

Minerales críticos en Europa: metodología para la evaluación de la criticidad de los minerales

/ Manuel Regueiro y González-Barros

Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid, España.

INTRODUCCIÓN

Los recursos minerales en general, son y han sido cruciales para el advenimiento y desarrollo de las civilizaciones modernas y es también evidente que hoy la vida no podría concebirse en una sociedad moderna sin ellos. Es gracias a los minerales que nuestro mundo es hoy como es, y más aún ahora que dependemos, sin saberlo, de algunos minerales de los que ni siquiera sabemos el nombre. Los minerales críticos, lo son porque nosotros usamos cotidianamente objetos o productos que los incluyen, así que la industria los busca para fabricar esos objetos que nosotros demandamos. Sin ellos algunas industrias dejarían de existir, y por eso son relevantes. Este trabajo pretende dar una visión general de estos minerales desde la perspectiva de la industria europea y explicar cómo se hacen los estudios de su criticidad después de analizar la evolución histórica de estos estudios.

REVISIÓN HISTÓRICA

La historia de la humanidad está repleta de casos de desarrollos tecnológicos basados en los minerales, lo que ha hecho que los minerales críticos hayan cambiado a lo largo de esa historia. Un ejemplo clásico es el cobre, un metal que hace 7000 años era estratégico, tanto que, para algunos (Mangone, 1984) el desarrollo de la primera cultura urbana en el Creciente Fértil dependió del cobre. El paso de los siglos ha incrementado la dependencia del hombre y sus tecnologías de los minerales no energéticos, en especial de los metales, ha hecho que muchos más se hayan convertido en estratégicos. Sin embargo ha sido el siglo XX, con el refinamiento de los mercados globales y el rápido desarrollo de las nuevas tecnologías que la vulnerabilidad frente a problemas de

suministro de estos materiales se ha hecho más evidente.

El primer país occidental que se preocupó del suministro estratégico de minerales fue los EEUU que, desde 1939 (tras la promulgación de la Ley de Materiales Estratégicos) dispuso de stocks de diferentes tipos de menas metálicas (denominado Almacén Nacional de la Defensa) algunos de los cuales sirvieron para controlar los precios del mercado mundial (el caso del mercurio, que perjudicó al monopolio productivo de España es sólo un ejemplo). En 1946 tras la 2ª Guerra Mundial, el congreso modificó la Ley de Materiales Estratégicos y promulgó la Ley de Almacenamiento de Materiales Críticos y Estratégicos que permitía la liquidación de stocks de minerales que se consideraran menos relevantes para la defensa (hay que tener en cuenta que la gestión del stock la hacía el ejército) (Romans, 2008).

En 1979, tras el fin de la Guerra Fría, el congreso modificó la ley de almacenamiento EEUU para que los stocks fueran los necesarios para conflictos de hasta 3 años de duración, porque se pensaba que todo se podría adquirir en un mercado libre mundial. Sin embargo a mediados de los 80, se creó el Consejo Nacional de los Materiales Críticos y en 2005 se modificó de nuevo la Ley de Almacenamiento de Materiales Críticos y Estratégicos definiendo estos materiales como aquellos necesarios para suministrar a la industria y al ejército y las necesidades civiles esenciales para los EEUU durante una emergencia nacional y que no se encontraban o producían en el país en cantidad suficiente para cubrir esas necesidades.

En el caso concreto de los minerales utilizados en las tecnologías energéticas

modernas, el Departamento de Energía de los EEUU, elaboró en 2010 un documento de estrategia sobre los materiales críticos (Bauer, 2010) actualizado en 2011 (Bauer, 2011) que examinó el papel de los metales de tierras raras y otros materiales en la economía de las energías limpias. El estudio concluye que las tecnologías de las turbinas eólicas, los coches eléctricos, las películas fotovoltaicas y la iluminación fluorescente utilizan materiales que podrían sufrir problemas de suministro a corto plazo y que en los próximos años el desarrollo de tecnologías energéticas podría verse sometidos a riesgos de suministro de los metales de tierras raras (disprosio, neodimio, terbio, europio e itrio).

Europa no parecía preocuparse mucho del suministro de recursos minerales, que parecía dejarse al arbitrio del mercado, pero, finalmente en 2008 la Comisión Europea publicó la Iniciativa de las Materias Primas (EU COM 699 Communication, 2008), una estrategia fundamentada en tres pilares:

- Asegurar el acceso a las materias primas internacionales en condiciones no distorsionadas.
- Establecer unas condiciones adecuadas dentro de la UE para fomentar el suministro sostenible de materias primas de fuentes europeas.
- Impulsar la eficiencia en el uso de los recursos y promocionar el reciclado para reducir el consumo de materias primas y disminuir la dependencia de las importaciones.

La iniciativa ya ha tenido un reflejo en proyectos de investigación del 7º Programa Marco y en estos momentos ya se están aprobando proyectos de I+D+i del Horizonte 2020.

La iniciativa también ha servido para que los minerales críticos sean

palabras clave: minerales críticos, criticidad, matriz, metodología

key words: critical mineral, criticality, matrix, methodology

protagonistas de las políticas europeas. Así la Comisión elaboró en 2010 su primera lista de materias primas críticas (EU COM Enterprise Industry, 2010), que fue adoptada en 2011 en la Comunicación sobre Materias Primas (EU COM 25, 2011). La lista incluía 14 materias primas críticas identificadas a partir de una lista de 41 materiales no energéticos y no alimentarios.

La citada lista incluía la recomendación de su revisión cada 3 años, por lo que en 2014 se acaba de publicar una nueva lista (DG Enterprise, 2014) que luego se comentará.

DEFINICIONES

Un mineral se considera **crítico** cuando el riesgo de que se produzca escasez en el suministro de ese mineral y el impacto de esa escasez sobre la economía, es mucho mayor que el de cualquier otra materia prima.

Otro término que como se ha visto, también se emplea para definir a minerales que plantean un reto para las naciones, es el de **mineral estratégico**. Mientras el término crítico se refiere a algo que es vital, importante, esencial, crucial o relevante, por ejemplo: "el agua es crítica para un hombre sediento"; el término estratégico se refiere a algo planificado, táctico, o calculado. Por tanto, la palabra estratégico, aplicada a los minerales, tiene una orientación política y se emplea para aquellos minerales para los que se debe diseñar un plan general de abastecimiento. Así, los minerales que se utilizan en la industria militar se consideran estratégicos y aquellos cuya escasez podría causar daños a la economía, se consideran críticos. Un

mineral crítico puede ser o no estratégico, mientras que un mineral estratégico siempre será crítico.

