



Cuadernos de Estrategia 209  
**Minerales: una cuestión estratégica  
en el siglo XXI**

Instituto  
Español  
de Estudios  
Estratégicos

**ieee.es**  
Instituto Español de Estudios Estratégicos



MINISTERIO DE DEFENSA





Cuadernos de Estrategia 209

**Minerales: una cuestión estratégica  
en el siglo XXI**

Instituto  
Español  
de Estudios  
Estratégicos

**ieeee.es**  
Instituto Español de Estudios Estratégicos



MINISTERIO DE DEFENSA



Catálogo de Publicaciones de Defensa  
<https://publicaciones.defensa.gob.es>



Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado  
<https://cpage.mpr.gob.es>

**publicaciones.defensa.gob.es**  
cpage.mpr.gob.es

Edita:



Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

© Autores y editor, 2022

NIPO 083-22-022-7 (edición impresa)

ISBN 978-84-9091-619-3 (edición impresa)

Cuadernos de Estrategia, ISSN 1697-6924

Depósito legal M-4572-2022

Fecha de edición: febrero de 2022

Maqueta e imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

NIPO 083-22-023-2 (edición en línea)

Las opiniones emitidas en esta publicación son exclusiva responsabilidad del autor de la misma.

Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del copyright ©.

En esta edición se ha utilizado papel 100% libre de cloro procedente de bosques gestionados de forma sostenible.

# ÍNDICE

	Página
<b>Introducción</b>	
<b>¿Es la hora de las materias primas minerales?.....</b>	<b>11</b>
<i>José Luis Parra y Alfaro</i>	
<b>Capítulo primero</b>	
<b>Aspectos geopolíticos de los minerales estratégicos.....</b>	<b>17</b>
<i>María del Mar Hidalgo García</i>	
Introducción.....	19
Producción, dependencia y vulnerabilidad de las principales potencias frente a los minerales críticos.....	21
China.....	25
EE. UU.....	36
Japón.....	43
Unión Europea.....	45
Posicionamiento de las potencias económicas en los nuevos yacimien- tos por explotar: Ártico y minería submarina.....	47
Minería submarina.....	48
Minerales y conflictos.....	50
Minerales no tan limpios para las energías limpias.....	50
El caso de la bauxita.....	53
Afganistán: minería y talibanes.....	55
El oro en el Sahel y yihadistas.....	57
Conclusiones.....	58
<b>Capítulo segundo</b>	
<b>Las materias primas minerales y la transición energética.....</b>	<b>61</b>
<i>Carlos López Jimeno</i> <i>Carmen Mataix González</i>	
Introducción.....	64

	Página
De la primera revolución industrial a la emergencia climática.....	64
El coste material de las tecnologías de energía limpia.....	68
Del carbón energético a la minería de tierras raras .....	78
Las energías renovables o alternativas, y también llamadas limpias.	80
El futuro pasa por la energía nuclear .....	82
<b>Intensidad mineral en el sector energético y la movilidad eléctrica.....</b>	<b>86</b>
Energía eólica.....	87
Energía solar fotovoltaica.....	102
El vehículo eléctrico.....	110
<b>Situación del sector de las tierras raras a nivel mundial.....</b>	<b>116</b>
Las tierras raras y sus aplicaciones actuales.....	116
La producción minera de tierras raras y la demanda reciente.....	123
Reservas mundiales de tierras raras.....	129
<b>Riesgos e incertidumbres.....</b>	<b>137</b>
Minerales críticos para las tecnologías de energía limpia .....	140
El concepto de criticidad.....	140
Materias primas críticas para las energías limpias en la Unión Europea .....	145
Incertidumbres en las trayectorias de demanda.....	149
Riesgos y vulnerabilidades de las cadenas de suministro.....	153
Concentración geográfica y riesgos de suministro .....	154
Largos plazos de desarrollo de los proyectos y riesgo de desequilibrio entre la oferta y la demanda .....	159
Disminución de la calidad de los recursos.....	160
Examen reciente del desempeño ambiental y social (criterios ESG).....	162
<b>Conclusiones.....</b>	<b>166</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>169</b>
<b>Capítulo tercero</b>	
<b>Factores fundamentales de la formación de los precios de las materias primas minerales con visión estratégica internacional .....</b>	<b>175</b>
<i>Luis de la Torre Palacios</i>	
<i>José Antonio Espí</i>	
<b>Introducción.....</b>	<b>178</b>
<b>La economía global de las materias primas minerales (MPM) y los precios.</b>	<b>179</b>
La escasez y los precios.....	179
Los mecanismos en la formación de los precios.....	180
El funcionamiento del mercado.....	182
Los mercados de metales .....	182
El funcionamiento de los mercados de metales.....	184
La demanda de minerales y metales.....	184
Interacción entre precios y demanda.....	186
La oferta de minerales y metales .....	187

	Página
El ciclo de vida del mercado.....	188
Las variaciones de los precios.....	189
La fluctuación de los precios en el largo plazo.....	190
La volatilidad de los precios.....	191
Hacia la estabilidad de precios.....	192
El control de la producción.....	192
Otras formas de buscar la estabilización de precios: los stockpiles nacionales.....	192
El papel de los inventarios.....	193
Buscando una explicación a los ciclos de precios.....	194
La utilización de los precios: los precios reales.....	195
El NSR o precio percibido por el productor inicial.....	196
La predicción de los precios.....	197
<b>Casos relacionados con las estrategias y los precios de las materias pri- mas minerales (MPM).....</b>	<b>198</b>
La roca fosfática, sus precios y los intentos de su manipulación, in- cluyendo el caso de Fosbucraa.....	198
Rasgos fundamentales.....	198
Contexto del caso.....	198
España y los fosfatos del Sahara Occidental.....	199
Los depósitos minerales.....	199
La producción de fosfatos.....	200
Fosbucraa en los mercados internacionales.....	200
La geopolítica en la producción de fosfatos en el último cuar- to del siglo pasado.....	201
Los problemas (geopolíticos) no han cesado hasta hoy.....	203
Resultados.....	204
El oportunismo económico en el abastecimiento de wolframio al III Reich durante la II Guerra Mundial.....	206
Rasgos fundamentales.....	206
Contexto del caso.....	206
Las cifras.....	207
Los suministros de España y Portugal.....	209
Resultados.....	210
Las tierras raras y su producción en clave geopolítica.....	212
Rasgos fundamentales.....	212
Contexto del caso.....	213
La geopolítica en la producción y en la tecnología.....	215
Los problemas (geopolíticos) no han cesado hasta hoy.....	216
Resultados.....	218
<b>Conclusiones.....</b>	<b>219</b>
 <b>Capítulo cuarto</b>	
<b>Casos de estudio: el sentido estratégico en algunos minera- les.....</b>	<b>223</b>
<i>Paula Adánez Sanjuán</i>	
Introducción.....	225
El grupo de los metales o minerales llamados de conflicto.....	226
Tántalo, tantalio o «coltán», metal de conflicto.....	228

	Página
Propósitos fundamentales.....	228
Contexto del caso .....	228
La producción y sus circunstancias.....	228
Los precios.....	230
España y los suministros .....	232
El tántalo como metal de conflicto .....	234
Resultados.....	235
<b>El oro siempre en conflicto.....</b>	<b>236</b>
Propósitos fundamentales.....	236
Contexto del caso .....	237
Importancia del fenómeno .....	237
¿Es el oro un metal de conflicto? .....	237
La producción informal y sus circunstancias.....	238
Importancia del fenómeno .....	239
Oportunidades .....	241
Cuestiones de economía.....	242
Los precios.....	243
España y los suministros .....	244
Resultados: normas y reglamentos internacionales .....	244
<b>Los minerales y metales periféricos .....</b>	<b>246</b>
<b>Los recursos de los fondos marinos y los tratados internacionales ...</b>	<b>246</b>
Legislación en los fondos marinos .....	247
La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA).....	247
Las zonas marítimas .....	248
Particularidades de «La Zona» .....	248
Los fondos marinos como fuentes de recursos minerales .....	250
Exploración de los fondos marinos en España .....	251
Resultados.....	253
<b>Los minerales polares y la salvaguardia internacional .....</b>	<b>253</b>
Cuestiones sobre la minería en la Antártida .....	254
Los recursos minerales en la Antártida .....	254
El Tratado Antártico .....	255
El Polo Norte y los conflictos en el Ártico.....	257
Recursos minerales en el Ártico.....	258
El Consejo Ártico .....	260
Problemas geopolíticos .....	261
El caso de Svalbard.....	261
Groenlandia y problemas relacionados con los recursos mi- nerales.....	262
Conflictos en el norte de Canadá.....	263
La dorsal de Lomonósov .....	263
Papel de España en las investigaciones de las zonas polares.....	264
Resultados.....	265
<b>Los recursos minerales transfronterizos y sus problemas .....</b>	<b>265</b>
La histórica guerra del Salitre .....	265
El salitre y la zona de conflicto.....	266
Por qué era estratégica esa zona.....	266
Los hechos que desataron la guerra .....	268
La situación actual .....	272
El proyecto andino de Pascua-Lama .....	272
Descripción del proyecto .....	273



	Página
El tratado minero .....	275
Desarrollo del conflicto y avance del proyecto.....	276
La causa más probable del conflicto.....	277
Resultados.....	278
<b>Conclusiones.....</b>	<b>278</b>
 <b>Capítulo quinto</b>	
<b>El sector minero español buscando su futuro: estrategias de abastecimiento y de clúster de desarrollo.....</b>	<b>281</b>
<i>José Antonio Espí</i>	
<i>Luis de la Torre Palacios</i>	
Contexto actual de la minería española.....	283
Geología y agrupamiento de yacimientos minerales en España .....	284
Condiciones geológicas de los depósitos minerales en producción	284
Agrupamiento de los yacimientos minerales en producción .....	286
Los minerales no metálicos con valor estratégico (espato flúor y estroncio).....	288
Los proyectos mineros actuales.....	288
Los metales básicos (Cu-Zn-Pb).....	288
Grupo W-Sn-Ta-Li (metales tecnológicos).....	291
Metales preciosos (Au, Ag) .....	294
Los minerales industriales de interés estratégico.....	295
Espato flúor o fluorita .....	296
Estroncio-celestina .....	297
El valor y la importancia de la producción minera española.....	297
El PIB minero español y otros índices.....	297
Niveles estratégicos de la producción minera española.....	298
El sentido europeo de la producción minera .....	305
La sostenibilidad ambiental y social .....	306
Los impulsores clave del sector minero internacional .....	307
La demanda global.....	307
Los minerales de tecnología verde.....	308
Oferta y competencia global.....	308
China como actor clave.....	308
Consideraciones de STRADE (2017).....	309
Compromisos actuales de Europa en materia de materias primas de origen responsable.....	310
Mirando al futuro: visión bajo el modelo de un clúster de desarrollo sostenible.....	310
Búsqueda de un modelo de desarrollo en la actividad minera.....	310
Qué es y cuándo nace el «clúster de distrito y de desarrollo».....	312
Cuáles son las diferencias de los posibles clústeres españoles sobre el modelo más común.....	315
Los principales componentes de un clúster minero .....	316
Aplicación del concepto de clúster de desarrollo sostenible a la minería española.....	317

	<u>Página</u>
De los indicadores de sostenibilidad a un clúster de desarrollo. Aplicación de clústeres como idea de evolución .....	321
<b>Conclusiones</b> .....	322
<b>Composición del grupo de trabajo</b> .....	325
<b>Cuadernos de Estrategia</b> .....	327

## Introducción

### ¿Es la hora de las materias primas minerales?

*José Luis Parra y Alfaro*

Al plantear el título de esta introducción no quisiera que se interpretara como una referencia al oportunismo de un desarrollo económico que estaba esperando desde casi la mitad del pasado siglo, sino al reconocimiento de la vital importancia para la humanidad del suministro seguro de los elementos físicos que perentoriamente necesita para un desarrollo racionalmente equilibrado, lo cual quiere decir aceptado y modulado. Y estos elementos son las materias primas minerales, imprescindibles en la práctica totalidad de las actividades humanas: agricultura, alimentación, medicina, cosmética, medios de transporte, defensa, tecnologías de la información y telecomunicaciones..., y, por supuesto, toda la industria.

Aquí empiezan los conflictos, ya que el crecimiento de la industria primaria después de la Segunda Guerra Mundial, abastecida por el suministro de materias primas, dependía hasta hace no muchos años de la oferta, es decir, de los principales productores, que eran los que fijaban los precios. Esto ha traído como consecuencia una gran cadena de desajustes y una serie de acciones para controlar los mercados. De esta manera, en el capítulo 1 de este estudio, «Aspectos geopolíticos de los minerales estratégicos», María del Mar Hidalgo va revisando de manera general los

aspectos y problemas más relevantes que surgen en el escenario actual vinculados a las materias primas minerales de carácter estratégico.

John E. Tilton<sup>1</sup>, en su trabajo «Our mental models of mineral depletion—and why they matter», nos explica que, tanto los geólogos como los economistas, e incluso los analistas políticos y otros autores, utilizan dos modelos cuando evalúan el agotamiento y la disponibilidad futura de los recursos minerales. El primero, la visión física, se basa en estimaciones de las existencias de los recursos explotables disponibles y de la velocidad con la que es probable que la sociedad los consuma. El segundo, desde el punto de vista económico, utiliza como medida las diferencias de disponibilidad y las tendencias en los precios reales de los productos.

El mismo autor, sin duda el mejor visionario de la economía de los recursos de los últimos años, continúa formulando cuestiones en lo que llama visión física acerca de: ¿cuánto tiempo durarán nuestros recursos disponibles?, ¿cuáles son sus expectativas de vida? Las respuestas a estas preguntas varían de forma significativa en función de las suposiciones hechas con respecto al consumo futuro y las existencias disponibles.

También, acogiéndose al segundo modelo, la visión económica del agotamiento se enfoca en lo que la sociedad tiene que ceder para obtener, por ejemplo, una tonelada de cobalto. De esta manera, los precios de los productos básicos son la medida más utilizada de este coste de oportunidad. Así, por ejemplo, la diferencia entre el precio del oro y la plata evidencia la mayor escasez del primero de estos minerales.

El futuro dependerá, por tanto, de la competencia entre las reducciones de los costes resultantes de la aplicación de las nuevas tecnologías (y tal vez nuevos descubrimientos de yacimientos minerales, tal y como apunta Tilton) y los aumentos de los debidos al agotamiento. Cuando las nuevas tecnologías lleguen a compensar con holgura la presión al alza sobre los costes por agotamiento, los precios reales en el largo plazo tenderán a la baja, lo que señalaría una mayor disponibilidad. Sin embargo, lo que los estudios actuales no encuentran son los productos minerales cuyas tendencias de precios reales a largo plazo sean al

---

<sup>1</sup> J. E. TILTON, 2019. «Our mental models of mineral depletion—and why they matter». *Boletín Geológico y Minero*, 130 (1): 57-65.

alza, lo que indicaría que su aprovechamiento estaría aumentando su escasez.

