



Tierras raras

Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano, y largo plazo con vigencia al año 2035

Final 21 de diciembre de 2018

CRU Consulting



Contrato #

C-378359-003-2018

Este informe se ha proporcionado de manera privada y confidencial al cliente. No debe divulgarse por completo o por partes, directa o indirectamente o en cualquier otro formato a ninguna otra compañía, organización o individuo sin el permiso previo por escrito de CRU International Limited.

Se otorga permiso para la divulgación de este informe a las subsidiarias de propiedad mayoritaria de una compañía y su organización matriz. Sin embargo, cuando el informe se proporciona a un cliente en su calidad de administrador de una empresa conjunta o sociedad, no puede divulgarse a los demás participantes sin autorización adicional.

La responsabilidad de CRU International Limited es exclusiva con su cliente directo. Su responsabilidad se limita al monto de las tarifas efectivamente pagadas por los servicios profesionales involucrados en la preparación de este informe. No aceptamos responsabilidad hacia terceros, independientemente de cómo surja. Aunque este informe ha sido elaborado de forma diligente y cuidado razonable, no garantizamos la exactitud de ningún dato, supuesto, pronóstico u otra declaración prospectiva.

Copyright CRU International Limited 2018. Todos los derechos reservados.

Augusto Leguía Norte N° 100 Of. 506, Las Condes, Santiago, Chile
Tel: +56 2 2231 3900

Tabla de contenidos

1. Mercado de tierras raras	1
Resumen ejecutivo de tierras raras.....	1
Introducción	2
1.1. Demanda de tierras raras (REE)	2
1.1.1. Determinantes de la demanda de tierras raras y usos finales.....	2
1.1.2. Intensidad de uso & ciclo de desarrollo de tierras raras.....	6
1.1.3. Sustitución y elasticidad a la demanda de tierras raras	7
1.1.4. Demanda histórica de tierras raras.....	9
1.1.5. Proyección de demanda de tierras raras	12
Demanda por país	16
1.2. Oferta de tierras raras	20
1.2.1. Recursos y reservas de tierras raras: Evolución, tasas de descubrimiento, presupuesto de exploración	20
1.2.2. Métodos de extracción y procesamiento de tierras raras	24
1.2.3. Cadena de valor de tierras raras	26
1.2.4. Costo de capital de tierras raras	28
1.2.5. Comercialización de tierras raras	30
1.2.6. Producción histórica de tierras raras	34
1.2.7. Proyección de producción de tierras raras.....	36
1.3. Balance del mercado y precio de las tierras raras	41
1.3.1. Descripción de la estructura y mecanismos de precio de tierras raras.....	41
1.3.2. Balance de mercado y precio histórico de tierras raras	42
1.3.3. Proyección de balance de mercado y de precio de tierras raras.....	46
1.4. Análisis de las cinco fuerzas de Porter para el mercado de tierras raras	54
Proveedores	54
Clientes	55
Entrada.....	56
Sustitución.....	56
Competidores	56
Anexo I. Glosario	57
Anexo II. Bibliografía	59

Índice de Tablas

Tabla 1 Análisis de la Elasticidad de la demanda - Tierras raras	9
Tabla 2 Consumo histórico de REOs 2008-2017 por uso final (toneladas)	10
Tabla 3 Consumo histórico de REO por país 2008-2017 (toneladas)	12
Tabla 4 Pronóstico de demanda de REO 2018-2035 por uso final (toneladas)	13
Tabla 5 Demanda de REOs por país 2018-2035 (toneladas)	17
Tabla 6 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (kt)	18
Tabla 7 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (kt)	19
Tabla 8 Reservas y recursos REO 2008-2017 (millones de toneladas)	21
Tabla 9 Costos de capital para proyectos de tierras raras seleccionados	29
Tabla 10 Importaciones de compuestos de tierras raras (Cerío exc) (toneladas)	32
Tabla 11 Importaciones de compuestos de Cerío (toneladas)	32
Tabla 12 Exportaciones de compuestos de tierras raras (cerío exc) (toneladas)	33
Tabla 13 Exportaciones de compuestos de cerío	33
Tabla 14 Producción histórica de REOs minados 2008-2017 (toneladas)	36
Tabla 15 Proyección de producción de REOs 2018-2035 (toneladas)	37
Tabla 16 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (kt)	40
Tabla 17 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (Mt)	41
Tabla 18 Balance histórico del mercado de REOs y precios	45
Tabla 19 Pronóstico del balance de mercado de REOs, 2018-2035 (kt)	47
Tabla 20 Pronósticos de precios de REOs 2018-2035	50
Tabla 21 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (2017 US\$/kg)	52
Tabla 22 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (2017 US\$/kg)	53

Índice de Figuras

Figura 1 Nombre y clasificación de Tierras raras	3
Figura 2 Determinantes de la demanda y usos finales	4
Figura 3 Consumo de tierras raras por país 2017	5
Figura 4 Consumo de tierras raras por uso final 2017	5
Figura 5 Intensidad de uso de tierras raras, 2017	6

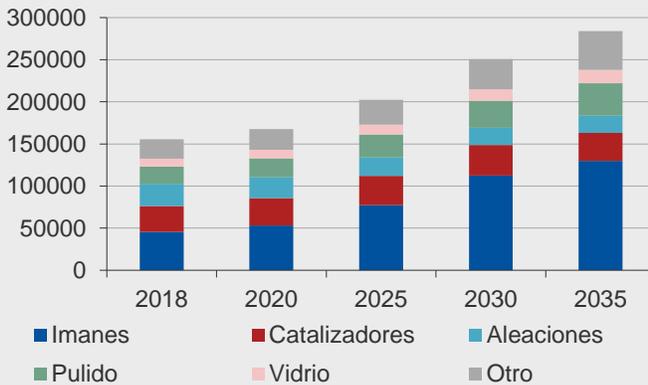
Figura 6 Sustitución de tierras raras	7
Figura 7 Consumo histórico de REOs 2008-2017 (toneladas)	10
Figura 8 Consumo histórico de REO por país 2008-2017 (toneladas)	11
Figura 9 Pronóstico de la demanda de REOs por uso final 2018-2035 (toneladas)	13
Figura 10 Pronóstico de la demanda de REOs por país 2018-2035 (toneladas)	16
Figura 11 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (kt)	18
Figura 12 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (kt)	19
Figura 13 Mapa de principales reservas de REE, 2017 (Mt)	22
Figura 14 Presupuestos de exploración de tierras raras, 2008-2035 (MUS\$, real 2017)	23
Figura 15 Método de procesamiento de Tierras raras	25
Figura 16 Cadena de valor de tierras raras	26
Figura 17 Importaciones de compuestos de REE (Cerío exc) 2017	31
Figura 18 Exportaciones de compuestos de REE (Cerío exc) 2017	31
Figura 19 Importaciones de compuestos de Cerío	31
Figura 20 Exportaciones de compuestos de Cerío	31
Figura 21 Cuota de producción de REO por país, 2017	34
Figura 22 Cuota de producción de REO por compañía, 2017	34
Figura 23 Producción histórica de REO 2008-2017 (toneladas)	35
Figura 24 Pronóstico de producción de REOs 2018-2035 (toneladas)	37
Figura 25 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (kt)	40
Figura 26 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (kt)	41
Figura 27 Balance y precios históricos del mercado de REOs 2008-2017	43
Figura 28 Precios históricos de Pr, Nd 2008-17	43
Figura 29 Precios históricos de Dy, Tb 2008-17	43
Figura 30 Precios históricos del Eu, Y 2008-2017	44
Figura 31 Pronóstico del balance del mercado REO y del precio de Nd 2018-2035	46
Figura 32 Pronósticos de precios de Nd y Pr	47
Figura 33 Pronósticos de precios de Dy, Tb	47
Figura 34 Pronósticos de precios de Ce, La	48
Figura 35 Pronósticos de precios de Eu, Y	48
Figura 36 Precio compuesto de tierras raras, aporte por cada elemento principal, 2018-2035, US\$/kg	51

Figura 37 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (2017 US\$/kg)	52
Figura 38 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (2017 US\$/kg)	53
Figura 39 Modelo de las cinco fuerzas de Porter de Tierras raras	54

1. Mercado de tierras raras

Resumen ejecutivo de tierras raras

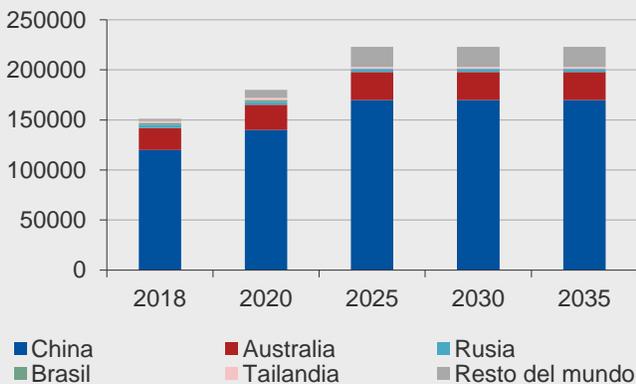
Proyección demanda REO (toneladas)



DEMANDA

1. Las REE incluyen dieciséis elementos con diferentes aplicaciones y determinantes. La demanda se mide en óxidos de tierras raras equivalentes (REO)
2. Se espera una TCAC del 3,6% entre 2018 y 2035, con una demanda de imanes muy alta, superior al 6% anual.
3. La demanda en nuevos usos como el tratamiento de agua y la refrigeración magnética crecerá mucho. El crecimiento será más lento en usos tradicionales (catalizadores, pulido de vidrio, aditivos, etc.). La demanda de fósforos y baterías de NiMH disminuirá debido a cambios técnicos en los productos. Las baterías NiMH están siendo reemplazadas por ion-litio.
4. El crecimiento de la demanda se acelerará en la década de 2020 impulsado por los vehículos eléctricos y las turbinas eólicas, pero se ralentizará en la década de 2030.
5. La demanda por país está dominada por Asia oriental. La mayor parte de la producción de productos que contienen REO se producen en China, Japón y Corea.

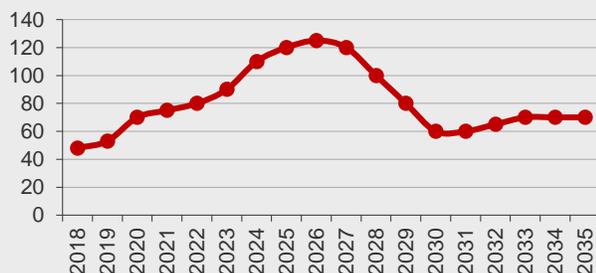
Proyección producción REO (toneladas)



OFERTA

1. La producción de REOs está dominada por China (79% del total). El único otro productor importante es Australia, proveniente de una sola mina. Brasil representa sólo un 2%, En la medida que China elimine producción ilegal y se ocupe de los problemas ambientales, se necesitarán nuevos suministros desde el resto del mundo. Sin embargo, sólo hay un proyecto comprometido en preparación. Por lo tanto, a pesar del aumento previsto de la cuota de producción de China, a mediados de los años 2020 se necesitará un nuevo suministro, e incluso antes para los elementos de mayor crecimiento utilizados en imanes – Nd, Pr, Dy.
2. Hay muchos proyectos nuevos en trámite, pero la mayoría están a cargo de compañías mineras *junior* a las que les ha resultado muy difícil conseguir financiamiento debido a lo deprimido del mercado desde 2013.
3. Los nuevos proyectos se están concentrando en el valor de Nd, Pr y Dy en sus yacimientos

Proyección de precio de Nd (\$/kg) real 2017



PRECIO

1. Hay 17 tierras raras, algunos de los cuales apenas se utilizan comercialmente. Hemos optado por ilustrar el precio del neodimio (Nd), que impulsará cada vez más el mercado. Debido a la escasez de nuevos proyectos comprometidos fuera de China, prevemos una escasez de oferta a mediados de los años 2020, lo que se traducirá en precios reales elevados. A partir de entonces, a medida que los nuevos proyectos entren en producción, se prevé que el precio descienda a un nivel sostenible a largo plazo de \$70/kg.
2. Es probable que los precios del Pr, Dy y Tb sigan un patrón similar.
3. Los precios del Cerio (Ce) y del Lantano (La) permanecerán bajos ya que son coproducidos con los otros REOs y existen excedentes naturales.
4. Se espera que los precios reales del europio (Eu) y del itrio (Y) disminuyan debido a la disminución de su uso.

Introducción

Este reporte es parte del estudio “Caracterización y análisis de mercado internacional de minerales en el corto, mediano, y largo plazo con vigencia al año 2035” preparado por CRU para la Unidad de Planeación Minero Energética. Como tal, debe ser leído teniendo en consideración la información y el contexto entregados en los documentos complementarios “Metodología y plan de trabajo detallado” y “Análisis de escenarios”:

- El documento “Metodología y plan de trabajo detallado” explica en detalle la metodología utilizada para obtener tanto los datos históricos como proyectados de demanda, oferta y precio.
- El documento “Análisis de escenarios” presenta los tres escenarios bajo los cuales se llevan a cabo las proyecciones de demanda, oferta y precio de cada *commodity* en el estudio. Explica las principales fuerzas detrás de cada escenario y cómo estas son llevadas a supuestos numéricos claros y específicos que permiten modelar los escenarios de manera consistente a través de todos los *commodities* cubiertos.

1.1. Demanda de tierras raras (REE)

1.1.1. Determinantes de la demanda de tierras raras y usos finales

Las tierras raras (REE, por su sigla en inglés) consisten en los 15 elementos de lantánidos, con números atómicos del 57 al 71, incluyendo el itrio y en algunos casos el escandio. Normalmente, en la mayoría de los análisis, excluimos al escandio, que se extrae por separado de las otras tierras raras y tiene una cadena de valor separada. Las tierras raras se nombran en la siguiente tabla, junto con una clasificación en elementos livianos (LREE, por su sigla en inglés), medios (MREE, por su sigla en inglés) y pesados (HREE, por su sigla en inglés).

Figura 1 Nombre y clasificación de Tierras raras

Clasificación de Tierras raras por “ligera”, “media”, “pesada” basada en el peso atómico, así como en una medida de escasez relativa

Nombre	no. Atomic	Símbolo	Nombre	no. Atomic	Símbolo
Lantano	57	La	Terbio	65	Tb
Cerio	58	Ce	Disproso	66	Dy
Praseodimio	59	Pr	Holmio	67	Ho
Neodimio	60	Nd	Erbio	68	Er
Prometeo	61	Pm	Tulio	69	Tm
Samario	62	Sm	Iterbio	70	Yb
Europium	63	Eu	Lutecio	71	Lu
Gadolinio	64	Gd	Itrio	39	Yt

 Tierras raras ligera

 Tierras raras media

 Tierras raras pesada

Fuente: CRU

Las tierras raras se presentan juntos en distintas proporciones, dependiendo del yacimiento mineral. Se consideran como un grupo porque se extraen y procesan juntos, hasta la etapa de concentrado de REO (óxido de tierras raras por su sigla en inglés). Luego, deben separarse químicamente en elementos individuales. Esto es importante porque los usos finales de las tierras raras son por cada uno de los elementos individuales específicos. Por ejemplo, las principales tierras raras utilizadas en los imanes permanentes son el Neodimio (Nd) y el Praseodimio (Pr), mientras que los principales elementos utilizados en los catalizadores son el Cerio (Ce) y el Lantano (La).

Debido a sus diferentes perfiles de uso final, los elementos individuales de las tierras raras tienen diferentes tasas de crecimiento de demanda. No obstante, se suministran en proporciones fijas en función de la composición de los principales yacimientos. Esto da lugar al llamado "problema de equilibrio", ya que, si la producción minera es impulsada por los elementos de crecimiento más rápido, muchos de los otros elementos serán excedentarios. Volveremos a tratar este tema en la sección del balance de pronóstico. Los principales usos finales de las tierras raras se muestran en la siguiente figura, junto con los elementos utilizados y las principales fuerzas motrices de la demanda.

Figura 2 Determinantes de la demanda y usos finales

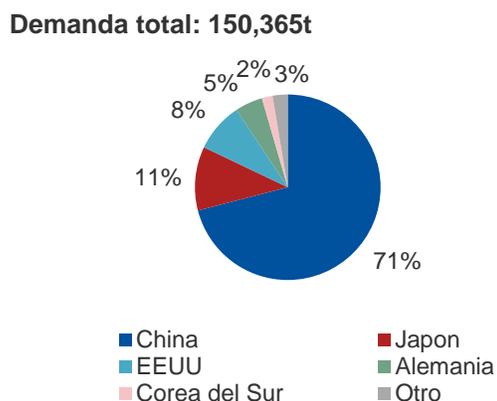
Uso final	Elemento/Forma	Aplicación	Determinante
Imanes (28% de la demanda)	Nd, Pr como metal, pequeñas cantidades de Dy, Sm, Tb	Motores en turbinas eólicas, Industria automotriz (esp VE and VHE), audio y electrónica	Producción de turbinas eólicas; producción de vehículos, vehículos eléctricos y vehículos híbridos eléctricos
catalizadores (20% de la demanda)	La, Ce, Nd, Pr como óxidos o compuestos	Craqueo catalítico de fluidos de petróleo; convertidores catalíticos para industria automotriz	Producción de petróleo refinado, especialmente para productores ligeros; producción de vehículos de combustión interna, y normas de edición
Pulido (13% de la demanda)	Ce como óxido, La, Nd	Pulido de vidrios planos y ópticos, paneles de visualización y discos duros de ordenador.	Producción de vidrio, Producción de pantallas planas, demandas de discos duros y discos duros solidos
Baterías (Baterías NiMH) (9% de la demanda)	La, Ce, Nd, Pr como metal de alta pureza	VHEs, herramientas portátiles, electrónica de consumo (computadoras portátiles, teléfonos)	Producción de vehículos, participación de VHEs. Participación de Mercado entre baterías de NiMH versus Li-ion
Vidrio (6% de la demanda)	Principalmente Ce y La con pequeñas cantidades de otros óxidos y compuestos de tierras raras	Colorante de vidrio, protección (ej. Protección UV) y eliminación de impurezas. Principalmente en pantallas y cristal óptico.	Producción de pantallas planas, gastos en investigación científica.
Cerámicas (5% de la demanda)	Principalmente Y, con pequeñas cantidades de Nd, La, Ce, Pr como óxido	Refractarios, ingeniería y cerámica electrónica.	Producción industrial
Aleaciones metálicas (9% de la demanda)	Ce, La como óxidos o compuestos	Hierro fundido, HSLA acero, acero inoxidable, aleación de Mg, aleación de Al	Producción automotriz y Mercado de construcción
Fósforos y pigmentos (5%)	Y Principalmente, Pr, Ce, La, Eu como óxidos	Iluminación, paneles de visualización, aplicaciones medicas	Crecimiento de LEDs y pantallas planas.

Fuente: CRU

La figura anterior ilustra una gama muy diversa de usos finales y, por lo tanto, de fuerzas impulsoras. Sin embargo, hay una serie de temas generales que están surgiendo. En primer lugar, las tierras raras se utilizan principalmente en la fabricación de tecnología de punta y, por lo tanto, se consumen en su inmensa mayoría en los países industrializados avanzados. De hecho, con la migración de industrias como la electrónica al este asiático, China, Japón y otros países se han convertido en el centro de la mayor parte de la demanda de tierras raras. Un segundo tema general es que la demanda de tierras raras es sensible al desarrollo de la economía "verde". Por ejemplo, uno de los principales impulsores de la demanda de imanes permanentes es el crecimiento de las energías alternativas (turbinas eólicas), así como del transporte limpio (vehículos eléctricos, VE, y vehículos híbridos eléctricos, VHE). Estas tendencias también impulsarán la demanda de baterías en vehículos eléctricos y de almacenamiento de energía doméstica. El cambio de los motores de combustión interna (ICEs, por su sigla en inglés) a los VEs y VHEs reducirá la demanda de convertidores catalíticos así como de catalizadores de craqueo de fluidos (FCCs, por su sigla en inglés) en la refinación de petróleo. Una tercera tendencia es que el progreso técnico puede cambiar rápidamente el consumo de tierras raras a través de la sustitución de producto. Por ejemplo, las tierras raras se utilizan en baterías

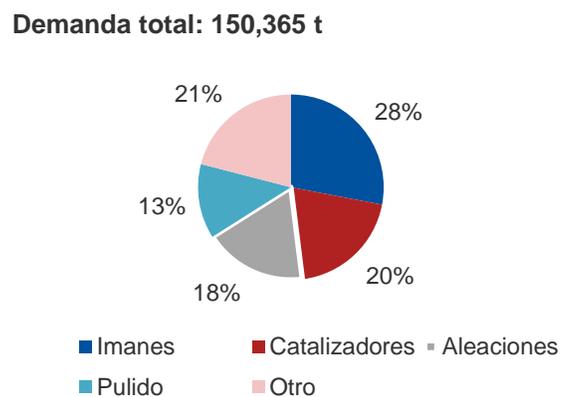
recargables de hidruro metálico de níquel (NiMH, por su sigla en inglés), que se desarrollaron por primera vez en la década de los 90 para sustituir a las baterías níquel-cadmio. Sin embargo, las baterías de NiMH están siendo reemplazadas en algunas aplicaciones por baterías de iones de litio (Li-ion). En otro ejemplo, el cambio de los tubos de rayos catódicos (CRT) a las pantallas planas, así como el cambio de las luces incandescentes y fluorescentes a las luces LED ha llevado a una disminución en la intensidad del uso de tierras raras en la producción de fósforos. La asociación de las tierras raras con sectores industriales de alto crecimiento es positiva, pero también tiene un efecto negativo en el sentido de que el rápido progreso técnico puede llevar rápidamente a la sustitución.