Finalmente hay otro término asociado a la palabra crítico que es también un poco críptico, el término **críticidad o condición de crítico**. De hecho, cualquier mineral podría ser o convertirse en un mineral crítico, dependiendo de su importancia y de su disponibilidad. Como ya se ha dicho, un mineral crítico es aquel que es al mismo tiempo imprescindible para determinada industria y está sometido a una potencial restricción de suministro. Por lo tanto, la medida de la criticidad de un mineral variará con la evolución de las tecnologías de producción y con el desarrollo de nuevos productos. Cuanto más difícil caro o más tiempo sea necesario para sustituir a un mineral en un determinado uso industrial, más crítico es ese mineral para ese determinado uso o análogamente, mayor es el impacto de la restricción del suministro de ese mineral.

La disponibilidad de algunos minerales se puede medir a largo plazo (más de 10 años) y es función de cinco factores:

- Geológicos: ¿existe o no existe el recurso mineral?
- Técnicos: ¿es posible extraerlo y tratarlo?
- Medioambientales y sociales: ¿es posible producirlo de un modo medioambiental y socialmente aceptable?
- Políticos: ¿cómo influyen los gobiernos en la disponibilidad de un recurso por medio de sus políticas y acciones?
- Económicos: ¿se puede producir a un coste que los consumidores estén

dispuestos a pagar?

Pero también a corto y medio plazo (menos de 10 años), estudiando si se podrían producir restricciones al suministro tales como la no disponibilidad física o precios más altos.

MINERALES CRÍTICOS EN EUROPA

Lo cierto es que la criticidad de los minerales para la economía y la industria es algo variable por su propia definición. Depende de cada país, depende de cada momento económico y depende de cada industria concreta.

Un ejemplo de esto es lo que ha pasado en los EEUU con los minerales críticos según estudios de diferentes épocas (Tabla 1).

Pero como es lógico, la industria de cada región del mundo usa diferentes materiales y por lo tanto los minerales que son críticos son distintos para cada país y para cada región. Así, el primer estudio realizado en la Unión Europea sobre los minerales críticos para su industria (EU COM Enterprise Industry, 2010) ha señalado las siguientes 14 sustancias como críticas: Antimonio (antimonita), Magnesio (dolomita y otros), Fluorita, Tántalo, Galio, Germanio, Berilio, Grafito, Niobio, Wolframio, Indio, metales del grupo del Platino (platino, paladio, iridio, rodio, rutenio y osmio), las Tierras Raras y el Cobalto. El cobalto, por cierto, no se extrae de sus minerales principales (cobaltita (CoAsS), eritrina (arseniato hidratado de cobalto), glaucodoto (arseno-sulfuro de cobalto y hierro (Co,Fe)AsS)) y escuterudita ((Co,Ni)As₃), sino que es un subproducto de la minería de níquel y del cobre.

Minerales estratégicos EEUU. Años 70 y 80	Minerales críticos EEUU. 2008	Materiales recomendados para los acopios estratégicos nacionales. 2010
Aluminio	Minerales del grupo del platino	Berilio metal
Cromo	Tierras raras	Cromo metal
Cobalto	Indio	Columbita (Niobio)
Manganeso	Manganeso	Ferrocromo
Níquel	Niobio	Ferromanganeso
Minerales del grupo del platino		Germanio
Titanio		Iridio
		Platino
		Tántalo
		Estaño
		Wolframita
		Cinc

Tabla 1. Evolución de los minerales críticos o estratégicos en los EEUU.

La figura 1, incluida a continuación, refleja gráficamente los 41 minerales analizados en el estudio en un gráfico que relaciona la importancia económica para la UE de cada sustancia (eje X) frente al riesgo de suministro para la industria europea (eje Y).

El resultado respecto al eje X varía desde muy baja (talco) a muy alta (manganeso). Que haya sustancias como el berilio, situadas hacia la izquierda del gráfico no significa que esas sustancias sean menos importantes que las situadas a la derecha, lo que significa es que en caso de restricciones en el suministro de estos últimos, el potencial impacto podría afectar a una mayor parte de la cadena de valor en términos de valor añadido que otros materiales y sin embargo incluso en el caso de minerales de "baja" importancia económica, hay que tener en cuenta que un posible problema de suministro de esas sustancias podría causare un grave problema a la economía de aplicaciones específicas.

El resultado respecto al eje Y muestra valores desde muy bajo riesgo (titanio) a muy alto (tierras raras). El riesgo alto refleja que la producción de algún material procede de muy pocos países con riesgo político y económico y con

unas tasas de reciclado y de sustitución muy bajas.

Los minerales quedan agrupados en 3 clústeres, de los cuales el situado en la parte superior son las 14 sustancias consideradas en 2010 críticas para Europa por su elevado riesgo de disrupción del suministro junto a una elevada importancia económica para la industria europea.

Este año la propia Comisión ha publicado una revisión realizada en 2013 (DG Enterprise, 2014) en la que se ha analizado cincuenta y cuatro materias no alimentarias ni energéticas (en 2010 fueron cuarenta y una), utilizando la misma metodología que en el estudio anterior. En esta ampliación se han incluido siete nuevas materias abióticas y tres materias bióticas (caucho, madera para pasta y madera blanda aserrada). La lista de materias primas fundamentales de 2014 incluye trece de las catorce materias identificadas en el estudio anterior, y solo el tantalio desaparece de la lista, al haber disminuido los riesgos para su suministro. Se incluyen seis nuevas materias: boratos, cromo, carbón de coque, magnesita, rocas fosfatadas y silicio metálico.

La Figura 2, incluida a continuación

refleja gráficamente los resultados del estudio.

Las veinte materias primas de la lista incluida en la Tabla 2, son fundamentales porque los riesgos de escasez de suministro y sus efectos sobre la economía son más importantes que los de la mayoría de las materias primas. Puede observarse claramente que China es el país más influyente en el suministro mundial de las veinte materias primas fundamentales. Algunos otros países dominan el suministro de materias primas específicas, como Brasil (niobio). El de otros materiales, como los metales del grupo del platino y los boratos, está más diversificado, aunque también muestra cierta concentración. Los riesgos asociados con la concentración de la producción se ven, en muchos casos, agravados por bajos índices de sustitución y reciclado.