Siguiendo a este autor, quedémonos con una de sus conclusiones: la corteza terrestre contiene enormes cantidades de todos los productos minerales. «La disponibilidad física no es la restricción relevante. Mucho antes de que el último barril de petróleo, la última tonelada de carbón o la última onza de plata se extrajera de la Tierra, los costes de extracción aumentarían, ahogando la demanda para cada uso final, uno tras otro. Si el agotamiento de minerales se convirtiese en un problema, lo hará empujando los costes hacia arriba y extinguiendo la demanda, no consumiendo las últimas moléculas de petróleo o átomos de plata que queden de la Tierra [...] es el modelo económico, no el modelo físico, el que resulta más útil para evaluar el agotamiento y diseñar políticas públicas a fin de hacer frente a la amenaza que representa para el bienestar futuro de la humanidad».

Entonces, si es así, ¿es útil mencionar a los minerales y metales estratégicos y sus consecuencias geopolíticas? Incluso nos podemos preguntar si tiene sentido hablar de sustancias minerales con valor estratégico. Este estudio va a tratar de dar una respuesta claramente afirmativa a estas cuestiones.

El suministro adecuado y seguro de las materias primas minerales resulta crucial para la industria actual y futura, con el fin de llevar a cabo con éxito la progresiva e intensa penetración de los vehículos eléctricos, que ya han comenzado a tomar posiciones, así como al creciente suministro energético con fuentes renovables. Todo ello se desarrolla con precisión y extensión en el capítulo 2 de este estudio monográfico: «Las materias primas minerales y la transición energética» de Carlos López Jimeno y Carmen Mataix González.

De la comprensión de la problemática que se espera surja en los próximos años en relación con la posibilidad de hacer viable una transición en el transporte en el contexto de una evolución energética, la viabilidad de cadenas de suministros eficientes y seguras es clave para atender el crecimiento de la demanda de materias primas minerales que puedan satisfacer el previsible incremento de vehículos eléctricos a nivel global. La necesidad del almacenamiento de energía lleva siendo un objetivo deseado desde hace muchas décadas. Sin embargo, deberá ser ahora, con una opinión social más decidida y con un sector que comienza a aceptar el reto, cuando la tecnología necesitará emplearse a

fondo para lograrlo de una forma competitiva que satisfaga las necesidades de los consumidores.

J. A. Espí y L. de la Torre, en el capítulo 5 de esta obra, «El sector minero español buscando su futuro: estrategias de abastecimiento y de clúster de desarrollo», buscan una agrupación de las materias primas minerales de una manera acorde con la idea de suministro seguro a unos demandantes que poseen muy distinto origen, y para ello se refieren al grado de interés nacional en su producción. De esta forma, estos autores hablan de «materias primas singularmente estratégicas» para la industria nacional, constituidas fundamentalmente por los materiales de construcción, rocas ornamentales y los recursos minerales necesarios para una parte de la industria química, sin los cuales esta actividad económica no podría llevarse a cabo, o bien encarecería extraordinariamente su producción a causa de los precios del transporte.

Asimismo, en el mismo capítulo, el valor de la producción de algunos metales básicos procedentes de explotaciones de gran calidad y volumen hace aparecer otro grupo («metales básicos españoles»), que es realmente estratégico para el desarrollo, sobre todo regional. Además, estos recursos vienen aparejados con un elevado nivel tecnológico y, en muchos casos, por una acertada visión medioambiental.

La estrategia de la Unión Europea para asegurar el abastecimiento de sus industrias tecnológicas punteras y, sobre todo, colaboradoras en la transición energética, hace que este organismo busque con gran intensidad las sustancias minerales indispensables en las tecnologías asociadas al desarrollo de las nuevas energías («minerales tecnológicos»). El ámbito general y particular de este tipo de abastecimiento también figuran en el capítulo 3, como antes se indicó. Naturalmente, se comprende que, por su relativa escasez, no tanto por su importancia económica, puedan suponer una destacada fuente de conflictos internacionales y que su dominio podría estar en el origen de acciones de índole geopolítica, tal como se avanza en primer lugar en el capítulo 2 y, después, en casi todos los demás capítulos.

El ya mencionado economista y profesor J. Tilton (2001)<sup>2</sup>, figura de referencia en el mundo de la teoría económica de los recursos no renovables, resume la dependencia actual de la econo-

---

<sup>2</sup> J. E. TILTON. *Depletion and the Long-run Availability of Mineral Commodities*. 2001. MMSD.

mía mineral con las características de su origen natural, de la siguiente manera: «Si la sociedad actual fuera sensible acerca de los temas de la escasez mineral, invirtiendo recursos para aumentar la información geológica a fin de determinar mejor la forma de la curva de suministros acumulados, ello podría proporcionar muchos datos de las circunstancias de una posible reducción de los recursos minerales a largo plazo». Es decir, el autor hace un canto a la enorme aportación que un buen conocimiento del medio físico, en este caso geológico, puede proporcionar a la fijación del problema de la definición real del dilema escasez-abundancia de los recursos no renovables de origen mineral.

A pesar de encontrarse el debate abierto desde mediados del siglo pasado, existe un todavía débil conocimiento sobre la existencia real de los minerales tecnológica y económicamente accesibles. Para salir de esta situación, resultaría necesario comenzar mejorando la información geológica en muchos aspectos, desde la precisión de la base cartográfica en zonas prometedoras a la elaboración de modelos más precisos de aparición de mineralizaciones y, sobre todo, de sus controles geológicos. En este orden de cosas, destaca la actividad del Servicio Geológico Norteamericano (USGS), que avanza en la metodología de predicción de recursos minerales aún no descubiertos, siempre sobre una concepción amplia, así como de los modelos metalogenéticos y los condicionantes relacionados, tanto con su aparición o descubrimiento como con las circunstancias prácticas de su aprovechamiento real y económico.

La generación de los precios de las materias primas minerales, fruto de las variaciones oferta-demanda y de las estimaciones sobre la seguridad del suministro, se abordan en el capítulo 3, «Factores fundamentales de la formación de los precios de las materias primas minerales con visión estratégica internacional», presentando una serie de casos históricos ilustrativos. En este capítulo se han tratado de describir los actores, mecanismos y sistemas que concurren en la formación de los precios de estas materias, así como la incidencia de los acontecimientos de tipo político en donde a veces se desenvuelven. Como continuación natural, aparece el capítulo 4, de Paula Adánez, «Casos de estudio: el sentido estratégico en algunos minerales», que complementa la visión anterior a la vez que muestra otros problemas, como los ligados a los recursos ahora inaccesibles, pero de enorme trascendencia geopolítica, tal que los recursos de fondos marinos o de situación geográfica periférica.

Al comparar los sectores industriales, la minería constituye un caso particular. Este aspecto se refleja, más aún, cuando se habla de sostenibilidad y economía circular. Si existían ciertas dudas sobre la aplicación de la sostenibilidad en la minería, la aparición del concepto de desarrollo sostenible fue eliminando esas incógnitas. Se ha demostrado en las últimas décadas que la necesidad de materias primas ahora va acompañada de forma ineludible de los aspectos ligados al tratamiento de la naturaleza y a la relación con la población potencialmente afectada, lo que en conjunto se viene denominando «la licencia social». Así, las últimas políticas de materias primas de la UE, la Iniciativa de Materias Primas y otros documentos posteriores (EC, 2008), incorporan el comercio justo y sostenible de materias primas en los mercados globales, el suministro sostenible de materias primas desde dentro de la UE, la eficiencia de los recursos y la aportación de las materias primas secundarias a través del reciclaje, entre otros aspectos.

En conjunto, el presente estudio trata de dar luz a una cuestión esencial para el desarrollo de nuestra sociedad, de acuerdo a los actuales estándares de la sostenibilidad, en sus tres aspectos inseparables: ambiental, económico y social.



## Capítulo primero

### Aspectos geopolíticos de los minerales estratégicos

*María del Mar Hidalgo García*

#### Resumen

Los minerales, al igual que el agua, el petróleo o el gas, son recursos estratégicos muy preciados, origen de muchos conflictos y también de grandes desigualdades. La dependencia del exterior de ciertas materias primas y de las cadenas de suministro es una preocupación creciente de las principales potencias debido al aumento de la demanda de determinados minerales como consecuencia del auge de las energías renovables y de los avances tecnológicos. La excesiva concentración en determinados países, como China, añadirá complejidad al mercado, ya que podría ser utilizada como herramienta geopolítica con graves implicaciones desde el punto de vista de la seguridad internacional. Además, la explotación de ciertos minerales también está ligada a la financiación de grupos terroristas, lo que constituye un problema creciente, por ejemplo, en la zona del Sahel, con consecuencias sobre la estabilidad, el empobrecimiento de los países de la zona y las inversiones extranjeras.

#### Palabras clave

Minerales críticos, litio, tierras raras, oro, energías renovables, recursos naturales.

## Geopolitical aspects of strategic minerals

### Abstract

*Minerals, like water, oil or gas, are highly precious strategic resources, the origin of many conflicts and also great inequalities. Dependence from abroad on certain raw materials and supply chains is a growing concern of the main powers due to increased demand for certain minerals related to green energy and high technology. In addition, excessive concentration in certain countries, such as China, will add complexity to the market since it could be used as a geopolitical tool with serious implications from the point of view of international security. In addition, the exploitation of certain minerals is also linked to the financing of terrorist groups, which constitutes a growing problem, for example, in the Sahel area with consequences on stability, the impoverishment of the countries in the area and foreign investment. .*

### Keywords

*Critical minerals, lithium, rare earths, gold, renewable energy, natural resources*

## Introducción

En el contexto mundial actual, caracterizado por el avance hacia la descarbonización de la economía y la llamada «cuarta revolución industrial», el acceso a determinados materiales críticos se ha transformado en una competición que no hace sino reflejar los intereses geopolíticos de las grandes potencias. La pandemia de la COVID-19, además, ha puesto de manifiesto las vulnerabilidades del suministro de materias primas consideradas clave para la seguridad nacional y la competitividad económica.

Estas materias críticas son imprescindibles para el desarrollo de las energías renovables y la movilidad eléctrica. Por ejemplo, elementos pertenecientes al grupo de las tierras raras, como el neodimio, disprosio y praseodimio, están implicados en la fabricación de imanes permanentes que se utilizan en turbinas eólicas de alto rendimiento. El galio, el germanio e indio son componentes importantes para la energía solar fotovoltaica (PV), mientras que el cobalto y el litio son necesarios para la fabricación de baterías utilizadas en los vehículos eléctricos.

La implantación de la inteligencia artificial, la expansión del 5G y el avance de las aplicaciones tecnológicas van a suponer toda una revolución en un futuro cercano y un aumento de la demanda de determinados minerales. La tecnología 5G permitirá el establecimiento de redes y el tránsito de enormes volúmenes de datos requeridos en el nuevo modelo de conectividad que afectará tanto al comercio de bienes y servicios como a la educación, al transporte o el ocio. Pero esta revolución 5G no será posible sin la utilización de ciertos elementos, como por ejemplo el cesio<sup>1</sup>.

En 2017, en el informe del Banco Mundial *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*<sup>2</sup> se estimaba que la demanda de algunos minerales necesarios para desarrollar la energía solar fotovoltaica podría aumentar en un 300% hasta 2050, si la comunidad internacional se mantiene en el camino correcto para cumplir con sus 2 °C<sup>3</sup>. De manera similar, se espera que la demanda de minerales como cobalto, litio y tierras raras crezca a un ritmo sin precedentes, debido a su papel estratégico

<sup>1</sup> <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-most-critical-metal-in-the-5g-revolution-301045853.html>

<sup>2</sup> <https://documents1.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf>

<sup>3</sup> <https://www.iisd.org/story/green-conflict-minerals/>

en la producción de turbinas eólicas, vehículos eléctricos y almacenamiento de energía.

En abril de 2021, la Agencia Internacional de la Energía publicó un informe titulado *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, en el que se señala que para conseguir los objetivos del acuerdo se estima que la demanda de ciertos minerales críticos llegue a cuadruplicarse.

Durante los próximos años, se estima que la demanda de algunas tierras raras será superior al suministro futuro, lo que puede producir un incremento de la competición entre Europa, Estados Unidos, China y las economías emergentes para garantizar el acceso a estos recursos. En este escenario, la dependencia de estos recursos y la seguridad de su suministro tienen un impacto directo en los intereses geopolíticos de las grandes potencias.

A menos que se encuentren medios alternativos para aumentar la obtención de esos materiales, mediante una mayor recuperación y reciclaje, el desarrollo de alternativas o una mayor producción de fuentes adicionales, esta demanda aumentará las vulnerabilidades potenciales de las cadenas de suministro.

Aunque estos elementos están distribuidos por toda la corteza terrestre, algunos se encuentran concentrados en unas regiones específicas. Por ejemplo, aproximadamente la mitad del suministro mundial de cobalto proviene de la República Democrática del Congo (RDC); más del 80 por ciento de la oferta mundial del litio proviene de Australia, Chile y Argentina; y el 60 por ciento del suministro mundial de manganeso proviene de Sudáfrica, China y Australia. En particular, más del 85 por ciento de la oferta mundial de los elementos de tierras raras provienen de China<sup>4</sup>. Este último grupo de elementos químicos ha cobrado un gran protagonismo en las últimas décadas. Olvidados durante años en los estudios de química —ya que se consideraban de interés científico pero de escasa aplicabilidad— son ahora el centro de una batalla comercial y geopolítica puesto que se han convertido en unas materias primas muy codiciadas porque son imprescindibles para el progreso tecnológico.

Desde hace algunas décadas, algunos países, e incluso la UE, han elaborado listas que recogen cuáles son los materiales que son críticos en función de su utilidad, cantidad, dependencia, la volatilidad de los precios y la estabilidad del país proveedor.

---

<sup>4</sup> [https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/210311\\_Nakano\\_Critical\\_Minerals.pdf?DR03x5jIrwLnNjmPDD3SZjEkGEZFEcgt](https://csis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/publication/210311_Nakano_Critical_Minerals.pdf?DR03x5jIrwLnNjmPDD3SZjEkGEZFEcgt)

EE.UU. y Japón fueron los primeros en establecer estas listas en 2008. Posteriormente, fue la UE quien en 2011 comenzó a realizar estos estudios. Sin embargo, estas listas son una foto fija de un momento concreto, por ello es necesario actualizarlas de forma periódica para recoger todos los cambios que afectan a la disponibilidad y a la utilización de los materiales críticos.

### **Producción, dependencia y vulnerabilidad de las principales potencias frente a los minerales críticos**

La seguridad de la cadena de suministro de minerales y materiales necesarios para el desarrollo de las energías limpias, la cuarta revolución industrial y las tecnologías de seguridad y defensa se ha convertido en un problema estratégico para las principales potencias económicas. Sin embargo, a pesar de que esta preocupación es generalizada, hay diferencias en función de los perfiles de producción, estructuras industriales y, por supuesto, el nivel de ambición que cada potencia presenta para ocupar los primeros puestos del ranking económico mundial.

