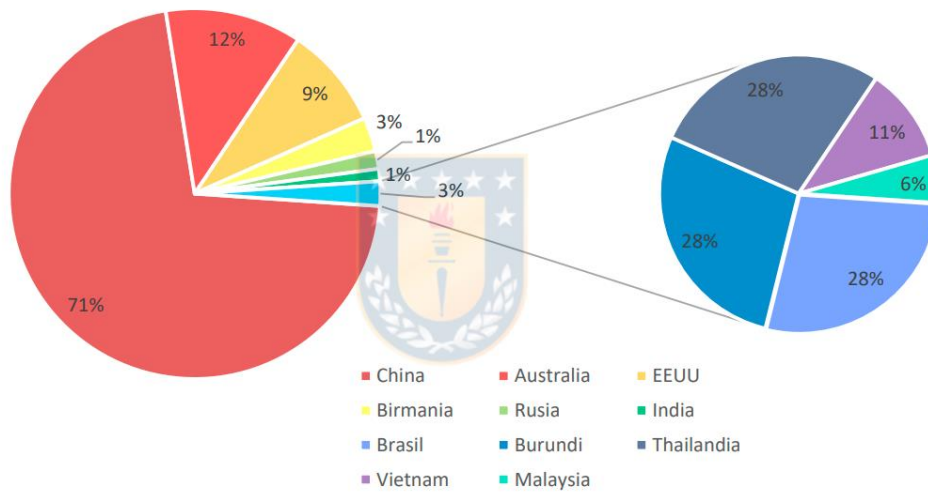
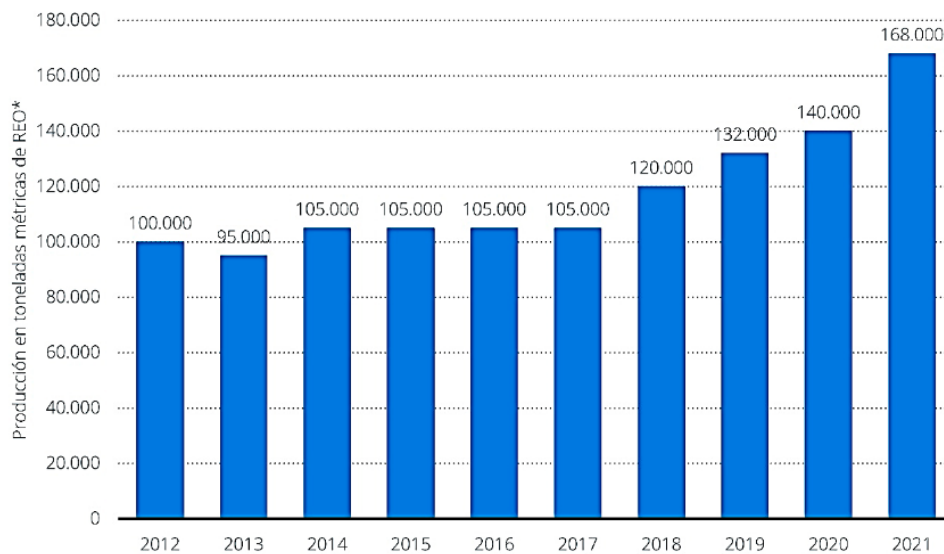


Figura 12: Producción mundial en 2019.

Fuente: Ignacio Andrés Pavez C. (2020).



Evolución anual de la producción de tierras raras en China de 2012 a 2021, expresada en toneladas métricas de óxidos de dichas tierras raras. La cantidad de estos elementos es aproximadamente el 0,1% del total

Figura 13: Producción de china en la última década

Fuente: Statista 2021

El país asiático es también el mayor exportador de estos elementos, siendo Estados Unidos el comprador principal de tierras raras. Esta situación podría cambiar, ya que la demanda interna de China se está disparando en los últimos años, y la oferta mundial cada vez es más escasa.

"Si consideramos que China es responsable de cerca del 90% de la producción mundial de neoimanes hoy en día y que el 70% de la demanda de esos imanes existe en China, y luego consideramos... que alrededor de un tercio del mercado estará insatisfecho para 2035, podemos empezar a ver rápidamente el cálculo al que se va a enfrentar China", dijo Ryan Castelloux en un seminario web sobre tierras raras organizado por BMO.

La pandemia y la crisis de suministros han puesto de manifiesto la dependencia de muchas naciones a los productos extranjeros, principalmente procedentes de China. En un intento por reducir dicha dependencia del 100% prácticamente, el presidente de Estados Unidos ha anunciado nuevas inversiones públicas y privadas destinadas a ampliar el suministro nacional de litio, cobalto y tierras raras, esenciales para fabricar coches eléctricos, ordenadores y paneles solares, entre otros productos. Por ello, Estados Unidos está preparando una inversión millonaria para refinar tierras raras.

Específicamente, Estados Unidos ha otorgado a MP Materials \$35 millones para expandir el proyecto de tierras raras de la compañía en Mountain Pass, California. A su vez, la compañía invertirá \$700 millones adicionales de sus propios fondos para crear más de 350 puestos de trabajo en la cadena de suministro de imanes para 2024. (El economista, 2022).

4. Demanda de las tierras raras

a. Principales usos de los metales de tierras raras

La utilidad de los elementos de las tierras raras era bastante limitada hasta la década de 1960. Con la llegada de la televisión a color (1960), los imanes (1966), los microprocesadores (1971), internet (1981) y los teléfonos móviles (1991), aumentaron las aplicaciones de estos elementos y como consecuencia se consolidó un mercado de tierras raras.

A continuación, se muestran las numerosas aplicaciones que éstas tienen en nuestra sociedad actual, así como su interacción con la energía.

Escandio	Agente de rastreo en refinerías de petróleo, aditivo en lámparas de halogenuros, aumentar la dureza del aluminio (bicicletas, raquetas, palos de golf...), aleaciones de metales en la industria aeroespacial.	Prometio	Pinturas fosforescentes, baterías nucleares, fuente de radiación beta, fuente radioactiva para instrumentos de medición de espesores.
Itrio	Bombillas de bajo consumo, cerámica, aleaciones metálicas, láseres cortadura, mejora eficiencia de combustibles, comunicación por microondas, pantallas LCD, sensores de temperatura.	Samario	Láseres, imanes de alta temperatura, varillas de control de reactores nucleares.
Lantano	Electrodos para baterías recargables, catalizadores para el refinado de petróleo, baterías vehículos eléctricos, lentes de cámaras digitales de alta tecnología, cámaras de vídeo, baterías de portátiles, películas de rayos X, láseres.	Europio	Láseres, autentificar billetes, pantallas de cristal líquido (LCD), iluminación fluorescente, aditivo para vidrio.
Cerio	Catalizador en refinerías de petróleo, piedras de mechero, electrodos para baterías recargables, colorante cerámico, aditivo diésel para catalizar descomposición de humos, filtros UV, aleaciones metálicas, abrillantadores de lentes (vidrio, placas frontales de televisión, espejos, vidrio óptico, microprocesadores de silicio y unidades de disco).	Gadolinio	Memorias de ordenadores, láseres para cortar acero, tubos de rayos X, agente de contraste para resonancias magnéticas en hospitales, aditivo para vidrio.
Praseodimio	Láseres, motores eléctricos (v.g., aerogeneradores, vehículos, drones), aditivo en los cristales de las gafas de soldadura, aumentar la resistencia a la corrosión del imán, pigmento en vidrios y esmaltes, reflectores, lentes de señales de aeropuerto, filtros fotográficos.	Terbio	Láseres, lámparas fluorescentes, aditivo en imanes de neodimio, iluminación y pantallas, sistemas de guía y control.
Neodimio	Motores eléctricos (v.g., aerogeneradores, vehículos, drones, por ejemplo), aditivo en los cristales (gafas de soldadura, faros coches, por ejemplo), condensadores de cerámica, electrodos para baterías recargables, aparatos de resonancia magnética para hospitales, imanes de alta potencia para portátiles, láseres, catalizadores de <i>fracking</i> de fluidos.	Disprobio	Discos duros en informática, aditivo en imanes de neodimio, láseres.
		Holmio	Láseres, los más poderosos imanes fabricados, aparatos de resonancia magnética para hospitales.
		Erbio	Láseres, paneles solares, mantenimiento de la señal en fibras ópticas, colorante en vidrios.
		Tulio	Láseres, aparatos radiografía de rayos X (v.g., clínicas dentales), imanes de alta potencia.
		Iterbio	Tecnología de fibra óptica, paneles solares, aleaciones (acero inoxidable), fuente de radiación para equipos portátiles de rayos X, láseres (cortar metales y plásticos duros), bengalas.
		Lutecio	Bombillas led, vidrios con altos índices de refracción, pantallas de rayos X, catalizador en refinerías de petróleo para producir gasolina y diésel.