En esa tabla, los recuadros de las seis nuevas materias primas fundamentales figuran con fondo gris oscuro. A diferencia del informe de 2010, las tierras raras pesadas, las tierras raras ligeras y el escandio se han evaluado por separado, no como un solo grupo de «tierras raras». Las tierras raras ligeras y pesadas aparecen con fondo gris claro. Las flechas que aparecen junto a los

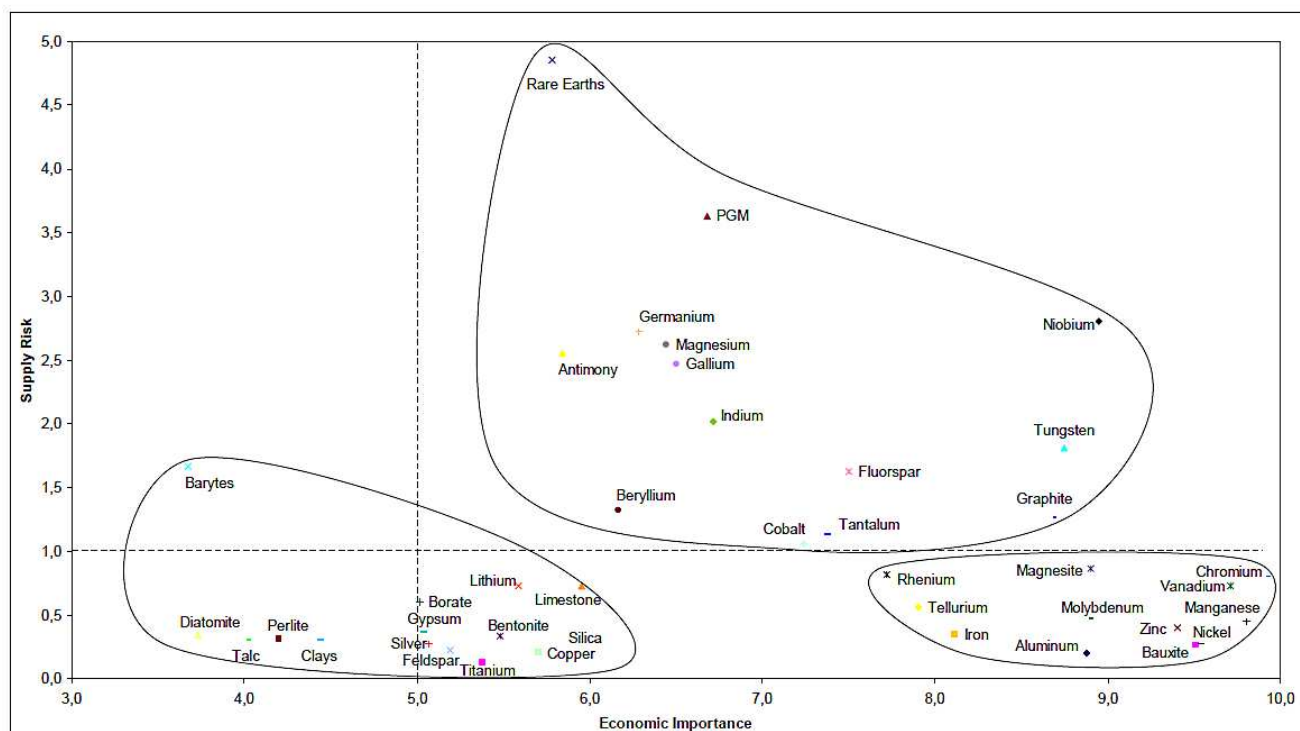


fig 1. Minerales críticos en Europa 2010.

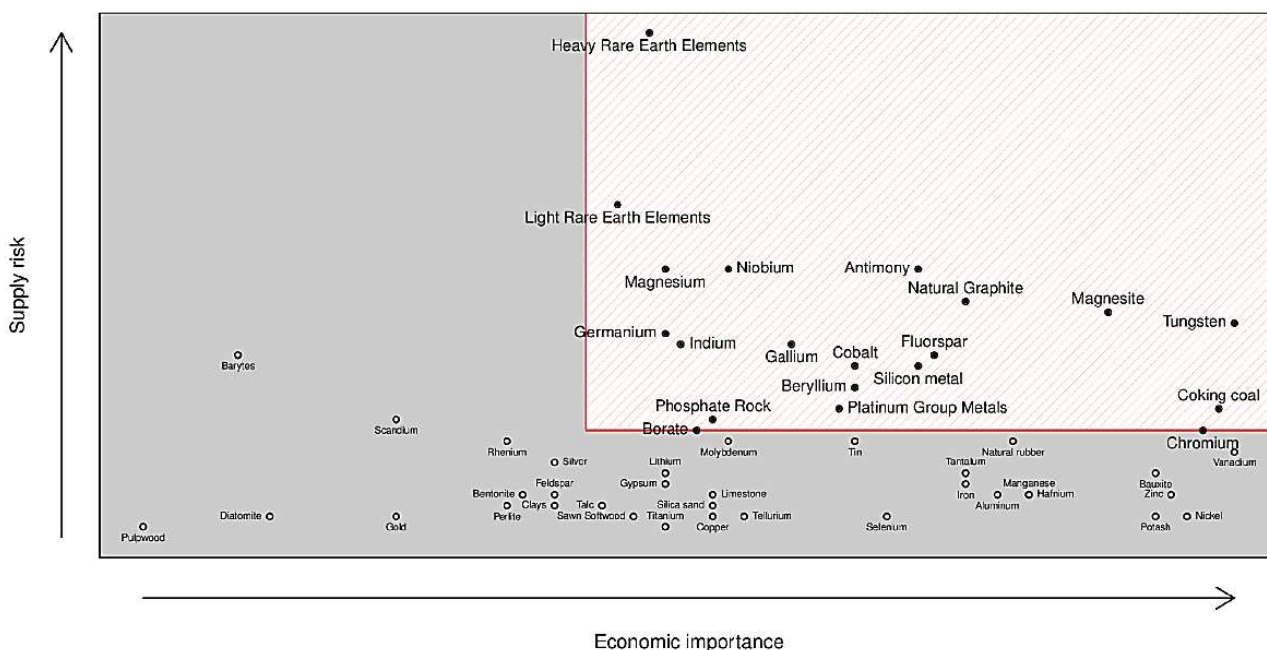


fig 2. Minerales críticos en Europa 2014.

principales productores y fuentes de importación en la UE indican un aumento o una disminución de aproximadamente diez puntos porcentuales en comparación con el informe de 2010 sobre las materias primas fundamentales.