Figura 3 Consumo de tierras raras por país 2017



Fuente: CRU

Figura 4 Consumo de tierras raras por uso final 2017



Fuente: CRU

La demanda por país está dominada por China, seguida a distancia por Japón, EEUU y Alemania. Este patrón ha cambiado mucho en los últimos 25 años. A mediados de la década del 90, el consumo estaba dominado por Japón, seguido por los EEUU y Europa. El cambio refleja la migración de la fabricación de tecnología de punta de EEUU., Europa y Japón a China. También refleja el dominio de China en la producción de tierras raras, y su gradual ascenso en la cadena de valor para producir productos que contengan tierras raras. Nótese que las cifras de la demanda se refieren a la **producción** de productos que contienen tierras raras (como baterías, imanes y pantallas), y no al **consumo** de dichos productos, que está geográficamente más extendido y que en definitiva es lo que determina el tamaño del mercado.

En la figura anterior que describe el consumo por uso final, tenga en cuenta que la categoría "aleaciones" incluye tanto las tierras raras utilizados para la aleación con acero, magnesio y

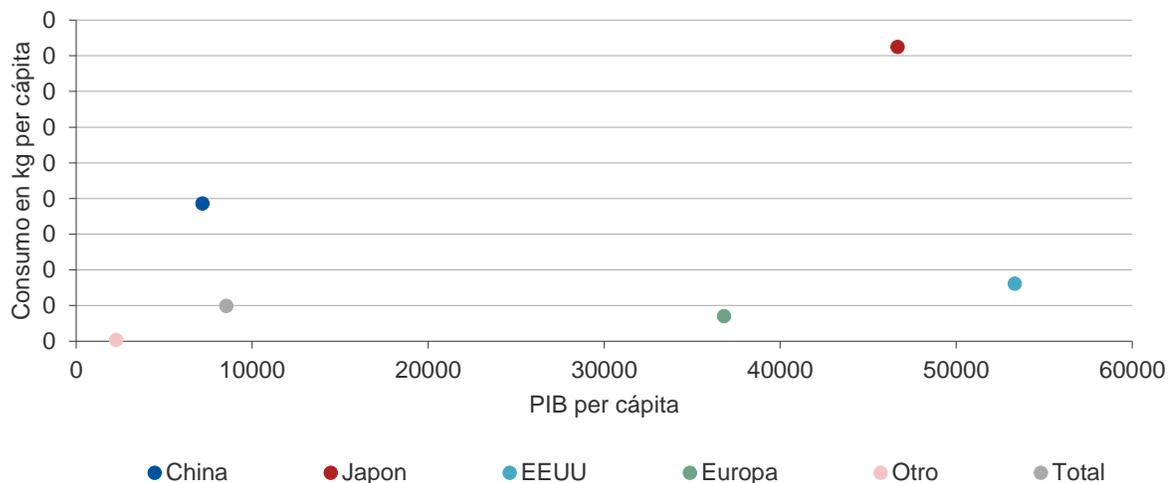
aluminio (9%), como las aleaciones utilizadas en las baterías de NiMH (9%). La categoría "otros" incluye el uso en vidrio, cerámica y fósforos.

También es importante señalar que la figura de uso final se basa en el consumo por peso. Pero, si consideramos las cuotas de consumo por valor, entonces el gráfico sería muy diferente, ya que el uso de imanes representa alrededor del 80% de la demanda por valor. Esto se debe a los elementos de mayor costo utilizados y a la alta pureza requerida.

1.1.2. Intensidad de uso & ciclo de desarrollo de tierras raras

La intensidad total de uso de tierras raras es de sólo 0,02 kg por persona para el mundo. La intensidad más alta se da en Japón (0,16 kg), seguido de China, EEUU. y Europa. La demanda se concentra en estas cuatro regiones industrializadas, ya que la demanda en el resto del mundo es despreciable. En las cuatro regiones industriales no existe una relación clara entre el consumo per cápita y el PIB per cápita. Nótese que, como se ha mencionado anteriormente, estos datos reflejan la producción de bienes que contienen tierras raras, más que el consumo de estos, que se distribuye de forma más amplia.

Figura 5 Intensidad de uso de tierras raras, 2017



Fuente: CRU

1.1.3. Sustitución y elasticidad a la demanda de tierras raras

Sustitución

La siguiente figura resume las posibles sustituciones de tierras raras por uso final. Muestra tanto los potenciales materiales sustitutos como los productos finales sustitutos. En general, la capacidad de sustituir las tierras raras por otros materiales es muy baja, aunque hay un mayor rango de productos alternativos. El enorme aumento de los precios en 2010 condujo a un aumento de la investigación sobre materiales alternativos, con resultados limitados. Con la caída de los precios en los años siguientes, la importancia de estos esfuerzos disminuyó. La demanda de tierras raras puede verse afectada por sustitución, pero también por una **mayor eficiencia en el uso**, y aquí ha habido ganancias en respuesta a la subida de precios. La búsqueda de alternativas a las tierras raras ha adquirido una importancia política debido al dominio de China como proveedor, la incertidumbre de la política de producción y comercio de China, así como la importancia de las tierras raras en la defensa y la investigación científica.

Figura 6 Sustitución de tierras raras

Uso Final	Nivel de Sustitución	Materiales sustitutos	Sustitución
Imanes (NdFeB Imanes permanentes)	Medio	Nd, Dy puede ser sustituidos por otras tierras raras, pero con menores rendimiento	Los imanes de ferrita se pueden utilizar en aplicaciones de bajo rendimiento.
Craqueo catalítico de fluidos	Bajo	Ninguno	Hidro craqueo, VEs
Auto catalizadores	Bajo	Ninguno	Los VEs no necesitan catalizadores.
Pulido	Medio	Circonia (baja calidad)	Discos duros solidos (SSD), remplazo de discos duros (HDD)
Baterías (NiMH baterías)	Alto	Litio	Las baterías de NiMH están siendo reemplazadas por Li-ion en muchas aplicaciones
Vidrio	Bajo	Ninguno	Ninguno
Ceramicas	Bajo	Ninguno	Ninguno
Alenaciones de metales	Medium	Mg, Ca en un número limitado de aplicaciones	Ninguno
Fosfórico y pigmentos	Bajo	Ninguno	Luces LED usan menos cantidades de Tierras raras que fluorescente e incandescentes. Pantallas LED y LCD usan menos cantidades Tierras que pantallas CRT

Fuente: CRU

Elasticidad a la demanda

CRU considera que la elasticidad precio de la demanda para la mayoría de los minerales bajo análisis es cero o casi cero en el corto plazo y, en muchos casos, también en el largo plazo.

La razón crucial para esta afirmación es que dichos minerales (*commodities*) no son consumidos como bienes finales sino que sirven como insumos para la producción de bienes finales o en bienes de capital. Como tal, debemos tener en cuenta que la demanda de estos *commodities* es una demanda derivada.

De esta manera, los argumentos esgrimidos por Lord Alfred Marshall en el libro de texto de economía "Principios de la economía" (donde se presentó por primera vez el concepto de elasticidad precio de la demanda) continúan aplicándose. Sus argumentos implicaban que la elasticidad precio de la demanda de un insumo (es decir, la elasticidad precio de la demanda derivada) sería menor si se cumple alguno de los siguientes puntos:

1. Si ese insumo o un producto intermedio derivada de él se utiliza como complemento (y no como sustituto) para producir el bien final (baja sustituibilidad)
2. La participación del insumo en el bien o servicio final es pequeña (participación de bajo valor)
3. En caso de tener sustitutos, si esos sustitutos tienen una oferta fija/rígida (baja elasticidad de la oferta de sustitutos)
4. Si la elasticidad de la demanda del bien o servicio final es baja (baja elasticidad precio final)

Para la mayoría de los 27 minerales bajo estudio, aplican una o más de estas situaciones. Por lo tanto, siguiendo los argumentos de Lord Marshall es posible concluir que la elasticidad precio de la demanda de estos productos es baja (típicamente, cercana a cero).

En la práctica, la implicancia es que para observar una destrucción significativa de la demanda de un mineral (10% o más) se necesitaría un diferencial de precios muy alto (al menos del doble del valor promedio) sobre el valor de el/los sustituto/s y que ese diferencial se mantenga durante diez o más años. En otras palabras, CRU opina que la elasticidad precio de la demanda a largo plazo no debe ser más del 10%. Asimismo, una elasticidad <10% generaría diferencias insignificantes con cualquier cálculo basado en una elasticidad precio de la demanda igual a cero.

En el caso específico de las tierras raras, los cuatro factores de análisis de la teoría marshalliana se comportan de la siguiente manera:

Tabla 1 Análisis de la Elasticidad de la demanda - Tierras raras

Factor de análisis	Características específicas de las tierras raras
Principales usos	Imanes permanentes, catalizadores (aceite y auto), aleaciones, baterías, vidrio, cerámica
Baja sustitución	Sí, pero alta sustitución a nivel de producto
Baja proporción de valor	Si, generalmente
Baja elasticidad del suministro de sustitutos	Si
Baja elasticidad de precio final	Si

Fuente: CRU

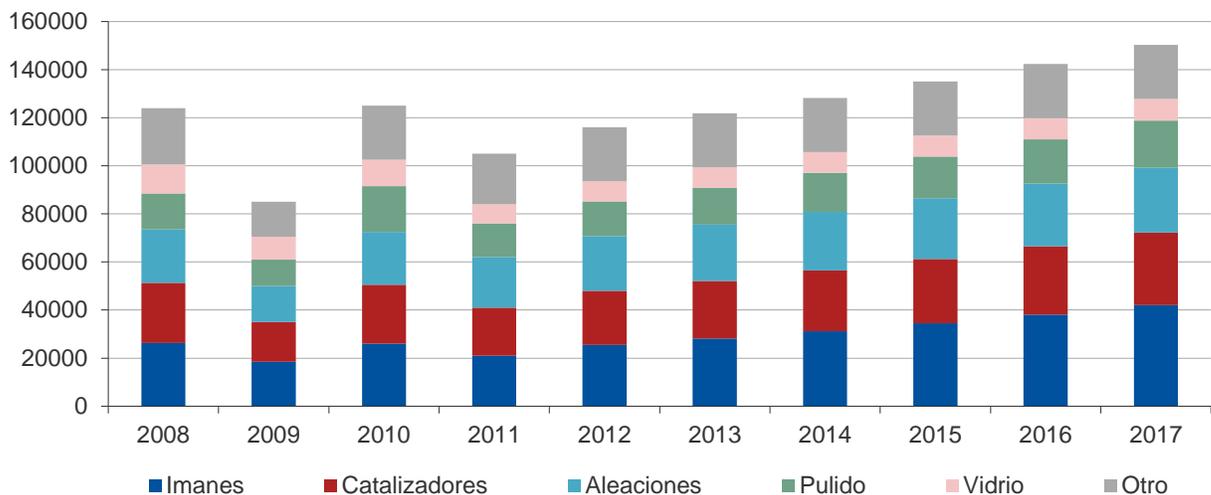
La elasticidad de precios de la demanda de tierras raras se puso a prueba en 2010, cuando los precios aumentaron de manera considerable. Entre 2009 y 2011, los precios de algunas tierras raras se multiplicaron por diez. Por ejemplo, el Cerio aumentó de \$5.5/kg en 2009 a \$51/kg en 2011, mientras que el Neodimio aumentó de \$22.7/kg a \$195/kg. Este aumento, junto con la sensibilidad política a la dependencia de China para un producto estratégico, condujo a esfuerzos para encontrar sustitutos de tierras raras, para encontrar formas de economizar en el uso, y para reciclar más material. Los esfuerzos fueron particularmente fuertes en Japón, debido a una disputa comercial con China. Pero a pesar del gran aumento de los precios en 2010, la demanda de tierras raras aumentó en un 47% a medida que las economías mundiales se recuperaban de la Crisis Financiera Global (GFC, por su sigla en inglés). En cualquier caso, los procesos de fabricación necesitan tiempo para responder a los aumentos de precios.

1.1.4. Demanda histórica de tierras raras

Principales consumidores por actividad económica en los últimos diez años

Tal como se plantea en la sección “Determinantes de la demanda de aluminio y usos finales” de este reporte, los principales sectores económicos ligados al consumo de tierras raras son altamente diversificados. Dado que el crecimiento importante en el consumo de tierras raras se dio principalmente en la década de los 90’ los usos se han mantenido relativamente estables, con una mayor importancia en imanes recientemente.

Figura 7 Consumo histórico de REOs 2008-2017 (toneladas)



Fuente: CRU

Tabla 2 Consumo histórico de REOs 2008-2017 por uso final (toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Magnetos	26250	18500	26000	21000	25500	28190	31163	34451	38085	42102	5,4%
Catalizadores	25000	16500	24500	20000	22500	23850	25281	26798	28406	30110	2,1%
Aleaciones	22250	15000	22000	21000	22700	23513	24354	25226	26129	27064	2,2%
Pulidores	15000	11000	19000	14000	14500	15393	16340	17346	18414	19547	3,0%
Vidrio	12000	9500	11000	8000	8300	8439	8581	8725	8872	9021	-3,1%
Otro	23500	14500	22500	21000	22500	22489	22486	22490	22502	22521	-0,5%
Total	124000	85000	125000	105000	116000	121873	128205	135035	142406	150365	2,2%
% cambio anual		-31%	47%	-16%	10%	5%	5%	5%	5%	6%	

Fuente: CRU

La demanda total ha crecido a una TCAC del 2,2% desde 2008. Pero esta tasa global se vio afectada negativamente por la caída de la demanda provocada por la GFC en 2009. Además, 2008 fue el año de mayor demanda de agua al final del boom 2002-2008. En general, la tasa de crecimiento de la demanda en los últimos 5 años ha sido de entre el 5% y el 6%.

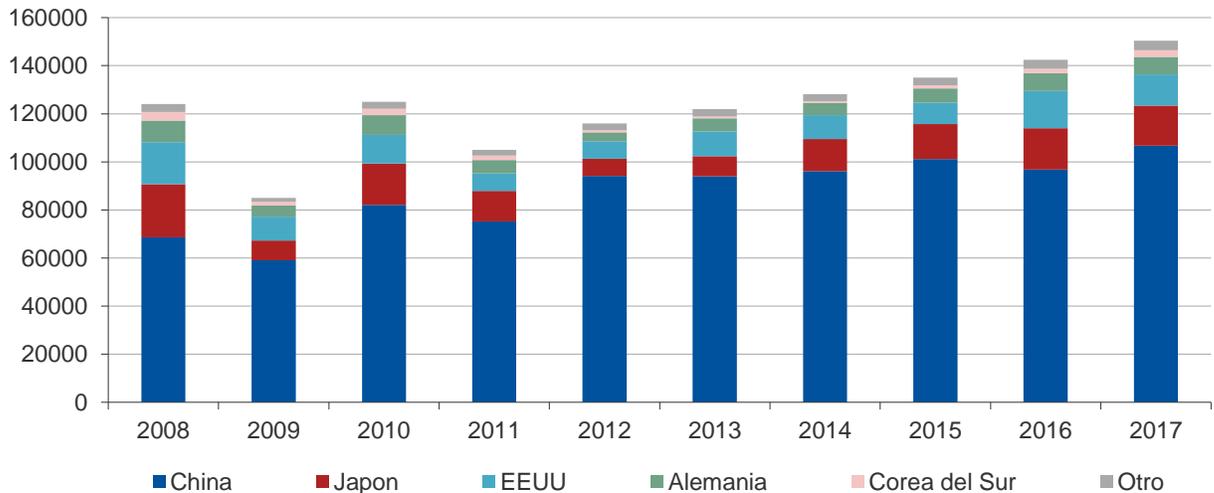
Los imanes han proporcionado la tasa más rápida de crecimiento de la demanda, además de ser el mayor sector de esta. Este crecimiento ha sido impulsado por la demanda de imanes permanentes de alto rendimiento en aplicaciones tales como VE y VEHS, turbinas eólicas y dispositivos personales de audio y electrónicos. La demanda de tierras raras en catalizadores y aleaciones ha experimentado un crecimiento constante y moderado impulsado por los sectores de la automoción y la producción de metales, respectivamente. El consumo de vidrio y fósforo se

ha visto afectado por la sustitución de los tubos de rayos catódicos por pantallas planas de LCD y LED.

Principales países y/o regiones consumidoras de tierras raras

A mediados de la década de los 90, el consumo, medido en REO (óxidos) o su equivalente, estaba dominado por Japón, EEUU. y Europa, en base a la materia prima importada de China. Pero esto ha cambiado completamente en los últimos 20 años, a medida que China ha ido ascendiendo en la cadena de valor para producir óxidos de tierras raras separados, y luego, productos como baterías, imanes y pantallas planas, y finalmente productos finales como motores eléctricos, teléfonos inteligentes, productos electrónicos y de audio, etc. En 2008, se estima que China representaba el 55% del consumo, y que éste había aumentado hasta el 71% en 2017. A medida que la actividad manufacturera emigró a China desde Japón, Corea del Sur, EEUU. y Europa, la proporción de estos países disminuyó tanto en términos porcentuales como absolutos. A pesar de la caída en el consumo en 2017 en Japón, EEUU y Europa (en Corea del Sur hubo crecimiento), la demanda mundial de REE creció. El principal impulsor fue China, que muestra una participación cada vez más dominante en esta industria.

Figura 8 Consumo histórico de REO por país 2008-2017 (toneladas)



Fuente: CRU

Tabla 3 Consumo histórico de REO por país 2008-2017 (toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	68524	59064	82025	75211	94144	94064	96101	101110	96715	106700	5,0%
Japón	22220	8237	17330	12670	7200	8225	13426	14623	17213	16730	-3,1%
EEUU	17355	9906	11898	7274	7237	10399	9823	8882	15510	12932	-3,2%
Alemania	9099	4573	8200	5649	3679	5346	5210	5973	7420	7231	-2,5%
Corea del Sur	3537	1676	2581	1852	918	783	634	1289	1882	2823	-2,5%
Otro	3265	1544	2966	2343	2821	3057	3012	3160	3667	3949	2,1%
Total	124000	85000	125000	105000	116000	121873	128205	135035	142406	150365	2,2%
<i>% cambio anual</i>		-31%	47%	-16%	10%	5%	5%	5%	5%	6%	

Fuente: CRU

1.1.5. Proyección de demanda de tierras raras

Escenario 1 - Continuidad

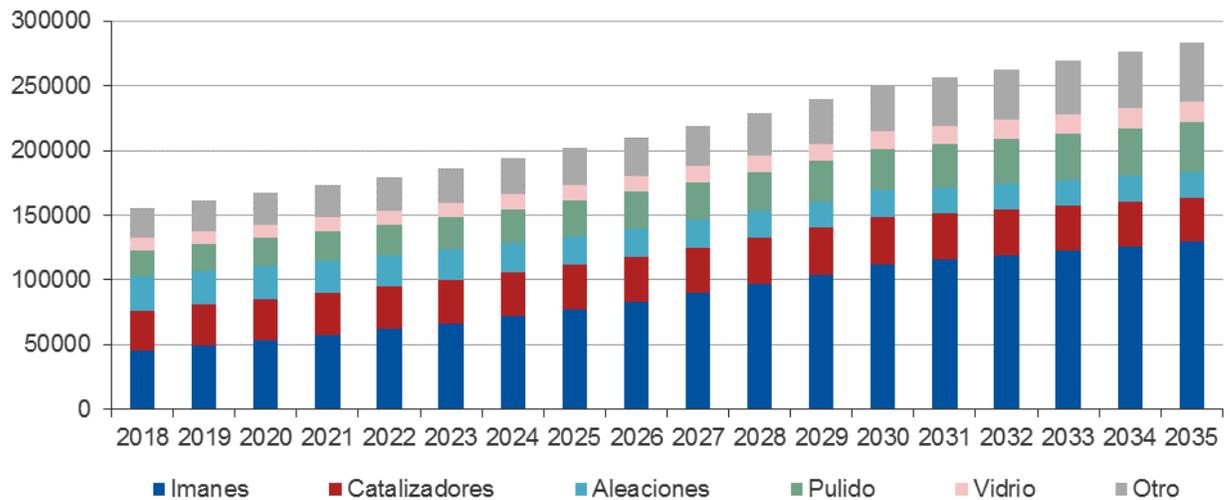
Los pronósticos de demanda de REOs son objeto de una gran incertidumbre. Debido a la falta de estadísticas precisas, incluso el año base de 2017 está sujeto a una serie de estimaciones. Una de las principales razones es la existencia de producción y exportación ilegal de China, que, según algunos informes, puede llegar a representar hasta el 30% de la producción de China. Las estimaciones del consumo mundial para el año base varían desde 130.000 toneladas hasta 175.000 toneladas. La proyección de CRU comienza con algo más de 150.000 toneladas. Otra fuente de incertidumbre es que las tierras raras son un material relativamente nuevo que se utiliza en sectores donde el cambio técnico es rápido. Como se ha visto en la sección histórica, esto puede ser tanto positivo como negativo para las tierras raras. Otro factor es que el crecimiento depende en cierta medida del crecimiento de una cadena de suministro más fiable y diversificado, dado lo impredecible de la política de China.