Tabla 1: Utilidad de los elementos de las tierras raras.

Fuente: Las tierras raras y la energía. Dialnet.

A pesar de que las propiedades químicas son muy parecidas, (ya que pertenecen prácticamente a la misma familia), los metales raros presentan grandes diferencias en las características físicas. Estas heterogeneidades hacen que sean agrupados en distintos sectores: baterías, aditivo para vidrios,

catalizadores (refinado del petróleo, vehículos), cerámica, imanes, metalurgia (aleaciones...), pigmentos y luminiscentes (láser, iluminación, pantallas LCD...), pulido y otros.

El neodimio es el más consumido, llegando al (49%) del total, seguido por el praseodimio con un (20%). Estos dos elementos son piezas claves para los imanes industriales. En las siguientes posiciones se encuentran el lantano (6%), el cerio (4%) y terbio (4%). De los restantes ninguno llega al 2%.

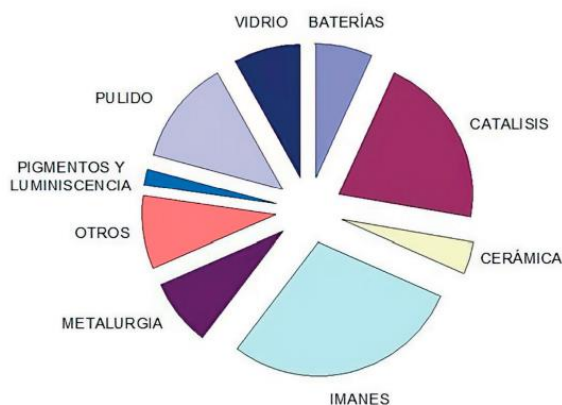


Figura 14: Distribución de las aplicaciones de las tierras raras.

Fuente: Las tierras raras y la energía. Dialnet.

Antes de analizar el mercado energético que es el más viral y sobre el que más datos públicos existen, hay que recalcar la importancia y el papel fundamental que tienen estos elementos en la industria militar.

Los Estados Unidos tienen a disposición una pequeña lista, sin entrar en grandes detalles, de los destinos militares de estos metales. Tales como sistemas de objetivos y armas, sistemas de guía y control, y motores eléctricos o dispositivos de comunicación, y pantallas para visualizar datos analógicos y digitales.

Pese a la confidencialidad de esta industria, es posible obtener alguna información sobre algunas aplicaciones militares imprescindibles.

Sirven en los sistemas de guía y control que dirigen misiles y bombas hacia sus objetivos (terbio, disprosio, samario, praseodimio y neodimio). El misil Patriot utiliza neodimio y samario en los motores eléctricos y sus sistemas de guía por radiofrecuencia precisan de gadolinio, itrio y samario para controlar magnéticamente el flujo de señales electrónicas en radar y sonar para mantener la navegación. El misil SideWinder, que actúa por búsqueda de calor, tiene imanes de tierras raras en sus aletas para controlar la trayectoria de vuelo. Otros ejemplos son aviones y buques de guerra. Un

caza F-22 contiene itrio, terbio y erbio en sus sistemas de ópticos, de detección y fibra óptica (en un F-35 hay 400 kilogramos de metales de tierras raras). Un submarino nuclear necesita 4 toneladas, entre ellas europio y lutecio para sus sónares activos y pasivos. Un destructor clase Aegis-2 lleva 2,5 toneladas y láseres para la detección de minas y contramedidas. Los motores eléctricos del futuro destructor militar guiado Zumwalt de la Armada Norteamericana requiere potentes imanes permanentes (terbio, disprosio, samario, praseodimio y neodimio). (Ricardo Prego Reboredo, 2021).

En cuanto al mercado de la energía, la utilización de estos metales varía según el proceso en el que actúen. Se pueden agrupar en generación de energía, a la eficiencia del consumo de energía y al transporte y manejo de energía.

En el primer grupo encontramos una gran variedad de generación de energías verdes. Como puede ser la energía solar, la eólica, y la “energía nuclear.

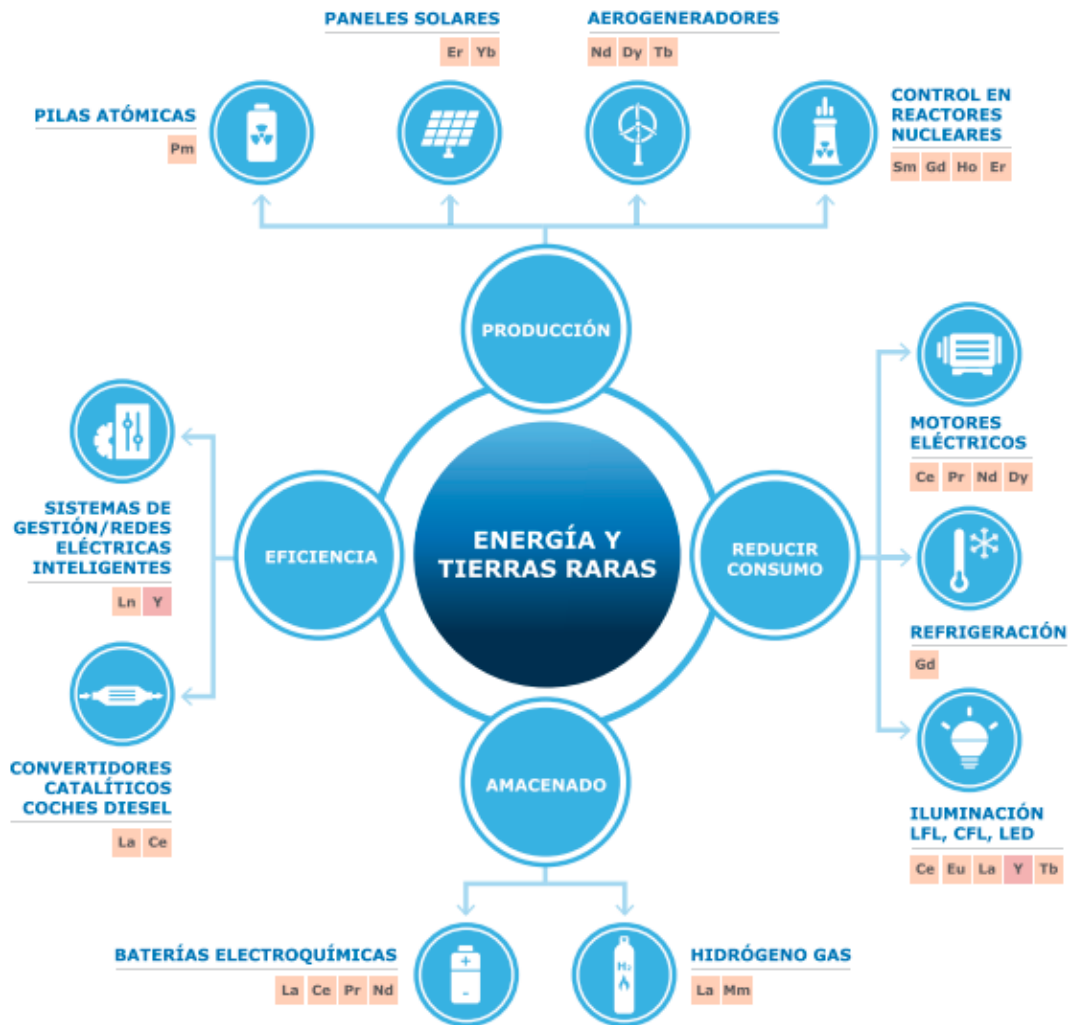
En el segundo grupo se caracteriza por la mejora de procesos ya existentes, optimización de recursos y eficiencia. Destaca la iluminación LED, cada vez más presente en nuestra vida cotidiana y destinada a destronar a los fluorescentes por sus mejores prestaciones y su mínimo consumo. Y los motores eléctricos que gracias a los imanes formados por neodimio y disprosio hacen que se origine un campo magnético que haga mover al rotor sobre el estator y así dar potencia y movilidad a las ruedas de un vehículo.