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE CRITICIDAD

Hay dos metodologías fundamentales para la evaluación de la criticidad de los minerales, la norteamericana y la europea. A continuación se repasan los criterios utilizados en ambos métodos.

Europa

El sistema utilizado en los estudios en Europa se basa en el análisis de los siguientes aspectos para cada sustancia contemplada: (1) Importancia económica para la industria; (2) Riesgo de suministro. Que se evalúa en base a las siguientes variables:

- Dependencia de las importaciones
- Riesgo país estimado
- Reciclado
- Potencia de sustitución
- Medio ambiente

La figura 3, incluida a continuación refleja el gráficamente los componentes de la matriz de criticidad.

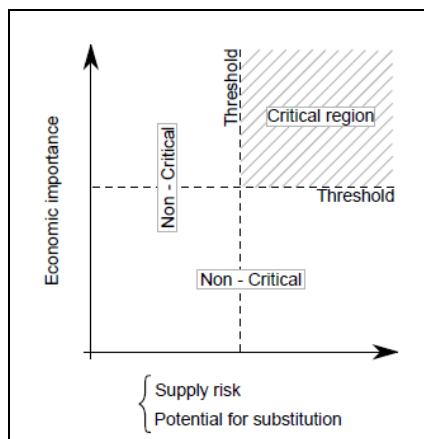


fig 3. Matriz de criticidad europea.

Estados Unidos

El primer estudio de criticidad sobre el que se han basado todos los estudios posteriores lo realizó el Consejo Nacional de Investigación de los EEUU en 2007 (DG Enterprise, 2014).

Definición de las materias primas críticas

Este sistema es similar al europeo y compara dos variables, el eje vertical representa la importancia del uso de la sustancia bajo el concepto de **Impacto de la restricción del suministro** y el eje horizontal representa el concepto de disponibilidad en forma de **riesgo de suministro**.

La figura 4 muestra un ejemplo de dicha matriz de criticidad para el caso del cobre, galio, indio, litio, manganeso, niobio, las tierras raras y los minerales del grupo del platino, el titanio, el tántalo y el vanadio.

La matriz de criticidad

Como se ha visto, las dos dimensiones de la criticidad de una sustancia mineral son la importancia de su empleo y su disponibilidad.

La importancia del uso industrial se basa en los estudios de ciclo de vida de los minerales ya que determinados minerales son más relevantes para determinadas industrias que otros. Naturalmente la posibilidad de sustituir un determinado mineral por otro juega un papel importante aquí., ya que si es posible la sustitución y esta es técnicamente viable o relativamente barata, eso significa que la importancia del mineral analizado para esa industria es baja, por lo que el coste del impacto de su posible restricción sería también bajo. Sin embargo si la sustitución es difícil técnicamente o muy cara entonces la importancia del mineral resulta elevada por el coste del posible impacto de una restricción en su suministro.

Este concepto de importancia a nivel de producto incluye los beneficios que reciben los clientes por el uso del

Materias primas	Principales productores en la UE (2010, 2011, 2012)	Principales fuentes de importación en la UE (esencialmente 2012)	Índice de sustituibilidad*	Índice de aporte al reciclado al final de su vida útil**
Antimonio (estibina)	China 86 %	China 92 % (en bruto y en polvo)	0,62	11 %
	Bolivia 3 %	Vietnam 3 % (en bruto y en polvo)		
	Tayikistán 3 %	Kirgistán 2 % (en bruto y en polvo)		
Berilio	Estados Unidos 80 %	Estados Unidos, China y Mozambique*	0,85	19 %
	China 9 %			
	Mozambique 1 %			
Boratos	Turquía 41 %	Turquía 98 % (boratos naturales) y 88 % (boratos refinados)	0,88	0 %
	Estados Unidos 33 %	Estados Unidos 6 %, Perú 2 % (boratos refinados), Argentina 2 % (boratos naturales)		
Carbón de coque	China 53 %	Estados Unidos 41 %	0,68	0 %
	Australia 18 %	Australia 37 %		
Cobalto	Rusia 8 %	Rusia 96 % (minerales y concentrados de cobalto)	0,71	16 %
	República Democrática del Congo 56 % †			
Cromo	China 8 %	Estados Unidos 3 % (minerales y concentrados de cobalto)	0,96	13 %
	Rusia 6 %	Sudáfrica 80 %		
Espato fluor (fluorita)	Kazajistán 20 %	Turquía 16 %	0,80	0 %
	India 13 %	Otras fuentes 4 %		
Gallo ³	China 56 %	México 48 % †	0,60	0 %
	México 18 %	China 13 % †		
Germanio	Mongolia 7 %	Sudáfrica 12 % †	0,86	0 %
	China 69 % (refinado)	Estados Unidos 49 %		
Grafito natural	Alemania 10 % (refinado)	China 39 %	0,72	0 %
	Kazajistán 6 % (refinado)	Hong Kong 8 %		
Indio	China 59 % †	China 47 % †	0,82	0 %
	Canadá 17 %	Estados Unidos 35 %		
Magnesio	Estados Unidos 15 %	Rusia 14 %	0,64	14 %
	China 68 %	China 57 % †		
Magnesita	India 14 %	Brasil 15 %	0,72	0 %
	Brasil 7 %	Noruega 9 %		
Metales del grupo del platino	China 58 %	China 24 % †	0,83	35 %
	Japón 10 %	Hong Kong 19 % †		
Niobio	Corea 10 %	Canadá 13 %	0,69	11 %
	Canadá 10 %	Japón 11 %		
Rocas fosfatadas	China 86 % †	China 91 % †	0,98	0 %
	Rusia 5 %	Israel 5 %		
Silicio metálico	Israel 4 %	Rusia 2 %	0,81	0 %
	China 69 %	Turquía 91 %		
Tierras raras ligeras	Rusia 6 %	China 8 %	0,67	0 %
	Eslovaquia 6 %	China 8 %		
Tierras raras pesadas	Sudáfrica 61 % †	Sudáfrica 32 % †	0,77	0 %
	Rusia 27 % †	Estados Unidos 22 % †		
Wolframio	Zimbabue 5 %	Rusia 19 % †	0,70	37 %
	Brasil 52 %	Brasil 86 % (ferro-niobio)		
	Canadá 7 %	Canadá 14 % (ferro-niobio)	0,70	37 %
	China 38 %	Marruecos 33 %		
	Estados Unidos 17 %	Argelia 13 %	0,70	37 %
	Marruecos 15 %	Rusia 11 %		
	China 56 %	Noruega 38 %	0,70	37 %
	Brasil 11 %	Brasil 24 %		
	Estados Unidos 8 %	China 8 %	0,70	37 %
	Noruega 8 %	China 8 %		
	Francia 6 %	Rusia 7 %	0,70	37 %
	China 87 %	Todas las tierras raras: China 41 %, Rusia 35 %		
	Estados Unidos 7 %	Estados Unidos 17 %	0,70	37 %
	Australia 3 %	Estados Unidos 17 %		
	China 99 %	Estados Unidos 17 %	0,70	37 %
	Australia 1 %	Estados Unidos 17 %		
	China 85 %	Rusia 98 % †	0,70	37 %
	Rusia 4 %	Bolivia 2 %		
	Bolivia 2 %	Bolivia 2 %	0,70	37 %