Los siguientes comentarios muestran cómo se ha desarrollado la predicción de la demanda por sector de uso final.

La demanda de **imanes permanentes** de NdFeB (neodimio-hierro-boro) se ha modelado a partir del crecimiento de tres sectores: turbinas eólicas, vehículos (incluida la cuota de vehículos eléctricos) y otros usos de audio y electrónicos en proporciones aproximadamente iguales. En el caso de los generadores eólicos, el crecimiento ha estado directamente relacionado con la instalación anual de generadores nuevos y de sustitución, según las previsiones del Consejo Mundial de Energía Eólica en su escenario "moderado". Esta predicción indica que las instalaciones anuales pasarán de 63 GW en 2015 a 67 GW en 2020, 110 GW en 2030 y 113 GW

en 2040. Esto da una TCAC global del 2,4%, aunque, el perfil de crecimiento es rápido en la década de 2020, seguido de un crecimiento mucho más lento en la década de 2030.

Figura 9 Pronóstico de la demanda de REOs por uso final 2018-2035 (toneladas)



Fuente: CRU

Tabla 4 Pronóstico de demanda de REO 2018-2035 por uso final (toneladas)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Magnetos	45527	49231	53236	57351	61784	66560	71704	77247	83248	89715
Catalizadores	30824	31554	32302	32760	33225	33697	34175	34660	35002	35347
Aleaciones	26399	25751	25118	24498	23893	23303	22728	22167	21788	21415
Pulidores	20427	21346	22306	23196	24122	25084	26085	27126	28082	29072
Vidrio	9359	9710	10074	10409	10755	11113	11483	11864	12213	12572
Otro	23083	23743	24507	25239	26066	26992	28020	29157	30231	31403
Total Mundial	155619	161335	167544	173454	179846	186749	194195	202221	210564	219524
% cambio anual		3,7%	3,8%	3,5%	3,7%	3,8%	4,0%	4,1%	4,1%	4,3%

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Magnetos	96685	104196	112290	115587	118980	122473	126068	129769	6.4%
Catalizadores	35696	36048	36404	35783	35172	34572	33982	33403	0.5%
Aleaciones	21049	20689	20335	20338	20340	20342	20345	20347	-1.5%
Pulidores	30097	31158	32256	33393	34570	35789	37050	38357	3.8%
Vidrio	12941	13321	13712	14115	14530	14957	15396	15848	3.1%
Otro	32676	34056	35549	37429	39423	41540	43785	46170	4.2%
Total Mundial	229144	239468	250547	256645	263016	269672	276627	283893	3.6%
% cambio anual		4,4%	4,5%	2,4%	2,5%	2,5%	2,6%	2,6%	

Fuente: CRU

En el sector automotriz, los imanes permanentes se utilizan en muchas aplicaciones como motores de limpiaparabrisas, motores de ventanas, espejos eléctricos, etc. Así, hemos tomado la producción de vehículos como el impulsor de la demanda en este sector. También hemos supuesto un aumento en la demanda de imanes por vehículo debido a la creciente electrificación de ventanas, maleteros, asientos, espejos, etc., incluso en los vehículos de las clases A y B. Sin embargo, los vehículos eléctricos y los vehículos híbridos utilizan más imanes NdFeB que los vehículos ICE debido a los motores eléctricos en el tren de transmisión. Se supone que el peso de las tierras raras está entre 0,3 kg y 0,7 kg por vehículo ICE, con un aumento de entre 1,0 kg y 1,7 kg por VE/VEH. La producción total de vehículos, según las proyecciones de CRU, crecerá un 1,27% anual entre 2015 y 2035, con un crecimiento más lento después de 2025. Se espera que la cuota de producción de VE/VEH aumente desde el 1,8% del total en 2015 hasta el 37% del total en 2035. El resultado es una tasa de crecimiento de tierras raras en imanes para el sector automotriz de más del 9% anual entre 2015 y 2030, disminuyendo hasta el 3,4% entre 2030 y 2035.

Los demás usos de los imanes permanentes son motores o imanes en múltiples productos de audio y electrónicos, robots y usos industriales generales, así como en herramientas y aparatos inalámbricos. Dada esta situación, es difícil vincular la demanda a un solo producto. Por lo tanto, para este segmento de la demanda hemos utilizado el crecimiento del PIB como impulsor, pero con una elasticidad de ingresos de 1,5, de manera que la demanda crece 1,5 veces el crecimiento del PIB.

El resultado de estos cálculos es una tasa de crecimiento de tierras raras en imanes del 8,1% anual entre 2017 y 2020, del 7,7% entre 2020 y 2030 y del 2,9% entre 2030 y 2035. Esto significa que los imanes siguen siendo el segmento con mayor crecimiento de la demanda de tierras raras, y representarán casi el 45% de la demanda total para el año 2035.

La demanda de **catalizadores** para tierras raras es impulsada por la producción de refinerías de petróleo debido al 75% utilizado en catalizadores de craqueo de fluidos, y el resto, por la producción de vehículos y su uso en los convertidores catalíticos. Los pronósticos utilizados son los de la producción de petróleo del BP World Energy Outlook 2018, y de la producción de vehículos de CRUs. Hay que tener en cuenta en cuenta que también hemos supuesto un pequeño aumento en el consumo por vehículo debido a los vehículos más grandes, así como a normas de emisión más estrictas. Sin embargo, los vehículos eléctricos no necesitan convertidores catalíticos, por lo que el número de vehículos que necesitan convertidores disminuirá después de 2030. El pronóstico de CRU sobre la producción de vehículos y la cuota de vehículos eléctricos

fue descrito anteriormente. El pronóstico de la producción de petróleo indica un crecimiento del 1,5% anual para 2017-2020, del 1% entre 2020 y 2025, del 0,6% para 2025-2030 y del 0,3% para 2030-2035. La demanda de petróleo crece lentamente debido a la mayor eficiencia energética, el crecimiento de las energías renovables en la generación de energía y el cambio a un transporte con bajas emisiones de carbono. Combinando las estimaciones de tierras raras en el refinado de petróleo y en vehículos, la tasa de crecimiento anual disminuye del 2,4% en 2017-2020 al 1,4% en 2020-25, 1% en 2025-2030 y -1,7% en 2030-2035. La tasa de crecimiento se vuelve negativa después de 2030 debido al crecimiento de los VEs.

La demanda de tierras raras en **aleaciones** se divide en partes iguales entre baterías de NiMH y aleaciones metálicas, principalmente de acero. Los factores determinantes del pronóstico son la demanda de baterías de NiMH, que es modelada directamente por CRU para sus perspectivas de materiales de baterías, y la producción prevista de acero de CRU. La tasa de crecimiento de las baterías de NiMH es negativa de 2017 a 2030, ya que son sustituidas por baterías de iones de litio en muchas aplicaciones, y la demanda se estabiliza en un nivel bajo después de 2030. El crecimiento medio de la producción de acero es del 1,1% anual entre 2017 y 2035. El crecimiento resultante para las tierras raras en aleaciones es una caída anual del 1,5%, por lo que la demanda se reduce a 20.347 toneladas en 2035, lo que representa sólo el 7% de la demanda total.

Se espera que la demanda de tierras raras para **pulido** crezca a un ritmo del 3,8% anual, uno de los sectores de mayor crecimiento. El impulsor es el crecimiento del PIB, con una elasticidad positiva de la renta de 1,5 puntos. Esto se debe a su uso en artículos de consumo como televisores de pantalla plana, teléfonos inteligentes y *tablets*, todos los cuales tendrán un alto crecimiento en las clases medias en crecimiento del mundo. Se prevé que el crecimiento de los **aditivos para vidrio** sea similar al del pulido, y por las mismas razones. Asimismo, debería haber un fuerte crecimiento del vidrio óptico para lentes de cámara, instrumentos científicos y de defensa.

Entre los otros usos de tierras raras esperamos una gran caída en el uso de los **fósforos**, debido al crecimiento de la iluminación LED, que utiliza sólo una pequeña cantidad de tierras raras en comparación con las luces fluorescentes que está reemplazando. Por ejemplo, una lámpara fluorescente compacta utiliza aproximadamente 0,7-0,8 gramos de óxido de itrio, en comparación con 0,005 gramos para una luz LED equivalente. Como resultado, se prevé que el uso de tierras raras en los fósforos disminuya de 7.500 toneladas en 2017 a 3.864 toneladas en 2035. Se espera que el uso en **cerámica** crezca a un ritmo impulsado por el PIB multiplicado por 1,4. Finalmente, los "otros" usos son difíciles de predecir debido a su variada naturaleza. Sin embargo, dentro de

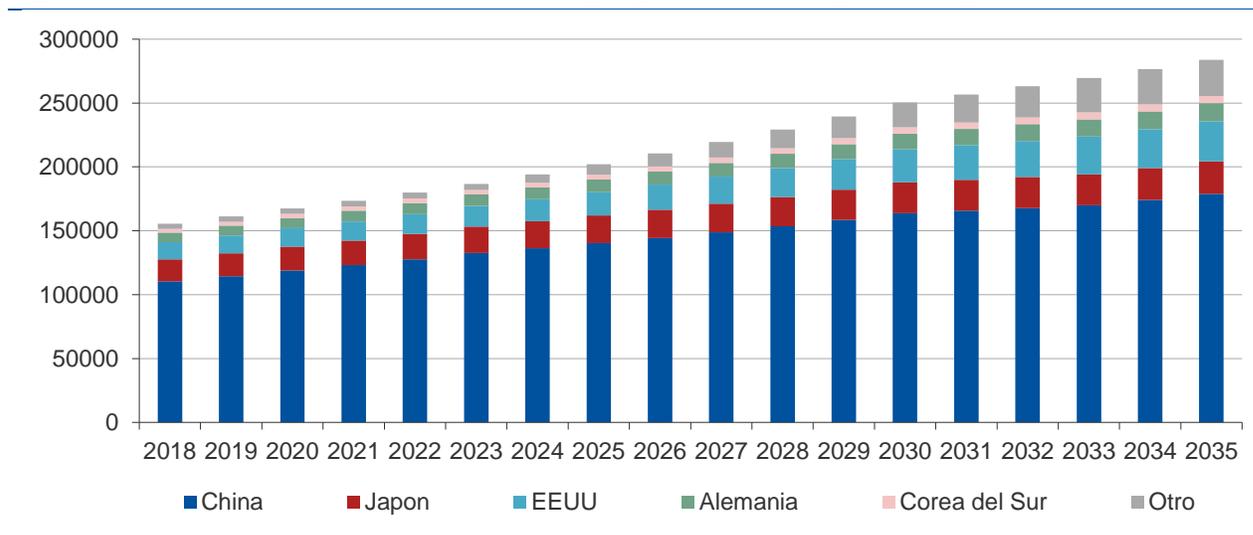
la otra categoría necesitamos permitir nuevas aplicaciones, como el tratamiento del agua, la refrigeración magnética o las celdas de combustible. Por lo tanto, hemos utilizado una tasa de crecimiento de tres veces la tasa de crecimiento del PIB.

La tasa de crecimiento general es del 3,6% entre 2018 y 2035, con una aceleración hasta la década de 2020 seguida de una tasa de crecimiento menor después de 2030.

Demanda por país

Al igual que los datos históricos, la demanda se ha pronosticado por uso final, utilizando factores que impulsan la demanda mundial. La asignación de la demanda por país depende de la ubicación de la producción de productos que contienen tierras raras, tales como imanes permanentes y motores, baterías, catalizadores, pantallas y equipos electrónicos. Como se ha mencionado anteriormente, estas actividades de fabricación están ahora dominadas por China, ya que la actividad industrial emigró de Japón, EEUU. y Europa.

Figura 10 Pronóstico de la demanda de REOs por país 2018-2035 (toneladas)



Fuente: CRU

Sin duda se habla de reconstruir la cadena de valor de tierras raras en los EEUU. y Europa, pero esto también depende de si se construyen más minas y plantas de procesamiento fuera de China. La asignación de la demanda por país se ha estimado de la siguiente manera:

- Entre 2018 y 2023 no se prevé ningún cambio. Se espera que China mantenga su posición dominante en el suministro de productos que contengan REOs.

A partir de 2024, a medida que la nueva producción primaria entre en funcionamiento fuera de China, esperamos que las cadenas de valor posteriores se reconstruyan en cierta medida en EEUU. y Europa. Sin embargo, el mayor cambio será el crecimiento del consumo en el resto del mundo a medida que aumente el consumo de la India y China desplace parte de su actividad manufacturera, en particular a otros países del sudeste asiático.

Tabla 5 Demanda de REOs por país 2018-2035 (toneladas)

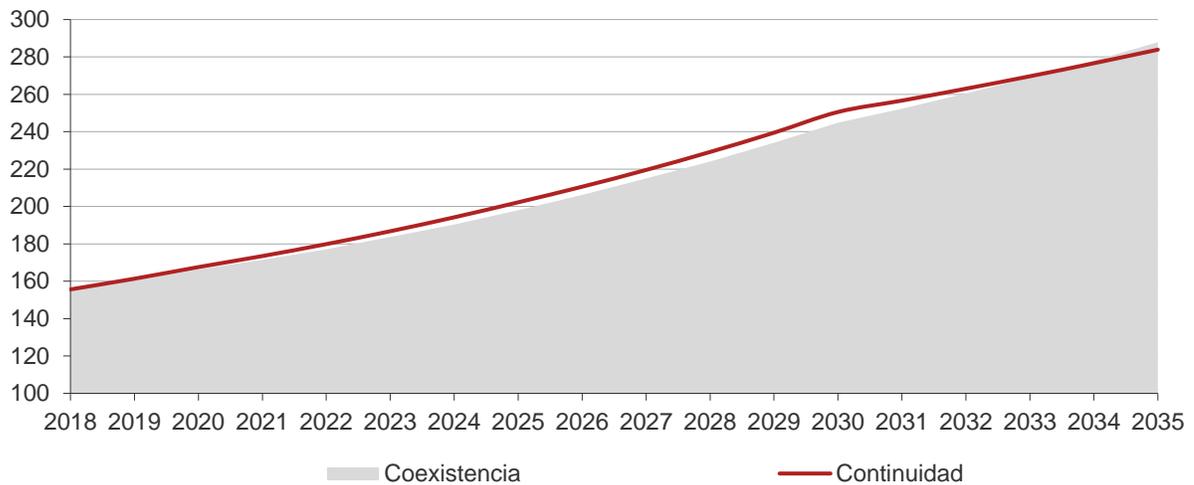
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
China	110428	114484	118890	123084	127620	132518	136256	140278	144389	148786
Japón	17314	17950	18641	19299	20010	20778	21193	21639	22085	22558
EEUU.	13384	13876	14410	14918	15468	16061	17168	18363	19625	20987
Alemania	7484	7759	8058	8342	8649	8981	9376	9802	10247	10725
Corea del Sur	2921	3029	3145	3256	3376	3506	3669	3846	4030	4229
Otro	4087	4237	4400	4555	4723	4905	6532	8293	10188	12240
Total Mundial	155619	161335	167544	173454	179846	186749	194195	202221	210564	219524
% cambio anual		3,7%	3,8%	3,5%	3,7%	3,8%	4,0%	4,1%	4,1%	4,3%
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC	
									2018-	
									2035	
China	153481	158490	163828	165772	167794	169894	174275	178852	2,9%	
Japón	23059	23589	24147	24189	24231	24271	24896	25550	2,3%	
EEUU.	22457	24043	25757	26999	28301	29664	30429	31228	5,1%	
Alemania	11239	11791	12384	12734	13101	13484	13831	14195	3,8%	
Corea del Sur	4442	4672	4919	5070	5228	5393	5533	5678	4,0%	
Otro	14466	16884	19512	21880	24362	26967	27663	28389	12,1%	
Total Mundial	229144	239468	250547	256645	263016	269672	276627	283893	3,6%	
% cambio anual	4,4%	4,5%	4,6%	2,4%	2,5%	2,5%	2,6%	2,6%		

Fuente: CRU

Escenario 2 – Coexistencia

La demanda de tierras raras se mantiene en niveles cercanos a los observados en el escenario Continuidad, levemente por debajo en el periodo 2018-2033. Hacia el término del periodo de pronóstico el escenario Coexistencia presenta un crecimiento más acelerado de la demanda en comparación con el escenario Continuidad.

Figura 11 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (kt)



Fuente: CRU

Tabla 6 Demanda en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (kt)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	156	161	168	173	180	187	194	202	211	220
Coexistencia	156	160	166	171	177	184	190	198	206	215
Diferencia*	-	-1,0	-1,3	-2,0	-2,7	-3,2	-3,9	-4,2	-4,5	-4,6

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Continuidad	229	239	251	257	263	270	277	284	3,6%
Coexistencia	224	234	245	252	260	269	278	288	3,7%
Diferencia*	-5,1	-5,5	-5,7	-4,3	-2,5	-0,7	1,4	4,0	

* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

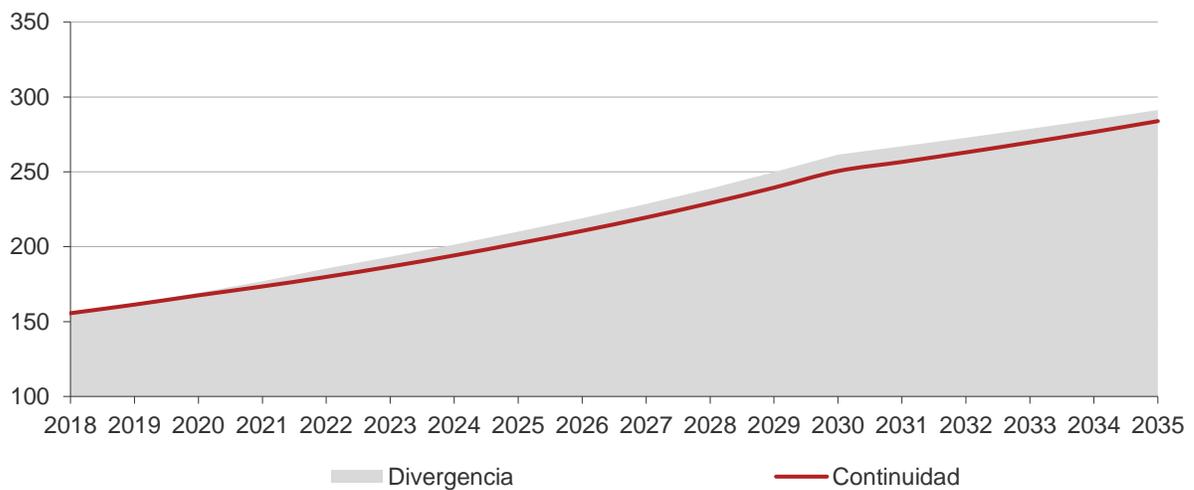
Debido a la naturaleza diversificada de la demanda de tierras raras la principal fuerza impulsora que se ha modificado entre los distintos escenarios corresponde a las diferencias en el crecimiento del producto interno bruto. Esto está directamente relacionado con el cambio en el poder adquisitivo de la población, la consolidación de la clase media, y por tanto de la adquisición de bienes de consumo que contienen tierras raras como así también el mayor uso de energías renovables.

Adicionalmente, cabe resaltar el mayor crecimiento de sectores como el de generación de energía renovable. El mayor peso que tendrán este tipo de tecnologías en el escenario de Coexistencia y su aceptación por gran parte de la población será un foco relevante de consumo de REE a futuro.

Escenario 3 – Divergencia

La demanda de tierras raras se mantiene en niveles cercanos a los observados en el escenario Continuidad, levemente por arriba. Desde 2030 en adelante, el escenario Divergencia presenta un crecimiento levemente ralentizado que también se observa – aunque en menor medida – en el escenario de Continuidad.

Figura 12 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (kt)



Fuente: CRU

Tabla 7 Demanda en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (kt)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	156	161	168	173	180	187	194	202	211	220
Divergencia	156	162	169	177	186	193	201	210	219	229
Diferencia*	-	0,7	1,7	3,4	5,7	6,4	7,1	7,8	8,4	9,0

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC2018-35
Continuidad	229	239	251	257	263	270	277	284	3,6%
Divergencia	239	250	261	267	273	279	285	291	3,8%
Diferencia*	9,7	10,3	10,9	10,4	9,7	9,0	8,2	7,4	

* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

Al igual que en el escenario de Coexistencia, debido a la naturaleza diversificada de la demanda de tierras raras la principal fuerza impulsora que se ha modificado entre los distintos escenarios corresponde a las diferencias en el crecimiento del producto interno bruto. Esto está directamente relacionado con el cambio en el poder adquisitivo de la población, la consolidación de la clase media, y por tanto de la adquisición de bienes de consumo que contienen tierras raras.

1.2. Oferta de tierras raras

1.2.1. Recursos y reservas de tierras raras: Evolución, tasas de descubrimiento, presupuesto de exploración

Tal como ocurre con mucha información acerca de tierras raras, los estimativos acerca de las reservas varían de manera importante. Pero, la información presentada abajo proviene de USGS, que es la única información actualizada de manera regular. Nótese que las reservas están medidas en base a óxidos de tierras raras (REO, por su sigla en inglés). Las mayores reservas están ubicadas en China, seguido por Vietnam, Brasil y Rusia. Las reservas de EEUU fueron degradadas en 2014 con el cierre de la mina de Molycorp “Mountain Pass”. A pesar de esto, es probable que esta mina abra nuevamente con un nuevo dueño. Rusia estaba incluido en “otros” país entre 2012 y 2015, pero fue incluido por separado después de eso, junto a Vietnam.