También cabe destacar el almacenamiento de energía mediante baterías electroquímicas y de hidrógeno. El cátodo de estas baterías contienen concentraciones del (45-50 %) de cerio, (25 %) de lantano y (15-20 %) de neodimio.

En el último escalón se sitúan todos los medios de regulación, distribución y control de energía. Mediante el uso de tierras raras es posible el almacenamiento de las moléculas de hidrógeno para su uso como combustible en el futuro.

Además, en los sistemas de control de la energía nuclear juegan un papel fundamental ya que algunas de estas tierras son capaces de reducir y desintegrar la reactividad de algunos materiales.

A modo de resumen, se expone una imagen de los principales usos de estos elementos diferenciados según los tres grupos mencionados anteriormente.



ELEMENTOS DE LAS TIERRAS RARAS:

Lantano (La), Cerio (Ce), Praseodimio (Pr), Neodimio (Nd), Prometio (Pm), Samario (Sm), Europio (Eu), Gadolinio (Gd), Terbio (Tb), Disprobio (Dy), Holmio (Ho), Erblio (Er), Tulio [™], Iterbio (Yb), Lutecio (Lu), Itrio (Y).
 Mischmetal (Mm): Cerio (45-50%), Lantano (25%), Neodimio (15-20%) y Praseodimio (5%). Lantánidos (Ln: del La al Lu).

Figura 15: Energía y tierras raras.

Fuente: Las tierras raras y la energía. Dialnet.

b. Factores externos que afectan a la demanda de tierras raras

Desde que China se hizo con el control absoluto de la producción de las tierras raras, la demanda global ha estado ligada a las políticas de exportaciones de este país y por supuesto al precio de estos elementos.

El comienzo de la era de las energías verdes ha provocado el surgimiento de muchas compañías dirigidas a este sector. Para hacerse un hueco en el mercado, muchas de estas compañías han financiado grandes proyectos de innovación en los que están presentes los metales de tierras raras. Ya sean proyectos de eficiencia y mejora de procesos o proyectos de generación de energía revolucionarios.

El resultado de este estallido global en la demanda se puede visualizar en el siguiente gráfico.

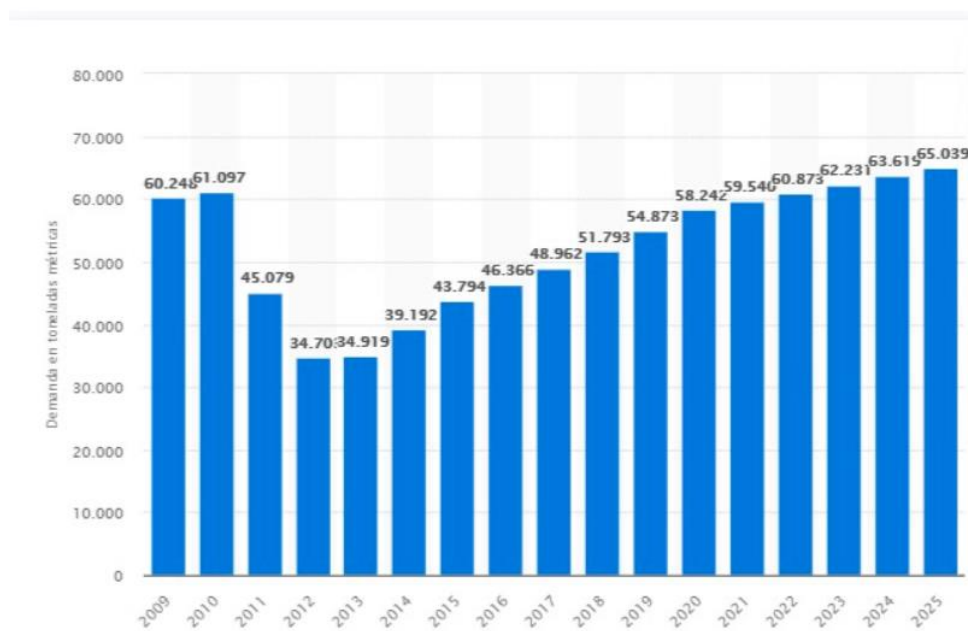


Figura 16: Previsión de demanda en los próximos años

Fuente: (Statista 2020)

Tal y como se puede apreciar, la previsión de demanda va a seguir aumentando si todo sigue su curso actual y si China continúa exportando los mismos volúmenes que años pasados. El principal motivo es la transición hacia las energías renovables, el avance tecnológico y las sanciones que cada vez más duras afectan a la industria por la contaminación medioambiental.

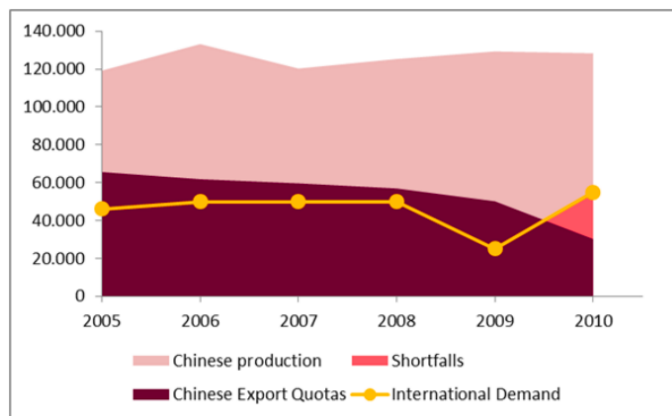


Figura 17: Evolución del mercado hasta 2010

Fuente: ieees. Mercado de tierras raras.

En el año 2011 hubo una caída estrepitosa de la demanda global gracias a China, que alteró las dos condiciones mencionadas anteriormente (política exterior y precio).

Esta nueva política de China afecta el comercio internacional de estos metales, ya que China ha reducido las exportaciones a partir de 50,000 toneladas métricas en 2009 a 30,000 toneladas métricas en 2010. En julio de este último año, el Ministerio de Comercio de China anunció una reducción de 72%, (alrededor de 8,000 toneladas métricas), para el segundo semestre de 2010 (Franks 2011).

Esta situación causó un colapso mundial de dichos elementos, tumbó infinidad de proyectos de innovación en proceso y provocó el cierre de muchas compañías en auge. Por ello, Estados Unidos junto con la Unión Europea y Japón emitieron una demanda a la Organización Mundial del Comercio contra el país asiático.

Estados Unidos asegura que, al ser China uno de los principales productores mundiales de esos materiales, sus medidas de limitación de las exportaciones le permiten influir significativamente en el suministro y los precios mundiales. La Unión Europea sí reconoció que la protección del medio

ambiente y la gestión sostenible de los recursos son objetivos legítimos, pero dijo estar convencida de que las restricciones a la exportación no son instrumentos adecuados para tratar de alcanzarlos. Agregó que las restricciones a la exportación distorsionan el mercado y generan ventajas competitivas para la industria manufacturera china, en detrimento de sus competidores extranjeros (OMC 2012).

Casi dos años después de poner en jaque el futuro de esta nueva industria, el viceministro de Industria Chino, anunció una nueva postura más moderada en la política de exportación del país para que se pudiera promover la industria de tierras raras en el mundo y con ello el desarrollo ecológico.

Tras este período, la demanda ha ido recuperándose poco a poco hasta llegar a la crisis del COVID-19.

Al igual que todas las materias primas, el precio de estos materiales se encareció significativamente, pero la previsión a futuro siguió siendo positiva. Es cierto que se aprecia un cambio en la pendiente de la demanda, aun así, queda reflejado que esta demanda no es tan sensible a los precios como lo es a la dependencia de China.

c. Demanda global de las tierras raras

El liderazgo mundial de la demanda siempre ha ido de la mano con la capacidad de producción. Estados Unidos se mantuvo como el mayor consumidor de tierras raras hasta que China lo destronó. Desde entonces, China consume un gran porcentaje de su propia producción anual, hasta llegar a un 70% en este último año.