Tabla 2. Lista de materias primas críticas para Europa 2014.

producto, por ejemplo los beneficios para la salud de los suministros nutricionales o de los equipos de control de la contaminación, las ventajas del empleo de los teléfonos móviles, la durabilidad de los automóviles, etc. Por otra parte los minerales no energéticos pueden ser importantes tanto a gran escala como a nivel de producto. Un mineral puede ser crucial para una empresa o para un ejército. Finalmente un mineral puede ser importante para un ayuntamiento, una comunidad autónoma o para la economía nacional.

Todo eso hace que en cada caso cuanto más cueste el posible impacto del suministro que depende mucho de su posibilidad de sustitución del mineral en cuestión, más importante es ese mineral.

La segunda dimensión a considerar en la criticidad es la **disponibilidad**. En una primera instancia los recursos minerales se obtienen por métodos mineros y de tratamiento de minerales (suministro primario), sin embargo, una vez los productos que utilizan minerales llegan al final de su vida útil, es posible recuperar por medio del reciclado una gran cantidad de sustancias (suministro secundario). La disponibilidad por lo tanto refleja una serie de consideraciones a medio y largo plazo: geológicas (¿existe el recurso mineral en la naturaleza?), técnicas (¿sabemos cómo extraerlo y procesarlo?), sociales y ambientales (podemos producirlo con un nivel de impacto ambiental que la sociedad considere aceptable y con los efectos sobre las comunidades locales y las regiones que la sociedad adecuados?), políticos (¿cómo afectan las políticas a la disponibilidad de un recurso positiva o negativamente?) y económicas (¿podemos producir un producto de ese mineral a un coste que los consumidores están dispuestos a pagar?).

Además hay que considerar también la fiabilidad del riesgo a corto plazo: ¿es un país vulnerable a interrupciones del suministro debido, por ejemplo, a su dependencia de las importaciones, a que el mercado esté en manos de un pequeño número de productores, a que los mercados sean tan pequeños que no pueden responder con rapidez a cambios tecnológicos o a cambios significativos en las políticas públicas que cortan el suministro o aumentan el coste?.

En las dos dimensiones de la criticidad el tiempo es un factor muy importante. A corto plazo (unos pocos años o menos) o a medio plazo (menos de 10 años), tanto los usuarios de los minerales como los productores tienen más dificultades para responder eficazmente a los cambios en las condiciones de mercado que a largo plazo. Incluso en un período de tiempo determinado algunos minerales serán más importantes que otros en relación con una posible interrupción del suministro.

La figura 5, incluida a continuación ilustra este concepto de la matriz de criticidad. Tal y como se ha comentado, el eje vertical representa el impacto de una restricción del suministro es decir la importancia del uso de un determinado mineral. El eje horizontal representa el concepto de disponibilidad como riesgo de suministro. Se puede evaluar la criticidad de un mineral evaluando la importancia de su empleo y su disponibilidad y situándolo en el gráfico. El grado de criticidad aumenta a medida que nos movemos lejos del origen, tal y como indica la flecha y el aumento en el sombreado. El mineral A por ejemplo, es más crítico que el mineral B. Los minerales presentan diferentes grados de criticidad en función de sus circunstancias particulares.

Metodología de construcción de la matriz de criticidad

A continuación se explica cómo se construye una matriz de criticidad en base al modelo norteamericano.

Eje vertical: importancia de uso, es decir el valor del impacto de una posible restricción del suministro para un determinado mineral. La metodología utiliza una escala relativa del 1 (importancia baja) al 4 (importancia alta) para representar los diferentes grados de importancia del impacto.

El concepto básico para situar un mineral en el eje vertical es la **sustitución**, teniendo en cuenta los dos aspectos siguientes: (1) Escala, donde se tendrán en cuenta los siguientes puntos,

- Producto: Impacto de la posible restricción en el comportamiento de un producto.
- Geográfica: Impacto de la posible restricción sobre la economía local, regional o nacional (o supranacional).
- Estrategia: Impacto de la posible restricción en las prioridades nacionales.

Por ejemplo un mineral que es esencial para la fabricación de un determinado producto tendría una puntuación de 4 para un productor, pero si el sector industrial es sólo una pequeña parte de la economía de un país, tendría una puntuación de 1 desde esa perspectiva.