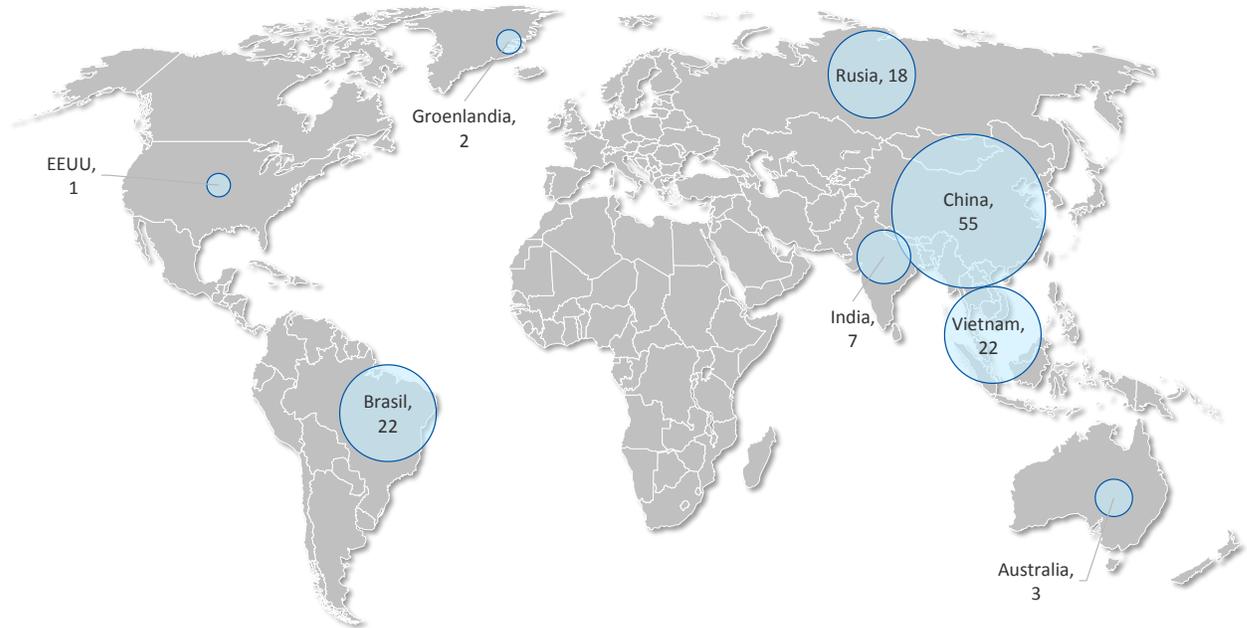
A pesar de la variación en las estimaciones de reservas de diferentes recursos, no hay duda de que las reservas son abundantes en relación con el consumo actual. Con las tasas de consumo actuales, las reservas son adecuadas por los próximos 800 años. USGS no publica información de la totalidad de los recursos. A pesar de esto, una estimación de recursos publicada por Z. Weng et al en 2015, estima que el total es de más de 550 millones de toneladas de REO, con los yacimientos más grandes en China (268 Mt), Australia (64 Mt), Rusia (62 Mt), Canadá (48 Mt) y Brasil (47Mt).

Tabla 8 Reservas y recursos REO 2008-2017 (millones de toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Reservas											
China	27,00	36,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	44,00	44,00	5,6%
Brasil	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	96,7%
Vietnam									22,00	22,00	
Rusia/ CIS	19,00	19,00	19,00	19,00					18,00	18,00	-0,6%
India	1,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	6,90	6,90	22,6%
Australia	5,20	5,40	1,60	1,60	1,60	2,10	3,20	3,20	3,40	3,40	-4,6%
Groenlandia									1,50	1,50	
EEUU	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	1,80	1,80	1,40	1,40	-21,9%
Sudáfrica									0,86	0,86	
Canadá									0,83	0,83	
Malawi									0,14	0,14	
Malaysia	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,0%
Resto del mundo	22	22	22	22	41	41	41	41	NA	NA	
Total Mundial	87,38	98,58	113,78	113,78	113,77	136,23	126,13	126,13	121,06	121,06	3,7%
<i>% variación anual</i>		13%	15%	0%	0%	20%	-7%	0%	-4%	0%	
Recursos											NA
% variación anual											NA

Fuente: CRU

Figura 13 Mapa de principales reservas de REE, 2017 (Mt)



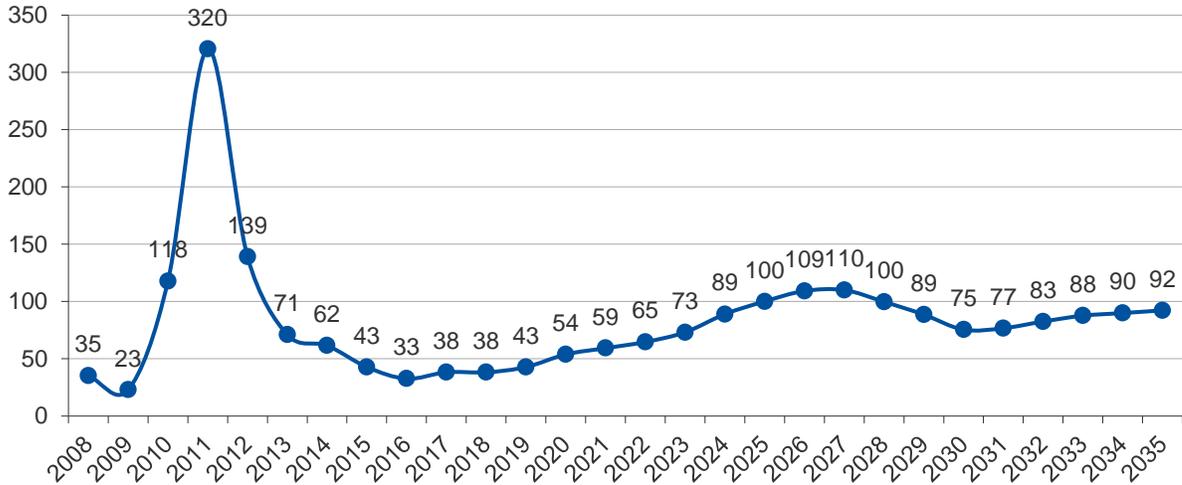
Fuente: USGS

Como se desprende de la relativa abundancia de recursos de tierras raras, las tierras raras no son particularmente raras. El más abundante es el Cerio, que se encuentra en la corteza terrestre con una concentración estimada de 43 ppm, en comparación con el cobre con 28 ppm. El Lantano y el Neodimio se presentan a 20 ppm. Incluso los menos abundantes de las tierras raras son más abundantes que la Plata.

El presupuesto de exploración es relativamente bajo producto de su bajo volumen de producción (en valor) en comparación con el total de la industria minera global.

El gasto en exploración en yacimientos de tierras raras ha visto una disminución progresiva desde un pico observado 2011, luego decreció hasta un valle en 2016. Esperamos que continúe recuperándose principalmente influenciado al alza por Neodimio y Praseodimio. Posteriormente irá fluctuando con en base a movimientos en el precio y la demanda de tierras raras.

Figura 14 Presupuestos de exploración de tierras raras, 2008-2035 (MUS\$, real 2017)



Fuente: MinEx Consulting, CRU

Se ha estimado que el auge de la exploración en 2010-2012 llevó a la identificación de 58 millones de toneladas adicionales de recursos, con la exploración centrada principalmente en Canadá, Australia, Groenlandia y África Oriental. Sin embargo, a medida que los precios caían a partir de 2012, la actividad de exploración disminuyó y a los mineros *junior* les resultó difícil recaudar fondos. Un estudio ha estimado que la capitalización de mercado de 37 mineros *junior* que cotizan en bolsa con proyectos de tierras raras alcanzó un máximo de 19.000 millones de dólares en la primavera de 2011, pero cayó a sólo 1.000 millones de dólares en 2015. El resultado es un gran número de depósitos de tierras raras bien delineados en varias etapas de desarrollo que actualmente tienen valoraciones de mercado muy bajas. Incluso la mina Mountain Pass en los EEUU. fue adquirida en 2017 por sólo 20,5 millones de dólares. Esta mina era la mayor fuente de tierras raras en el mundo antes de la aparición de China como el productor dominante.

Las tierras raras están contenidas principalmente en minerales de Bastnasita y Monacita, donde normalmente constituyen 70% de tierras raras en peso. También se encuentran en minerales de silicato como la Alanita y el Eudialito. Estos minerales suelen estar alojados en rocas ígneas alcalinas o carbonatadas. Las fuentes secundarias de tierras raras se encuentran en depósitos aluviales de arenas minerales o en arcillas de adsorción iónica. Las carbonatitas y las rocas ígneas alcalinas se encuentran al interior de las placas tectónicas, lejos de los márgenes de las placas activas, donde la actividad volcánica es mayor. Los depósitos comerciales más comunes

son de Bastnasita, como Mountain Pass (EEUU.) y Mount Weld (Australia) y son relativamente abundantes en LREEs. Los depósitos de adsorción de iones del sur de China son relativamente abundantes en HREEs. Las tierras raras individuales son químicamente muy similares entre sí, lo que significa que no sólo se encuentran siempre juntas (aunque en diferentes distribuciones relativas), sino que son particularmente difíciles de separar unas de otras una vez liberadas de sus minerales anfitriones. En Groenlandia y Canadá se han encontrado minerales de silicato relativamente ricos en HREE y son particularmente difíciles de separar.

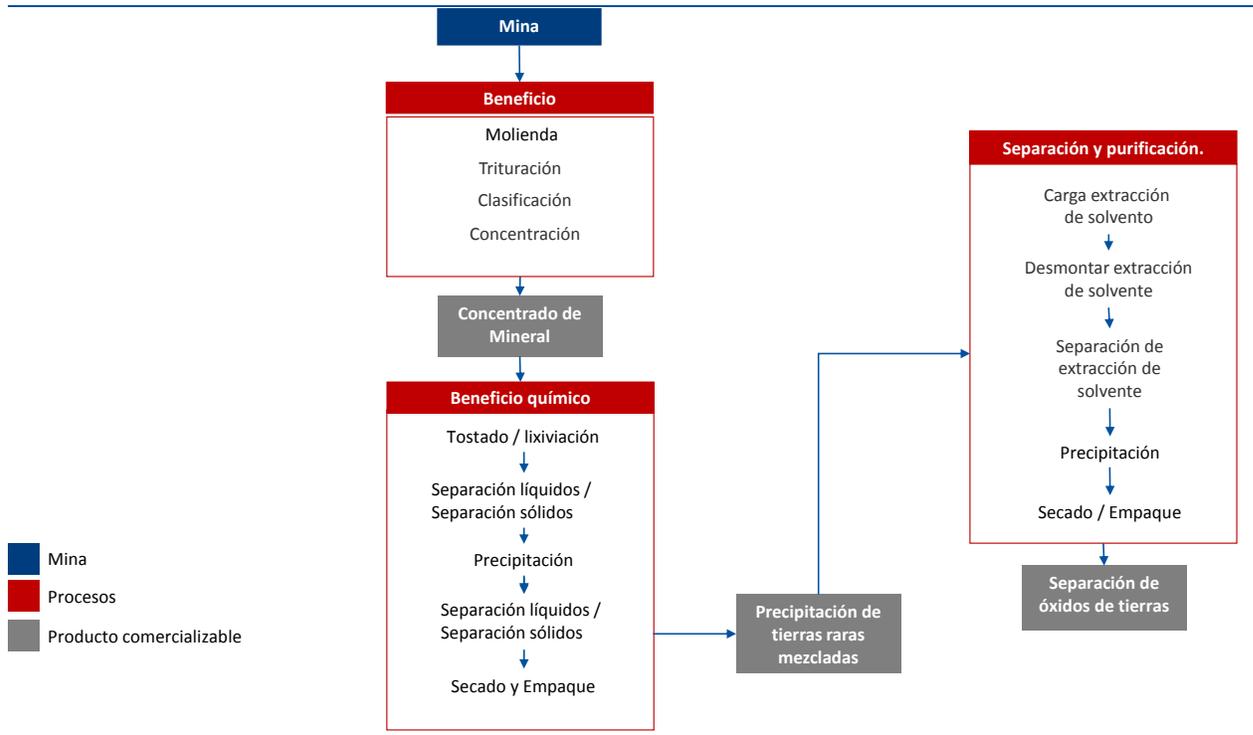
1.2.2. Métodos de extracción y procesamiento de tierras raras

Los metales de tierras raras son los 15 elementos lantánidos más el itrio y se encuentran juntos en lugar de por separado. Son de color plateado, blanco plateado o gris, tienen un alto brillo, pero se empañan en el aire. Las propiedades incluyen alta conductividad eléctrica, fluorescencia bajo luz ultravioleta, altos puntos de fusión y de ebullición y propiedades paramagnéticas. También tienen propiedades ópticas y catalíticas. Como se ha mencionado anteriormente, son relativamente comunes por naturaleza, pero las concentraciones económicas son más poco comunes.

El proceso de producción se describe en el siguiente cuadro. Las operaciones mineras se dividen en tres tipos. El más común es la minería de roca dura, principalmente por métodos de tajo abierto. Esto implica perforación, tronadura, transporte, trituración, molienda y separación de minerales, por ejemplo, por flotación, separación por gravedad o separación magnética. Las operaciones mineras menos comunes implican el dragado de arenas minerales. Finalmente, los depósitos de arcilla de adsorción iónica del sur de China se lixivian con cloruro de sodio, ya sea *in situ*, en pilas o en tanques. Casi todas las minas beneficiarán al mineral para producir un concentrado de mineral de tierras raras.

La siguiente etapa del proceso es la beneficiación química, o "*cracking*" del concentrado de tierras raras para extraer las tierras raras, como un precipitado mixto de tierras raras. La mayoría de los productores existentes llevan a cabo este paso en la mina. Existen procedimientos rutinarios de craqueo para bastnasita, monazita y xenotima. Sin embargo, actualmente no existen operaciones de craqueo para minerales de silicato como el eudialito, aunque se han llevado a cabo ensayos de prueba. El precipitado mezclado aún no es un producto utilizable, por lo que la siguiente etapa de producción es la separación de los elementos individuales.

Figura 15 Método de procesamiento de Tierras raras



Fuente: CRU

La separación química de los elementos individuales se realiza mediante la extracción por solvente (SX, por su sigla en inglés). Se trata de una operación de varias etapas en la que una solución de lixiviación de tierras raras se agita por la fuerza con un disolvente orgánico no mezclable que extrae los elementos preferidos y la separación se produce después de la desconexión de los dos líquidos no mezclables. Una planta SX convencional tiene numerosos mezcladores – sedimentadores en baterías, lo que requiere una alta inversión de capital. En el proceso, los LREE (La, Ce, Pr, Nd) son relativamente fáciles de separar, pero los HREE requieren un proceso más complicado que requiere conocimiento especializado del proceso.

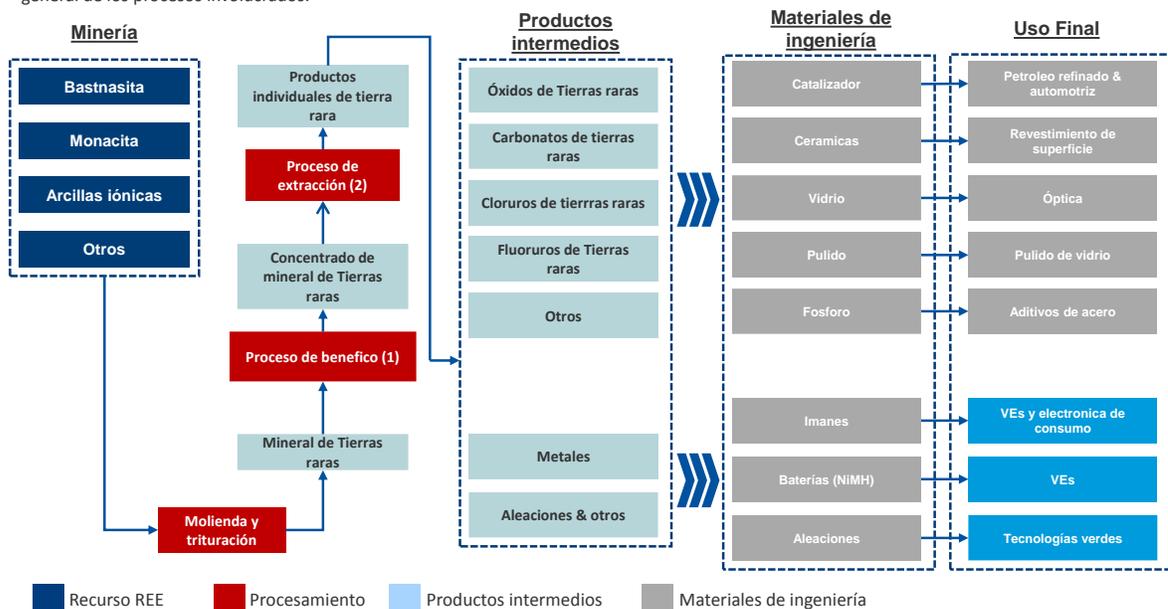
El resultado del proceso de separación química son óxidos individuales de tierras raras (REO), que se pueden utilizar en muchas aplicaciones de tierras raras en purzas del 99% al 99,99999% (7N). Sin embargo, para las operaciones con baterías e imanes, el REO debe transformarse en metales y aleaciones metálicas. La separación del metal de su óxido se realiza por electrólisis en sal fundida.

1.2.3. Cadena de valor de tierras raras

La sección anterior describía el proceso de producción hasta la fase de óxidos, compuestos y metales de tierras raras. El siguiente diagrama muestra las etapas finales de la cadena de valor, desde los productos intermedios hasta los materiales de ingeniería y los productos finales. Como ya se ha mencionado, la mayoría de los productos de ingeniería utilizan óxidos o compuestos como materia prima, pero los imanes y las baterías utilizan metales.

Figura 16 Cadena de valor de tierras raras

El procesamiento de tierras raras es una operación específica del mineral con diferentes niveles de complejidad. La siguiente figura entrega una idea general de los procesos involucrados:



(1) Típicamente por flotación. Separación por gravedad o separación magnética; (2) Típicamente hidrometalurgia. Electrometalurgia y pirometalurgia también son usados

Fuente: CRU

La parte ascendente de la cadena de valor, incluyendo el beneficio químico, está altamente integrada. Casi todos los proyectos de tierras raras actualmente en operación benefician física y químicamente a sus propios minerales minados. Este es también el plan para algunos de los proyectos de tierras raras actualmente en desarrollo. Para algunos proyectos, particularmente aquellos que procesarán minerales ricos en HREE que no han sido procesados comercialmente antes, se ha invertido mucho tiempo y recursos en el desarrollo de enfoques viables para los procesos de beneficio, y para muchas compañías todavía hay mucho más trabajo por hacer.

En China, existe un número importante de instalaciones independientes de separación y purificación de extracción por solventes (SX, por su sigla en inglés) de tierras raras, que reciben materias primas de múltiples minas. Algunas compañías mineras poseen sus propias instalaciones de SX, como parte de una estrategia de integración vertical, aunque esto no es nada común.

Compañías fuera de China como Mountain Pass (ex-Molycorp) y Mount Weld (Lynas), han construido sus propias instalaciones de SX para producir productos de tierras raras separados de sus precipitados mixtos de tierras raras; varias compañías del resto del mundo (ROW, por su sigla en inglés) de etapas anteriores también están planeando activamente la construcción de tales instalaciones. Estas compañías generalmente procesan minerales ricos en LREE, que requieren significativamente menos etapas de proceso SX que los minerales ricos en HREE.

La gran mayoría de las empresas en el resto del mundo con proyectos ricos en HREE en desarrollo no han previsto hasta la fecha el procesamiento de sus precipitados mixtos de tierras raras, una vez producidos. Debido a las mayores complejidades que implica el procesamiento de precipitados mixtos de HREE, estas empresas han evitado en general la idea de construir sus propias instalaciones de separación, sólo por razones de costos, aunque hay excepciones.

Hasta hace poco, el supuesto general de estos potenciales futuros productores del resto del mundo ha sido que los precipitados mixtos de tierras raras pueden venderse con un descuento modesto a los precios FOB China / precios de exportación para las tierras raras contenidos en forma terminada – por lo general, los REOs.

Este enfoque plantea algunos retos, entre los que destaca el hecho de que los usuarios finales suelen comprar sus productos basados en tierras raras en formas acabadas. No pueden utilizar precipitados intermedios mixtos de tierras raras y tienen poco acceso a los medios para procesarlos de la forma que necesitan. Por lo tanto, es poco probable que estos usuarios finales compren estos precipitados mixtos de tierras raras.

Esto significa que los clientes de estos precipitados mixtos de tierras raras tendrían que ser probablemente procesadores ya existentes, es decir, empresas capaces de tomar estos materiales y producir productos acabados separados. Con una o dos excepciones (como Solvay Rhodia en Francia), casi todos estos transformadores están situados en China, donde ya abundan estos productos intermedios.

China domina el extremo inferior de la cadena de valor casi tanto como domina la minería y el procesamiento. Por lo tanto, China es dominante en la producción de imanes NeFeB, baterías de

NiMH, fósforos, aleaciones de acero y electrónica de consumo. CRU estima que en estos sectores China representa hasta el 70% de la producción mundial. La producción de catalizadores, vidrio y agentes de pulido de vidrio está más dispersa geográficamente.