La mayor preocupación de las principales potencias económicas, como EE.UU., la UE y Japón, es la dependencia del exterior de ciertas materias primas y de las cadenas de suministro, que pueden ser susceptibles de ser utilizadas como herramienta geopolítica por parte de su principal rival: China. Por lo que respecta a EE.UU., la UE y Japón, su preocupación está enfocada a los efectos de las interrupciones del suministro en su competitividad industrial y en la transformación verde y digital. Y para China, su preocupación se basa, principalmente, en la contaminación que producen las explotaciones de su territorio y en su consolidación de la BRI (Belt and Road Initiative) como vía para el intercambio tecnológico y su expansión comercial.

El sector de la defensa también muestra preocupación por la disponibilidad y seguridad el suministro de materias primas, teniendo en cuenta la creciente demanda y la posibilidad de que se produzcan interrupciones que alteren el comercio. También el sector de la defensa se ve sometido a la presión de la sociedad para que adapte sus capacidades e instalaciones para alcanzar los compromisos climáticos y de sostenibilidad<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> [https://www.researchgate.net/publication/306103223\\_Critical\\_Raw\\_Materials\\_and\\_UK\\_Defence\\_Acquisition\\_The\\_Case\\_of\\_the\\_Rare\\_Earth\\_Elements](https://www.researchgate.net/publication/306103223_Critical_Raw_Materials_and_UK_Defence_Acquisition_The_Case_of_the_Rare_Earth_Elements)

Por este motivo, las principales economías están evaluando la seguridad de sus cadenas de suministro de minerales y están estableciendo estrategias específicas acordes con sus intereses económicos y geopolíticos en un mundo que avanza hacia la descarbonización y al progreso tecnológico. Podría afirmarse que, si los combustibles fósiles marcaron la geopolítica y los principales conflictos del siglo xx, en el siglo xxi la lucha mundial por los recursos vitales, como el agua y determinados minerales, marcarán la competencia entre las potencias en la era de las energías renovables, con profundas consecuencias para el comercio mundial de estos recursos naturales.

La transición hacia la descarbonización —necesaria para cumplir el objetivo de no superar el aumento de temperatura de 1,5 °C, tal y como se contempla en el acuerdo de París<sup>6</sup>—, puede que no esté exenta de los mismos problemas generados en el pasado por la dependencia del petróleo.

Según se recoge en el informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE) *El papel de los minerales críticos en las transiciones hacia la energía limpia*<sup>7</sup>, un automóvil eléctrico típico requiere una cantidad seis veces mayor de minerales que un vehículo convencional impulsado por combustibles fósiles. Entre estos, se incluyen el cobre para el cableado eléctrico, el cobalto, el grafito, el litio y el níquel necesarios para garantizar el rendimiento, la duración y la densidad de energía de la batería. Además, los elementos de tierras raras serán esenciales para los imanes permanentes instalados en los motores del vehículo eléctrico.

Según la AIE, a medida que la descarbonización se acelera a nivel mundial, los mercados de ciertos minerales necesarios para llevar a cabo esta transición podrían estar sujetos a la volatilidad de los precios, la influencia geopolítica e incluso interrupciones en el suministro. El aumento de la demanda de determinados minerales y su alta concentración en determinados países añadirán complejidad al mercado e incluso el informe señala que el mundo se podría enfrentar a una escasez significativa de materiales críticos. Por citar un ejemplo, la demanda de litio en 2040 podría ser cincuenta veces mayor que la actual. En cuanto a la concentración de los yacimientos y los problemas de acceso en un futuro,

<sup>6</sup> [https://unfccc.int/files/meetings/paris\\_nov\\_2015/application/pdf/paris\\_agreement\\_spanish\\_.pdf](https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_spanish_.pdf)

<sup>7</sup> <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

la IAE destaca el caso de la República Democrática del Congo (RDC), que suministra, actualmente, más del 80% del cobalto del mundo<sup>8</sup>.

El cobalto es un componente clave de las baterías de iones de litio. Rara vez se encuentra en depósitos únicos, por lo que normalmente se obtiene como un subproducto de la minería de cobre y níquel. La concentración de la producción mundial en la República Democrática del Congo, principalmente en lo que se conoce como el «cinturón de cobre» de la provincia de Katanga, supone una gran vulnerabilidad para el comercio y el acceso a este elemento por parte de las principales potencias económicas, máxime cuando esta provincia alberga reivindicaciones secesionistas<sup>9</sup>.

El informe de la IAE también destaca la alta concentración de las reservas de litio, que se encuentra principalmente en dos países, Argentina y Chile, que en conjunto representan casi el 80% de las reservas mundiales, mientras que cuatro países, Argentina, Chile, República Democrática del Congo y Perú, proporcionan la mayor parte de cobre<sup>10</sup>.

El litio es el metal más ligero conocido y es un componente principal de las baterías de iones que se utilizan en la mayoría de los vehículos eléctricos. Aunque está presente tanto en depósitos de arcilla como en compuestos minerales, rara vez se encuentra en concentraciones fáciles de extraer, aunque también se puede extraer de la salmuera en áreas como el salar de Uyuni de Bolivia, el salar más grande del mundo<sup>11</sup>. En la actualidad, aproximadamente el 53% del litio del mundo proviene de Australia, otro 21% de Chile, el 10% de China, el 8% de Argentina y porcentajes más pequeños de otros lugares<sup>12</sup>. Una empresa estadounidense, Lithium Americas, está a punto de emprender la extracción de cantidades significativas de litio de un depósito de arcilla en el norte de Nevada, pero se encuentra con la resistencia de los ganaderos locales y los nativos americanos, que temen la contaminación de sus suministros de agua<sup>13</sup>.

---

<sup>8</sup> *Ibidem*.

<sup>9</sup> <https://www.reuters.com/article/uk-congo-security-idUKKBN26H007>

<sup>10</sup> <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

<sup>11</sup> <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-51666362>

<sup>12</sup> <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

<sup>13</sup> <https://www.forbes.com/sites/rpapier/2020/12/13/the-worlds-top-lithium-producers/?sh=3b006ee05bc6>

Mongolia también se está convirtiendo en un objetivo para la exploración y extracción de litio, aparte de sus yacimientos más conocidos de carbón, cobre y oro. Con reservas confirmadas de al menos 203 000 toneladas de litio, Mongolia se encuentra entre las fuentes potenciales más importantes del mundo<sup>14</sup>. Los depósitos de litio confirmados se concentran en gran medida en el sureste de Mongolia, más cerca de proyectos chinos como Baotou, en Mongolia Interior. Cabe destacar el papel de las inversiones canadienses en la minería del litio en Mongolia, ya que en 2017 se otorgó una de las mayores licencias a la empresa ION Energy, fundada ese mismo año con el único propósito de obtener una licencia de exploración de litio en esa región<sup>15</sup>. Los sitios asignados a ION Energy están ubicados en el desierto de Gobi, un lugar ideal por las altas tasas de evaporación necesarias para la extracción de salmuera de litio<sup>16</sup>.

En cuanto a la producción minera mundial de tierras raras, aproximadamente el 58% se realizó en China, el 16% en EE.UU., el 12,5% en Myanmar y el 7% en Australia<sup>17</sup>. Entre este grupo de elementos químicos, se encuentran varios que son esenciales para el futuro de las energías renovables, como el disprosio, lantano, neodimio y terbio. Cuando se utilizan como aleaciones con otros minerales, permiten mantener la magnetización de los motores eléctricos en condiciones de alta temperatura, un requisito clave para los vehículos eléctricos y las turbinas eólicas.

Según ha declarado Fatih Birol, director ejecutivo de la AIE, la alta demanda de minerales críticos puede convertirse en un cuello de botella para la descarbonización, ya que los planes de suministro e inversión de hoy para muchos minerales críticos están muy por debajo de lo que se necesitaría para respaldar un despliegue acelerado de paneles solares, turbinas eólicas y vehículos eléctricos<sup>18</sup>. Por otro lado, la utilización de los minerales estratégicos como arma de guerra comercial por parte de China podría interrumpir la fabricación de una amplia gama de bienes de consumo, industriales y militares.

<sup>14</sup> <https://canadiandimension.com/articles/view/the-poland-of-northeast-asia-mongolia-lithium-frontier> (fecha de consulta: 25 de junio de 2021).

<sup>15</sup> *Ibidem*.

<sup>16</sup> <https://goodelectronics.org/lithium-and-the-geopolitics-of-mongolia/>.

<sup>17</sup> <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-rare-earths.pdf>.

<sup>18</sup> <https://www.iea.org/news/clean-energy-demand-for-critical-minerals-set-to-soar-as-the-world-pursues-net-zero-goals>



Sin embargo, superar los obstáculos del aumento de la producción de minerales no será nada fácil. Para empezar, el lanzamiento de nuevas empresas mineras puede resultar extraordinariamente caro y entrañar numerosos riesgos. Las empresas mineras pueden estar dispuestas a invertir miles de millones de dólares en un país como Australia, con un marco legal estable y donde pueden esperar protección contra futuras expropiaciones o guerras. Por el contrario, en otros países con grandes reservas de minerales críticos, se encuentran en territorios en donde las condiciones de seguridad y la inestabilidad de las instituciones suponen un grave riesgo para la realización de nuevas inversiones, como por ejemplo sucede en Afganistán, la República Democrática del Congo o Myanmar. En este último caso, la situación de inestabilidad surgida a raíz del golpe de estado ocurrido en febrero de 2021 ya ha generado preocupaciones sobre la disponibilidad futura de sus tierras raras y ha provocado un aumento en los precios<sup>19</sup>.

## China

China depende cada vez más de las importaciones de ciertos minerales para desarrollar sus industrias emergentes estratégicas. China importa el 95 % del cromo, el 90 % de cobalto, el 79 % del oro, el 73 % del cobre y el 73 % del mineral de hierro. Esta elevada dependencia en las importaciones representa un gran riesgo para China<sup>20</sup>.

China también juega un papel clave en la cadena de suministro global de las tecnologías que se emplean en las energías renovables, en las que se emplean minerales como el cobalto, el níquel o el litio<sup>21</sup>.

El crecimiento de la industria minera de China puede entenderse como una parte de la transformación que está teniendo lugar en el país. Durante las últimas décadas, China está dejando su economía basada en las exportaciones para llegar a convertirse en el destino de muchos de los minerales que se extraen por todo el mundo<sup>22</sup>. Según su 14.º Plan Quinquenal, presentado en marzo

<sup>19</sup> <https://www.greencarcongress.com/2021/04/20210402-roskillmyanmar.html>

<sup>20</sup> <https://www.globaltimes.cn/content/1110397.shtml>

<sup>21</sup> <https://www.wsj.com/articles/theres-a-global-race-to-control-batteriesand-china-is-winning-1518374815>

<sup>22</sup> <https://www.somo.nl/wp-content/uploads/2021/06/Chinas-global-mineral-rush.pdf>

de 2021, China «fortalecerá la gestión y el control» de sus recursos minerales estratégicos<sup>23</sup>.

China se ha convertido en un proveedor dominante en todas las listas de «minerales críticos» que las diferentes potencias han elaborado durante los últimos años en función de sus necesidades estratégicas, lo que le otorga una ventaja competitiva y estratégica sobre los materiales que se utilizan en sectores clave como el de las energías renovables o el de defensa. En la lista de la UE, China es la mayor fuente de importaciones de 10 minerales. Entre los 24 minerales críticos identificados por el Gobierno australiano en su informe *Critical Minerals Prospectus 2020*, China figura como el mayor productor de 11 de ellos. También en la Lista de Riesgos de Reino Unido, China es el principal productor de 23 minerales. Y en el caso de EE.UU., de los 35 minerales clave, China figura como el mayor proveedor para 13 de ellos y como mayor productor de 19 de estos materiales<sup>24</sup>.

Es posible que China no produzca cantidades significativas de cobalto o níquel, pero representa aproximadamente el 65% del cobalto procesado del mundo y el 35% de su níquel procesado. Y aunque China produce el 11% del litio del mundo, es responsable de casi el 60% del litio procesado<sup>25</sup>. Además, China está reforzando su control sobre el suministro global de manganeso procesado, utilizado en la fabricación de acero y necesario para los mayores fabricantes de vehículos eléctricos del mundo. China produce más del 90% de los productos de manganeso del mundo, que van desde aditivos para fortalecer el acero hasta compuestos para baterías<sup>26</sup>.

Sin embargo, cuando se trata de elementos de tierras raras, China domina de manera asombrosa. Las tierras raras son un activo estratégico en el ámbito industrial y en los planes de desarrollo económico de China. Además, desde hace algunos años, China ha dejado de ser meramente un exportador de tierras raras para convertirse en un fabricante de productos finales, lo que supone añadir valor a su economía. No solo proporciona el 60% de las materias primas del mundo, sino casi el 90% de los REE

<sup>23</sup> <https://www.reuters.com/article/us-china-parliament-steel-idUSKBN2AX0CR>

<sup>24</sup> <https://www.globalsecurity.org/wmd/library/news/china/2021/05/china-210530-voa01.htm>

<sup>25</sup> <https://iea.blob.core.windows.net/assets/278ae0c8-28b8-402b-b9ab-6e45463c273f/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>

<sup>26</sup> <https://www.wsj.com/articles/china-hones-control-over-manganese-a-rising-star-in-battery-metals-11621597490>

procesados<sup>27</sup>. En pocas palabras, no hay forma de que Estados Unidos u otros países puedan emprender una transición masiva de los combustibles fósiles a una economía basada en energías renovables sin comprometerse económicamente con China. Sin lugar a dudas, se harán esfuerzos para reducir el grado de esa dependencia, pero no hay una perspectiva realista de eliminar la dependencia de China para las tierras raras, el litio y otros materiales clave en el futuro previsible. Desde un punto de vista geopolítico, esta dependencia es utilizada por China en las negociaciones sobre todos los asuntos que mantiene con EE.UU. y otros países<sup>28</sup>.

La concentración en la producción y en el procesado de las tierras raras es una gran vulnerabilidad para el resto de potencias económicas, como quedó demostrado en 2010, en el que China redujo las exportaciones un 40% argumentando problemas medioambientales. Esta maniobra comercial tuvo como consecuencia una fuerte subida de precios de los elementos por lo que la UE, EE.UU. y Japón pusieron una demanda ante la Organización Mundial del Comercio (OMC) en 2012 exigiendo la retirada de las restricciones a la exportación de tierras raras. Este suceso también marcó el comienzo de una colaboración entre las tres potencias demandantes para hacer frente a su alta dependencia de las tierras raras de China. Dicha colaboración estaba centrada en la innovación aplicada a la sustitución de estos elementos por otros de propiedades similares, la diversificación del suministro, la conservación, la reutilización y reciclaje de estos elementos. Finalmente, en 2014 la OMS emitió su veredicto: China debía de eliminar los controvertidos derechos de exportación, decisión que se llevó a cabo el 1 de mayo de 2015.