(2)Tiempo, Cuando más largo sea el tiempo que un usuario tenga para adaptarse a una restricción, menos

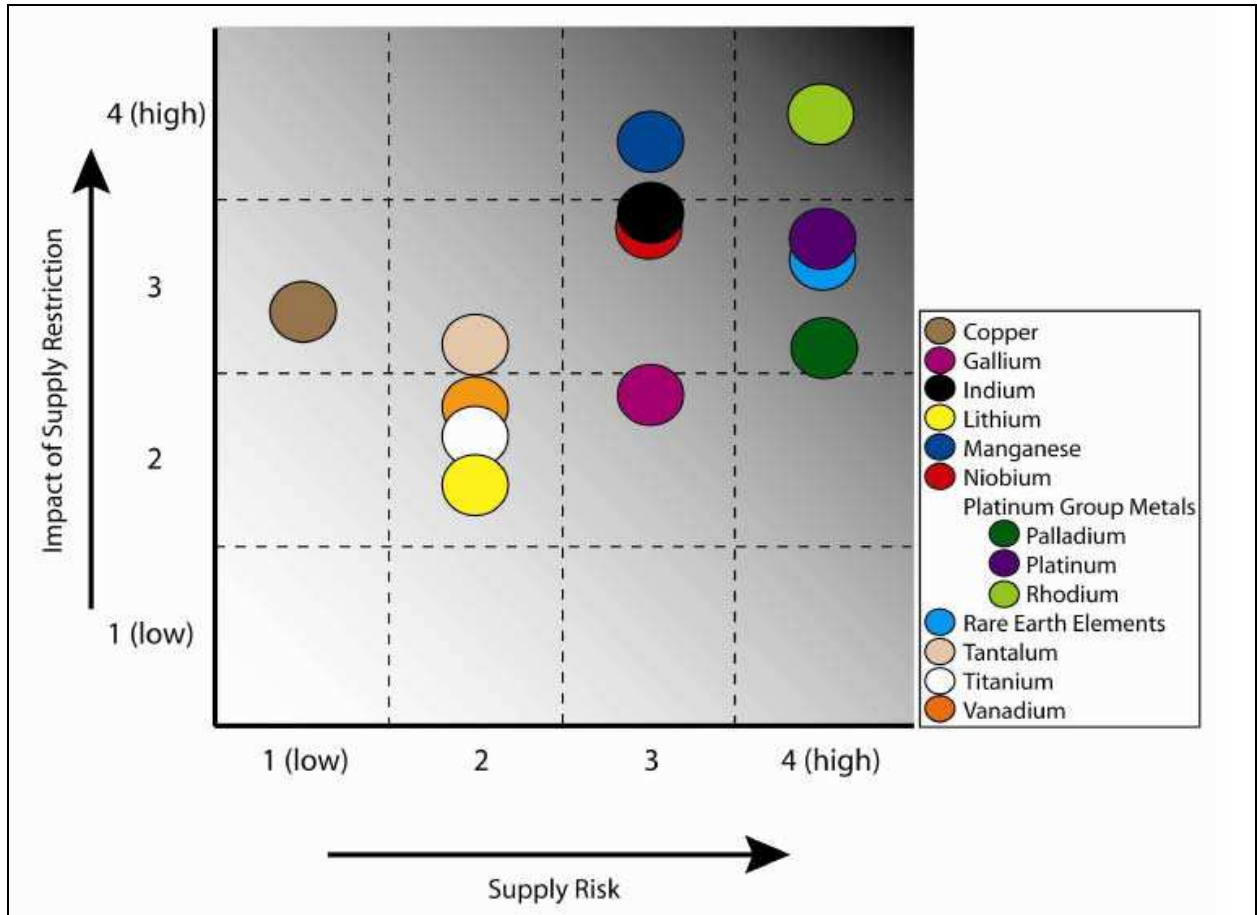


fig 4. Matriz de criticidad de diversas sustancias para los EEUU.

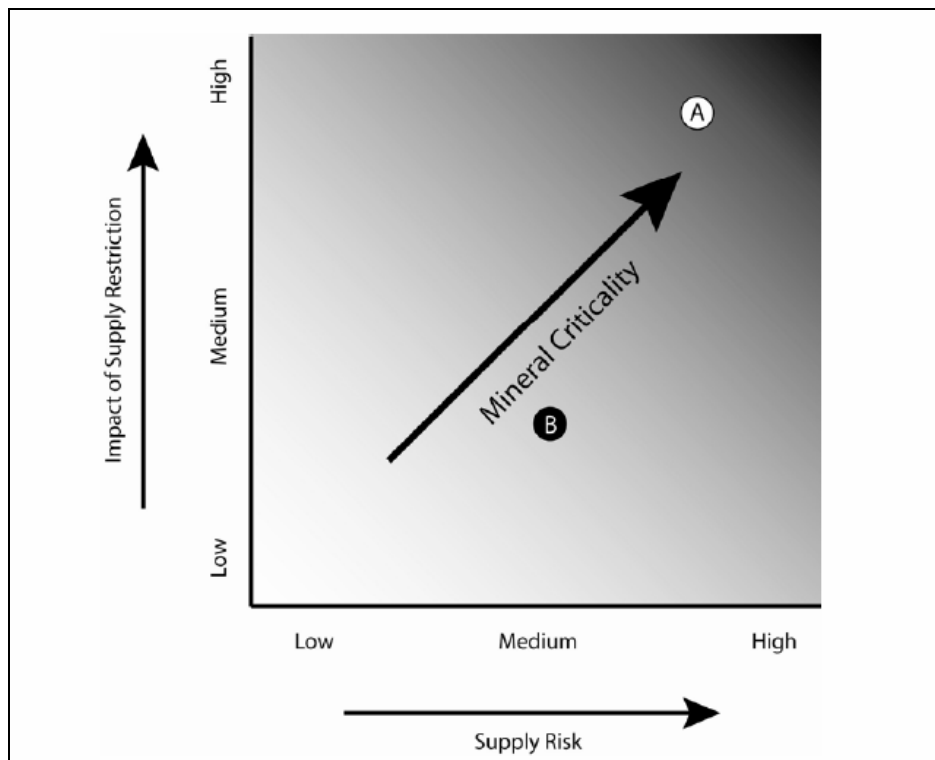


fig 5. Matriz de criticidad.

serán las consecuencias ya que hay tiempo para conseguir sustitutos. El plazo corto a medio es de 1 a 7 años.

Por lo tanto lo primero que hay que establecer es el período a considerar.