Atendiendo al gráfico del epígrafe anterior, la demanda global va a seguir aumentando en los próximos años, sin embargo, de la producción y de la oferta no se espera una variación. Debido a las enormes prohibiciones ambientales que existen (sobre todo en Europa), las explotaciones de nuevos y prometedores yacimientos son denegadas. Es por ello por lo que se está temiendo una escasez de suministro global en los próximos años.

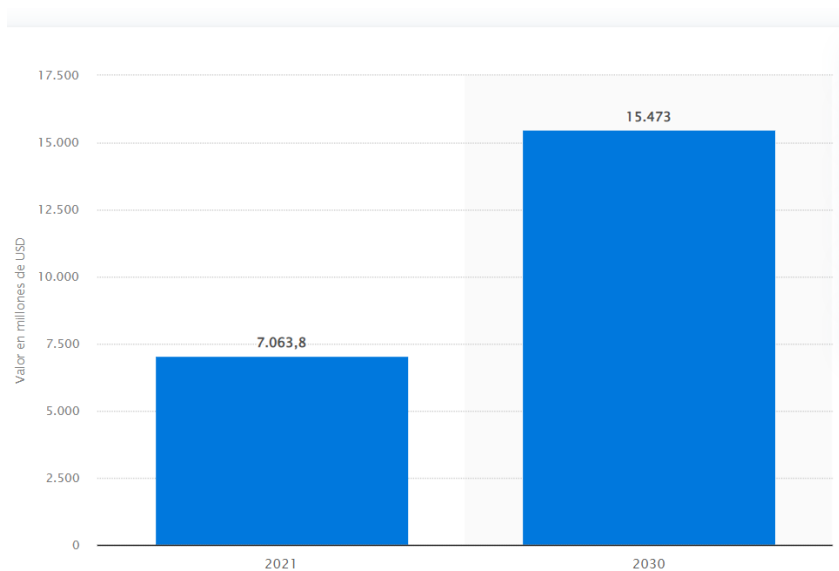


Figura 18: Diferencia de la demanda global de las tierras raras entre 2020 y 2030

Fuente: Statista 2020

Esta situación de escasez vendría ligada a un incremento de precios sin precedentes. Según adelanta el banco de inversión suizo UBS, los precios del neodimio (Nd) y del praseodimio (Pr) se han duplicado en 2021, se pronostica que la demanda se triplique en 2030 y que su precio pase de los 60\$/Kg a los 100\$/kg en 2024.

China es importador de neodimio, un elemento que sirve para fabricar los imanes permanentes empleados en los aerogeneradores. Pero se estima que, en 2025, China producirá casi dos veces menos de lo que consumirá entonces. El problema es que China no será el único país que necesitará este neodimio. Así, los expertos calculan que representa el 25% de la demanda mundial de todas las tierras raras, pero, tan solo, el 17% de la producción. Este hecho se producirá en menos de diez años (MTL Index, 2017).

5. Modelo del mercado de las tierras raras.

Para comprender el precio de las tierras raras se ha realizado un modelo en el que se pueda explicar la alteración de los precios de estos elementos mediante variables representativas. Para ello se recogerán los datos en una tabla formato Excel y se introducirá como input en un código de Matlab.

El modelo va a consistir en seis variables, todas ellas estarán compuestas por datos mensuales que empiezan en octubre de 2010 y acaban en noviembre de 2022 y serán introducidas en sus unidades predeterminadas.

Atendiendo al orden en el que se ha programado el modelo, las variables son: El tipo de interés de USA, la producción mensual de tierras raras en China, el índice de ESG, el índice GREA (Global Real Economic Activity Index), el precio de las tierras raras, y el valor del dólar.

Los resultados de este modelo serán gráficos individuales que expliquen el comportamiento del precio respecto a un “shock” en estas otras variables. También se incluirán gráficos de la descomposición histórica de las variables más representativas.

A continuación, se van a explicar detalladamente las variables que se han incluido en el modelo diferenciándolas entre indicadores de oferta e indicadores de demanda,

a. Indicadores de la oferta

En primer lugar, se van a describir las variables que se han escogido para representar la oferta de este mercado.

Wu-Xia Shadow Federal Funds Rate (%): Esta tasa de interés sombra se usa para medir la economía cuando las tasas nominales de la misma se acercan al límite inferior del cero. Este modelo de tasas sombra ha sido de gran interés a partir de la crisis de 2008, cuando las tasas nominales alcanzaron este límite inferior.

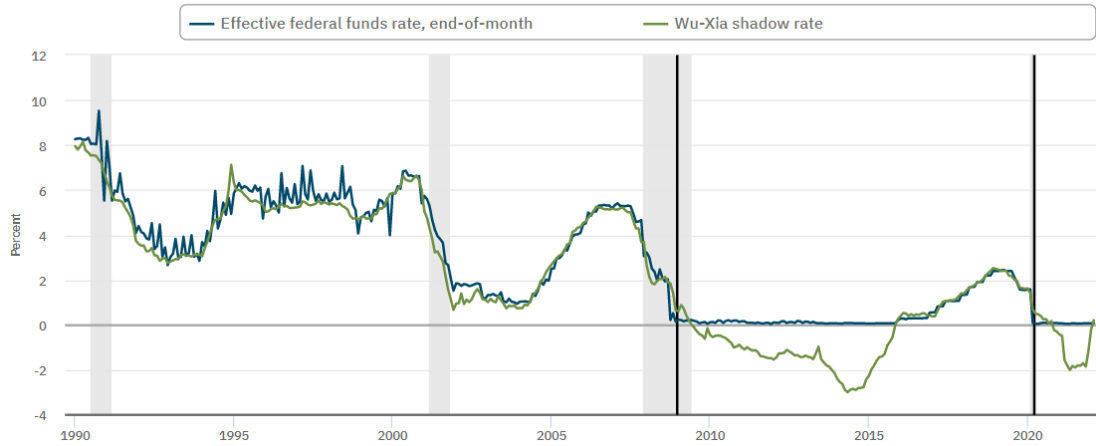


Figura 19: Tasa de interés Wu-Xia

Fuente: Federal Reserve Bank of Atlanta

La producción mensual de China en (\$): Al tratarse del país que más cantidad produce, se ha optado por extrapolarlo a la producción mundial. La producción y exportación puede ser una variable clave ya que, tal y como se ha visto reflejado anteriormente en el trabajo, la escasez de suministro de las tierras raras desencadenó una fuerte subida de los precios.

List of exporters for the selected product
Product: 280530 Rare-earth metals, scandium and yttrium, whether or not intermixed or interalloyed

Unit: US Dollar thousand

HS8	Exporters	Exported value in 2017: M12	Exported value in 2018: M01	Exported value in 2018: M02	Exported value in 2018: M03	Exported value in 2018: M04	Exported value in 2018: M05	Exported value in 2018: M06	Exported value in 2018: M07	Exported value in 2018: M08	Exported value in 2018: M09	Exported value in 2018: M10	Exported value in 2018: M11	Exported value in 2018: M12	Exported value in 2019: M01	Exported value in 2019: M02	Exported value in 2019: M03	Exported value in 2019: M04	Exported value in 2019: M05	Exported value in 2019: M07	
China		5,965	9,315	6,800	8,279	11,228	11,278	11,674	10,841	13,156	20,021	14,345	18,593	15,696	12,777	9,346	10,389	15,102	9,013	12,505	7,898
Thailand		1,354	1,688	3,505	2,419	2,537	2,586	3,161	2,272	3,640	3,163	3,278	3,010	3,157	2,598	2,362	3,304	3,653	3,564	3,825	3,658
Japan		750	891	615	977	891	651	959	609	1,074	1,140	1,381	1,231	1,288	1,090	593	1,091	920	1,070	1,044	1,191
Netherlands		164	99	1,037	307	101	858	190	206	322	16	84	211	777	17	127	127	48	366	82	412
United States of America		182	102	2,000	189	100	125	118	69	121	61	100	102	85	116	58	113	248	312	121	195

Figura 20: Producción mensual china.