Además de la decisión de China de restringir las exportaciones, en septiembre de 2010, también se materializó otro de los grandes temores relacionados con la alta vulnerabilidad que suponía la alta dependencia de las tierras raras de China: la utilización del comercio de las mismas como herramienta coercitiva en sus relaciones geopolíticas. En esa ocasión, China boicoteó las exportaciones a Japón de estos minerales debido a un incidente cerca

<sup>27</sup> <https://www.fpri.org/article/2020/10/chinas-monopoly-on-rare-earth-elements-and-why-we-should-care/>

<sup>28</sup> [https://www.instituteforenergyresearch.org/international-issues/biden-plans-to-import-critical-minerals-needed-for-forced-energy-transition/?\\_\\_cf\\_chl\\_captcha\\_tk\\_\\_=pmd\\_31397a31d16fd5c046983e48a6fa183d4e9c87b0-1627575139-0-gqNtZGzNAYKjcnBszQni](https://www.instituteforenergyresearch.org/international-issues/biden-plans-to-import-critical-minerals-needed-for-forced-energy-transition/?__cf_chl_captcha_tk__=pmd_31397a31d16fd5c046983e48a6fa183d4e9c87b0-1627575139-0-gqNtZGzNAYKjcnBszQni)

de las islas de Senkaku/Diaoyu, en el mar de China Oriental, consideradas una fuente de disputa territorial entre ambos países.

A pesar de esta posición ventajosa de la que, de momento, disfruta China en relación a la producción y procesado de tierras raras, también se enfrenta a una mayor demanda de minerales relacionados con las energías limpias y la tecnología. En este sentido, también es necesario mencionar que la Belt and Road Initiative con la que China pretende enlazar Eurasia, África alcanzando también al continente sudamericano, requiere cantidades crecientes de minerales considerados como críticos. Esta ruta de conexión, que va más allá de los espacios físicos de tierra, aire y mar, está caracterizada por una conectividad digital basada en la inteligencia artificial y en la tecnología.

China no cesa tampoco en su empeño de buscar la justificación para poder restringir sus exportaciones de las materias primas estratégicas. Recientemente, se ha aprobado una ley que permite la restricción de exportaciones de material sensible para proteger la seguridad nacional, lo que ha levantado la sospecha de que, entre estos materiales, se encuentren las tierras raras y otros minerales<sup>29</sup>. Este anuncio de restringir exportaciones alegando motivos de seguridad puede ser considerado como la respuesta a una postura similar estadounidense<sup>30</sup>. La seguridad nacional se ha convertido, por tanto, en un elemento con un gran poder disruptivo en el mercado de los minerales estratégicos y se puede deducir que China y EE. UU. comparten la visión de que los minerales estratégicos son una cuestión de seguridad nacional<sup>31</sup>.

A medida que China se consolida como potencia mundial, también lo hace su influencia en las organizaciones internacionales. A este respecto, cabe destacar la mayor presencia en las instituciones de estandarización como la ISO (International Organization for Standardization). Hasta la fecha, la creación de normas era un terreno dominado principalmente por EE. UU., UE y Japón. Sin embargo, con la aparición de las nuevas tecnologías, como el 5G, la inteligencia artificial, las *smart cities* o el internet de las cosas, China ocupa cada vez más un papel destacado en el estableci-

---

<sup>29</sup> <https://www.china-briefing.com/news/chinas-new-export-control-law-restrictions-imposed-23-items-technology/>

<sup>30</sup> <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-10-17/china-lawmakers-pass-export-control-law-protecting-vital-tech>

<sup>31</sup> <https://www.mining.com/web/the-impact-of-critical-minerals-on-national-security/>

miento de las nuevas normas en el que aparezcan criterios que reflejen sus propios intereses. Esta situación puede considerarse un objetivo más de la estrategia geopolítica comercial de China en relación con las nuevas tecnologías, la utilización de materiales críticos y su interés en desarrollar su Belt and Road Initiative (BRI). De esta forma, también ejerce su influencia a través del reconocimiento mutuo de la normativa empleada por China y por los países por los que transcurre la iniciativa<sup>32</sup>, lo que facilita las transacciones comerciales.

La batalla del 5G también será la batalla por la obtención de minerales necesarios para llevar a cabo esta revolución tecnológica. Entre ellos cabe destacar el cesio<sup>33</sup>, sobre el que, de momento, China también parece tener una posición de ventaja en su obtención. Solo hay tres minas de pegmatita en el mundo que pueden producirlo: Tanco, en Manitoba (Canadá); Bikita, en Zimbabue; y Sinclair, en Australia. Dos de ellas, Tanco y Bikita, ya no producen, y las existencias de Tanco y Sinclair están en gran parte controladas por China<sup>34</sup>. Puede que en un futuro no muy lejano, y a medida que sea viable la explotación de otros yacimientos como el proyecto Lilypad de Canadá<sup>35</sup>, China pierda esta posición privilegiada.

China necesita aumentar las importaciones de materiales críticos, por lo que está incrementando sus inversiones en proyectos mineros a escala global. Con una creciente dependencia de las importaciones, el Gobierno chino debe mejorar la seguridad del suministro, como se ha demostrado en los últimos años.

Al igual que otras potencias, China tiene dos opciones: aumentar la producción nacional o mediante la importación. En el primer caso, existen cada vez más obstáculos para llevar a cabo la expansión aumentando la producción nacional, principalmente por problemas de contaminación. En las provincias alrededor de Beijing, hasta un 30% de la capacidad de producción alúmina de China podría cerrarse para combatir la contaminación. Se está produciendo un «cambio de paradigma ambiental» en China, y la

<sup>32</sup> <https://www.ifri.org/en/publications/notes-de-lifri/china-and-new-geopolitics-technical-standardization>

<sup>33</sup> <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-most-critical-metal-in-the-5g-revolution-301045853.html>

<sup>34</sup> <https://www.prnewswire.com/news-releases/the-most-critical-metal-in-the-5g-revolution-301045853.html>

<sup>35</sup> <https://www.newsfilecorp.com/release/65894/Avalon-Reactivates-Lilypad-CesiumTantalumLithium-Project-North-of-Thunder-Bay-ON>

llamada Iniciativa de Desarrollo de la Minería Verde es solo una parte de este cambio<sup>36</sup>.

Para China, la otra forma de aumentar la seguridad del suministro es aumentar el control de las empresas chinas en las operaciones mineras en el extranjero. Sin embargo, este proceso es lento, aunque continuado. En la década de los noventa, este control en el extranjero era alrededor del 0,1 %-0,2 %, aumentando hasta el 3 % en 2018. En comparación, en 2013 las empresas australianas controlaban casi el 10 % y las canadienses el 8 % del valor total de la producción mundial de minas no combustibles, dos o tres veces más que las empresas de China<sup>37</sup>.

Los inversores chinos han estado particularmente interesados en tres metales: mineral de hierro, cobre y oro. En 2018 había 10 minas de mineral de hierro, 20 minas de cobre (algunas de las cuales también producían cobalto) y 14 minas de oro operando y controladas total o parcialmente por inversores chinos. Había otras 2 minas de zinc/plomo y 4 de bauxita. Todos los demás minerales/metales —cromita, litio, manganeso, níquel, niobio, fosfatos, uranio y metales del grupo del platino—, en conjunto representaron las diez minas restantes<sup>38</sup>.

Este control de la producción minera por parte de inversores chinos en el extranjero fue de 21 500 millones de dólares en 2018. El cobre, junto con el cobalto, representaba 8000 millones de dólares, lo que los convierte, con mucho, en los metales más importantes. El mineral de hierro, con una inversión de 4900 millones, es el segundo metal más importante, seguido del oro y la bauxita con 1900 y 1400 millones de dólares, respectivamente. Cabe destacar que la bauxita, la materia prima del aluminio, representa solo el 7 % del valor total, pero es el metal de más rápido crecimiento, 14 veces más que en 2014<sup>39</sup>.

Se pueden identificar tres áreas geográficas principales en las que se ha producido la expansión china:

- África austral y, recientemente, África occidental.

<sup>36</sup> Xu Huang *et al.* « Status and Achievement of the Green Mine in China ». International Conference on Geological and Environmental Sciences IPCBEE vol. 36(2012).

<sup>37</sup> Ericsson, M., Löf, O. & Löf, A. Chinese control over African and global mining—past, present and future. *Miner Econ* 33, 153–181 (2020). <https://doi.org/10.1007/s13563-020-00233-4>

<sup>38</sup> *Ibidem.*

<sup>39</sup> *Ibidem.*

- Alrededor de la Cuenca del Pacífico, incluidos Australia, Canadá y, en años más recientes, América Latina.
- En los países vecinos, incluidos Mongolia, Laos, Corea del Norte, Myanmar y Tayikistán y Vietnam.

Australia y el sur de África son las áreas objetivo más importantes para las inversiones mineras chinas. Hay dos razones principales para esto: en primer lugar, son zonas que disponen de grandes recursos, en particular de mineral de hierro y cobre, que están en el foco de los inversores chinos y hay muchas oportunidades de inversión; en segundo lugar, están geográficamente relativamente cerca de China. Además, en Australia existe una comunidad minera joven capaz de llevar a cabo proyectos de exploración arriesgados y que puede ser atractivos para muchos inversionistas.

Por lo que respecta a África, en 2018 China controlaba menos del 7% del valor de la producción minera africana total, ya que los principales sectores en los que ha invertido China son el de transporte y el de energía. Las inversiones chinas en la minería africana de minerales no combustibles entre 1995 y 2018 han contribuido al crecimiento de la producción, pero también han aumentado el control chino sobre la producción de minerales y metales africanos<sup>40</sup>.

Desde un punto de vista histórico, los recursos minerales de África han constituido un objetivo para comerciantes, gobiernos y empresas. Durante el siglo xx, los intereses europeos y norteamericanos dominaron la minería africana, pero a principios del siglo xxi parece que ha comenzado una nueva lucha por África. El rápido crecimiento de la demanda china de minerales y los vastos recursos sin explotar de África han atraído la inversión extranjera china en la exploración y minería.

La adquisición de Sinosteel, de la mina de cromita Dilokong en Sudáfrica, en 1997 marcó el inicio de la inversión china en la minería africana<sup>41</sup>. Sin embargo, este no fue el primer contacto entre mineros africanos y chinos. Como anécdota, cabe mencionar que en 1904, a raíz de las guerras de los bóeres, se produjo una escasez de trabajadores en las minas de oro de Sudáfrica. En los dos años siguientes, se contrataron un total de 64 000 tra-

---

<sup>40</sup> *Ibidem*.

<sup>41</sup> [https://www.researchgate.net/publication/343130269\\_Chinese\\_control\\_over\\_African\\_and\\_global\\_mining-past\\_present\\_and\\_future](https://www.researchgate.net/publication/343130269_Chinese_control_over_African_and_global_mining-past_present_and_future)

bajadores chinos, que representaban el 34 % del número total de trabajadores en las minas no cualificados<sup>42</sup>.

Los trabajadores chinos fueron tratados como una mercancía internacional y permanecieron con un contrato de tres años con condiciones en principio similares a las de la mano de obra migrante africana. En 1907, el riesgo de tener como inmigrantes a un gran grupo de trabajadores chinos cuando finalizara su contrato resultó ser un motivo de preocupación, así que, tras la victoria en las elecciones de los generales bóeres Smuts y Botha todos los trabajadores chinos fueron repatriados a China cuando terminaron sus contratos. Tuvieron que pasar cien años para que los mineros chinos regresaran a Sudáfrica<sup>43</sup>.

Un factor clave detrás de la ambición de los inversores chinos en África es la mejora de la colaboración intergubernamental entre China y los países africanos. En la Cumbre de Beijing de 2018 se adoptó una declaración y un plan de acción del Foro sobre Cooperación China-África, con el objetivo de promocionar la cooperación China-África y una mayor implementación de la Belt and Road Initiative (BRI) en la región<sup>44</sup>. De hecho, las inversiones chinas anuales destinadas a la exploración en África durante la última década representaron el 12,3 % del presupuesto total de exploración en 2020, frente al 8,1 % en 2011<sup>45</sup>.

Las empresas chinas controlan el 28 % de la producción de cobre africana gracias a su sólida posición, principalmente en la República Democrática del Congo, pero también en Zambia. El control sobre la producción de cobalto por parte de empresas chinas identificadas es superior al 41 %<sup>46</sup>.

Si el valor de la producción minera controlada en África en 2018 se calcula sobre la base de una empresa, la empresa china más grande con diferencia es China Moly, que controla alrededor de 1300 millones de dólares (1,5 % del valor total de la producción africana). La CNMC, en segundo lugar, controla unos 440 millo-

---

<sup>42</sup> *Ibidem.*

<sup>43</sup> *Ibidem.*

<sup>44</sup> [http://focacsummit.mfa.gov.cn/eng/hyqk\\_1/t1594297.htm](http://focacsummit.mfa.gov.cn/eng/hyqk_1/t1594297.htm)

<sup>45</sup> <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/chinese-foreign-mining-investment-8212-china-s-private-sector-eyes-low-cost-regions-63066809>

<sup>46</sup> *Ibidem.*



nes de dólares (0,5%), seguida de Zijin y Minmetals, cada una con unos 400 millones de dólares, y Jinchuan, con 250 millones de dólares<sup>47</sup>.

Aunque se hayan extraído y exportado toneladas de minerales a todo el mundo, los inversores chinos saben que todavía hay una gran cantidad de depósitos por explorar y descubrir en África. África del Sur y Central parecen ser las zonas que atraen la mayor parte del interés de los inversores chinos, aunque también han mostrado interés en la región de África Occidental, que es conocida por sus ricos recursos de oro y aluminio. Pero en comparación con el sur y el centro de África, la inestabilidad social y política de esta región ha creado incertidumbre, lo que ha resultado en la percepción de mayores riesgos para los inversores mineros chinos<sup>48</sup>.

El control chino sobre la producción de cobalto en la República Democrática del Congo es motivo de especial preocupación, dada la gran participación de la República Democrática del Congo en la producción mundial total y el papel crucial del cobalto en las tecnologías de baterías para una transición global hacia un futuro libre de combustibles fósiles. En el caso de la República Democrática del Congo, sin embargo, hay un gran número de pequeños mineros artesanales. Su producción es a veces comprada por comerciantes chinos y pequeñas empresas, por lo que se podría argumentar que el control real chino es mayor<sup>49</sup>, e incluso existen sospechas de que la explotación minera por parte de las compañías chinas no sé está realizando de una forma adecuada, ya que no pagan impuestos ni respetan los intereses de las poblaciones locales. Estas sospechas han sido motivos de denuncia, por lo que se están investigando las acusaciones de explotación ilícita contra las empresas chinas en la provincia de Kivu del Sur, lo que ha motivado la suspensión de su actividad hasta que se aclaren los hechos<sup>50</sup>. Por su parte, el Gobierno chino ha mostrado su acuerdo con la medida tomada y ha condenado cualquier actividad relacionada con la minería ilegal e incluso ha amenazado con sancionar a sus propias empre-

<sup>47</sup> *Ibidem*.

<sup>48</sup> <https://www.bakermckenzie.com/en/insight/publications/2020/01/china-partnership-with-african-mining-sector>

<sup>49</sup> M. Ericsson *et al.*, *op. cit.*

<sup>50</sup> <https://www.aa.com.tr/en/africa/dr-congo-probe-claims-of-illicit-mining-against-chinese-companies/2365930>

sas si no cumplen la legislación de la República Democrática del Congo<sup>51</sup>.