En un mercado tan diverso y opaco, es difícil cuantificar el valor agregado en cada etapa de la producción. Los precios de cada óxido de tierras raras varían mucho dependiendo de la escasez, y el valor de cualquier mineral depende de las proporciones de los diferentes elementos. Los pasos de procesamiento también son diversos, especialmente en el caso de HREE, que exige un mayor grado de procesamiento. Los productos finales como los imanes y las baterías son heterogéneos en composición, tamaño y potencia. Sin embargo, una cosa está clara, y es que los materiales magnéticos representan una proporción muy alta (70-80%) del valor de la producción de tierras raras, a diferencia del volumen. Por esta razón, muchos proyectos mineros se centran en el valor de los potenciales materiales magnéticos (Nd, Pr, Dy) en el yacimiento mineral.

1.2.4. Costo de capital de tierras raras

La siguiente tabla muestra los costos de capital iniciales de varios proyectos de REs. Dos de ellos son minas terminadas (Mount Weld y Mountain Pass), pero el resto son costos estimados a partir de estudios de factibilidad. La gama de costos oscila entre los 240 millones de dólares y los 1.600 millones de dólares, lo que indica que los proyectos de tierras raras representan un reto considerable para la obtención de capital. Las dos minas terminadas, de las cuales sólo Mount Weld está en pleno funcionamiento, pudieron ser financiadas como resultado del auge de los precios en 2009-2011. Pero desde entonces, los bajos precios han dificultado mucho la obtención de financiación para proyectos de tierras raras. Por lo tanto, hay una serie de proyectos que se encuentran en una fase avanzada de evaluación (por ejemplo, incluidos los estudios de viabilidad financieros) a la espera de que mejoren las condiciones de los precios para obtener financiamiento.

Tabla 9 Costos de capital para proyectos de tierras raras seleccionados

País	Proyecto	Compañía	CAPEX (US\$m)	Producción (t REO)	CAPEX (\$/kg)	Producto
Australia	Nolans	Arafura Res.	680	14000	48,6	REO Separado
Tanzania	Ngualla	Peak Res.	365	9290	39,3	REO Separado
Australia	Dubbo	Alkane Res.	500	6522	76,7	REO Separado
Australia	Yangibana	Hastings Tech.	241	8500	28,4	Carbonato RE mixto
EEUU	Bear Lodge	Rare Element Res.	300	7500	40,0	Concentrado mixto de RE
Australia	Mount Weld	Lynas Corp	1000	22000	45,5	REO Separado
EEUU	Mountain Pass	Molycorp	1600	19000	84,2	REO Separado
Groenlandia	Kvanafjelt	Groenlandia minerals	832	24391	34,1	Precipitado RE mixto

Fuente: Informes de empresas

Para comparar los costos de capital, necesitamos corregir la escala calculando el costo de capital por kilogramo anual de producción (medido como REO o su equivalente en REO). Esto muestra un rango de \$28,4/kg a \$84,2/kg. Además, los proyectos difieren en cuanto al grado de tramitación. Los proyectos más integrados incluyen la separación de los distintos óxidos de tierras raras. Otros producen un precipitado mixto (producción de beneficio químico), mientras que los menos integrados producen un concentrado mixto. En igualdad de condiciones, es de esperar que los proyectos más integrados cuesten más.

La última observación que hay que hacer sobre la comparación de los costos de capital es que una tonelada de REO no es homogénea. Su valor depende de las proporciones de los elementos individuales del mineral. El cerio y el lantano son los elementos más abundantes y de bajo valor. Por el contrario, el neodimio, el praseodimio y el disprosio son los más valorados, ya que son necesarios para el mercado de los imanes de rápido crecimiento. Muchos proyectos destacan el contenido de Nd, Pr, Dy del mineral y prácticamente ignoran el contenido de Ce, La. Ello implica que tanto los costos de capital como los costos de operación deben evaluarse en base al valor de una tonelada de REO en cada proyecto.

1.2.5. Comercialización de tierras raras

Principales sectores importadores y usos de las importaciones de titanio

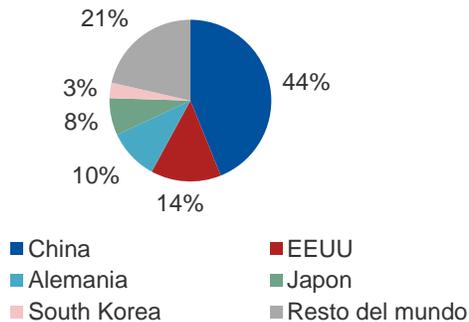
Dada la naturaleza global del mercado de tierras raras, los principales sectores importadores y los principales usos de las importaciones son los mismos sectores y usos de la oferta total disponible. Estos sectores y usos finales son los definidos en la sección “Determinantes de la demanda de aluminio y usos finales” de este reporte. Las tierras raras se presentan juntos en distintas proporciones, dependiendo del yacimiento mineral. Se consideran como un grupo porque se extraen y procesan juntos, hasta la etapa de concentrado de REO (óxido de tierras raras). Luego, deben separarse químicamente en elementos individuales. Esto es importante porque los usos finales de las tierras raras son por cada uno de los elementos individuales específicos. Por ejemplo, las principales tierras raras utilizados en los imanes permanentes son el Neodimio (Nd) y el Praseodimio (Pr), mientras que los principales elementos utilizados en los catalizadores son el Cerio (Ce) y el Lantano (La).

Importaciones y exportaciones por país

Teniendo en cuenta que la principal característica de los *commodities* es que el mercado trata a distintos productos como prácticamente equivalentes sin importar su precedencia, y que esta es la base para que se den dinámicas de mercado basadas en información global y no regional, esta sección muestra los principales países importadores y exportadores de REE sin agruparlos por región. De esta manera se logran capturar los flujos de material más importantes a nivel global, entregando información relevante para el mercado de manera clara y transparente.

Figura 17 Importaciones de compuestos de REE (Cerío exc.) 2017

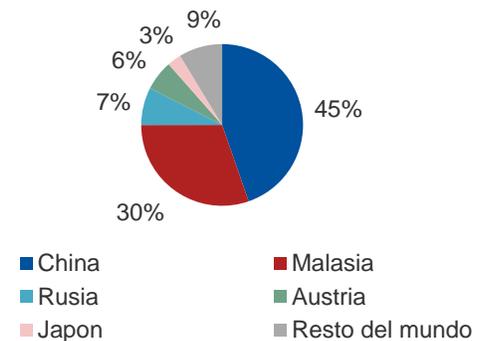
Importaciones totales en 2017: [65,6 Mt]



Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Figura 18 Exportaciones de compuestos de REE (Cerío exc.) 2017

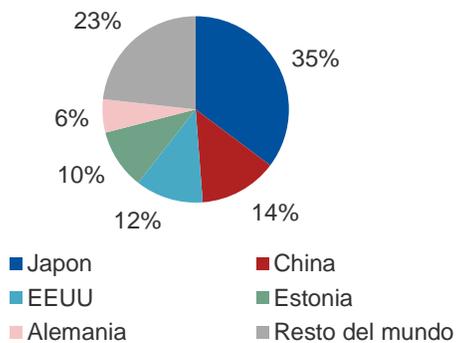
Exportaciones totales en 2017: [78,6 Mt]



Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Figura 19 Importaciones de compuestos de Cerío

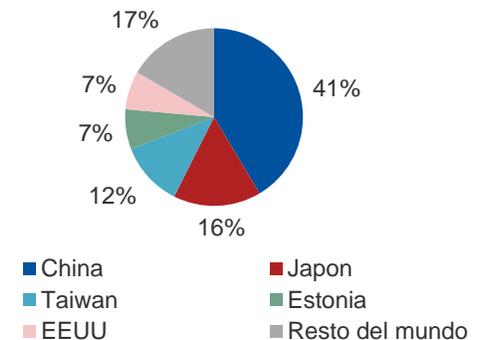
Importaciones totales en 2017: [41 Mt]



Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Figura 20 Exportaciones de compuestos de Cerío

Exportaciones totales en 2017: [25,4 Mt]



Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Importaciones

Compuestos de tierras raras de Cerío exc.

Los principales importadores de compuestos de REE, excluido el Cerío, son las principales naciones industriales de EEUU., Japón, Corea del Sur y Alemania. La mayoría de la categoría "otros" son países de la UE. La aparición de China como el principal importador es sorprendente. Probablemente se deba a que se importan grandes cantidades de material de bajo valor de Myanmar para su posterior procesamiento. Esta situación ha aumentado en los dos últimos años,

como se observa en el cuadro que figura a continuación. China también importa material de Malasia, donde Lynas procesa material de la mina Mount Weld en Australia.

Tabla 10 Importaciones de compuestos de tierras raras (Cerío exc.) (toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	2.303	3.516	3.501	1.389	1.221	3.290	3.193	9.731	13.331	28.763	32,4%
EEUU	16.912	12.479	12.942	8.048	5.441	11.125	12.644	11.275	14.171	9.214	-6,5%
Alemania	10.230	7.761	10.001	7.111	4.374	5.865	5.635	5.717	5.933	6.634	-4,7%
Japón	11.217	4.429	9.185	7.273	3.027	2.929	4.663	5.100	4.477	4.875	-8,8%
Corea del Sur	1.585	1.120	1.346	939	767	917	989	1.158	1.475	2.025	2,8%
Resto del mundo	18.633	10.423	10.261	12.233	11.824	11.226	14.019	14.696	9.854	14.043	-3,1%
Total mundial	60.880	39.729	47.236	36.993	26.655	35.352	41.143	47.677	49.242	65.555	0,8%
% cambio anual		-35%	19%	-22%	-28%	33%	16%	16%	3%	33%	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Compuestos de tierras raras – Cerío

Tabla 11 Importaciones de compuestos de Cerío (toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
Japón	16.800	9.061	13.892	10.022	6.009	6.571	11.165	12.365	14.557	14.481	-1,6%
China	517	347	508	88	176	372	270	897	3.140	5.567	30,2%
EEUU.	3.712	3.938	4.160	4.268	4.570	2.824	2.992	3.963	5.549	4.842	3,0%
Estonia	0	0	24	529	545	300	235	0	5.651	4.278	
Alemania	691	450	1.015	886	869	839	1.579	2.785	3.396	2.377	14,7%
Resto del Mundo	23.752	14.367	16.356	13.124	11.158	7.033	6.675	7.348	8.328	9.547	-9,6%
Total Mundial	45.472	28.163	35.956	28.918	23.326	17.939	22.918	27.357	40.621	41.092	-1,1%
% cambio anual		-38%	28%	-20%	-19%	-23%	28%	19%	48%	1%	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Japón es, por mucho, el mayor importador de compuestos de Cerío, como cabría esperar del mayor consumidor de tierras raras fuera de China. La importancia de la región de Asia Oriental como centro de consumo de tierras raras queda demostrada por la presencia de Corea del Sur y Taiwán como principales importadores. Los otros principales importadores son EEUU. y los países europeos. La presencia de Estonia se explica por la planta de procesamiento de tierras raras de Molycorp en ese país. Es notable que en China se haya registrado un aumento de las importaciones en los últimos años a partir de un nivel de base bajo.

Exportaciones

Compuestos de tierras raras Cerio exc.

Tabla 12 Exportaciones de compuestos de tierras raras (cerio exc.) (toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	30.128	26.154	23.378	10.867	8.202	15.195	17.410	21.610	31.643	35.144	1,7%
Malasia	38	37	37	843	328	2.315	8.527	12.404	15.954	23.832	104,8%
Rusia	6.075	4.620	2.906	1.994	3.783	4.976	4.807	5.888	6.353	5.905	-0,3%
Austria	318	4.218	4.329	2.451	2.848	3.083	3.776	3.636	4.954	4.736	35,0%
Japón	2.393	1.440	1.275	1.750	1.536	1.508	1.793	2.090	1.923	2.200	-0,9%
Resto del Mundo	7.616	2.662	7.023	8.911	5.396	10.642	10.845	10.223	5.827	6.827	-1,2%
Total Mundial	46.569	39.131	38.948	26.816	22.092	37.720	47.156	55.850	66.655	78.644	6,0%
% cambio anual		-16%	0%	-31%	-18%	71%	25%	18%	19%	18%	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

Compuestos de Cerio

Tabla 13 Exportaciones de compuestos de cerio (toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	17.887	12.419	10.173	2.753	5.307	4.191	6.580	7.624	10.178	10.539	-5,7%
Japón	6.313	4.465	5.908	4.531	4.635	4.170	2.906	2.644	3.072	4.062	-4,8%
Taiwán	336	86	195	1.861	3.384	2.343	1.986	3.121	2.687	2.983	27,5%
Estonia	1.314	20	163	301	2.194	2.417	1.718	1.854	2.337	1.854	3,9%
EEUU.	1.412	847	1.371	1.678	1.008	756	654	679	500	1.774	2,6%
Resto del Mundo	3.266	1.927	3.208	4.117	2.339	2.429	3.080	3.122	4.542	4.224	2,9%
Total Mundial	30.528	19.763	21.018	15.241	18.868	16.306	16.925	19.045	23.317	25.436	-2,0%
% cambio anual		-35%	6%	-27%	24%	-14%	4%	13%	22%	9%	

Fuente: IHS Markit GTA, UN Comtrade, CRU

En la **Tabla 12** se observa que los principales exportadores de tierras raras son China, Malasia (procesa material de Australia) y Rusia. Los EEUU fueron un jugador importante hasta 2015, cuando la mina de Molycorp cerró.

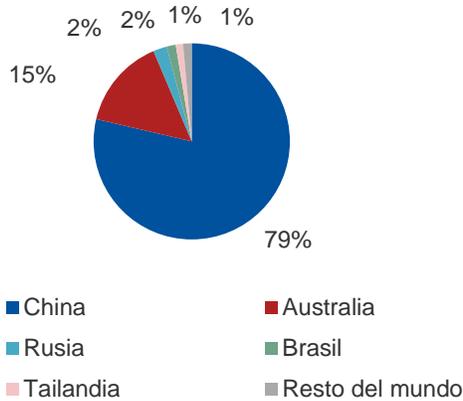
La historia es similar para los compuestos de Cerio. El principal exportador es China, el productor primario dominante. Los demás países son exportadores de material transformado. Comparando las dos tablas de exportación, es significativo que las exportaciones de tierras raras excluyendo

el cerio hayan crecido a un TCAC del 6%, mientras que las de cerio han caído un 2%. Esto ilustra el mayor crecimiento de las tierras raras que participan en la producción de imanes.

1.2.6. Producción histórica de tierras raras

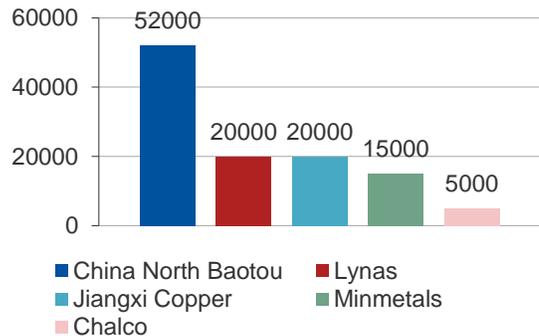
Al igual que con la demanda, la oferta se mide en términos de óxido de tierras raras (REO) o su equivalente REO y también se mide en la etapa minera. Por ejemplo, la producción de Lynas, que se extrae en Australia y se procesa en Malasia, se cuenta como producción de Australia. Como se desprende del gráfico, la producción de 133.500 toneladas en 2017 estuvo dominada por China, con casi el 80% de la oferta minada. El único otro proveedor importante era Australia. El resto de la producción provino de Rusia, Brasil y Tailandia. No se produjo nada en los EEUU. porque la mina Mountain Pass ha estado cerrada desde 2015.

Figura 21 Cuota de producción de REO por país, 2017



Fuente: USGS

Figura 22 Cuota de producción de REO por compañía, 2017 (toneladas)

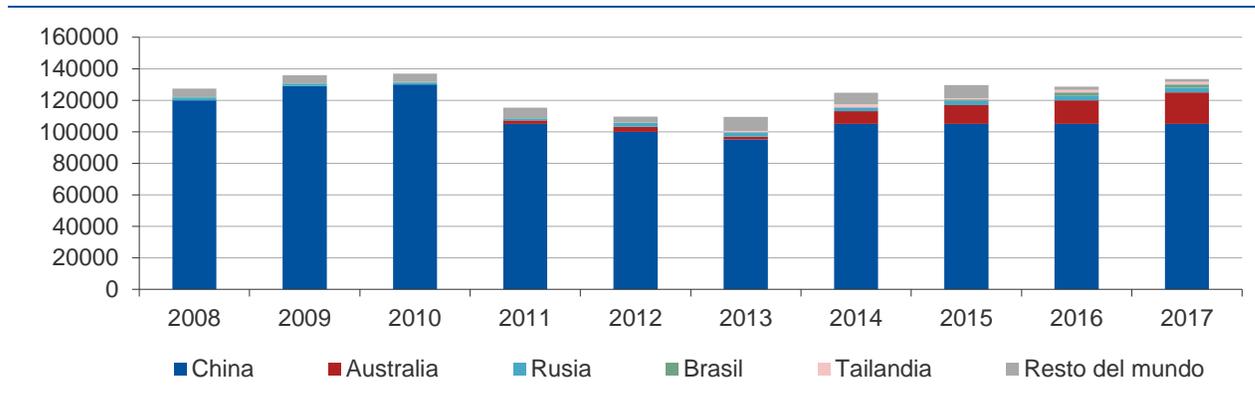


Fuente: CRU

Dentro de China hay tres regiones principales productoras. El mayor productor es Mongolia Interior, donde Baotou es el mayor. China North Baotou es también la mayor empresa productora, habiendo consolidado la mayoría de los productores de la provincia en su propiedad. Baotou produce REO como subproducto del mineral de hierro, y su mineral de Bastnaesita está dominado por LREE. La segunda región importante es la provincia de Sichuan, también dominada por LREE y donde Jiangxi Copper Rare Earth Co es el principal productor. La tercera región es el sur de China, incluyendo Jiangxi y Hunan, donde los depósitos de absorción de iones son relativamente ricos en HREE, y los principales productores son China Minmetals y Chalco. El único productor no chino entre los cinco primeros es Lynas Corp de Australia. Estimamos que estos 5 productores representaban el 84% de la producción en 2017. Nótese que, para las empresas chinas, al no haber datos publicados, estas cifras de producción son estimaciones. Finalmente, no hemos

incluido ninguna asignación para la minería indocumentada o ilegal en las tablas anteriores. La minería ilegal tiene lugar principalmente en China, pero también en menor medida en Brasil, Tailandia y Vietnam. Se desconoce la extensión, pero se estima que es del orden de 20.000 a 30.000 toneladas. Este será un factor importante a la hora de considerar el equilibrio entre la oferta y la demanda.

Figura 23 Producción histórica de REO 2008-2017 (toneladas)



Fuente: USGS, CRU

La historia de la producción minera de REO se muestra en la figura anterior y en la siguiente tabla. Lo primero a destacar es que ha habido muy poco crecimiento en la producción reportada desde el 2008, con un TCAC de sólo el 0,5%. Esto se debe principalmente a la imposición de cuotas de producción en China, que ha limitado la producción "oficial" a 105.000 toneladas en los últimos cuatro años, aunque la cuota se ha elevado a 120.000 toneladas en 2018. Además, sólo dos de las principales minas del mundo, excluida China, se abrieron después de la subida de precios de 2009-2011, y una de ellas ha cerrado posteriormente. Las dos minas fueron la mina Mount Weld en Australia Occidental y la mina Mountain Pass reabierto en California, Estados Unidos. Mount Weld, propiedad de Lynas Corp., inició la producción en 2011 y ha aumentado gradualmente hasta alcanzar su capacidad nominal de 20.000 toneladas anuales. La mina es ahora capaz de funcionar al 110% de su capacidad nominal. Como se ha señalado, la producción de Mount Weld se envía a Malasia para su posterior procesamiento. Mountain Pass, propiedad de Molycorp, que reanudó la producción en 2010, habiendo estado cerrada desde 2002. Sin embargo, con la caída de los precios de los REOs después de 2012, la mina dejó de ser rentable y se cerró en 2015 cuando Molycorp se declaró en quiebra.

La producción de Rusia ha sido de entre 2.000 y 3.000 toneladas al año. El único productor es Lovozersky GOK en la península de Kola. La mina envía a otras plantas de procesamiento en

Rusia (Solikamsk Magnesium) y en Estonia. La producción de India proviene de depósitos aluviales en Tamil Nadu (Indian Rare Earth Ltd) y Kerala (Kerala Metals and Minerals) como subproducto de otros minerales. La producción varía de 1.000 a 3.000 toneladas anuales. En Brasil el único productor es la Industria Nuclear de Brasil.