La información necesaria para estimar la posición de un determinado mineral en el eje vertical es:

- Consumo (€)
- % del consumo en las aplicaciones existentes para los que la sustitución es difícil o imposible
- Importancia del crecimiento de usos emergentes o novedosos que podría superar las actuales capacidades de producción (1 = bajo, 4 = alto)

Para construir una matriz de criticidad de un determinado mineral hay que combinar sus aplicaciones y los porcentajes de empleo en el mercado de un determinado país

La estimación del impacto de la restricción del suministro se realiza calculando la media ponderada de los puntos 2 y 3 antes citados, es decir:

- Si el 100% del consumo de determinado uso es difícil o imposible de sustituir, el impacto es 4, si el 50% del consumo sería posible sustituirlo por otra sustancia, entonces el impacto es 2, etc.
- Si hay usos emergentes que podrían crecer a corto plazo o que están actualmente creciendo, una cierta cantidad de la actual capacidad de producción podría estar en riesgo de ser absorbida por esos usos emergentes, reduciendo por lo tanto la disponibilidad de recursos para los usos actuales. Si la importancia es baja entonces el valor es 1, si la importancia es elevada entonces el valor es 4.

Con ello se determina la importancia relativa del impacto de una posible restricción del suministro de un mineral para cada aplicación. La escala para

esta estimación varía entre 1 y 4 para cada aplicación, siendo 4 el máximo impacto para cada aplicación en caso de restricción del suministro.

Se calcula así un valor medio para cada mineral con las estimaciones para cada uso, en base a la proporción del consumo utilizado en cada aplicación, tal y como refleja la Tabla 3.

El eje horizontal de la matriz se calcula evaluando para cada sustancia un valor de 1 (bajo riesgo de suministro) a 4 (alto riesgo de suministro) para cada una de las cinco áreas de disponibilidad del mineral y utilizando el valor más alto como valor final:

- Geológica: ¿existe o no existe el recurso mineral?
- Técnica: ¿es posible extraerlo y tratarlo?
- Medioambiental y social: ¿es posible producirlo de un modo medioambiental y socialmente aceptable?
- Política: ¿cómo influyen los gobiernos en la disponibilidad de un recurso por medio de sus políticas y acciones?
- Económica: ¿se puede producir a un coste que los consumidores estén dispuestos a pagar?

Los datos necesarios para situar un mineral en el eje horizontal son:

- **Dependencia de las importaciones en %.** Este dato proporciona un punto de partida para evaluar los riesgos políticos a corto plazo. La dependencia de las importaciones puede exponer a un amplio grupo de industrias nacionales a riesgos políticos, económicos y de otros tipos que varían de acuerdo con la situación particular, incluido el país o países concernidos, la estructura de la industria y otros factores.
- **Relación entre las reservas mundiales y la producción minera.** Nos da una idea de la duración temporal de las reservas en años. No implica

necesariamente que existan instalaciones de extracción operativas.

- **Relación entre los recursos y la producción minera también expresada en años.** Representa una visión a largo plazo de la disponibilidad geológica. Integra aspectos de la disponibilidad geológica, técnica y económica, pero con menos restricciones económicas. Representa la parte de los recursos identificados que son actualmente económicamente explotables (reservas), marginalmente económicos (reservas marginales) y algunos que actualmente son subeconómicos (recursos subeconómicos). Esta información se basa en inventarios de recursos conocidos y en determinadas estimaciones. No se basan en estudios detallados o locales con estudios de factibilidad. Las clasificaciones de reservas y recursos que se emplean no tiene necesariamente que ser las empleadas por los mercados de valores en la estimación de reservas para fines de inversión. Estos ratios proporcionan por lo tanto una indicación de la disponibilidad a largo plazo de un mineral a partir de recursos primarios. Es difícil anticipar el éxito futuro de la exploración, los precios, los costes, los cambios de divisas o los niveles de producción, todo lo cual afectará a esos ratios. La base de datos subyacente puede proporcionar una idea de las perspectivas económicas de las explotaciones existentes, pero los ratios dan poca información sobre las dinámicas del mercado.
- **Producción mundial secundaria en % de la producción primaria mundial.**
- **Producción secundaria del país por reciclado, en % del consumo aparente del país.**
- **Análisis del riesgo ambiental.** Una de las dimensiones del riesgo de suministro tiene que ver con el riesgo ambiental del país, más precisamente

1 Grupo de aplicaciones (uso final del mineral)	2 % del mercado nacional que representa el uso en esas aplicaciones	3 Impacto de una restricción del suministro (1-4)	4 Media ponderada (product de la columna 2 y la 3)
Importancia media			

Tabla 3. Importancia de los diferentes usos.

las medidas ambientales que se toman en los países con la intención de proteger el medio ambiente y que al hacerlo ponen en peligro el suministro de un determinado mineral. Para estimar este valor se puede utilizar el Índice de Comportamiento Medioambiental (EPI) que refleja ese riesgo ambiental que corresponde a cada país. El EPI es un índice que calculan anualmente el Centro Yale para la Ley y Política Ambiental (YCELP) y el Centro Internacional de la Red de Información de Ciencias de la Tierra (CIESIN) de la Universidad de Columbia, en colaboración con el Foro Económico Mundial y la Fundación McCall MacBain (Environmental Performance Index) (figura 6).

CONCLUSIONES

Los minerales críticos son aquellos en los que el riesgo de que se produzca escasez en el suministro de esos minerales y el impacto de esa escasez sobre la economía, es mucho mayor que el de cualquier otra materia prima, por lo tanto un mineral crítico es aquel que es al mismo tiempo imprescindible para

determinada industria y está sometido a una potencial restricción de suministro. La medida de la criticidad de un mineral variará con la evolución de las tecnologías de producción y con el desarrollo de nuevos productos. Cuanto más difícil caro o más tiempo sea necesario para sustituir a un mineral en un determinado uso industrial, más crítico es ese mineral para ese determinado uso o análogamente, mayor es el impacto de la restricción del suministro de ese mineral.

Para poder determinar la criticidad de un mineral se pueden utilizar varias metodologías, siendo las más utilizadas las norteamericanas y las europeas.

En ambos casos se utiliza una matriz que cruza las dos dimensiones de la criticidad de un mineral: la importancia de su empleo y su disponibilidad.

La importancia del uso industrial se basa en los estudios de ciclo de vida de los minerales ya que determinados minerales son más relevantes para determinadas industrias que otros.

La disponibilidad refleja una serie de consideraciones a medio y largo plazo: geológicas, técnicas, sociales y ambientales, políticas y económicas, además hay que considerar también la fiabilidad del riesgo a corto plazo.