Fuente: Trade Map

Precios mensuales (\$/Tn): Se recogerán los precios mensuales a lo largo de este periodo que ofrece VanEck Rare Earth/Strategic Metals, principal ETF de metales de tierras raras. La fluctuación de los precios es la variable que se pretende explicar mediante las demás.

Una vez obtenidos los resultados del modelo, la alteración del precio respecto a los “shocks” de las demás variables explicará si existe dependencia o no.



Figura 21: Precios mensuales de las tierras raras

Fuente: msn

El índice del valor dólar mensual (Ptos): Se ha elegido esta variable porque todos los datos que se recogen en este mercado están medidos en dólares. Parte de la alteración de los precios podría explicarse a través de esta variable ya que el índice del valor dólar se ajusta a los periodos de recesión y avance económico.



Figura 22: Índice del valor dólar mensual

Fuente: Freed Economic Data

b. Indicadores de la demanda

Por último, se van a describir los indicadores que van a describir las variables de la demanda de nuestro modelo.

S&P 500 ESG Index (%): Las tierras raras son elementos que están fuertemente ligados a la energía verde. Los ODS y los acuerdos de 2050 hacen que la demanda de estos elementos sea cada vez mayor. Por ese motivo, se ha elegido el indicador ESG como variable que describe la demanda de estos metales raros. El índice S&P 500 ESG está ponderado por capitalización y es un índice diseñado para medir el desempeño de los valores que cumplen con los criterios de sustentabilidad.



Figura 23: índice de ESG

Fuente: S&P Dow Jones Indices

Index of Global Real Economic Activity (%): El índice GREA es un índice de ciclo económico. Este índice de ciclo económico se expresa en desviaciones porcentuales de la tendencia, puede verse como un indicador del volumen de envío en los mercados mundiales de productos básicos industriales. Este índice se actualiza mensualmente.

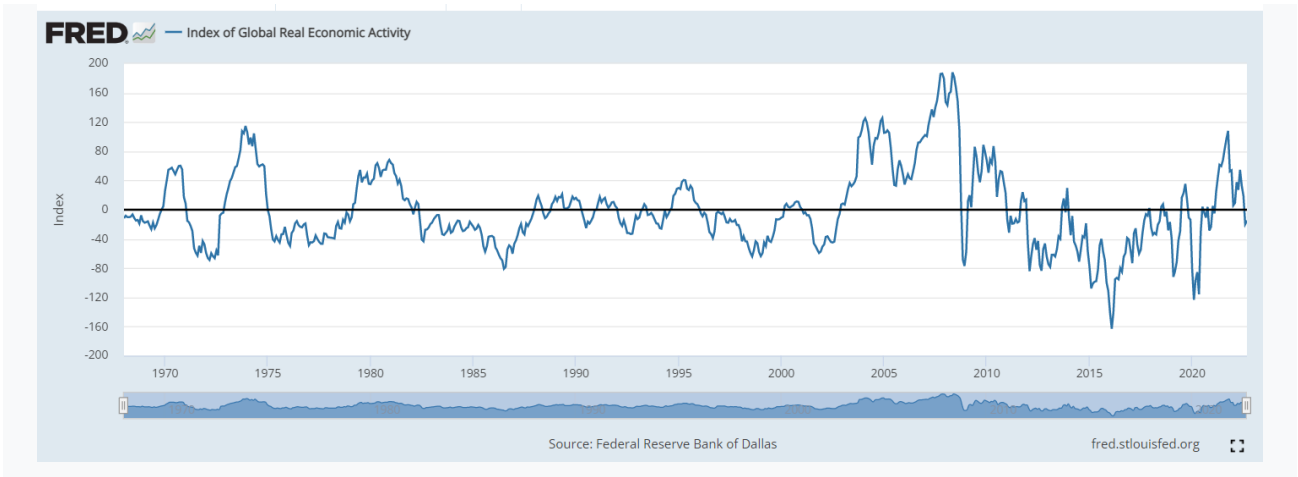


Figura 24: índice de la real actividad económica global

Fuente: Fred Economic Data

c. Explicación de los precios

En la primera ejecución del modelo, el resultado no fue el esperado ya que no existía ninguna variable significativa en los resultados.

Tras estudiar los posibles fallos del modelo, se dedujo que la variable producción mensual contenía una serie de datos (correspondientes al año 2010 y 2011) que eran totalmente desorbitados. Estos datos eran los responsables de que el modelo fallase. Esta excesiva producción durante esos dos años formó parte de una estrategia seguida por China para hacerse con el monopolio mundial de este mercado.

Por lo tanto, se decidió eliminar los datos de todas las variables contenidos entre los años 2010 y 2011 para que la muestra sea equitativa y se pueda introducir de nuevo en el código de Matlab

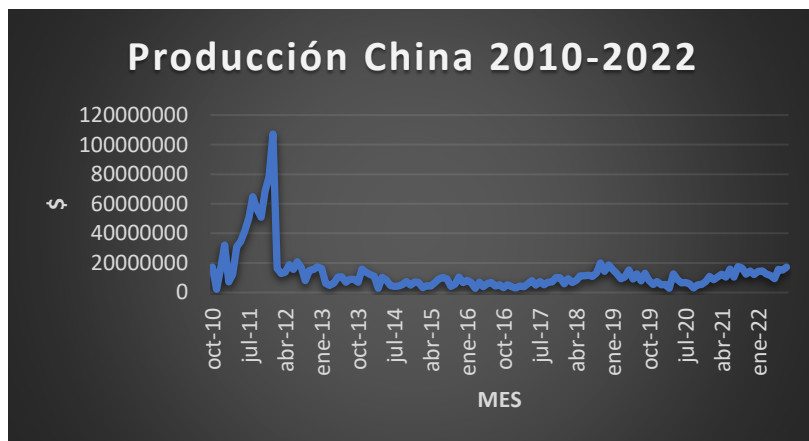


Figura 25: Gráfico de la producción desde 2010 hasta 2022

Fuente: Trade Map

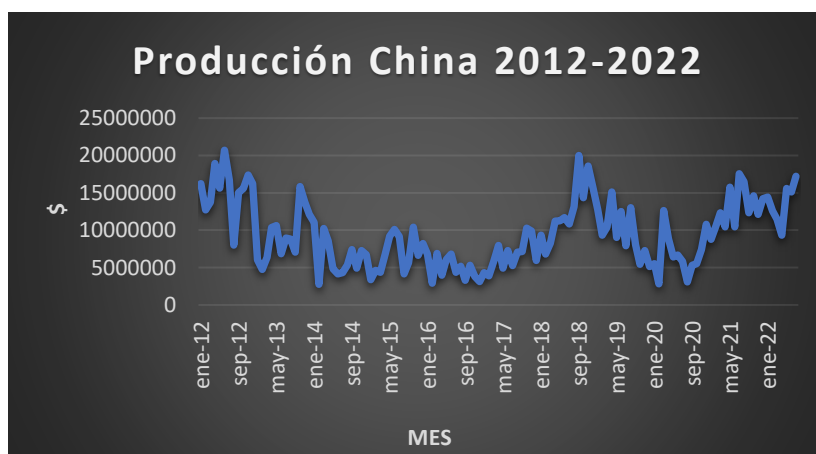


Figura 26: Gráfico de la producción desde 2012 hasta 2022

Fuente: Trade Map

Una vez se ha ajustado el tamaño de la muestra y ejecutado la programación del modelo, se han obtenido los siguientes resultados:

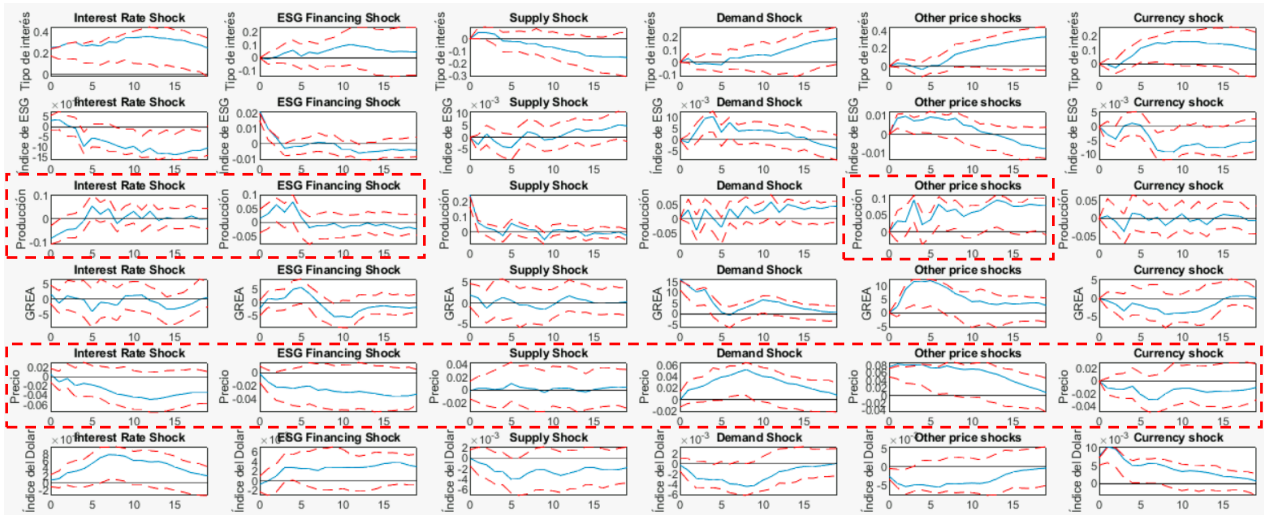


Figura 27: Ejecución modelo de previsión de precios

Fuente: Matlab

Las columnas de la figura anterior representan los “shocks” de las seis variables del modelo. Las filas representan la alteración de las variables dependiendo del “shock” que las haya afectado.

Dentro de la matriz de los gráficos del resultado, la variable que se quiere explicar es la del precio, es decir, la quinta fila. Por otro lado, algunas de las gráficas pertenecientes a la producción también son interesantes y también se comentarán a continuación.

Explicación variable precio:

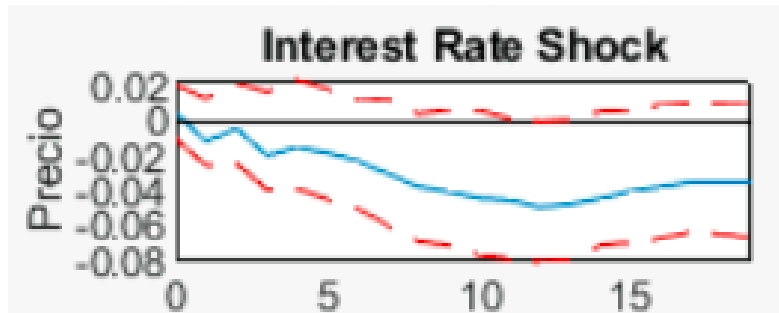


Figura 28: Respuesta del precio ante un “shock” en la tasa de interés.

Fuente: Matlab

Como muestra la figura anterior, se puede apreciar una caída en el precio de las tierras raras. La tasa de interés es una de las variables más significativas del modelo ya el precio de los metales raros depende en parte de la situación de los mercados financieros.

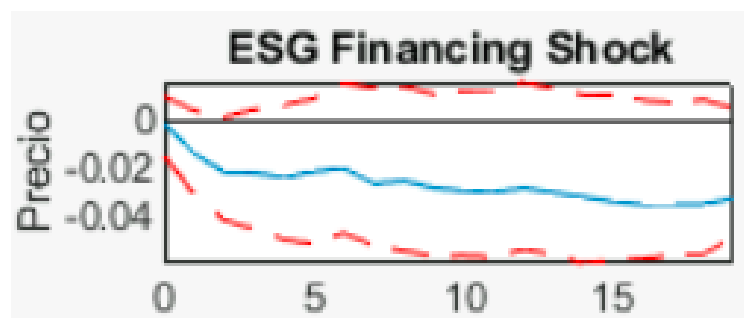


Figura 29: Respuesta del precio ante un “shock” en el índice de ESG.

Fuente: Matlab

La variable más significativa en nuestro modelo es el índice del ESG. Una subida en el índice de ESG hace que la inversión en proyectos en estos metales sea más viable y por tanto haya más competencia en el mercado. Esta gran dependencia tiene sentido ya que, tal y como adelantábamos, este indicador está estrechamente ligado a las energías renovables y la tecnología limpia que es la utilidad principal de las tierras raras.

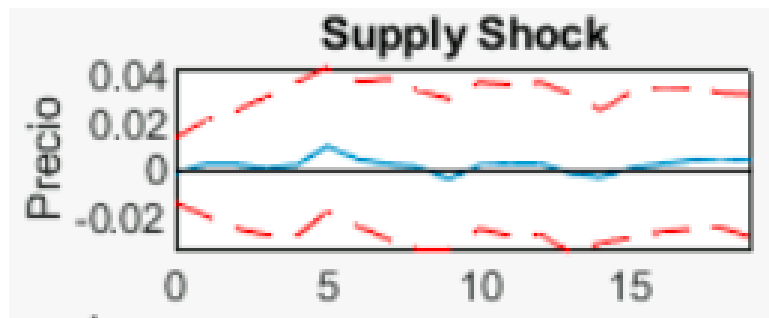


Figura 30: Respuesta del precio ante un “shock” en la producción.
Fuente: Matlab

La variable de producción no es significativa en el modelo. Si hay un “shock” en la producción de este mercado, los precios no se ven alterados. Esto se puede deber a que es un mercado relativamente nuevo.

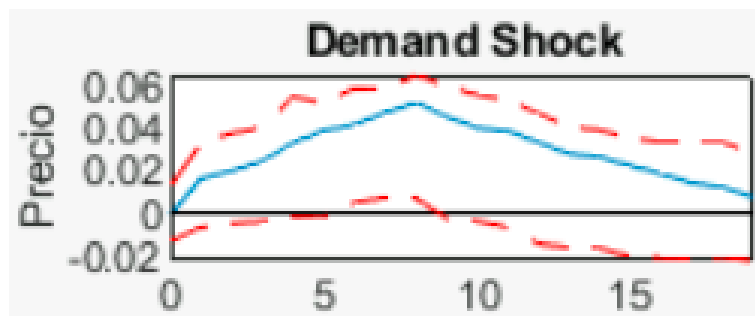


Figura 31: Respuesta del precio ante un “shock” en la demanda.
Fuente: Matlab

Ante un “shock” en la actividad económica global se produce un pequeño efecto en la variación precio. Esta respuesta es más débil que las de existen frente al tipo de interés y el índice ESG.



Figura 32: Respuesta del precio ante un “shock” en el precio.
Fuente: Matlab

La variación de los precios que no pueden ser expresados por el modelo se recogen en este resultado. Los posibles motivos se explicarán más adelante.

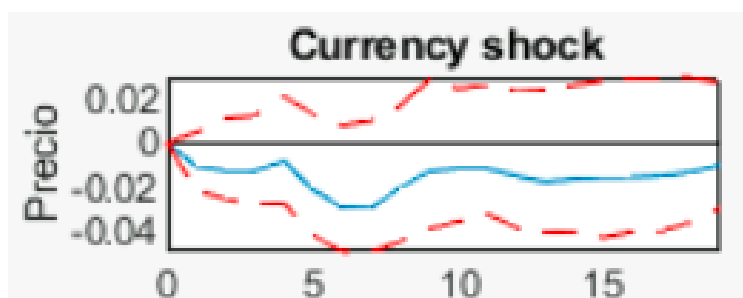


Figura 33: Respuesta del precio ante un “shock” en el índice del dólar.

Fuente: Matlab

Ante los resultados obtenidos se puede concluir que esta variable no tiene influencia en el modelo.

Por lo tanto, las dos variables más significativas en nuestro modelo por orden de importancia serían el índice de ESG, la tasa de interés y la demanda.

Otros resultados interesantes:

En la variable producción hay una serie de gráficos que, aunque no son significativos para los objetivos del modelo, son interesantes de analizar y comentar.