En Eritrea, donde no hay otras empresas mineras activas, las empresas chinas comparten el control con el Gobierno de Eritrea (60/40). En la República de Guinea, las empresas chinas controlan el 37% de la producción minera nacional total. Estas cifras son obviamente más altas que en Zambia y la República Democrática del Congo, aunque el valor total de la minería en Zambia y la República Democrática del Congo es mucho más alto que en Guinea y Eritrea. La minería también significa considerablemente menos para la economía total de Eritrea y Guinea que en Zambia y la República Democrática del Congo<sup>52</sup>.

China también ha mantenido cooperación en el campo de la minería con Sudán, por un gran potencial y amplias perspectivas, lo que ha sido calificado como «la edad de oro de la minería sudanesa»<sup>53</sup>. Tras la firma del Memorando de Entendimiento sobre Cooperación en la Industria Minera por el Ministerio de Tierras y Recursos de China y el Ministerio de Minerales de Sudán en 2010, el Servicio Geológico de China ha realizado estudios geoquímicos de cinco bloques en los estados de Kassala y del mar Rojo en colaboración con expertos en minería sudaneses. Siguiendo esta línea, en octubre de 2020 la empresa china Wanbao Sahara Mining Co., Ltd. y el Ministerio de Energía y Minería firmaron un contrato de concesión de exploración y producción en Sudán. Con este acuerdo se pretende convertir la colaboración minera en un nuevo motor del crecimiento económico de Sudán a la vez que China obtiene sus recursos minerales. Por su parte, las empresas chinas operarán de acuerdo con las leyes y regulaciones locales, incluida la protección ambiental y la vigilancia de seguridad, y respetar las costumbres locales y cumplir activamente con sus responsabilidades sociales corporativas. Mientras tanto, la parte china espera que la parte sudanesa cree un entorno empresarial más propicio para las operaciones comerciales y de inversión de las empresas chinas. Todo ello con el sello característico de la estrategia *win-win* y de la cooperación práctica que emplea China en sus relaciones comerciales<sup>54</sup>.

<sup>51</sup> <https://qz.com/africa/2059378/china-will-punish-its-own-companies-if-they-break-laws-in-the-drc/>

<sup>52</sup> M. Ericsson *et al.*, *op. cit.*

<sup>53</sup> <http://images.mofcom.gov.cn/sd/201911/20191112060246244.pdf>

<sup>54</sup> <http://sd.china-embassy.org/eng/dshd/t1824429.htm>

Arabia Saudí es otro país en el que China ha puesto expectativas de inversión para la obtención de minerales, aprovechando las ventajas que aquel país está ofreciendo para convertir el sector minero como el tercer sector industrial más importante de su economía en 2030. Prueba de ello es que, en 2020, el Servicio Geológico de China firmó un contrato de exploración geoquímica por valor de 56 millones de dólares con Arabia Saudita, lo que lo convierte en el proyecto de estudio geológico internacional más grande jamás adjudicado a China a través de una licitación internacional<sup>55</sup>.

Por lo que respecta a América Latina, la participación de las empresas mineras chinas aumentó del 2% en 2011 al 6,4% en 2020<sup>56</sup>. China ha invertido más de 180 millones de dólares en la minería de níquel venezolana y 580 millones en otros servicios de minería más generales. Chile y Perú también están en el punto de mira de las inversiones chinas en relación a la extracción de cobre. Ambos países suministran el 55% del cobre de China. La empresa estatal china Chinalco tiene una participación mayoritaria en las minas de cobre peruanas Toromocho y La Bambas. Xinjiang TBEA de China también ha adquirido una participación del 49% en la industria del litio de Bolivia<sup>57</sup>.

En el sudeste asiático, las empresas también han construido una importante infraestructura minera. Cabe destacar que Myanmar proporciona más de la mitad de las tierras raras refinadas importados por China<sup>58</sup>.

Por lo que respecta a Europa, las empresas chinas poseen 25 activos<sup>59</sup>. Uno de los más recientes es la adquisición de las minas de cobre y oro de Bor y Tymok por parte de la empresa china Zijin en Serbia<sup>60</sup>, que constituye una pieza más del Plan de la Ruta de la Seda de los Balcanes, que a su vez es una parte de la BRI.

<sup>55</sup> <https://www.globaltimes.cn/content/1203914.shtml>

<sup>56</sup> <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/chinese-foreign-mining-investment-8212-china-s-private-sector-eyes-low-cost-regions-63066809>

<sup>57</sup> <https://www.worldenergytrade.com/metales/mineria/la-expansion-global-de-china-en-busqueda-de-minerales-raros>

<sup>58</sup> <https://www.irrawaddy.com/news/burma/illegal-rare-earth-mines-china-border-multiply-since-myanmars-coup.html>

<sup>59</sup> <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/chinese-foreign-mining-investment-8212-china-s-private-sector-eyes-low-cost-regions-63066809>

<sup>60</sup> <https://www.argusmedia.com/en/news/2008469-chinas-zijin-to-buy-timok-copper-mine-in-serbia>

Es posible que las empresas chinas se enfrenten a crecientes desventajas políticas debido a las crecientes tensiones geopolíticas, en particular en el sudeste asiático entre Estados Unidos y China. De hecho, de forma paulatina se está observando una disminución del gasto en exploración de las empresas chinas en Canadá, el sudeste asiático y Australia. En 2011, estas tres regiones representaron el 22,5% del presupuesto total de exploración de China, incluido el gasto nacional. En 2020, la participación total de las tres regiones se redujo al 5,6%<sup>61</sup>.

EE. UU.

EE.UU. es uno de los países mineros con más tradición y más avanzados del mundo, no solo por su producción de carbón, oro, cobre y otros metales, sino también porque algunas de sus compañías figuran en los primeros puestos del ranking de empresas mineras más importantes del mundo<sup>62</sup>.

En la última actualización de la lista de minerales críticos publicada en 2018<sup>63</sup>, se incluyen 35 que son fundamentales para la seguridad económica y nacional del país como las tierras raras o materiales comunes como el aluminio, el estaño o el magnesio.

Según un análisis de las estadísticas publicadas por el Servicio Geológico de EE.UU., China tiene una posición dominante en el suministro de 21 de estos 35 minerales críticos<sup>64</sup>. Para estos minerales, China es la mayor fuente de importaciones estadounidenses, o tiene los depósitos más grandes del mundo o es el mayor productor. Aunque Estados Unidos está buscando formas de impulsar la producción nacional de algunos de los materiales, para 14 de ellos depende totalmente de las importaciones extranjeras, la mayoría de las cuales involucran a China. El arsénico, que se utiliza en una amplia gama de productos electrónicos, es un ejemplo de esta dependencia, ya que Estados Unidos importa alrededor del 91% de su suministro de China<sup>65</sup>.

<sup>61</sup> <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/chinese-foreign-mining-investment-8212-china-s-private-sector-eyes-low-cost-regions-63066809>

<sup>62</sup> <https://www.pwc.com/gx/en/energy-utilities-mining/assets/mine-2021/pwc-mine-2021.pdf>

<sup>63</sup> <https://www.usgs.gov/news/interior-releases-2018-s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us-national-security-and>

<sup>64</sup> <https://theconversation.com/the-us-is-worried-about-its-critical-minerals-supply-chains-essential-for-electric-vehicles-wind-power-and-the-nations-defense-157465>

<sup>65</sup> [https://www.voanews.com/a/east-asia-pacific\\_voa-news-china\\_studies-reveal-chinas-dominant-position-high-tech-minerals/6206341.html](https://www.voanews.com/a/east-asia-pacific_voa-news-china_studies-reveal-chinas-dominant-position-high-tech-minerals/6206341.html)

El cesio, utilizado en una amplia gama de procesos de fabricación, es otro de los metales con una alta dependencia de China. Solo hay tres minas de pegmatita en el mundo que pueden producir cesio. Hasta 2019, EE.UU. dependía por completo de una mina canadiense de cesio. Pero, ese año, los propietarios estadounidenses de la mina la vendieron a Sinomine Resource Group de China. Ahora China controla las tres minas de cesio del mundo<sup>66</sup>.

Estados Unidos también depende de China para el suministro de tierras raras. A pesar de que produjo el 16 % del suministro mundial de tierras raras en 2020 en su mina Mountain Pass, el mineral debe enviarse a China para convertirlo en componentes y productos que luego se envían de regreso a Estados Unidos. Estados Unidos importa alrededor del 80 % de sus necesidades de tierras raras de China. Los recursos medidos e indicados de tierras raras en Estados Unidos se estiman en 2,7 millones de toneladas<sup>67</sup>. Si bien Estados Unidos tiene reservas de elementos de tierras raras en California y otros estados occidentales, esas reservas no han sido explotadas por los bajos costos de producción en China, debido a una regulación ambiental menos exigente.

El cobalto es otro elemento que representa una vulnerabilidad para EE.UU. En la actualidad, EE.UU. depende de las importaciones de cobalto para el 76 % de sus necesidades y extrae en territorio nacional solo el 1 % del cobalto del mundo. Los recursos de cobalto identificados de Estados Unidos se estiman en alrededor de 1 millón de toneladas, y la mayoría de estos recursos se encuentran en Minnesota<sup>68</sup>.

Esta dependencia del suministro exterior en estos minerales y en otros materiales han sido motivo de preocupación para los distintos Gobiernos estadounidenses. Desde que el presidente Biden asumió el cargo, y al igual que durante la administración de Donald Trump, las prioridades económicas de EE.UU. están enfocadas en abordar las vulnerabilidades del suministro exterior, proteger la seguridad nacional y promover la fabricación nacional. De hecho, con la administración Trump se aprobaron una serie de leyes al considerar que la dependencia excesiva del pro-

---

<sup>66</sup> <https://oilprice.com/Energy/Energy-General/Cesium-The-Most-Important-Metal-Youve-Never-Heard-Of.html>

<sup>67</sup> <https://www.cnbc.com/2021/04/17/the-new-us-plan-to-rival-chinas-dominance-in-rare-earth-metals.html>

<sup>68</sup> <https://www.americanexperiment.org/can-mining-in-minnesota-reduce-child-labor-in-the-congo/>

cesamiento chino de las tierras raras era emergencia nacional<sup>69</sup>. Biden continúa en esta misma línea, buscando un enfoque más específico y coordinado que el de la administración anterior. Con la estrategia de «desacoplamiento económico de China» —iniciada por Trump y continuada por Biden— también se pretende otorgar fondos federales para desarrollar cadenas de suministro críticas y cooperar con aliados y socios, tanto en el ámbito bilateral como en marcos multilaterales, para abordar los problemas de las cadenas de suministro<sup>70</sup>. Con este objetivo, en abril de 2021 se presentó al Congreso la ley conocida como «American Critical Minerals Independence 2021», que pretende promover la explotación doméstica, la investigación, el desarrollo y el procesado de los minerales críticos para garantizar la seguridad económica y la seguridad nacional<sup>71</sup>.

En junio de 2021, la Casa Blanca publicó un amplio informe titulado *Building resilient supply chains, revitalizing american manufacturing, and fostering broad-based growth. 100-Day Reviews under Executive Order 14017*, en el que se analizaban las cadenas de suministro que son fundamentales para los intereses estadounidenses<sup>72</sup>. El informe recoge varios estudios por varios departamentos: Energía, Comercio, Defensa, Sanidad y de Asunto sociales.

Uno de los apartados de dicho informe está dedicado a los minerales que son considerados críticos. En él se describen una serie de recomendaciones importantes para mejorar la resistencia de la cadena de suministro y garantizar la disponibilidad de minerales y materiales clave, especialmente aquellos críticos para el desarrollo las baterías avanzadas y otras tecnologías empleadas en las energías renovables, como el litio, cobalto, níquel, cobre y elementos de tierras raras<sup>73</sup>.

Entre las recomendaciones presentadas en el informe se incluyen aumentar la actividad de EE. UU. en toda la cadena de suministro de minerales estimulando la demanda desde abajo. También el

---

<sup>69</sup> <https://www.defensenews.com/congress/2020/10/01/trump-executive-order-on-rare-earths-puts-material-risk-in-spotlight/>

<sup>70</sup> <https://www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2021/05/Enhancing-US-Japan-Cooperation-on-Global-Supply-Chains.pdf>

<sup>71</sup> <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/2637/text>

<sup>72</sup> <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2021/06/100-day-supply-chain-review-report.pdf>

<sup>73</sup> <https://energypost.eu/bidens-major-report-on-critical-minerals-supply-domestic-mining-processing-innovation-evs-global-allies-more/>

apoyo a la innovación —especialmente en el reciclado de minerales—, la ampliación de la explotación minera y de procesamiento a nivel nacional para minerales clave, y la colaboración estrecha con sus socios en todo el mundo son algunas de las recomendaciones que se recogen en el informe.

Debido al creciente interés en las tierras raras, se ha realizado un esfuerzo en mejorar la seguridad de las cadenas de suministro en EE.UU., siendo el Departamento de Defensa el que ha demostrado un mayor interés en llevarlo a cabo. En 2020, este departamento financió los estudios de viabilidad e ingeniería para el procesado de tierras raras en la mina de Pass Mountain en California —la única que produce estos minerales dentro de EE.UU.—, con unas ayudas por un valor entre los 5 y 20 millones de dólares<sup>74</sup>. También la Agencia de Logística de Defensa incrementó el alcance del fondo de desarrollo rápido de las sales de las tierras raras para expandir la producción a 20 toneladas por año de neodimio y praseodimio<sup>75</sup>. Además de estas ayudas, el Departamento de Defensa ha firmado varios acuerdos tecnológicos, entre los que hay que destacar el firmado con MP Materials para construir una instalación de separación y procesado de las tierras raras ligeras por un valor de 9,6 millones de dólares; con TDA Magnetics de Rancho Domínguez en California, por un valor de 2,3 millones; y con la Urban Mining Company, de San Marcos en Texas, para el estudio de la cadena de suministro de tierras raras<sup>76</sup>.

Por lo que respecta a una posible interrupción de suministro de materias primas en el sector energético, a pesar de que no tendría unas consecuencias a corto plazo, sus efectos se verían a largo plazo, afectando al desarrollo futuro de las energías limpias, al cumplimiento de los objetivos de descarbonización y a una cuestión esencial como es el liderazgo tecnológico de los EE.UU. Todo ello implica que la administración Biden está buscando un enfoque holístico y no solo la propuesta de soluciones

---

<sup>74</sup> Timothy Puko, «Pentagon Invests in Strategic Metals Mine, Seeking to Blunt Chinese Dominance», *Wall Street Journal*, April 26, 2020, [https://www.wsj.com/articles/pentagon-invests-in-strategic-metals-mine-seeking-to-blunt-chinese-dominance-11587924001?mod=article\\_inline](https://www.wsj.com/articles/pentagon-invests-in-strategic-metals-mine-seeking-to-blunt-chinese-dominance-11587924001?mod=article_inline)

<sup>75</sup> «DOD Announces Rare Earth Element Awards to Strengthen Domestic Industrial Base», US Department of Defense, November 17, 2020, <https://www.defense.gov/Newsroom/Releases/Release/Article/2418542/dod-announces-rare-earth-element-awards-to-strengthen-domestic-industrial-base>

<sup>76</sup> «DOD Announces Rare Earth...», *op. cit.*

específicas para la disminuir la vulnerabilidad de las cadenas de suministro.