En las dos dimensiones de la criticidad el tiempo es un factor muy importante.

Los estudios de criticidad son importantes para poder diseñar la estrategia de un país o de una región, por lo que es importante realizarlos regularmente y aplicar sus resultados en los plazos establecidos en los estudios.

La base de los estudios de criticidad son los estudios de ciclo de vida de los materiales, desgraciadamente en España no se han realizado este tipo de estudios, por lo que se sugiere que, si se pretende diseñar una estrategia para los recursos minerales españoles en el marco de la Iniciativa de las Materias Primas de la UE, sería conveniente analizar los minerales críticos que afectan a las industrias españolas.

EPI Rank strongest performers		EPI Rank strong performers		EPI Rank modest performers		EPI Rank weaker performers		EPI Rank weakest performers						
1	Switzerland	76.69	11	Germany	66.91	47	Georgia	56.84	85	Togo	48.66	121	Tajikistan	38.78
2	Latvia	70.17	12	Slovakia	66.62	48	Australia	56.61	86	Algeria	48.56	122	Eritrea	38.19
3	Norway	69.92	13	Iceland	66.28	49	United States of America	56.59	87	Malta	48.51	123	Libyan Arab Jamahiriya	37.68
4	Luxembourg	69.2	14	New Zealand	66.05	50	Argentina	56.48	88	Romania	48.34	124	Bosnia and Herzegovina	36.76
5	Costa Rica	69.03	15	Albania	65.85	50	Cuba	56.48	89	Mozambique	47.82	125	India	36.23
6	France	69	16	Netherlands	65.65	52	Singapore	56.36	90	Angola	47.57	126	Kuwait	35.54
7	Austria	68.92	17	Lithuania	65.5	53	Bulgaria	56.28	91	Ghana	47.5	127	Yemen	35.49
8	Italy	68.9	18	Czech Republic	64.79	54	Estonia	56.09	92	Dem. Rep. Congo	47.49	128	South Africa	34.55
9	United Kingdom	68.82	19	Finland	64.44	55	Sri Lanka	55.72	93	Armenia	47.48	129	Kazakhstan	32.94
9	Sweden	68.82	20	Croatia	64.16	56	Venezuela	55.62	94	Lebanon	47.35	130	Uzbekistan	32.24
			21	Denmark	63.61	57	Zambia	55.56	95	Congo	47.18	131	Turkmenistan	31.75
			22	Poland	63.47	58	Chile	55.34	96	Trinidad and Tobago	47.04	132	Iraq	25.32
			23	Japan	63.36	59	Cambodia	55.29	97	Macedonia	46.96			
			24	Belgium	63.02	60	Egypt	55.18	98	Senegal	46.73			
			25	Malaysia	62.51	61	Israel	54.64	99	Tunisia	46.66			
			26	Bruce Darussalam	62.49	62	Bolivia	54.57	100	Qatar	46.59			
			27	Colombia	62.33	63	Jamaica	54.36	101	Kyrgyzstan	46.33			
			28	Slavonia	62.25	64	Tanzania	54.26	102	Ukraine	46.31			
			29	Taiwan	62.23	65	Belarus	53.88	103	Serbia	46.14			
			30	Brazil	60.9	66	Botswana	53.74	104	Sudan	46			
			31	Ecuador	60.55	67	Cote d'Ivoire	53.55	105	Morocco	45.76			
			32	Spain	60.31	68	Zimbabwe	52.76	106	Russia	45.41			
			33	Greece	60.04	69	Myanmar	52.72	107	Mongolia	45.37			
			34	Thailand	59.98	70	Ethiopia	52.71	108	Moldova	45.21			
			35	Nicaragua	59.23	71	Honduras	52.54	109	Turkey	44.8			
			36	Ireland	58.69	72	Dominican Republic	52.44	110	Oman	44			
			37	Canada	58.41	73	Paraguay	52.4	111	Azerbaijan	43.11			
			38	Nepal	57.97	74	Indonesia	52.29	112	Cameroon	42.97			
			39	Panama	57.94	75	El Salvador	52.08	113	Syria	42.75			
			40	Gabon	57.91	76	Guatemala	51.88	114	Iran	42.73			
			41	Portugal	57.64	77	United Arab Emirates	50.91	115	Bangladesh	42.55			
			42	Philippines	57.4	78	Namibia	50.68	116	China	42.24			
			43	South Korea	57.2	79	Viet Nam	50.64	117	Jordan	42.16			
			44	Cyprus	57.15	80	Benin	50.38	118	Haiti	41.15			
			45	Hungary	57.12	81	Peru	50.29	119	Nigeria	40.14			
			46	Uruguay	57.06	82	Saudi Arabia	49.97	120	Pakistan	39.56			
					83	Kenya	49.28							
					84	Mexico	49.11							

fig 6. Índice de Comportamiento Medioambiental 2012 (EPI).

REFERENCIAS

- Bauer, D. et al (2010). *Critical Materials Strategy*. US Dpt of Energy. December.
- Bauer, D. et al (2011). *Critical Materials Strategy*. US Dpt of Energy. December.
- DG Enterprise. (2014). *Report on critical raw materials for the EU. Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials*.
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/crm-report-on-critical-raw-materials_en.pdf.
- Environmental Performance Index.
<http://epi.yale.edu/epi>.
- EU COM 699 Communication. (2008). *The raw materials initiative - meeting our critical needs for growth and jobs in Europe*.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0699:FIN:en:PDF>.
- EU COM Enterprise Industry. (2010). *Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials*.
http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf.
- EU COM 25. (2011). *Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Tackling the challenges in commodity markets and on raw materials*.
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2011:0025:FIN:EN:PDF>.
- Mangone, G.J. (1984). *American Strategic Minerals (First Edition)*. 153 pp, Crane Russak & Co. ISBN-10: 0-8448-1462-8 / 0844814628.
- National Research Council (2007). *Mineral, Critical Minerals and the US Economy*. The National Academies Press. Washington, D.C. ISBN13: 978-0-309-11286-4.
http://www.nma.org/pdf/101606_nrc_study.pdf
- Romans, S.F. (2008). *The role of the national defense stockpile in the supply of strategic and critical materials*. Program Research Paper. U.S. Army War College ,122 (handle.dtic.mil/100.2/ADA486768).