Tabla 14 Producción histórica de REOs minados 2008-2017 (toneladas)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC 2008-17
China	120000	129000	130000	105000	100000	95000	105000	105000	105000	105000	-1,5%
Australia	0	0	0	2200	3200	2000	8000	12000	15000	20000	
Rusia	1800	1400	1200	1200	2400	2500	2500	2800	2800	3000	5,8%
Brasil	600	500	500	200	100	300	0	800	2200	2000	14,3%
Tailandia	0	0	0	0	0	800	2100	800	1600	1600	
Resto del Mundo	5100	5000	5100	6600	4000	8800	7100	8300	2000	1900	-10,4%
Total Mundial	127500	135900	136800	115200	109700	109400	124700	129700	128600	133500	0,5%
% cambio anual		7%	1%	-16%	-5%	0%	14%	4%	-1%	4%	

Fuente: USGS, CRU

1.2.7. Proyección de producción de tierras raras

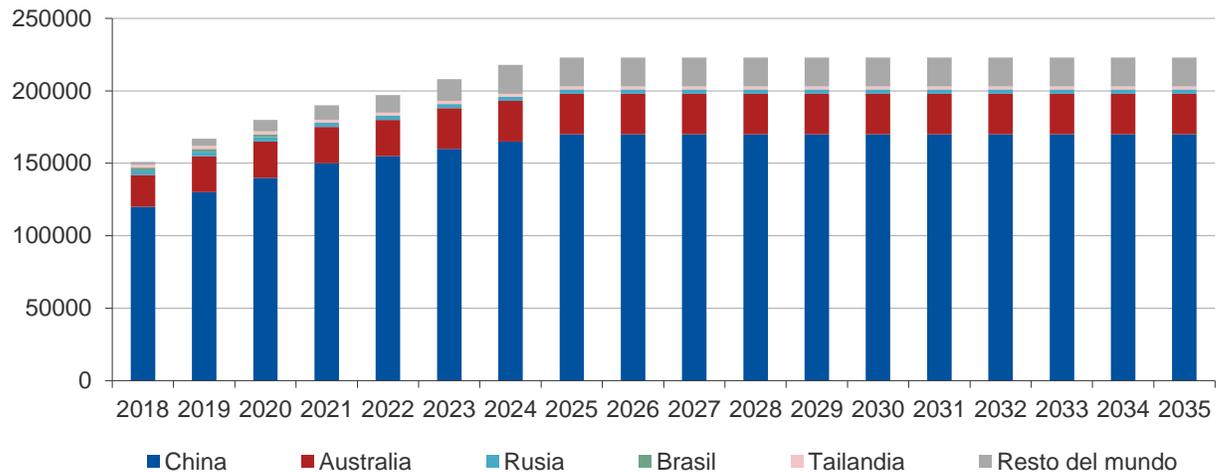
Escenario 1 – Continuidad

El pronóstico de suministro que figura a continuación se basa únicamente en las ampliaciones conocidas o en las nuevas minas. Esto claramente resultará en una brecha entre la oferta y la demanda a largo plazo, pero el ejercicio es útil para estimar cuán grande es la brecha (la necesidad de nueva capacidad minera) y cuándo aparecerá. También consideramos cuáles son los países y proyectos que pueden llenar ese vacío.

La producción de China se ha visto limitada por las cuotas en los últimos años, pero también se ha visto complementada por un tonelaje desconocido de producción ilegal. Nuestra hipótesis de trabajo es que la producción "oficial" de 105.000 toneladas en 2017 se complementó con 20.000 a 30.000 toneladas de producción ilegal. La cuota se ha elevado a 120.000 toneladas para 2018. En el futuro, se espera que China siga tomando medidas drásticas contra la producción ilegal, pero que las compense aumentando la cuota de producción de los operadores legales. Esto refleja el hecho de que China tiene un exceso de capacidad existente que puede activarse en un corto período de tiempo. Así, vemos una disminución gradual de la producción ilegal combinada con un aumento de la cuota de producción. Otra razón para esperar que se incremente la cuota es la demanda interna de China de REOs minado para satisfacer sus crecientes necesidades, especialmente de materiales magnéticos (Nd, Pr, Dy). Hemos asumido que la producción

alcanzará las 170.000 t/año antes de que se requiera una inversión importante para aumentar la producción y cumplir con normas medioambientales más estrictas.

Figura 24 Pronóstico de producción de REOs 2018-2035 (toneladas)



Fuente: CRU

Tabla 15 Proyección de producción de REOs 2018-2035 (toneladas)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
China	120000	130000	140000	150000	155000	160000	165000	170000	170000	170000
Australia	22000	25000	25000	25000	25000	28000	28000	28000	28000	28000
Rusia	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Brasil	2000	2000	2000	0	0	0	0	0	0	0
Tailandia	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Resto del Mundo	2000	5000	8000	10000	12000	15000	20000	20000	20000	20000
Total Mundial	151000	167000	180000	190000	197000	208000	218000	223000	223000	223000
<i>% cambio anual</i>		11%	8%	6%	4%	6%	5%	2%	0%	0%

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
China	170000	170000	170000	170000	170000	170000	170000	170000	2,1%
Australia	28000	28000	28000	28000	28000	28000	28000	28000	1,4%
Rusia	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	0,0%
Brasil	0	0	0	0	0	0	0	0	-100,0%
Tailandia	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0,0%
Resto del Mundo	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	14,5%
Total Mundial	223000	2,3%							
<i>% cambio anual</i>	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

Fuente: CRU

En el mundo, fuera de China hay muy pocas expansiones comprometidas o nuevas minas. En Australia esperamos ver una expansión de Mount Weld a 25.000 t/año, así como la producción de la mina Brown's Range en Australia Occidental (3.000 t/año). El único aumento de producción que se incluye es el de la reapertura de la mina Mountain Pass en los Estados Unidos. La mina reabrió bajo nueva propiedad a principios de 2018 y se supone que producirá 20.000 t/año.

Considerando la importancia estratégica de las tierras raras y el peligro de una dependencia excesiva de China, se plantea el problema de por qué hay tan pocos proyectos comprometidos en tramitación. La respuesta está en el auge y la consiguiente caída de los precios entre 2010 y 2016. La subida de precios en 2010-2011 provocó un auge de la exploración que condujo a la identificación de al menos 50 yacimientos de tierras raras. Muchos de estos depósitos fueron llevados a la etapa de estudio de factibilidad preliminar o estudio de factibilidad financiable por parte de compañías mineras jóvenes. Sin embargo, sólo se construyeron dos minas: Mount Weld y Mountain Pass. En el caso de Mountain Pass, el propietario, Molycorp, gastó alrededor de 1.500 millones de dólares en capital antes de declararse en quiebra en 2015. La operación del Mountain Pass se vendió posteriormente por 20 millones de dólares en 2017. Muchas de las compañías mineras más jóvenes también quebraron, y se estima que las accionistas de las mismas involucradas en tierras raras perdieron 15.000 millones de dólares en valor entre 2011 y 2017.

Los inversionistas se han visto muy afectados por esta experiencia, y no es de extrañar que ahora sea tan difícil conseguir financiamiento para nuevos desarrollos en tierras raras. Esto, a pesar de la opinión generalizada de que se avecina una escasez de los elementos utilizados en los imanes de NdFeB (Nd, Pr, Dy, Tb). Incluso si esta reticencia es superada por otra subida de precios, se necesitarían varios años para que apareciera una nueva producción. Por ejemplo, Browns Range es el proyecto más avanzado, y ya está operando una planta piloto, pero se estima que su fecha más temprana para producción total será en 2023. Muchos otros proyectos han tenido poca actividad desde 2015 y sólo ahora están empezando a prepararse para una mayor investigación y estudio. Por ejemplo, el proyecto Norra Karr de Leading Edge Minerals en Suecia completó un estudio de prefactibilidad en enero de 2015 y ha reportado poca actividad desde entonces. El proyecto de Strange Lake en Canadá completó una evaluación económica preliminar en 2013, pero su propietario Quest Rare Minerals se declaró en quiebra en 2018. El proyecto Nechalacho en Canadá, propiedad de Avalon Advanced Materials, completó un estudio de factibilidad en 2013, pero sólo recientemente ha reanudado el trabajo en un estudio de alcance para un proyecto de menor escala.

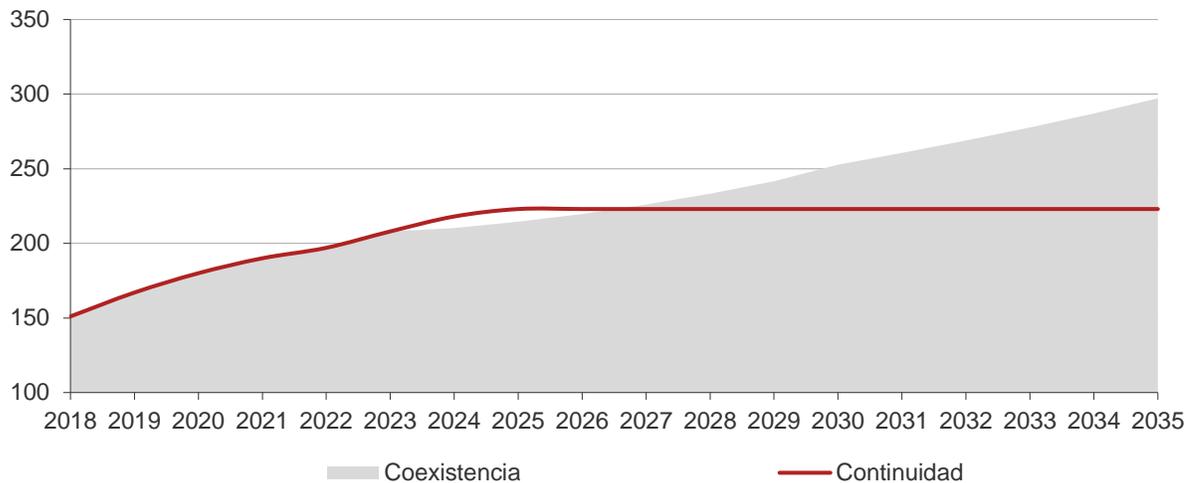
A pesar de la falta de nuevos proyectos comprometidos, la brecha de suministro no aparece hasta 2027 y crece hasta alcanzar las 60.000 t/año en 2035. Sin embargo, la diferencia general para los REO oculta diferencias para elementos individuales. Es probable que se necesiten nuevos suministros de Nd, Pr, Dy y Tb antes de 2027, dependiendo de la medida en que China sea capaz de aumentar la producción. Por esta razón, la mayoría de los nuevos proyectos se centran en el valor de estos cuatro elementos en su mineral, en lugar de hacer una distinción bastante clara entre tierras raras ligeros y pesados. De hecho, de estos elementos críticos, dos son ligeros (Nd, Pr) y dos son pesados (Dy, Tb). En comparación con estos, los elementos más abundantes, el Cerio y el Lantano tienen muy poco valor.

En el momento en que se desarrollan nuevas minas, es más probable que procedan de Australia (Yangibara, Dubbo, Nolans), Canadá (Ashram, Kipawa, Nechalacho), África (Zandkopsdrift, Steenkampskraal, Ngualla, Songwe Hill) y Groenlandia (Kvanefjeld).

Escenario 2 – Coexistencia

Para el mediano plazo, se asume que la oferta no tendrá la opción de ajustarse a posibles cambios en la demanda gatillados por las diferencias entre el escenario Continuidad y Coexistencia. En el largo plazo, sin embargo, la oferta tendría la capacidad de reaccionar a estos cambios. Como consecuencia, en el escenario de Coexistencia vemos que la oferta se mantiene igual al escenario de Continuidad hasta 2023. Debido a que el pronóstico del escenario de Continuidad es un pronóstico acotado por la visibilidad actual de proyectos y operaciones se mantiene restringido a lo largo del periodo de pronóstico. Por otro lado, el pronóstico del escenario de Coexistencia sí tiene la capacidad de ajustarse a la demanda, por lo que, en este escenario, la oferta sigue de cerca a la demanda.

Figura 25 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (kt)



Fuente: CRU

Tabla 16 Oferta en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (kt)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	151	167	180	190	197	208	218	223	223	223
Coexistencia	151	167	180	190	197	208	210	214	220	226
Diferencia*	-	-	-	-	-	-	-7,7	-8,6	-3,4	3,1

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-2035
Continuidad	223	223	223	223	223	223	223	223	2,3%
Coexistencia	233	242	253	261	269	278	287	297	4,1%
Diferencia*	10,2	18,6	29,8	37,5	45,9	54,7	64,1	74,2	

* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

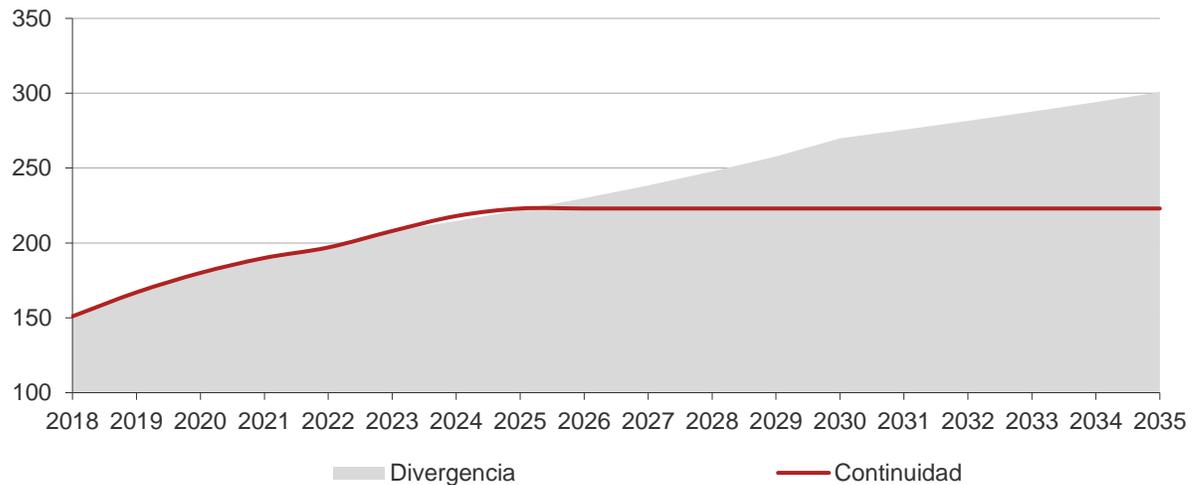
Escenario 3 – Divergencia

Tal como en el caso Coexistencia, se asume que la oferta no tendrá la capacidad de ajustarse a posibles cambios en la demanda en el mediano plazo. Por lo tanto, tanto el escenario Continuidad como el Divergencia muestran la misma oferta hasta 2023.

Debido a que el pronóstico del escenario de Continuidad es un pronóstico acotado por la visibilidad actual de proyectos y operaciones se mantiene restringido a lo largo del periodo de pronóstico. Por otro lado, el pronóstico del escenario de Divergencia sí tiene la capacidad de ajustarse a la demanda, por lo que, en este escenario, la oferta sigue de cerca a la demanda. Es por este motivo que se observa un punto moderado de inflexión hacia 2030, en el que disminuye

suavemente la tasa de crecimiento de la producción – lo que va en línea con la demanda mostrada anteriormente en este capítulo.

Figura 26 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (kt)



Fuente: CRU

Table 17 Oferta en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (Mt)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	151	167	180	190	197	208	218	223	223	223
Divergencia	151	167	180	190	197	208	215	222	230	238
Diferencia*	-	-	-	-	-	-	-3,3	-0,9	6,9	15,4

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Continuidad	223	223	223	223	223	223	223	223	2,3%
Divergencia	248	258	270	276	282	288	294	301	4,1%
Diferencia*	24,7	34,8	46,9	52,7	58,5	64,7	71,1	77,7	

* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

1.3. Balance del mercado y precio de las tierras raras

1.3.1. Descripción de la estructura y mecanismos de precio de tierras raras

La pureza de los productos químicos determina el valor de los productos. Típicamente, las purezas del 99,99% (4N), 99,9% (3N), 99,5% o 99,0% (2N) se reconocen en la industria, y varían según el tipo de elementos raros de la tierra y las aplicaciones de uso final.

Las tierras raras también están disponibles en forma metálica, como lingotes, varillas, alambre, polvo, etc. Se producen con una pureza alta o ultra alta para varias aplicaciones de uso final que van desde el 99% hasta el 99.999%. El metal de mayor pureza exige un precio más alto.

Después de la producción de productos químicos o metales de tierras raras, ambos productos se envasan en bolsas o cajas de diferentes pesos según las necesidades (como 1 kg, 5 kgs, 50 kgs, etc.). Las bolsas/cajas se cargan en camiones o trenes para su envío a clientes nacionales o extranjeros.

Los principales productores de tierras raras tienen acuerdos de compra con los consumidores en sentido descendente, en los que el material se envía directamente a las plantas consumidoras para fabricar productos derivados de tierras raras o productos finales. A falta de un acuerdo de compra, los productos se venden a las industrias transformadoras a través de comerciantes/distribuidores.

No existe un índice reconocido por la industria o una guía de la bolsa de productos básicos para los precios de las tierras raras. Por lo general, los precios del mercado chino se toman como referencia para las negociaciones. Los precios de los productos químicos se cotizan por kilogramo de REO o su equivalente, sobre una base FOB en China, por lo general con una pureza mínima del 99,0%. Los precios son evaluados y publicados por Asian Metals y Argus Media (anteriormente Metal Pages), así como por otros consultores, aunque puede haber una considerable variación entre diferentes fuentes. Hemos tomado los precios promedio anuales publicados principalmente por el USGS, obtenidos originalmente de Metal Pages, con algunos años estimados de una variedad de fuentes.

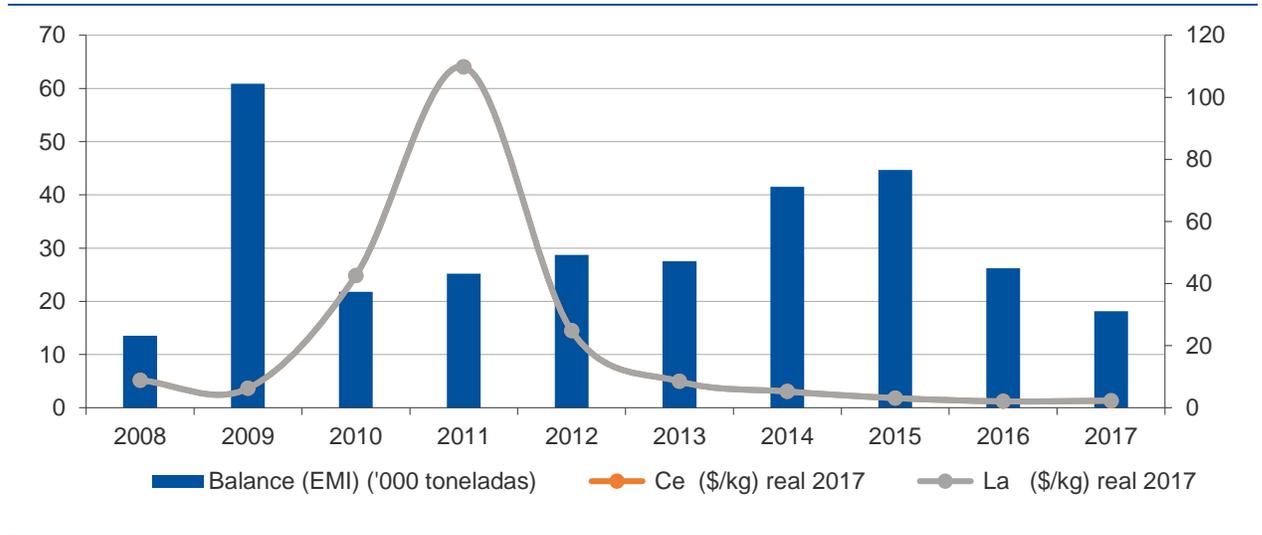
Los precios de las tierras raras se acuerdan por contrato o al contado. Normalmente, los contratos comerciales se negocian por un período de 12 meses. Los precios de los productos para los contratos se basan en fórmulas y tienen en cuenta los precios de mercado actuales disponibles para una o ambas partes negociadoras. Lynas Corporation informa que ha negociado cada vez más contratos a largo plazo con clientes clave que incorporan una mayor estabilidad de precios.

1.3.2. Balance de mercado y precio histórico de tierras raras

El primer gráfico a continuación muestra el balance del mercado para los REOs totales y los precios del Lantano y del Cerio, que son las tierras raras más abundantes. Nótese que el suministro total incluye una estimación del suministro ilegal además del suministro "oficial" que se muestra en el **Figura 27**. Cada año muestra un superávit de la producción total de REOs. Esto refleja el estado natural del mercado de REOs debido al llamado problema de balance. La oferta

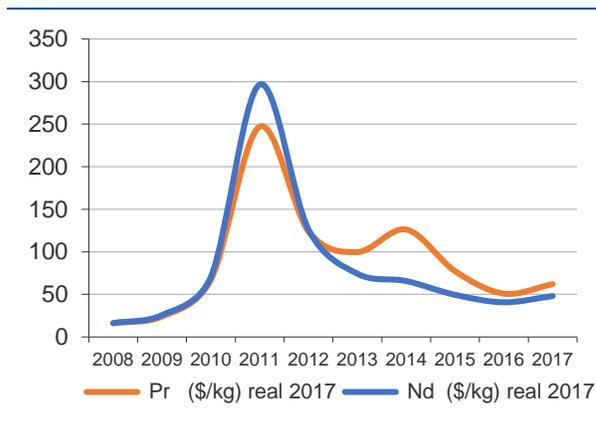
total es impulsada por la demanda de los elementos de mayor crecimiento, que en los últimos años han sido los elementos utilizados en los imanes – Nd y Pr. Debido a que las tierras raras están en proporciones fijas en cada depósito, esto lleva a un excedente natural de los elementos de crecimiento más lento y a un excedente general. Por lo tanto, cualquier restricción del mercado se revela por el reducido tamaño del superávit y no por el déficit real.