La administración de Biden ha anunciado el objetivo revolucionario para 2035 de eliminar por completo la dependencia de Estados Unidos de combustibles no renovables para la generación de electricidad, apostando principalmente por la energía solar y eólica<sup>77</sup>. Según las proyecciones recogidas en el informe anteriormente mencionado, electrificar el 20 % de la flota de vehículos ligeros de EE.UU, que utilizan baterías de litio supondrá un aumento del 25 % de la producción de níquel, un 49 % de litio y un 22 % de cobalto, en relación con lo extraído en 2019. Si en lugar del 20 % se extrapola al 100 % de toda la flota, estos porcentajes aumentan al 127 %, 245 % y 114 %, respectivamente. Pero, además de un aumento en la obtención de estos minerales, la administración de Biden ha propuesto ayudas y medidas fiscales, con las que se pretende atraer al sector de la fabricación de baterías para incentivar la fabricación del vehículo eléctrico en territorio nacional. Con esta estrategia, Biden también pretende reducir el aumento del desempleo que se ha generado como consecuencia de la pandemia<sup>78</sup>. Inicialmente, el plan se basará en metales importados de Canadá, Australia y Brasil, entre otros, para suministrar las materias primas necesarias para ayudar a alcanzar los objetivos libres de carbono.

Además de estas inversiones para mejorar la cadena de suministros en su propio territorio, EE.UU. también está empleando sus armas diplomáticas para mejorar la gobernanza del sector minero y aumentar la resiliencia de las cadenas de suministro relacionadas con el sector energético. Una de estas iniciativas ha sido la creación, en junio de 2019, de la iniciativa ERGI (Energy Resource Governance Initiative), que se basa en tres pilares: fomentar una gobernanza responsable en los países ricos en recursos minerales relacionados con el sector de la energía, mejorar la resiliencia de las cadenas de suministro y satisfacer la alta demanda de minerales que requerirán las energías limpias un futuro, teniendo en cuenta también los impactos negativos que se pueden originar en los países ricos en recursos minerales. Con esta iniciativa, Estados Unidos pretende compartir su

<sup>77</sup> <https://www.forbes.com/sites/melissaholzberg/2021/05/06/biden-wants-clean-electricity-by-2035-a-pandemic-driven-fall-in-solar-jobs-complicates-that/?sh=686ba6bc689b>

<sup>78</sup> <https://www.nasdaq.com/articles/exclusive-biden-looks-abroad-for-electric-vehicle-metals-in-blow-to-u.s.-miners-2021-05-25>



experiencia en minería con los países miembros para ayudarlos a descubrir y desarrollar sus minerales, como el litio, el cobre y el cobalto, así como asesorar sobre los marcos de gestión y gobernanza para ayudar a garantizar que sus industrias sean atractivas para los inversores internacionales.

Transcurridos unos meses desde su creación, la ERGI contaba en septiembre de 2019 con el apoyo de nueve países: Australia, Botswana, Perú, Argentina, Brasil, República Democrática del Congo, Namibia, Filipinas y Zambia. En diciembre de ese año se unía también Canadá, y en el futuro puede que también se unan la Unión Europea, Japón o algunos países de Asia en los que se espera una fuerte demanda de minerales en el sector energético<sup>79</sup>. Con estas colaboraciones, el Gobierno estadounidense pretende tener el control de toda la cadena de valor del sector del vehículo eléctrico, a la vez que evita los riesgos de la alta dependencia de China tanto en materias primas como en los productos manufacturados, como por ejemplo las baterías<sup>80</sup>.

Por otro lado, EE.UU. en junio de 2021 EE.UU. se ha convertido en el país número 79 del foro intergubernamental IGF (Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development), demostrando su compromiso con la necesidad de establecer una adecuada gobernanza en los países productores de recursos minerales, de tal manera que la actividad mineral contribuya a reducir la pobreza, promueva el crecimiento, la inclusión y el desarrollo social y el respeto al medioambiente<sup>81</sup>.

Estas colaboraciones con socios en el exterior para la exploración y extracción de los recursos mineros demuestran que el desarrollo de proyectos mineros a nivel nacional es una opción menos viable para la administración de Biden —aunque no descartable—, teniendo en cuenta la presión de las asociaciones medioambientales.

Esta apuesta por el respeto al medio ambiente quedó patente desde los primeros meses de la presidencia de Joe Biden con la suspensión de proyectos como el oleoducto Keystone XL. En relación con la minería, los proyectos mineros de Alaska pueden verse afectados, e incluso suspendidos, como la mina Pebble

<sup>79</sup> <https://www.reuters.com/article/us-usa-minerals-idUSKBN23930I>

<sup>80</sup> <https://energypost.eu/bidens-major-report-on-critical-minerals-supply-domestic-mining-processing-innovation-evs-global-allies-more/>

<sup>81</sup> <https://www.igfmining.org/announcement/united-states-joins-igf-mining/>

—cerca de la cabecera de la bahía de Bristol—, por su potencial para dañar el salmón, las orcas y otros animales salvajes<sup>82</sup>.

Sin embargo, esta protección del medio ambiente no significa que Biden descarte la explotación de recursos propios, sino que quiere asegurarse de que dichos proyectos minerales críticos se desarrollen con los más altos estándares de protección ambiental y que se realicen de manera responsable para poder obtener el litio, el cobalto y el níquel que son necesarios para la producción de baterías para vehículos eléctricos<sup>83</sup>. Y prueba de ello es la revisión de la legislación minera que se están llevando a cabo<sup>84</sup>.

En cuanto a las inversiones mineras que EE.UU. está realizando en el exterior, además de Canadá, Australia y Latinoamérica, conviene destacar la inversión en África, rica en minerales necesarios para acelerar el proceso de Estados Unidos en su propia transición energética, como por ejemplo litio, cobalto, cobre, tantalio y estaño<sup>85</sup>.

En términos de política exterior, el aumento de la presencia de Estados Unidos en África representa un contraataque estratégico a la influencia china, en medio de una guerra comercial en curso entre las dos superpotencias económicas. La creación de la iniciativa Prosper Africa<sup>86</sup> es un ejemplo del interés del Gobierno estadounidense de favorecer inversiones privadas y transacciones comerciales para el crecimiento sostenible del continente. Hasta la fecha, las empresas chinas han podido extender con éxito su influencia en este continente debido al respaldo financiero que recibe de su Gobierno. Sin embargo, este modelo está recibiendo cada vez más críticas debido al gran endeudamiento al que se ven sometidos los Gobiernos africanos por las inversiones en infraestructuras a gran escala y la falta de retorno de las inversiones hacia las poblaciones locales<sup>87</sup>.

---

<sup>82</sup> <https://www.miningnewsnorth.com/story/2021/06/25/in-depth/biden-seeks-federal-mining-law-overhaul/6860.html>

<sup>83</sup> <https://apnews.com/article/joe-biden-technology-business-601e4b6b79ab91521972ed5d84c641b9>

<sup>84</sup> [https://www.salon.com/2021/05/31/will-there-be-resource-wars-in-our-renewable-energy-future\\_partner/](https://www.salon.com/2021/05/31/will-there-be-resource-wars-in-our-renewable-energy-future_partner/)

<sup>85</sup> <https://www.northernminer.com/news/top-ten-largest-u-s-based-mining-companies/1003819286/>

<sup>86</sup> <https://www.prosperafrica.gov/>

<sup>87</sup> <https://www.africanews.com/2021/01/21/the-next-100-days-positioning-africa-at-the-forefront-of-the-biden-administration/>

## Japón

Después del incidente de 2010, en el que China suspendió sus exportaciones de tierras raras en represalia por el conflicto territorial en las islas Diaoyu<sup>88</sup>, Japón se vio obligado a cambiar su política sobre materias primas críticas. Una década después, ha reducido significativamente su dependencia de China en relación a las tierras raras y continúa diversificando su cadena de suministros por todo el mundo. Japón ha pasado de importar un 90% de las tierras raras de China a un 58% y tiene el objetivo de rebajar esta cantidad por debajo del 50% en 2025<sup>89</sup>. El éxito de esta estrategia de debe, en gran parte, al apoyo financiero estatal que se realiza a través de la compañía estatal Jogmec (Japan Oil, Gas and Metal Corporation)<sup>90</sup>, dependiente del Ministerio de Economía, Comercio e Industria. Esta compañía se fundó en 2004 mediante la fusión de Japan National Oil Corporation (JNOC) y Metal Mining Agency of Japan (MMAJ). Cabe preguntarse si el éxito de este modelo de apoyo estatal financiero para la explotación de yacimientos sería aplicable a EE.UU y a la UE<sup>91</sup>.

Japón presenta una vulnerabilidad estructural en términos de seguridad energética, ya que depende en un 94% de los combustibles fósiles del exterior. Además, su capacidad de autosuficiencia energética se ha mantenido baja, en torno al 6%-7%, debido al cierre de plantas nucleares como consecuencia del terremoto de 2011<sup>92</sup>. La política energética se basa en el denominado 3E+S, que consiste en alcanzar la seguridad energética, la eficiencia económica y la sostenibilidad ambiental sin comprometer la seguridad<sup>93</sup>.

Japón está interesado en reubicar la fabricación de productos de alto valor añadido desde China a su propio territorio y a países del sudeste asiático, tal y como declaró el primer ministro Shinzo Abe en el Consejo de Inversiones para el Futuro, al que asistieron los principales líderes empresariales japoneses en

<sup>88</sup> <https://www.europapress.es/internacional/noticia-china-japon-china-prohibe-exportaciones-tierras-raras-japon-disputa-pesquero-chino-20100923074651.html>

<sup>89</sup> <https://tacticalresources.com/quartz-media-japans-global-rare-earth-quest-holds-lessons-for-the-us-and-europe/>

<sup>90</sup> <http://www.jogmec.go.jp>

<sup>91</sup> <https://qz.com/1998773/japans-rare-earth-strategy-has-lessons-for-us-europe/>

<sup>92</sup> [https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226\\_003b.pdf](https://www.meti.go.jp/english/press/2017/pdf/1226_003b.pdf)

<sup>93</sup> <http://www.en-2050-low-carbon-navi.jp/assets/onepage/3epluss.pdf>

marzo de 2020<sup>94</sup>. Un mes después, el Gobierno implementó un paquete económico de emergencia, que incluía una asignación de unos 2 billones de dólares para ofrecer subsidios para reubicar la producción de vuelta a Japón, y de unos 200 millones de dólares para diversificar las cadenas de suministro al sudeste asiático. Entre las industrias a las que se les ha dado prioridad por parte del Gobierno japonés se encuentran las tierras raras, el sector del automóvil, la electrónica, los dispositivos médicos y los productos de higiene<sup>95</sup>.

Sin embargo, a pesar de esta firme apuesta por la reubicación de las cadenas de valor emprendida por el Gobierno japonés, no significa que las transacciones comerciales bilaterales con China vayan a disminuir. El comercio con China asciende a más de 300 000 millones de dólares y es probable que se incremente cuando la Asociación Económica Integral Regional (RCEP, por sus siglas en inglés)<sup>96</sup> entre en vigor.

La presencia en China de las compañías japonesas es muy significativa y es improbable que abandonen su territorio completamente. Además, la dependencia económica de China y su proximidad geográfica hace que Japón tenga una aproximación de no confrontación en sus relaciones con el gigante asiático<sup>97</sup>. Sin embargo, esta proximidad hace que Japón sea también destino de inversiones de actores que mantienen una situación de tensión con China, como es el caso de la compañía taiwanesa TSMC (Taiwan Semiconductor Manufacturing Co), que pretende construir una instalación de I+D en semiconductores por un valor de 171 millones de dólares cerca de Tokio<sup>98</sup>.

A pesar de que EE.UU. y Japón pueden tener diferentes aproximaciones en su relación con China, ambos buscan diversificar las cadenas de suministro y hacerlas más resilientes a posibles

<sup>94</sup> <https://nationalinterest.org/feature/new-cold-war-japan-and-its-chinese-supply-chains-158756>

<sup>95</sup> <https://www.reuters.com/article/us-health-coronavirus-japan-production-a-idINKBN23F2ZO>

<sup>96</sup> El tratado RCEP es el primer tratado de libre comercio entre China, Japón y Corea del Sur (tres de las cuatro grandes economías asiáticas), y es el primer tratado multilateral que incluye a China.

<sup>97</sup> <https://www.atlanticcouncil.org/wp-content/uploads/2021/05/Enhancing-US-Japan-Cooperation-on-Global-Supply-Chains.pdf>

<sup>98</sup> <https://asia.nikkei.com/Business/Tech/Semiconductors/Taiwan-s-TSMC-to-build-190m-R-D-site-near-Tokyo>

interrupciones, principalmente en aquellas que pueden afectar a tecnologías estratégicas que son críticas para su competitividad económica y su seguridad nacional. Además de flexibilizar las regulaciones que restringen la financiación del Gobierno para la exploración de recursos naturales, Japón también busca la cooperación multilateral en inversiones estratégicas con EE.UU. y Australia<sup>99</sup>.

## Unión Europea

Para llevar a cabo esta transición verde y digital, la UE necesita disminuir su dependencia de determinadas materias primas necesarias desde un punto de vista tecnológico, con un suministro más seguro y sostenible. De lo contrario, la UE cambiaría su dependencia de los combustibles fósiles por una dependencia de materias primas críticas»<sup>100</sup>.

Consciente de este gran desafío, la Comisión presentó tres documentos clave para focalizar los esfuerzos y garantizar un suministro de materias primas más seguro y sostenible para la UE. El Plan de Acción para Materias Primas Críticas, la Lista de Materias Primas Críticas de 2020 y un estudio prospectivo sobre las materias primas críticas para ciertos sectores estratégicos en dos horizontes, 2030 y 2050.

Por lo que respecta al Plan de Acción<sup>101</sup>, en él se establecen cuatro objetivos y diez líneas de acción para cumplirlos. De esta forma, la UE sigue el mismo camino que ya han emprendido otros países como Japón y Estados Unidos para establecer su propia cadena de suministros de minerales. La alta dependencia de terceros países supone una gran vulnerabilidad para el crecimiento económico y para la seguridad. El caso más extremo esta dependencia lo constituyen el grupo de tierras raras, de las que la UE depende casi en un 98%.

La Comisión Europea también ha actualizado la lista de materias primas críticas. Esta lista se publica desde 2011 y se actualiza cada tres años. Con el transcurso de los años han ido cambiando los criterios de clasificación y el número de materiales incluidos, todo ello con la lógica de la creciente demanda como consecuen-

<sup>99</sup> <https://www.japantimes.co.jp/news/2018/07/31/national/politics-diplomacy/japan-u-s-australia-plan-infrastructure-push-counter-china-indo-pacific/>

<sup>100</sup> [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_20\\_1542](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1542)

<sup>101</sup> <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849>

cia del auge de las nuevas tecnologías limpias y digitales, los objetivos climáticos y la aparición de nuevas potencias, como China, con una creciente demanda interior y con un mayor peso geopolítico capaz de alterar el acceso a determinadas materias primas críticas.