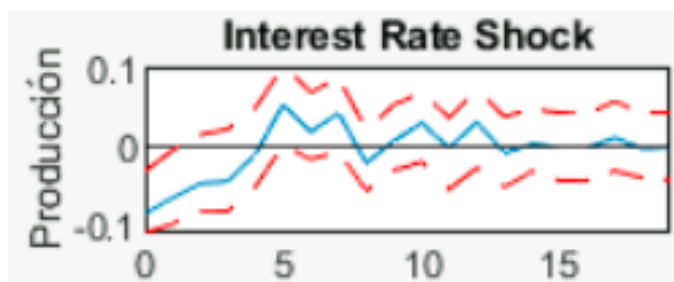


Figura 34: Respuesta de la producción ante un “shock” en la tasa de interés.

Fuente: Matlab

Este gráfico representa el efecto en la producción de una subida en el tipo de interés. Se puede apreciar una bajada en la producción. Este “shock” se traduce en un encarecimiento en la inversión en los proyectos en el mercado de tierras raras por lo que la capacidad productiva será menor.

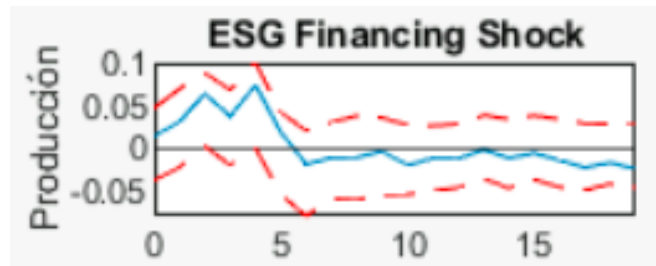


Figura 35: Respuesta de la producción ante un “shock” en el índice de ESG.

Fuente: Matlab

Una subida del índice de ESG se traduce en un abaratamiento de la financiación. Al ser más barata la financiación, la producción aumenta por el incremento de proyectos viables.

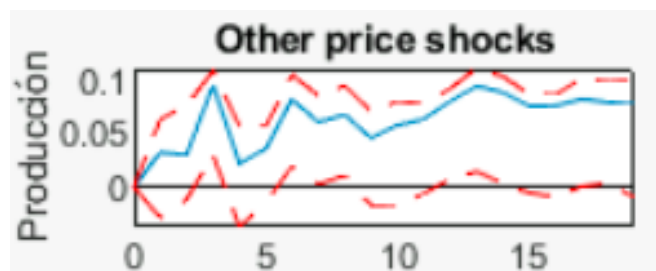


Figura 36: Respuesta de la producción ante un “shock” en los precios.

Fuente: Matlab

La producción también experimenta un incremento cuando el precio sube. El interés por producir estos metales raros incrementa ya que los beneficios por venderlos serán mayores.

Descomposición histórica del precio:

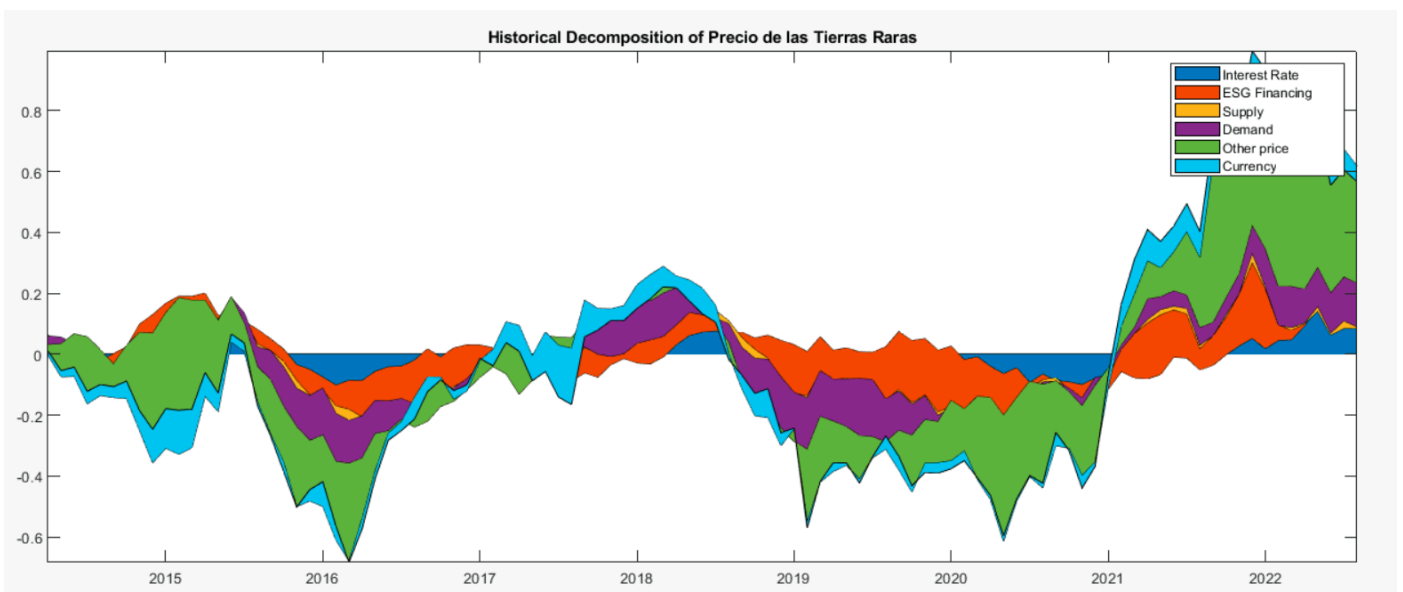


Figura 37: *Descomposición histórica del precio*

Fuente: Matlab

El gráfico de la descomposición histórica de los precios es muy interesante para comprobar los resultados del modelo.

-En primer lugar, se puede apreciar la dependencia del índice de ESG (naranja). La trayectoria de los precios está muy bien explicada por esta variable, especialmente a partir del 2021 se adapta con exactitud a los picos en el precio. Esta gran dependencia puede deberse al interés por el aumento en generación de energía limpia debido a los conflictos diplomáticos de Rusia.

-La actividad económica global también tiene una influencia en algunos periodos históricos y en estos es suficientemente representativa.

-Por otro lado, la tasa de interés siempre está presente en el nivel histórico del precio tal y como ya se había comentado anteriormente.

-Por último, la variable en color verde representa la parte de la descomposición del precio que no se puede explicar en el modelo. El cambio estructural en el precio del año 2015 se puede deber a los acuerdos de París de 2015. Las medidas impuestas para conseguir la reducción de emisiones pudieron desencadenar un aumento en la producción de estos metales y así disminuir su precio en el mercado. El otro cambio estructural, de finales de 2020 se debe a la pandemia del Covid-19.

6. Conclusiones

Las tierras raras son una serie de elementos de la tabla periódica que, aunque desconocidos para la mayoría, forman parte de nuestra vida cotidiana. Se encuentran adheridos a minerales repartidos por numerosos yacimientos alrededor del mundo.

Los proyectos de excavación y producción de estos metales son muy costosos ya que se tiene que hacer un estudio previo del terreno para determinar si la concentración de estos metales es suficiente. También son peligrosos ya que son altamente contaminantes al tratarse de minas abiertas.

Estos elementos denominados como “oro negro”, han ganado relevancia en las últimas décadas y han ido sustituyendo a algunos materiales que eran “imprescindibles” en el campo de la tecnología.

La producción, y exportación de estos elementos está liderada por China alcanzando en los últimos años un 70% del total. El país asiático lleva teniendo un gran poder de decisión en este mercado desde finales de los años 80, década en la que sobrepasó a USA como principal exportador.

Ante la tentativa de hacerse con el monopolio de todo este mercado, China decidió bajar drásticamente los precios de venta de estos elementos a finales del 2010 para poder arruinar a la poca competencia que tenía distribuida por el mundo. Tras el logro de esta estrategia, decidieron reducir drásticamente las exportaciones para, entre otras cosas, superar a Estados Unidos como primera potencia mundial.