Figura 27 Balance y precios históricos del mercado de REOs 2008-2017



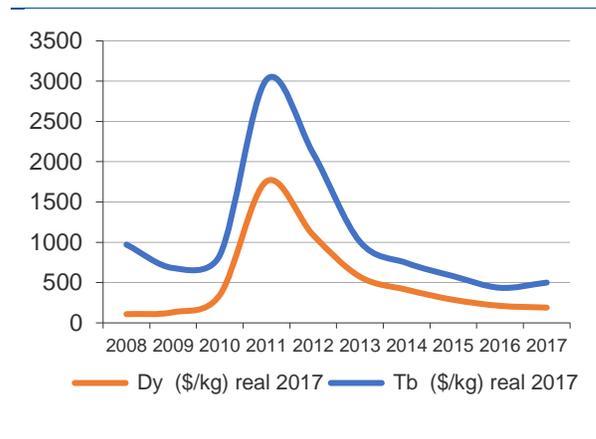
Fuente: USGS, CRU

Figura 28 Precios históricos de Pr, Nd 2008-17



Fuente: USGS, CRU

Figura 29 Precios históricos de Dy, Tb 2008-17

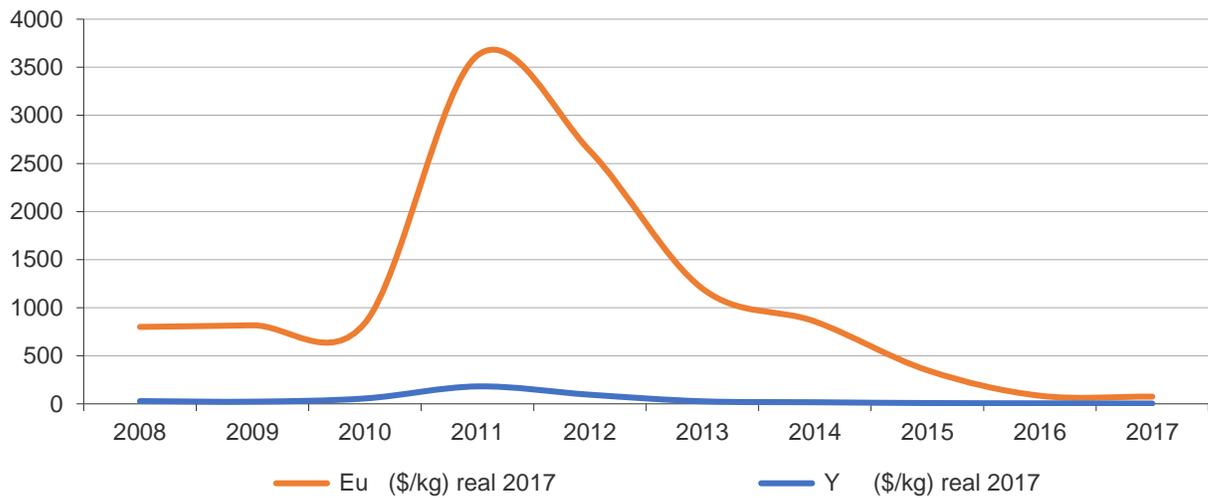


Fuente: USGS, CRU

Aunque el equilibrio entre la oferta y la demanda es un determinante importante de los precios, lo es menos que en otros productos básicos. Esto se debe principalmente a la posición dominante

de China y a la influencia de la política del gobierno chino en el mercado. China ha influido en el mercado mediante cuotas de producción y exportación, una política medioambiental que incluye intentos de controlar la producción ilegal y el fomento de la consolidación en seis empresas estatales principales. También ha fomentado la integración en sentido descendente, por ejemplo en la producción de imanes, lo que plantea la necesidad de conservar los recursos nacionales para su uso en China.

Figura 30 Precios históricos del Eu, Y 2008-2017



Fuente: USGS, CRU

No hay una sola serie de precios para los REOs, sino muchas. En los gráficos y la tabla hemos optado por ilustrar ocho de los elementos más importantes, observando que algunos de los elementos pesados omitidos apenas se utilizan comercialmente. Es evidente que existe una enorme diferencia entre los precios de los elementos más abundantes (La, Ce), cuyo precio actual es de 2 a 3 dólares por kilogramo, y los elementos más raros, como el Terbio, que en la actualidad es de más de 500 dólares por kilogramo. Sin embargo, en todos los gráficos de precios es evidente un patrón común. Esto muestra precios bajos en 2008, que se debilitaron en su mayor parte en 2009 durante la crisis financiera mundial. Pero comenzaron a aumentar en 2010 cuando China impuso cuotas de producción y detuvo los envíos a Japón como resultado de una disputa política. Ayudados por una burbuja especulativa, los precios alcanzaron un máximo en 2011 de hasta 9 veces los niveles del año anterior. El alza de precios causó un auge en la exploración fuera de China y provocó dos nuevos productores: Mount Weld (Lynas) y Mountain Pass (Molycorp). La producción ilegal creció en China, especialmente en los depósitos de arcilla iónica del Sur, que tienen un proceso de producción relativamente simple. Algunos de los elementos

también sufrieron pérdidas por sustitución, como el disprosio y el europio. Como resultado, los precios de los REOs experimentaron un largo descenso entre 2012 y 2016. En 2017 se produjo una modesta recuperación, que no se ha mantenido en 2018. En términos reales, como se muestra en los gráficos, la caída ha sido severa.

Tabla 18 Balance histórico del mercado de REOs y precios

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TCAC
Balance de mercado ('000 t)											
Oferta	138	146	147	130	145	149	170	180	169	169	2,3%
Demanda	124	85	125	105	116	122	128	135	142	150	2,2%
Balance	14	61	22	25	29	28	41	45	26	18	
Precio REO (fob China)											
Ce (\$/kg) nominal	8	6	38	100	23	8	5	3	2	2	-13,0%
Ce (\$/kg) real 2017	9	6	43	110	25	8	5	3	2	2	-14,3%
La (\$/kg) nominal	8	6	38	100	23	8	5	3	2	2	-12,6%
La (\$/kg) real 2017	9	6	43	110	25	8	5	3	2	2	-13,9%
Pr (\$/kg) nominal	14	21	60	225	115	94	121	75	50	62	17,8%
Pr (\$/kg) real 2017	16	24	67	247	124	100	126	77	51	62	16,1%
Nd (\$/kg) nominal	14	23	63	270	117	70	63	48	40	48	14,5%
Nd (\$/kg) real 2017	16	26	71	296	126	74	66	49	41	48	12,8%
Dy (\$/kg) nominal	95	117	310	1600	1010	540	395	278	208	190	8,0%
Dy (\$/kg) real 2017	109	133	347	1757	1089	573	412	287	212	190	6,4%
Tb (\$/kg) nominal	850	600	750	2750	1950	949	713	562	428	500	-5,7%
Tb (\$/kg) real 2017	971	680	840	3019	2102	1007	743	579	436	500	-7,1%
Eu (\$/kg) nominal	700	720	750	3300	2440	1130	822	339	83	75	-22,0%
Eu (\$/kg) real 2017	800	817	840	3623	2630	1199	857	349	84	75	-23,1%
Y (\$/kg) nominal	25	20	50	165	88	25	16	8	6	3	-19,9%
Y (\$/kg) real 2017	29	23	56	181	95	27	17	8	6	3	-21,1%

Fuente: USGS, CRU

Como se mencionó, este patrón era común en las tierras raras, pero también había algunas diferencias importantes causadas por los cambios en el patrón de la demanda. Los desarrollos más positivos han afectado al Nd y Pr, debido al rápido crecimiento de la demanda de imanes NdFeB. Por lo tanto, estos dos han encontrado un precio mínimo considerablemente superior al nivel anterior a 2010. Los imanes también utilizan Disprosio y Terbio para mejorar su rendimiento a altas temperaturas. Pero los altos precios de estos elementos, especialmente en 2011, hicieron que los fabricantes de imanes y los fabricantes de automóviles como Toyota buscaran formas de utilizar menos. Como resultado, el disprosio ha perdido quizás el 25% de su mercado. El Europio y el Itrio se han visto gravemente afectados por el declive del mercado de los fósforos, ya que las pantallas planas han sustituido a los tubos de rayos catódicos, y la iluminación LED ha sustituido

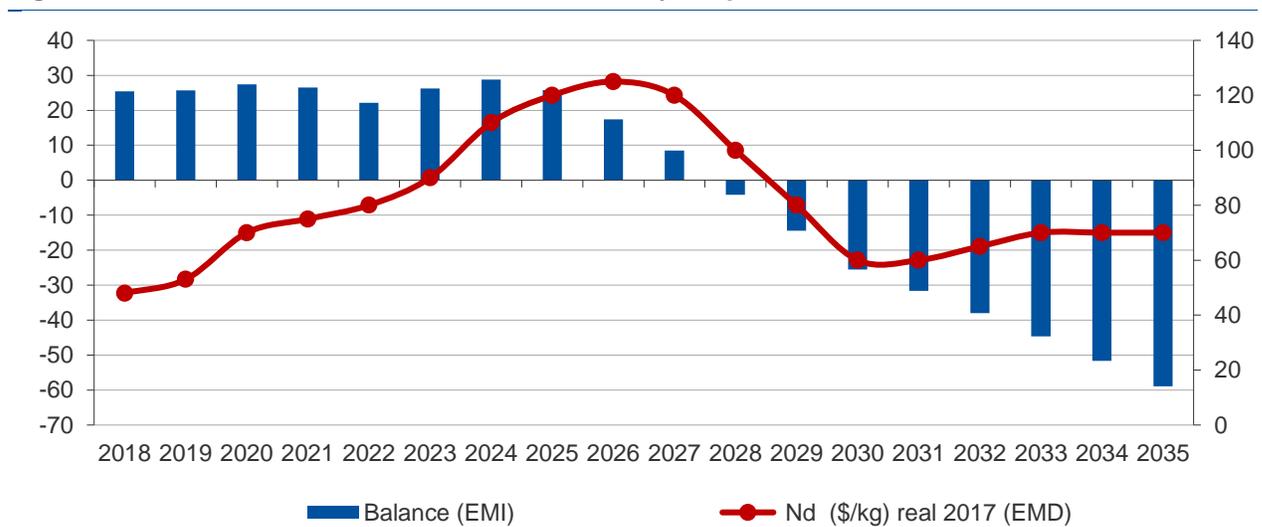
a la iluminación fluorescente. El precio de europio alcanzó un máximo de más de 3.500 dólares/kg en 2011, pero ha caído a menos de 100 dólares/kg, muy por debajo de su precio anterior a 2010.

Es evidente que no existe una "talla única" para los precios de REOs. Aunque hay factores comunes que afectan a todos los elementos, también hay diferencias importantes que dependen de la demanda y de las influencias de la tecnología. Los REOs se utilizan en muchas industrias de rápido desarrollo, por lo que el cambio técnico puede ocurrir rápidamente.

1.3.3. Proyección de balance de mercado y de precio de tierras raras

Escenario 1 - Continuidad

Figura 31 Pronóstico del balance del mercado REO y del precio de Nd 2018-2035



Fuente: CRU

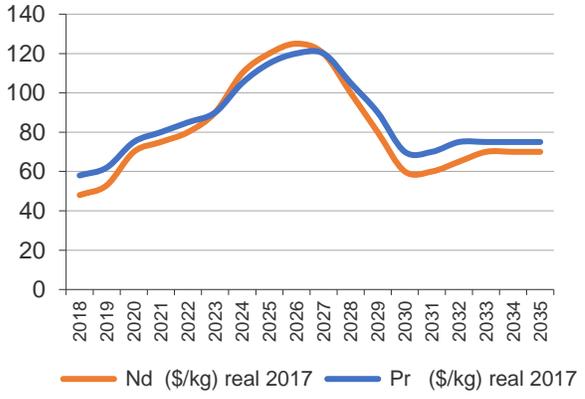
Tabla 19 Pronóstico del balance de mercado de REOs, 2018-2035 (kt)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Oferta	181	187	195	200	202	213	223	228	228	228
Demanda	156	161	168	173	180	187	194	202	211	220
Balance	25	26	27	27	22	26	29	26	17	8

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Oferta	225	225	225	225	225	225	225	225	1.3%
Demanda	229	239	251	257	263	270	277	284	3.6%
Balance	(4)	(14)	(26)	(32)	(38)	(45)	(52)	(59)	

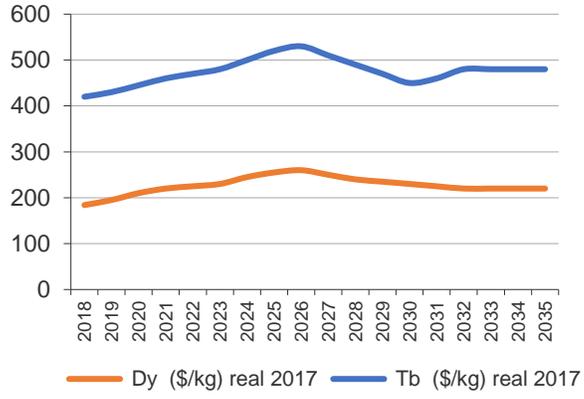
Fuente: CRU

Figura 32 Pronósticos de precios de Nd y Pr



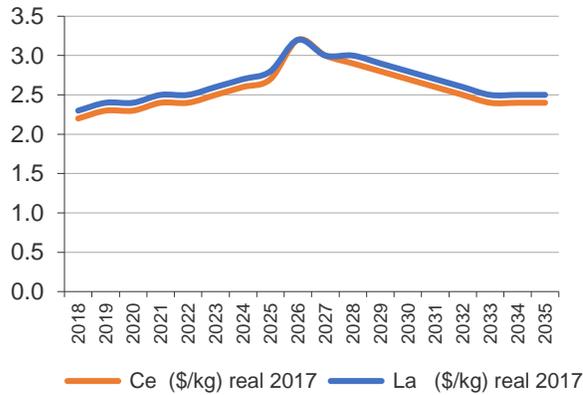
Fuente: CRU

Figura 33 Pronósticos de precios de Dy, Tb



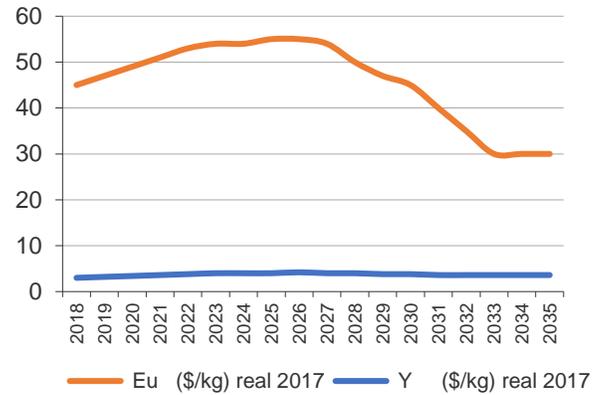
Fuente: CRU

Figura 34 Pronósticos de precios de Ce, La



Fuente: CRU

Figura 35 Pronósticos de precios de Eu, Y



Fuente: CRU

El equilibrio global entre la oferta y la demanda de óxidos de tierras raras (REO) se ha construido asumiendo únicamente la producción minera existente y comprometida. Esto ilustra la necesidad de una nueva capacidad minera, tanto en extensión como en tiempo. La necesidad de nuevas capacidades más allá de las comprometidas es evidente a partir de mediados de los años 2020, con casi 60.000 t/año necesarias para 2035. Sin embargo, es probable que la necesidad de los elementos de crecimiento más rápido de Nd, Pr y Dy ocurra a principios de la década de 2020.

A pesar de la creciente brecha entre la oferta y la demanda, como se muestra en el gráfico, las fuerzas del mercado garantizarán una oferta adecuada a largo plazo. Las tierras raras no son particularmente raras, y hay muchos proyectos con reservas establecidas por el estándar JORC¹, varios de los cuales se encuentran en una etapa avanzada de evaluación. Ninguno ha procedido todavía a la construcción debido a los bajos precios y al riesgo de que China manipule el mercado. Sin embargo, podemos esperar que algunos de estos proyectos se lleven a cabo con una mejora sostenida de los precios. De hecho, debido al crecimiento más rápido de los materiales magnéticos (Nd, Pr, Dy), es probable que los elementos restantes permanezcan en excedentes naturales.

Debido a la actual situación de precios bajos y a los plazos de entrega que implica la financiación y la construcción de nuevos proyectos, se espera que a principios de la década de 2020 se produzca una creciente rigidez del mercado, que alcanzará su punto máximo a mediados de la década de 2020. A partir de ese momento, esperamos que la producción de nuevos proyectos no chinos sea suficiente para aliviar la tensión y restablecer el equilibrio del mercado a largo plazo a

¹ En Colombia es más común la utilización del estándar NI-43101 (Canadá)

principios de la década de 2030. Esto explica el patrón general de las curvas de precios en los gráficos de precios anteriores.

Al igual que en el período histórico, habrá características estructurales de la demanda que afectarán a los precios de los distintos elementos. Se espera que los que ofrezcan mejores resultados sean los materiales magnéticos, especialmente Nd y Pr, pero también Dy y Tb. Para estos elementos, se espera que los precios aumenten a largo plazo con respecto a los niveles actuales. Los precios del cerio y del Lantano se mantendrán bajos, reflejando un excedente natural. Se prevé que los precios del Europio y del Itrio disminuyan en términos reales a medida que disminuya el uso de los fósforos.

Muchos proyectos nuevos se centran en los valores de Nd y Pr en su mineral, que pueden representar hasta el 80% del valor del mineral. Por lo tanto, los proyectos con una alta proporción de estos elementos en su mineral son los que tienen más probabilidades de seguir adelante. El único proyecto que se está llevando a cabo en este momento, Brown's Range, es valorado principalmente por su contenido de Disprosio.

El concepto de costo marginal a largo plazo (CMLP) es tan válido para las tierras raras como para otros metales, pero su aplicación es más compleja. La viabilidad de cualquier proyecto depende del precio recibido por una canasta ponderada de elementos, en comparación con los costos de operación y de capital de la minería y el procesamiento de una cantidad determinada de REOs contenido. Las variables relevantes son, por lo tanto, la ley y la composición del mineral, así como el precio ponderado de la canasta de los elementos del mineral. Como es evidente, los precios relativos de los elementos han cambiado radicalmente a lo largo del tiempo en función de las tendencias de la demanda. Debido a la importancia del Nd, Pr en futuros valores de mineral, hemos anclado el CMLP a los precios de estos elementos. El precio a largo plazo de Nd a 70 \$/kg en 2017 se elige como un precio que haría que muchos proyectos fueran viables sin causar sustitución del Nd-Pr en los imanes

Tabla 20 Pronósticos de precios de REOs 2018-2035

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Ce (\$/kg) nominal	2.3	2.4	2.4	2.6	2.7	2.8	3.0	3.2	3.8	0.0
Ce (\$/kg) real 2017	2.2	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.7	3.2	3.0
La (\$/kg) nominal	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.3	3.8	0.0
La (\$/kg) real 2017	2.3	2.4	2.4	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	3.2	3.0
Pr (\$/kg) nominal	59.4	64.8	79.8	86.8	94.1	101.6	121.0	135.1	143.8	0.0
Pr (\$/kg) real 2017	58.0	62.0	75.0	80.0	85.0	90.0	105.0	115.0	120.0	120.0
Nd (\$/kg) nominal	49.2	55.4	74.5	81.4	88.6	101.6	126.7	141.0	149.8	0.0
Nd (\$/kg) real 2017	48.0	53.0	70.0	75.0	80.0	90.0	110.0	120.0	125.0	120.0
Dy (\$/kg) nominal	188.6	203.8	223.4	238.7	249.1	259.7	282.2	299.6	311.6	0.0
Dy (\$/kg) real 2017	184.0	195.0	210.0	220.0	225.0	230.0	245.0	255.0	260.0	250.0
Tb (\$/kg) nominal	430.4	449.5	473.3	499.1	520.3	542.1	576.0	611.0	635.3	0.0
Tb (\$/kg) real 2017	420.0	430.0	445.0	460.0	470.0	480.0	500.0	520.0	530.0	510.0
Eu (\$/kg) nominal	46.1	49.1	52.1	55.3	58.7	61.0	62.2	64.6	65.9	0.0
Eu (\$/kg) real 2017	45.0	47.0	49.0	51.0	53.0	54.0	54.0	55.0	55.0	54.0
Y (\$/kg) nominal	3.1	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.6	4.7	5.0	0.0
Y (\$/kg) real 2017	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.0	4.0	4.2	4.0

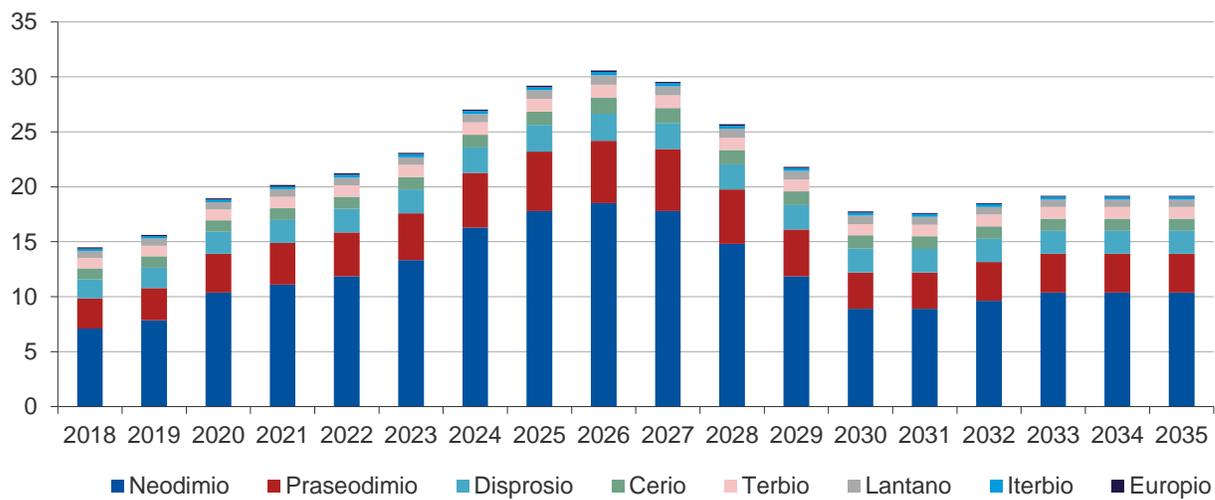
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC 2018-35
Ce (\$/kg) nominal	3.6	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	3.4	3.4	2,5%
Ce (\$/kg) real 2017	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.4	2.4	2.4	0,5%
La (\$/kg) nominal	3.7	3.7	3.6	3.6	3.5	3.4	3.5	3.6	
La (\$/kg) real 2017	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.5	2.5	2.5	
Pr (\$/kg) nominal	130.9	114.5	90.8	92.6	101.2	103.3	105.3	107.4	
Pr (\$/kg) real 2017	105.0	90.0	70.0	70.0	75.0	75.0	75.0	75.0	
Nd (\$/kg) nominal	124.7	101.8	77.8	79.4	87.7	96.4	98.3	100.3	
Nd (\$/kg) real 2017	100.0	80.0	60.0	60.0	65.0	70.0	70.0	70.0	
Dy (\$/kg) nominal	299.3	298.9	298.4	297.8	297.0	302.9	309.0	315.1	
Dy (\$/kg) real 2017	240.0	235.0	230.0	225.0	220.0	220.0	220.0	220.0	
Tb (\$/kg) nominal	611.0	597.8	583.8	608.8	647.9	660.9	674.1	687.6	
Tb (\$/kg) real 2017	490.0	470.0	450.0	460.0	480.0	480.0	480.0	480.0	
Eu (\$/kg) nominal	62.4	59.8	58.4	52.9	47.2	41.3	42.1	43.0	
Eu (\$/kg) real 2017	50.0	47.0	45.0	40.0	35.0	30.0	30.0	30.0	
Y (\$/kg) nominal	5.0	4.8	4.9	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	
Y (\$/kg) real 2017	4.0	3.8	3.8	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	

Fuente: CRU

Escenario 2 – Coexistencia

Para el análisis de escenarios de precios alternativos al escenario de Continuidad, hemos basado el análisis en un precio compuesto de óxidos de tierras raras. Este precio compuesto está basado en el tamaño de mercado relativo de las principales tierras raras, y se muestra en la figura a continuación.