En la lista de 2020<sup>102</sup> se han incluido treinta materiales. Por primera vez aparecen la bauxita, el litio, el titanio y el estroncio, y se ha eliminado el helio por haber disminuido su importancia económica. De todos ellos, el litio merece una atención especial, ya que se estima que la UE necesitará 18 veces más litio en 2030 y 60 veces más en 2050 para las baterías de los vehículos eléctricos y el almacenamiento de energía. Según señala el Banco Mundial<sup>103</sup>, la demanda de algunos minerales relacionados con las baterías de almacenamiento eléctrico como el aluminio, el cobalto, el hierro el plomo, el litio, manganeso y níquel, puede ser superior al 1000% de aquí a 2050. Si a esto se añade que la UE depende entre un 75% y un 100% de la mayoría de estos metales, es evidente la alta vulnerabilidad y la escasa resiliencia que puede presentar el ecosistema industrial de la UE en un futuro cercano<sup>104</sup>.

El informe publicado también en septiembre de 2020 y titulado *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study*<sup>105</sup> arroja pocas dudas sobre la situación de vulnerabilidad de la UE en su dependencia de materiales críticos y en la necesidad de avanzar hacia una soberanía tecnológica. En esta «reindustrialización digital» se debe garantizar tanto el suministro de ciertos minerales críticos, como las tierras raras, el galio, el germanio y los minerales del grupo del platino, pero también fortalecer las oportunidades de fabricación y ensamblaje de los componentes críticos para los sectores que son considerados estratégicos: Energías renovables, e-movilidad y el de defensa/aeroespacial.

La UE parece que ya ha tomado una decisión firme para disminuir su alta dependencia de China, tal y como se propone en el Plan de Acción sobre Materias Primas Críticas. Además del

---

<sup>102</sup> *Ibidem*

<sup>103</sup> <https://documents1.worldbank.org/curated/en/207371500386458722/pdf/117581-WP-P159838-PUBLIC-ClimateSmartMiningJuly.pdf>

<sup>104</sup> <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>

<sup>105</sup> <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42881>

aumento de eficiencia y la reutilización de los minerales, una de las medidas que se contempla en el Plan es la de explotar los propios recursos mineros presentes en la UE<sup>106</sup>. A pesar de que se trata de una medida coherente —puesto que en Europa existen yacimientos de algunas de estas materias minerales críticas que se encuentran contempladas en la Lista de 2020—, no cuenta con todo el apoyo de la sociedad, al menos en España.

### **Posicionamiento de las potencias económicas en los nuevos yacimientos por explotar: Ártico y minería submarina**

El Ártico se ha convertido en una zona de conflicto geopolítico entre las naciones que lo rodean, a las que sumar países más alejados, como China, con importantes intereses estratégicos en la región. El calentamiento que sufre la región desde hace varias décadas y el consiguiente deshielo han abierto nuevas oportunidades económicas al permitir la apertura de nuevas rutas comerciales y la explotación de recursos naturales, entre los que se encuentran minerales estratégicos.

Dentro de la región, Groenlandia se alza como una zona de gran interés estratégico. A pesar de ser una región autónoma bajo soberanía de Dinamarca, Donald Trump incluso llegó a proponer su compra por el interés político, económico y militar que representa la isla<sup>107</sup>.

En la actualidad, la economía de Groenlandia depende de los recursos pesqueros, pero el Gobierno ha mostrado su interés en atraer la inversión extranjera para la explotación de sus recursos naturales. Por lo que respecta a los recursos minerales, hay dos depósitos clave en los que China está involucrada en Groenlandia, que podrían ser una prueba de una mayor participación en el Ártico en el futuro. El primero de ellos es Isua, una mina de hierro que se encuentra al borde de la capa de hielo de Groenlandia. El proyecto estaba en manos de London Mining, que ganó una licencia de exploración en 2005 y una licencia minera de 30 años en 2013, pero se declaró en quiebra en 2014. La licencia fue adquirida por General Nice Development, una empresa china de productos básicos. Con esto, el proyecto Isua se convirtió en el

<sup>106</sup> <https://www.reuters.com/article/us-climate-change-eu-mining-idUSKBN2402JT>

<sup>107</sup> <https://www.theguardian.com/us-news/2019/aug/19/why-does-donald-trump-want-to-buy-greenland>

primer proyecto del Ártico en ser propiedad total de una empresa china<sup>108</sup>.

El otro depósito clave es Kvanefjed, segundo más grande del mundo de óxidos de tierras raras, así como el sexto más grande de uranio. El desarrollo de este proyecto está siendo llevado a cabo por la empresa Greenland Minerals, en parte propiedad del grupo chino Shenghe Resources, lo que contribuir a afianzar el monopolio de China sobre las tierras raras<sup>109</sup>.

### Minería submarina

El fondo del mar es la nueva frontera de la minería<sup>110</sup>, ya que contiene ingentes cantidades de minerales tales como Cu, Co, Ni, Mn, P, Mo, elementos de tierras raras, Au, Ag, Pt, Te y otros, así como recursos energéticos como los hidratos de gas hidratado<sup>111</sup>.

La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM) describe las zonas de jurisdicción nacional como un mar territorial de 12 millas náuticas; una zona económica exclusiva de hasta 200 millas náuticas y una plataforma continental. La zona internacional de los fondos marinos —la parte bajo jurisdicción de la ISA— se define como «el fondo marino y oceánico y el subsuelo del mismo, más allá de los límites de la jurisdicción nacional»<sup>112</sup>.

A medida que se produzcan los avances tecnológicos será posible extraer con más facilidad estos recursos del fondo marino. Aparte de las cuestiones medioambientales que esta modalidad pueda generar, puede surgir también un problema por la competencia geopolítica de unos dominios que pertenecen a la comunidad internacional y sobre los que ningún país tiene jurisdicción.

La minería de los fondos marinos profundos no está permitida actualmente en aguas internacionales, pero un número creciente de países la están estudiando como una oportunidad para recuperar depósitos de minerales necesarios para las nuevas tecno-

<sup>108</sup> <https://www.mining-technology.com/features/a-new-cold-war-mining-geopolitics-in-the-arctic-circle/>

<sup>109</sup> <https://www.mining-technology.com/features/a-new-cold-war-mining-geopolitics-in-the-arctic-circle/>

<sup>110</sup> <https://www.zyght.com/blog/es/mineria-submarina-gran-potencial-y-alto-riesgo/>

<sup>111</sup> <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02242-y>

<sup>112</sup> <https://www.isa.org.jm/>



logías<sup>113</sup>. Según la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, las empresas mineras privadas deben ser patrocinadas por un Estado para poder extraer fondos marinos.

Cada vez más países consideran la minería de aguas profundas como una oportunidad de desarrollo económico. La carrera para la explotación de los recursos mineros marinos ha empezado y China parece que ocupa el primer lugar<sup>114</sup>, aunque también para Japón se abren grandes expectativas en relación a los enormes yacimientos submarinos de tierras raras en las aguas de su zona económica exclusiva<sup>115</sup>.

La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA, por sus siglas en inglés), de la que forman parte 167 miembros y la UE, es el organismo encargado —dentro del seno de la ONU— de regular la exploración y explotación en el fondo marino internacional. Como organismo regulador, la principal preocupación de la Autoridad es encontrar la forma de equilibrar los beneficios sociales de la explotación minera de los fondos marinos —como son el acceso a los minerales esenciales, la falta de desplazamiento de las comunidades, la investigación en aguas profundas y el desarrollo tecnológico— con la necesidad de proteger el medio marino.

La ISA ha suscrito contratos de quince años con veintiocho contratistas para la exploración en los fondos marinos profundos de nódulos polimetálicos, sulfuros polimetálicos y costras de óxidos de hierro y manganeso, ricos en cobalto en los océanos Pacífico, Índico y Atlántico, que abarcan más de 1,3 millones de km<sup>2</sup> de fondo oceánico<sup>116</sup>.

La explotación de los recursos minerales del fondo marino presenta un gran interés creciente, especialmente para algunos países que buscan acelerar las regulaciones que regirán la minería en aguas profundas. Es el caso de Nauru—un estado de Micronesia situado en el Océano Pacífico Central, que sostiene que tiene el «deber con la comunidad internacional» de hacer este movimiento para ayudar a alcanzar la «certeza regulatoria»<sup>117</sup> para poder explorar yacimientos en aguas profundas.

<sup>113</sup> <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/eu-warned-about-environmental-impact-of-deep-seabed-mining/>

<sup>114</sup> <https://www.reuters.com/article/us-mining-deepsea-idUSKBN1X213T>

<sup>115</sup> <https://www.nature.com/articles/d42473-020-00524-y>

<sup>116</sup> <https://www.isa.org.jm/index.php/exploration-contracts>

<sup>117</sup> <https://www.bbc.com/mundo/especial-57721110>

## Minerales y conflictos

### Minerales no tan limpios para las energías limpias

Un desarrollo responsable y sostenible de los proyectos mineros puede generar beneficios económicos y sociales en las comunidades locales de la mina y también puede contribuir al desarrollo social inclusivo, la transparencia y la buena gobernanza de los ingresos públicos de la explotación de los recursos naturales de un país<sup>118</sup>.

Los minerales, al igual que el agua, el petróleo o el gas, son recursos estratégicos muy preciados, origen de muchos conflictos y también de grandes desigualdades. El economista británico Richard M. Auty<sup>119</sup> advirtió por primera vez de la maldición que afecta a algunos países en los que, a pesar de la abundancia de recursos naturales, presentan tasas de crecimiento muy bajas. Este problema es de orden mundial y hace que países que podrían tener un mejor índice de desarrollo con la explotación de sus recursos de forma racional y equitativa, vivan mal o sean objeto de guerras o situaciones de constante inestabilidad.

Por otro lado, existen riesgos intrínsecos peligrosos asociados a la minería, ya sea por la falta de un entorno de trabajo seguro y saludable como por los accidentes que se pueden producir. Esta situación es especialmente grave en países en desarrollo en donde se producen vulneraciones de los derechos humanos en las explotaciones mineras. También resulta preocupante la falta de retorno de las ganancias del sector minero hacia la población en países que presentan instituciones débiles, corrupción o situaciones de inestabilidad y conflicto. Los pueblos indígenas y las comunidades locales también pueden verse afectados de múltiples formas por las operaciones de la mina, ya sea por problemas ambientales, la construcción de infraestructura asociada o el reasentamiento<sup>120</sup>.

También los conflictos y las situaciones de inestabilidad fomentan las prácticas de minería ilegal. Un ejemplo de esta situación se puede observar en Myanmar, en donde se ha producido un incre-

<sup>118</sup> <https://globalarbitrationreview.com/guide/the-guide-mining-arbitrations/1st-edition/article/human-rights-and-international-mining-disputes>

<sup>119</sup> <https://digitallibrary.un.org/record/1488993>

<sup>120</sup> <https://globalarbitrationreview.com/guide/the-guide-mining-arbitrations/1st-edition/article/human-rights-and-international-mining-disputes>

mento de la minería ilegal en el norte del estado de Kachin —en la frontera con China— desde que se produjo el golpe de estado en febrero de 2021<sup>121</sup>.

Por desgracia, existen muchos ejemplos de prácticas poco éticas en el sector de la minería en países en desarrollo. La extracción de cobalto en la República Democrática del Congo se ha relacionado con frecuencia con la violencia que vive el país y el abuso contra los derechos humanos<sup>122</sup>. La extracción de níquel —un mineral fundamental tanto para los paneles solares como para el almacenamiento de energía— se ha relacionado con asesinatos, violencia sexual y desplazamiento forzado en Guatemala<sup>123</sup>. Además, algunas minas de tierras raras se han denominado «sitios de explotación» debido a incidentes de trabajo infantil, altos niveles de exposición a sustancias tóxicas y condiciones de trabajo peligrosas<sup>124</sup>. En algunos casos, estas situaciones han dado lugar a protestas locales y disturbios civiles, como en Guatemala y Guinea<sup>125</sup>, e incluso el asesinato de activistas. En 2019, más de cuatro activistas fueron asesinados en promedio cada semana en todo el mundo defendiendo territorios contra la invasión de industrias como la minería, la tala o la agroindustria, siendo la minería el sector más mortífero de todos. Más de la mitad de esos asesinatos ocurrieron en América Latina en el contexto de la minería<sup>126</sup>.

Por este motivo, la industria minera se ve particularmente afectada por una legislación y regulación que pretende evitar o, al menos, disminuir, los efectos de la extracción y el comercio ilícitos de minerales que provienen de regiones afectadas por conflictos o gobernadas por instituciones débiles. También el sector minero está en el punto de mira por su relación en la repercusión negativa del cambio climático sobre los derechos humanos<sup>127</sup>.

<sup>121</sup> <https://www.aninews.in/news/world/asia/myanmar-illegal-rare-earth-mining-in-kachin-state-on-chinas-border-rises-since-coup20210429024238/>

<sup>122</sup> <https://www.revistamisionjuridica.com/human-rights-violations-against-children-in-the-democratic-republic-of-congo-the-international-trade-in-minerals/>

<sup>123</sup> <https://movimientom4.org/2015/08/mujeres-defensoras-del-abuso-de-las-empresas-mineras-en-guatemala/>

<sup>124</sup> <https://www.amnesty.org/en/latest/news/2016/01/child-labour-behind-smart-phone-and-electric-car-batteries/>

<sup>125</sup> <https://www.iisd.org/story/green-conflict-minerals/>

<sup>126</sup> <https://www.fineprint.global/publications/briefs/mining-conflict-escalation/>

<sup>127</sup> <https://foreignpolicy.com/2020/06/18/green-energy-dirty-side-effects-renewable-transition-climate-change-cobalt-mining-human-rights-inequality/>

Por ejemplo, en los EE. UU., la sección 1502 de la Ley Dodd-Frank exige que todas las empresas que cotizan en bolsa realicen la debida diligencia en la cadena de suministro de cuatro minerales: casiterita, columbita-tantalita-wolframita y oro que contienen el estaño, wolframio, tántalo (3TG) que pueda originarse en la República Democrática del Congo o países vecinos. Estos minerales se usan en productos manufacturados en muchas industrias, incluida la industria aeroespacial, automotriz, de electrodomésticos, electrónica, joyera, médica y de herramientas y tintes.

Si bien el alcance de esta legislación no contempla el potencial de otros minerales y regiones más allá del África subsahariana para financiar grupos armados en Estados frágiles ricos en minerales, la legislación fue un ejemplo histórico de acción del sector público contra la corrupción, los abusos de los derechos humanos y la violencia en el sector de minería. En la actualidad, esta ley sigue vigente y activa, ya que el Senado aún no ha ratificado su derogación, según se había establecido en La Ley de Elección Financiera aprobada en 2017.