Pero las políticas adoptadas por el país asiático duraron poco tiempo ya que en 2014 fueron fuertemente multados por una denuncia conjunta de Europa, USA, Japón ante la OMC. La sanción incluyó un mínimo de exportaciones que debían realizar al año y un precio máximo de las mismas. Actualmente, una vez desaparecida la pandemia, han empezado a resurgir proyectos de explotación de estos elementos tanto en Europa como en USA. De esta manera se pretende disminuir la dependencia de China y tener recursos propios de producción.

Para comprender mejor el mercado de estos elementos, se ha decidido hacer un modelo predictivo mediante Matlab. Para ello, se han usado seis variables: El tipo de interés de Wu-Xia, la producción

mensual de tierras raras en China, el índice de ESG, el índice GREA (Global Real Economic Activity Index), el precio de las tierras raras, y el valor del dólar.

El objetivo del modelo es la explicación de una fluctuación de los precios cuando estas variables sufren un “shock” en sus valores.

Con los resultados obtenidos se ha podido determinar que las variables que tienen importancia y relevancia en el precio de este mercado han sido: El tipo de interés, el Índice de ESG y el GREA. Un cambio drástico en alguno de estos indicadores influye y provoca un cambio a su vez en el precio de estos elementos en el mercado.

Una de las posibles líneas de investigación de cara a un futuro modelo del mercado podría ser la orientarse y profundizar en el Índice de ESG. Este índice es la variable que mejor explica el modelo y ante la situación global en la que nos encontramos, parece que con los años va a ser más importante en este mercado. Si los futuros estudios dejaran un poco de lado las variables más usuales e intuitivas como la demanda o la producción y se enfocasen en variables análogas que describiesen el desarrollo sostenible, probablemente se alcanzarían resultados muy interesantes de cara al futuro del precio de estos metales raros.

7. Referencias

- Ricardo Prego R. (2021). *Las tierras raras, una pieza clave en el puzle de la energía*. [IEEE - Las tierras raras, una pieza clave en el puzle de la energía \(reedición\).- Ricardo Prego Reboredo](#)
- Gonzalo Sirvent Z. (2012). *El mercado de "tierras raras": un mercado estratégico*. [IEEE - El mercado de "Tierras Raras": Un mercado estratégico \(DIEEEO72-2012\)](#)
- OMC.(2012) .*China bloquea las solicitudes de establecimiento de un grupo especial presentadas por los Estados Unidos, la UE y el Japón en la diferencia relativa a las ´tierras raras*.
http://www.wto.org/spanish/news_s/news12_s/dsb_10jul12_s.htm
- OMC.(2012). "China-Medidas relacionadas con la exportación de tierras raras, volframio (tungsteno) y molibdeno," http://www.wto.org/spanish/tratop_s/dispu_s/cases_s/ds431_s.htm
- Ying, Zhang.(2012). "Los costes medioambientales que conllevan en China la extracción de tierras raras", <http://espanol.cntv.cn/20120425/113207.shtml>
- Ignacio Andrés Pavez C. (2020). *Proceso de Extracción de Elementos de Tierras Raras (lantánidos, neodimio y disprosio) de bajo impacto ambiental a partir de relaves geoquímicamente catastrados*.
[Tesis Proceso de Extraccion de Elementos de Tierras Raras .Image.Marked.pdf \(udec.cl\)](#)
- El economista (2022). <https://www.eleconomista.es/actualidad/noticias/11635715/02/22/EEUU-busca-independizarse-de-China-con-su-propia-cadena-de-suministro-de-tierras-raras-.html>
- Juan Manuel Chomón P. (2021). *Las tierras raras y la lucha por la hegemonía mundial*.
[IEEE - Las tierras raras y la lucha por la hegemonía mundial.- Juan Manuel Chomón Pérez y Andreas Ganser](#)
- Alejandro Scherk S. (2011). *Tierras raras: su escasez e implicaciones bursátiles*.
[tierras_raras_implicaciones_bursatiles.pdf \(iefweb.org\)](#)

-Clàudia Canals. (2014). *El curioso caso de las tierras raras: la crisis que no será.*

<https://www.caixabankresearch.com/es/economia-y-mercados/materias-primas/curioso-caso-tierras-raras-crisis-no-sera>

-M^a dolores Algora W. (2021). *El impacto geopolítico de las tierras raras en el orden internacional.*

[EL IMPACTO GEOPOLÍTICO DE LAS TIERRAS RARAS EN EL ORDEN INTERNACIONAL \(mincotur.gob.es\)](https://www.mincotur.gob.es/EL-IMPACTO-GEOPOLITICO-DE-LAS-TIERRAS-RARAS-EN-EL-ORDEN-INTERNACIONAL)

-M. Díez, Pablo (2019). *China planea cortar sus exportaciones de tierras raras a EE.UU.*, ABC – Economía, 21 de mayo: <https://www.abc.es/economia>

-Gómez Gabás, Natalia E. (2020). *Consecuencias geoestratégicas de la hegemonía china en el mercado de las tierras raras*, Global Strategy Report, No 43/2020. <https://global-strategy.org/consecuencias-geoestrategicas-de-la-hegemonia-china-en-el-mercado-de-las-tierras-raras/>

-Gustav Lindstrom (2020) *What if ... a country restricted access to rare earth elements?*, European Union Institute for Security Studies (EUISS), What if...? 14 futures for 2024, Capítulo 11, pp. 67-72.

-M. Cebrián 2017. *Ryan Castelloux: «Dudar es bueno, pero dudar de las tierras raras es desinformación»* (ABC). [Ryan Castelloux: «Dudar es bueno, pero dudar de las tierras raras es desinformación» \(abc.es\)](https://www.abc.es/ryan-castelloux-dudar-es-bueno-pero-dudar-de-las-tierras-raras-es-desinformacion)

-MTL Índex [Invertir en las llamadas tierras raras, un futuro prometedor dice MTL Index \(prnewswire.com\)](https://www.prnewswire.com/news-releases/mtl-index-investing-in-rare-earth-elements-a-promising-future-says-mtl-index-301484281.html)

Fuentes de datos:

-Wu-Xia Shadow Federal Funds Rate. <https://www.atlantafed.org/cqer/research/wu-xia-shadow-federal-funds-rate>

-Índice de ESG. <https://es.investing.com/indices/s-p-500-esg-chart>

-Índice de ESG. <https://www.spglobal.com/spdji/es/indices/esg/sp-500-esg-index/#overview4>

-Índice del dólar. <https://fred.stlouisfed.org/series/DTWEXBGS#0>

-Índice de la Real Actividad Económica Global. <https://fred.stlouisfed.org/series/IGREA>

-GREIA Índice <https://www.dallasfed.org/research/igrea>

-Producción china.

https://www.trademap.org/Country_SelProduct_TS.aspx?nvpm=1%7c%7c%7c%7c%7cTOTAL%7c%7c%7c2%7c1%7c1%7c2%7c2%7c1%7c2%7c1%7c1%7c1

-Precio metales de tierras raras.

https://www.msn.com/es-es/dinero/mi-portafolio?tab=Related&id=a21vc7&ocid=ansMSNMoney11&duration=Max&relatedQuoteId=a21vc7&relatedSource=MIAI&src=b_secdans

-Producción de tierras raras por países. <https://es.statista.com/estadisticas/600572/porcentaje-de-tierras-raras-producidas-por-paises/>

-Producción de tierras raras en China. <https://es.statista.com/estadisticas/636043/produccion-de-tierras-raras-en-china/7>

-Tamaño de mercado mundial. <https://es.statista.com/estadisticas/1313082/tierras-raras-tamano-de-mercado-mundial/>

-Volumen mensual de exportación de tierras raras de china

<https://es.statista.com/estadisticas/636045/volumen-mensual-de-tierras-raras-exportadas-por-china/>

-Reservas mundiales de tierras raras. <https://es.statista.com/estadisticas/635934/reservas-mundiales-de-tierras-raras-por-paises/>

-China, mayor productor del mundo de minerales raros.

<https://es.statista.com/grafico/18296/produccion-mineral-de-tierras-raras/>

-Evolución tierras raras 2010–2013. <https://pasandojambre.wordpress.com/2017/04/26/geopolitica-recursos-minerales-y-globalizacion-ii-las-tierras-raras-el-nuevo-oro-negro/>