Figura 36 Precio compuesto de tierras raras, aporte por cada elemento principal, 2018-2035, US\$/kg



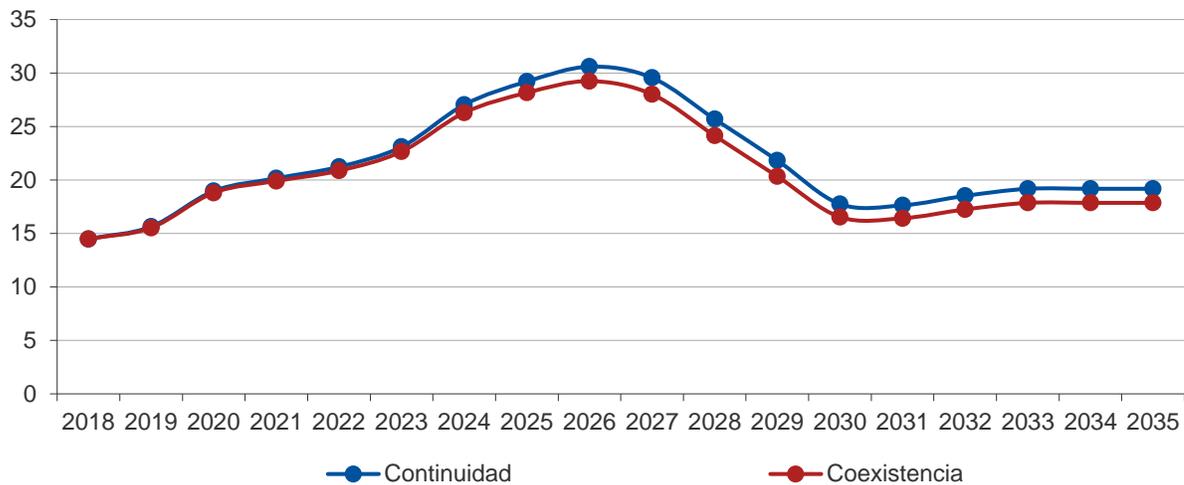
Fuente: CRU

Basados en dicho precio compuesto hemos obtenido un precio compuesto incentivo de largo plazo, que se asimila conceptualmente al CMLP. También hemos tomado un enfoque relativo en el caso del análisis de precios de mediano plazo.

En el mediano plazo, la demanda de tierras raras en el escenario Coexistencia es similar a la del escenario Continuidad, siendo el de Coexistencia menor. Comparativamente con otros minerales presenta una reacción relativamente moderada en el precio, esto se debe a que esperamos que el mercado sea poco competitivo en el largo plazo.

En el largo plazo, el CMLP conceptual estimado para este escenario es de US\$18/kg (moneda real 2017) hacia el término del periodo de pronóstico. Al estar por abajo del CMLP conceptual del escenario Continuidad, el precio bajo los supuestos del escenario Coexistencia seguirían una tendencia marginalmente creciente algo menor que en el escenario Continuidad.

Figura 37 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (2017 US\$/kg)



Fuente: CRU

Tabla 21 Precios en escenario Continuidad vs. Coexistencia para tierras raras (2017 US\$/kg)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	14,5	15,6	19,0	20,2	21,2	23,1	27,0	29,2	30,6	29,6
Coexistencia	14,5	15,5	18,8	19,9	20,9	22,7	26,3	28,2	29,2	28,0
Diferencia*	-	-0,11	-0,15	-0,25	-0,36	-0,44	-0,74	-1,05	-1,35	-1,55
	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC2018-35	
Continuidad	25,7	21,8	17,8	17,6	18,5	19,2	19,2	19,2	1,7%	
Coexistencia	24,1	20,3	16,5	16,4	17,2	17,9	17,9	17,9	1,2%	
Diferencia*	-1,55	-1,50	-1,22	-1,21	-1,27	-1,31	-1,31	-1,31		

* Diferencia calculada como Coexistencia menos Continuidad

Fuente: CRU

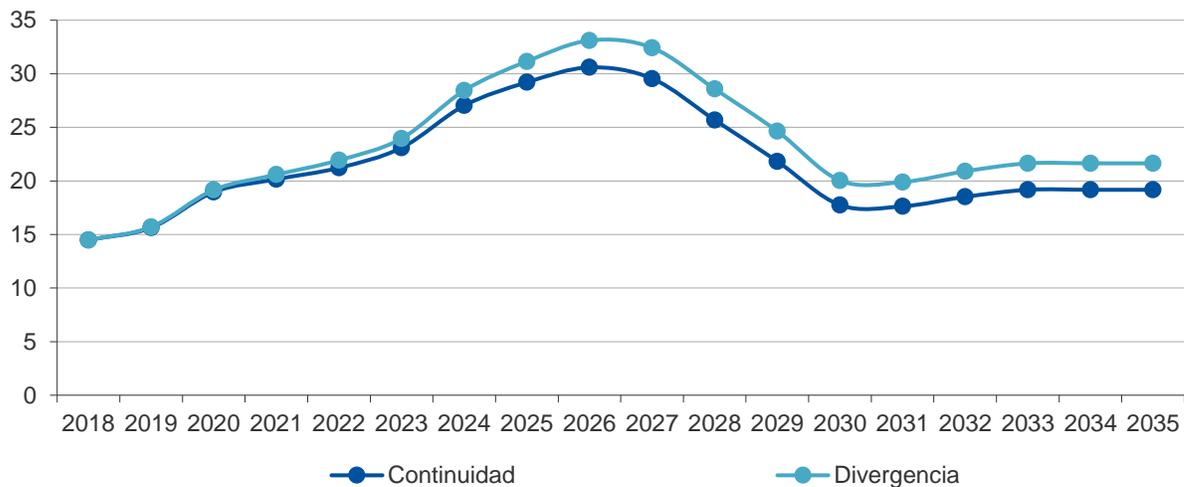
Escenario 3 – Divergencia

Este análisis, también está basado en un precio compuesto de óxidos de tierras raras – mostrado en la sección de análisis de precio del escenario de Coexistencia. También basados en dicho precio compuestos hemos obtenido un precio compuesto incentivo de largo plazo, que se asimila conceptualmente al CMLP. Respecto al análisis de precio de mediano plazo hemos tomado un enfoque relativo.

En el mediano plazo, el escenario de Divergencia mantiene la misma oferta que el escenario Continuidad pero con una demanda levemente superior. Esto se traduce en que el escenario Divergencia presenta precios algo mayores al del escenario Continuidad en el mediano plazo.

El CMLP conceptual para el término del periodo de pronóstico en es US\$22/kg resultando US\$2,5/kg mayor que el CMLP conceptual del caso Continuidad. Esta diferencia en precios de largo plazo se debe a la mayor demanda esperada de tierras raras en el escenario Divergencia. Dada la mayor demanda y la necesidad de nueva capacidad de la oferta para cubrirla, se necesita un precio incentivo más alto que para la entrada de nuevas inversiones.

Figura 38 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (2017 US\$/kg)



Fuente: CRU

Tabla 22 Precios en escenario Continuidad vs. Divergencia para tierras raras (2017 US\$/kg)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Continuidad	14,5	15,6	19,0	20,2	21,2	23,1	27,0	29,2	30,6	29,6
Divergencia	14,5	15,7	19,2	20,6	21,9	24,0	28,4	31,2	33,1	32,4
Diferencia*	-	0,07	0,20	0,43	0,71	0,86	1,40	1,95	2,51	2,88

	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	TCAC2018-35
Continuidad	25,7	21,8	17,8	17,6	18,5	19,2	19,2	19,2	1,7%
Divergencia	28,6	24,6	20,0	19,9	20,9	21,6	21,6	21,6	2,4%
Diferencia*	2,90	2,81	2,29	2,27	2,38	2,47	2,47	2,47	

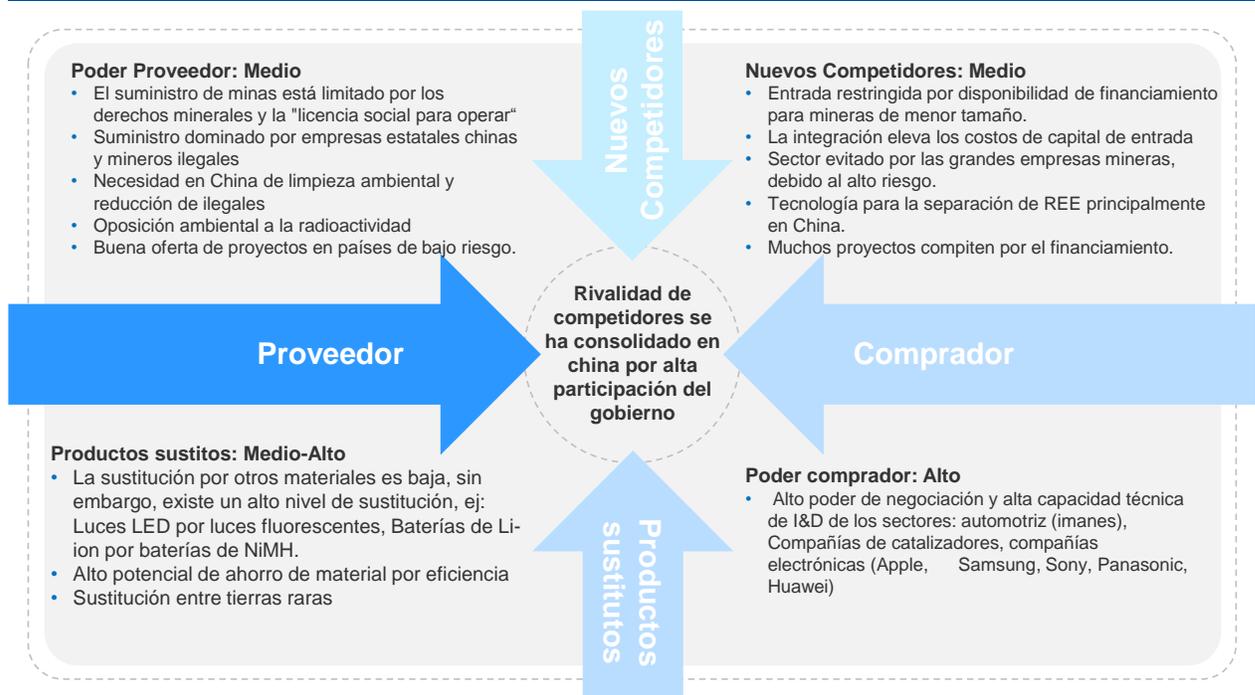
* Diferencia calculada como Divergencia menos Continuidad

Fuente: CRU

1.4. Análisis de las cinco fuerzas de Porter para el mercado de tierras raras

El marco de "cinco fuerzas" de Michael Porter es un método para analizar el atractivo de una industria desde el punto de vista de una empresa del sector o para considerar la posibilidad de entrar en ella. Las cinco fuerzas son el poder del proveedor, la sustitución, el poder de los clientes, las barreras de entrada y la rivalidad de los competidores, como se ilustra en los cuatro cuadrantes y en el centro del gráfico.

Figura 39 Modelo de las cinco fuerzas de Porter de Tierras raras



Fuente: CRU

En un extremo, una industria muy atractiva tendría un escaso poder de proveedores y de clientes, una baja sustitución, grandes barreras de entrada y una baja rivalidad entre competidores. En el otro extremo, una industria muy poco atractiva tendría las características opuestas, un elevado poder de proveedor y de cliente, pocas barreras de entrada, una alta posibilidad de sustitución y una gran rivalidad entre los competidores.

Proveedores

Los proveedores de la industria minera son, en primer lugar, la naturaleza en su distribución de la riqueza mineral y, en segundo lugar, aquellos que poseen y conceden licencias para explorar

y explotar la tierra. En casi todos los casos se trata del Estado chino. Dado que el suministro de minas está dominado por China y que la mayoría de las minas son de propiedad estatal, podría pensarse que el poder de suministro es alto. De hecho, este no ha sido el caso históricamente, ya que la minería ilegal ha florecido, y el estado chino ha tenido problemas para controlar la sobreproducción. Sin embargo, el gobierno ha tomado medidas para consolidar la industria en seis grandes empresas públicas y para controlar la minería ilegal. Suponiendo que estas medidas tengan éxito, China podrá ejercer un mayor control sobre el suministro de mineral. Otra limitación a la oferta china es la necesidad de limpiar el daño ambiental causado por la minería ilegal y por las malas prácticas en las operaciones legales. Esto impondrá una enorme carga financiera a los operadores y al estado chino.

En el futuro será necesario desarrollar más oferta en el resto del mundo. En este sentido, la naturaleza ha sido generosa, ya que los depósitos de tierras raras están geográficamente extendidos y se encuentran en muchas jurisdicciones de bajo riesgo, como Australia, Canadá, Groenlandia y Suecia. Sin embargo, es probable que las limitaciones ambientales sean importantes, ya que los depósitos pueden ocurrir en zonas remotas con derechos sobre las tierras indígenas. Además, se suelen encontrar las tierras raras con elementos radiactivos como el Torio. Al igual que con muchas operaciones mineras, es probable que la eliminación de relaves y aguas residuales sea un problema. En resumen, aunque los yacimientos de tierras raras son relativamente abundantes, las limitaciones del poder estatal chino y en otros países las dificultades para obtener la licencia para operar dan lugar a una clasificación media al poder del proveedor.

Clientes

Como se ilustra en el gráfico, los sectores clave de la demanda de tierras raras están muy concentrados y dominados por grandes empresas de los sectores del automóvil, el petróleo y la electrónica. Esto da potencialmente un alto grado de poder adquisitivo. Más importante es la capacidad de investigación y desarrollo de estas grandes empresas, que les permite encontrar sustitutos o encontrar formas más eficientes de utilizar los materiales. Por ejemplo, después de la subida de precios en 2011, las compañías de automóviles buscaron formas de utilizar menos REOs en los imanes permanentes y fueron particularmente exitosas en la reducción de la cantidad de Dy necesaria. Toyota ha probado con éxito los imanes de bajo NdPr, aunque todavía no están en uso comercial. También tienen un tamaño suficiente para fomentar la nueva producción.

Entrada

Las barreras de entrada se clasifican como medianas. Hay muchos proyectos de minería de tierras raras y muchas mineras *junior* que buscan avanzar en ellos. La principal barrera para estas empresas es la adquisición del financiamiento, que es difícil después de que el último auge y caída vio muchas fortunas perdidas. Las principales empresas mineras han evitado el sector. La barrera financiera se ve agravada por la necesidad de integrar la producción al menos en lo que respecta a los concentrados químicos y, a menudo, en lo que respecta a los REOs separados. Por último, la tecnología para la separación de los elementos más pesados es compleja y se limita principalmente a China.

Sustitución

La sustitución se consideró en la sección de demanda de este capítulo. Su conclusión fue que es difícil sustituir los REOs por otros materiales, aunque se ha hecho un gran esfuerzo para mejorar la eficiencia con la que se utilizan. Sin embargo, las posibilidades de sustitución a nivel de producto son más importantes. Históricamente, el uso de los fósforos ha disminuido a medida que las pantallas planas reemplazaban a los tubos de rayos catódicos y las luces LED reemplazaban a las luces fluorescentes. Estas sustituciones no se produjeron por el precio de los REOs, sino por el progreso técnico. Los imanes son el área de alto crecimiento actual, pero pueden ser reemplazados en algunas aplicaciones por imanes de ferrita. A un nivel más alto, los motores eléctricos que usan imanes permanentes pueden ser reemplazados por motores de inducción que no usan REOs. Hasta hace poco, todos los VEs Tesla utilizaban motores de inducción. Las baterías de NiMH pueden y están siendo reemplazadas por baterías de iones de litio. En resumen, calificamos el riesgo de sustitución como medio-alto.

Competidores

La consolidación de los productores chinos de REO en seis empresas es completa, por lo que es probable que la rivalidad de los competidores disminuya. Sin embargo, hay una alta participación del gobierno en la industria en China y potencialmente en otros lugares (por ejemplo, se sugirió que la administración Trump nacionalizara la mina Mountain Pass por razones de seguridad nacional). En el sistema de Porter, la existencia de una alta implicación del Estado se considera generalmente una característica poco atractiva para un nuevo competidor privado. Por ejemplo, porque las minas pueden operar por razones no económicas con subsidios estatales.

Anexo I. Glosario

Monedas y medidas de valor

Sigla	Significado
US\$	Dólar estadounidense
US\$/t	Dólar estadounidense por tonelada
US\$/kg	Dólar estadounidense por kilogramo

Empresas e Instituciones

Sigla	Significado
USGS	United States Geological Service / Servicio Geológico Estadounidense
BP	<i>The British Petroleum Company plc</i>
JORC	<i>Australian mineral Resources and Ore Reserves Code / Código de recursos minerales y reservas minerales Australiano</i>

Medidas de peso

Sigla	Significado
kt	Miles de toneladas
Mt	Millones de toneladas
t / ton	Tonelada

Otros

Sigla	Significado
REE / LREE / HREE	Tierras Raras / Tierras Raras ligeras / Tierras Raras pesadas
GFC	<i>Global Financial Crisis / Crisis Financiera Global</i>
ICEs	<i>Internal combustion engine / Motores de combustión interna</i>
VEs	Vehículos eléctricos
VHEs	Vehículos híbrido eléctrico
GW	Giga watts
SX	<i>Solvent extraction / Extracción por Solvente</i>
ROW	<i>Rest of the world / Resto del mundo</i>
FOB	<i>Free on Board / Libre a bordo</i>
CIF	<i>Cost, Insurance and Freight / Costo, Seguro y Flete</i>
LRMC – CMLP	<i>Long run marginal cost / Costo marginal de largo plazo</i>
PIB	Producto Interno Bruto

SRMC – CMCP	<i>Short run marginal cost</i> / Costo marginal de corto plazo
TCAC	Tasa de Crecimiento Anual Compuesto

Anexo II. Bibliografía

1. MinEx Consulting
2. Global Trade Information Services. IHS Markit GTA
3. DESA/UNSD, *United Nations Comtrade database*
4. MARSHALL, Alfred. Principles of Economics. XVIII ed. Nueva York, Cosimo Inc, 2006.
5. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. 2009 – 2018. Disponible en Internet: <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf>
6. BP World Energy Outlook 2018
7. Weng, Z., Jowitt, S. M., Mudd, G. M., & Haque, N. (2015). A detailed assessment of global rare earth element resources: opportunities and challenges. *Economic Geology*, 110(8), 1925-1952.