En 2015, la Cámara de Comercio de China para Importadores y Exportadores de Metales, Minerales y Productos Químicos introdujo un marco para poner en práctica la Guía de la OCDE<sup>128</sup>. El marco proporciona pautas y herramientas a las empresas chinas que extraen o utilizan minerales en sus productos para ayudarlas a identificar, prevenir y mitigar los riesgos de conflicto, abusos de derechos humanos y mala conducta durante todo el ciclo de vida de una minería. El marco se puede aplicar a todos los minerales; sin embargo, sigue siendo voluntario.

A partir del 1 de enero de 2021, ha entrado en vigor en la UE el Reglamento 2017/821, que regula los minerales de conflicto que, al igual que la Ley Dodd-Frank, es aplicable al estaño, wolframio, tántalo y oro. De esta forma, la UE impone requisitos obligatorios de diligencia debida a las empresas que obtienen minerales de áreas afectadas por conflictos o áreas de alto riesgo en donde se producen violaciones generalizadas y sistemáticas del derecho internacional, incluidos abusos de derechos humanos.

---

<sup>128</sup> <https://www.mincit.gov.co/getattachment/mincomercioexterior/Temas-de-Interes/Colombia-en-la-OCDE/Punto-Nacional-de-Contacto-PNC-de-las-Directrices/Lineas-Directrices-de-la-OCDE-para-Empresas-Multin/A-que-se-refieren-las-Lineas-Directrices-con-la-de/1-Guia-de-Debida-Diligencia-de-la-OCDE-para-Cadena-Guia-de-Debida-Diligencia-de-la-OCDE-para-Cadenas-de-Suministro-Responsables-de-Minerales-en-Areas-de-Conflicto-o-de-Alto-Riesgo.pdf.aspx?lang=es-CO>

Esta presión hacia los consumidores e inversores para evitar el interés de los recursos extraídos de las zonas de conflicto también se va a ver reforzada por la propuesta de la Bolsa de Metales de Londres (LME) de introducir reglas a partir de 2022 para que solo se comercialicen minerales de origen responsable<sup>129</sup>. La LME —el mercado de metales industriales más grande del mundo— ha incrementado sus esfuerzos para investigar el abastecimiento de cobalto, iniciando en 2017 una investigación sobre el abastecimiento de cobalto y sus conexiones con el trabajo infantil. En julio de 2018 anunció que requeriría que todas las empresas que reciban un mínimo del 25 por ciento de su metal de las minas artesanales y de pequeña escala en la República Democrática del Congo se sometan a una auditoría profesional. Estos movimientos demuestran la creciente conciencia de los riesgos relacionados con los conflictos asociados con la extracción de cobalto en estados frágiles.

Los grupos de la sociedad civil y los actores del sector privado también han tomado medidas para garantizar el abastecimiento responsable de minerales y metales. La Iniciativa de Transparencia de las Industrias Extractivas (EITI)<sup>130</sup>, por ejemplo, promueve la gestión abierta y responsable de los recursos de petróleo, gas y minerales. Actualmente, 51 países implementan la EITI, que exige un conjunto de requisitos de implementación que incluyen divulgaciones periódicas sobre la exploración y producción de los países, la recaudación de ingresos, la asignación de ingresos y los impactos de la industria extractiva. Las empresas, independientemente de sus jurisdicciones de origen, deben divulgar cualquier pago realizado en los países miembros de la EITI.

Si bien la gobernanza de la cadena de suministro para ciertos minerales, incluidos el estaño, tungsteno, tantalio, oro y diamantes, está mejorando, estas iniciativas aún no se han ampliado para incluir la mayoría de los minerales y metales fundamentales para las tecnologías de energía verde.

#### El caso de la bauxita

A pesar de que el estaño, el oro, el wolframio y el coltán son los minerales a los que se ha prestado una mayor atención a la hora de establecer una legislación específica para regular su proce-

<sup>129</sup> <https://www.ft.com/content/1ac20e8a-61f7-11e9-b285-3acd5d43599e>

<sup>130</sup> <https://www.eiti.org/es>

dencia de zonas de conflicto, existen otros minerales cuya extracción está relacionada con graves impactos en el medio ambiente y derechos humanos de las comunidades locales. Es el caso de la bauxita, de donde se extrae el aluminio.

El auge del vehículo eléctrico para conseguir los objetivos climáticos está impulsando la demanda masiva de aluminio. Los fabricantes de coches usaron casi una quinta parte del aluminio consumido en el mundo y se estima que esta cantidad se duplique en 2050<sup>131</sup>. Aunque el aluminio es reciclable, más de la mitad del empleado en el sector de la automoción procede como fuente primaria de la bauxita<sup>132</sup>. Sin embargo, a pesar de los posibles beneficios del aluminio, las prácticas actuales relacionadas con la extracción y el refinado de la bauxita, están teniendo consecuencias devastadoras para los derechos humanos y el medio ambiente.

Debido a que las minas de bauxita involucran la minería a nivel de superficie, a menudo destruyen grandes extensiones de bosques y tierras de cultivo, que sustentan los medios de vida de las comunidades locales. Las minas de bauxita también pueden tener un impacto devastador en los ríos y las fuentes de agua subterránea disminuyendo la calidad de los recursos hídricos destinados al consumo y a la agricultura. En Guinea, por ejemplo, durante los próximos veinte años el auge de la minería de bauxita eliminará 858 kilómetros cuadrados de tierras agrícolas y destruirá más de 4700 kilómetros cuadrados de hábitat natural<sup>133</sup>.

Por parte del sector automovilístico existe una conciencia creciente de los problemas asociados a la extracción de la bauxita en relación al respeto a los derechos humanos y a los problemas medioambientales<sup>134</sup>. Este apoyo también se sustenta en la preocupación del sector por la dependencia de una bauxita procedente de países de débil gobernanza cuyas poblaciones se pueden ver privadas de sus medios de vida y sin un retorno de las ganancias de las inversiones extranjeras, lo que puede conducir a situaciones de inestabilidad.

<sup>131</sup> <https://www.euroweeklynnews.com/2021/07/23/car-companies-urged-to-drive-up-standards-at-mines-refineries-smelters/>

<sup>132</sup> «Aluminium: the car Industry's Blind Spot». HRW and Inclusive Development. Julio 2021.

<sup>133</sup> <https://www.hrw.org/news/2018/10/04/guinea-bauxite-mining-boom-threatens-rights>

<sup>134</sup> <https://www.drivesustainability.org/>

Guinea tiene los mayores depósitos de bauxita del mundo y su producción está creciendo a un ritmo acelerado, ya que ha pasado de tener el 4 % de la producción mundial en 2014 al 22 % en 2020<sup>135</sup>. El motivo es que China, que era el segundo mayor productor mundial, ha endurecido las leyes medioambientales y ha decidido extraer bauxita fuera de sus fronteras. De este modo, Guinea se ha convertido en el mayor exportador de bauxita cuyo destino son las refinerías de China. Además de Guinea, la bauxita también se extrae en otras zonas como Australia, Brasil e India.

El golpe de Estado en Guinea llevado a cabo el 5 de septiembre ha suscitado inquietudes sobre el abastecimiento mundial de bauxita.

#### Afganistán: minería y talibanes

En 2010, EE.UU.<sup>136</sup> anunció que Afganistán disponía de una riqueza mineral de un valor aproximado de un billón de dólares<sup>137</sup>, aunque según las estimaciones que se recogen en la publicación *Mining Sector Roadmap*,<sup>138</sup> publicado en 2019 por el Ministerio de Minas y Petróleo del Gobierno de Afganistán, su valor supera los 3 billones de dólares<sup>139</sup>.

Según los estudios geológicos realizados, Afganistán cuenta con importantes reservas minerales de hierro (2200 millones de toneladas), mármol (3000 millones de toneladas), cobre (30 millones de toneladas), tierras raras (1,4 millones de toneladas) y 2,7 toneladas de oro<sup>140</sup>. También es sabido que Afganistán es conocido por ser el Arabia Saudita del litio<sup>141</sup>. Y todo ello teniendo en cuenta que estas estimaciones se han realizado en un 30 % del territorio, por lo que queda un 70 % todavía sin saber qué riquezas contiene<sup>142</sup>.

<sup>135</sup> <https://www.economist.com/finance-and-economics/a-coup-in-guinea-adds-fuel-to-aluminiums-red-hot-rally/21804363>

<sup>136</sup> <https://www.nytimes.com/2010/06/14/world/asia/14minerals.html>

<sup>137</sup> Equivalente a un trillón americano.

<sup>138</sup> Disponible en: <https://momp.gov.af/sites/default/files/2020-07/MoMP%20Roadmap-1-merged.pdf>

<sup>139</sup> Equivalentes a tres trillones americanos.

<sup>140</sup> Información contenida en la publicación *Mining Sector Roadmap*, mencionada en el texto.

<sup>141</sup> <https://www.nytimes.com/2010/06/14/world/asia/14minerals.html>

<sup>142</sup> <https://www.reuters.com/article/us-afghanistan-mining/afghanistan-to-develop-3-trillion-in-mining-potential-idUSTRE6903JP20101025>

El descubrimiento de estas reservas, hace más una década, hacía suponer que podría influir en la economía de Afganistán y también en el desarrollo de la guerra. Sin embargo, la explotación a gran escala ha encontrado muchas dificultades por problemas de seguridad, de empleo de recursos necesarios para la extracción y por la falta de infraestructuras adecuadas. Es el caso de la mina de cobre de Mes Aynar, en la provincia de Logar, que cuenta con unas reservas de más de 11,5 millones de toneladas de cobre. En mayo de 2008, el Gobierno afgano y la compañía china MCC (Metallurgical Corporation of China) firmaron un acuerdo para explotar la mina por un valor de 2900 millones de dólares. Además de la extracción del cobre, el contrato también recogía la creación de infraestructuras para conectar la mina con el centro de la provincia<sup>143</sup>. El proyecto quedó paralizado por múltiples causas, entre las que cabe destacar la presencia de unas antiguas ruinas budistas en el lugar de excavación, dificultades logísticas para el tratamiento del cobre y la situación de inseguridad en la que estaba sumido el país<sup>144</sup>. En la actualidad, el proyecto está paralizado, como también lo está la mina de hierro de Hajizak, en donde varias compañías indias realizaron una inversión de 10000 millones de dólares<sup>145</sup>. Está por ver si, con la entrada de los talibanes, este y otros proyectos mineros encuentran las condiciones adecuadas de seguridad para poder llevarse a cabo.

El sector de la minería ha sido una de las principales fuentes de ingresos de los talibanes, tanto en la extracción a pequeña escala como en proyectos de mayor tamaño gestionados por empresas afganas mediante el empleo de extorsiones<sup>146</sup>. Las ganancias de los talibanes en el sector de la minería ascendieron a 464 millones de dólares<sup>147</sup> en 2020. Con la entrada en el poder, puede que el fomento de la minería sea una opción que forme parte del futuro talibán de Afganistán. Pero para ello necesitará de proyectos de inversión y es aquí donde China puede ofrecer sus capacidades. Pero para que esta situación se produzca y se puedan explotar

<sup>143</sup> <http://www.chinadaily.com.cn/a/201808/13/WS5b70efafa310add14f385658.html>

<sup>144</sup> <https://www.theartnewspaper.com/2021/09/01/an-ancient-buddhist-city-is-perched-on-top-of-an-afghan-copper-reserve-worth-dollar50-billion-what-will-happen-to-it-under-taliban-control>

<sup>145</sup> <https://moderndiplomacy.eu/2021/07/15/the-war-for-mineral-possession-started-in-afghanistan/>

<sup>146</sup> <https://www.reuters.com/article/us-afghanistan-mining/afghanistan-to-develop-3-trillion-in-mining-potential-idUSTRE6903JP20101025>

<sup>147</sup> <https://www.undocs.org/pdf?symbol=en/S/2021/486>



las riquezas minerales —algo que tardará años—, será necesario una situación de seguridad; de lo contrario, ninguna empresa se arriesgará a invertir en el país.

### El oro en el Sahel y yihadistas

En términos generales, la minería artesanal y de pequeña escala está relacionada con los conflictos armados, el crimen organizado, los abusos de derechos humanos y con la corrupción<sup>148</sup>. Durante los últimos años, esta relación se ha visto de forma evidente desde el descubrimiento en 2012 de una formación geológica que contiene oro, que va desde Sudán a Mauritania en la zona del Sahel<sup>149</sup>. En esta región, los grupos terroristas están cada vez más interesados en controlar las áreas de producción de oro debido a su alto valor y a la escasa regulación que existe en esos países para su explotación. El nexo entre el oro, violencia y terrorismo es un problema creciente en la región del Sahel que tiene consecuencias sobre la estabilidad y el empobrecimiento de los países de la zona<sup>150</sup>.

El oro ha sido durante mucho tiempo un producto ideal para los insurgentes: conserva su valor; es ampliamente aceptado como un sustituto de la moneda en partes de África, Oriente Medio y Asia; y, una vez refinado, se puede fundir y pasar de contrabando fácilmente<sup>151</sup>.

Los ataques en las zonas de extracción están siendo cada vez más frecuentes y violentos, como el ocurrido en Solhan (Burkina Faso) el 4 de junio de 2021, en donde un grupo yihadista asesinó a 130 personas. Después de este ataque, el Gobierno de Burkina Faso anunció la prohibición de toda la actividad de minería artesanal, en un claro reconocimiento entre el yihadismo y el oro<sup>152</sup>.

Según un informe de International Crisis Group, la minería de pequeña escala produce 20-50 toneladas de oro en Mali, 10-30 en Burkina Faso y 10-15 toneladas en Níger. Algunas de estas minas están defendidas por grupos de voluntarios, cazadores o

<sup>148</sup> <https://sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/reversing-conflict-minerals-lets-formalize-artisanal-mining-for-peaceful-just-and-inclusive-societies/>

<sup>149</sup> <https://www.iai.it/sites/default/files/raineri.pdf>

<sup>150</sup> <https://www.reuters.com/investigates/special-report/gold-africa-islamists/>

<sup>151</sup> <https://www.reuters.com/investigates/special-report/gold-africa-islamists/>

<sup>152</sup> <https://www.ft.com/content/8ff4c2ca-7ac3-4f3b-96ba-6fb74bbb60d5>

grupos rebeldes, pero hay zonas en las que es prácticamente imposible evitar que los grupos terroristas tomen el control de las minas, como sucede en la zona fronteriza que comparten Burkina Faso, Mali y Níger.

Aunque la acción de los grupos islamistas se centra en las minas artesanales y de pequeña escala, su actividad también se extiende a áreas mineras explotadas a gran escala<sup>153</sup> y el comercio del oro. En Malí, investigadores de la ONU encontraron que los grupos islamistas estaban cobrando impuestos a los comerciantes de oro en Kidal, en el extremo norte, y también en las áreas de extracción de oro en el oeste de Níger<sup>154</sup>.

## Conclusiones

Una de las consecuencias de la pandemia de la COVID-19 ha sido la constatación de la vulnerabilidad, en pleno proceso de globalización, que supone depender del exterior de determinadas materias.

El aumento de la extracción de minerales necesarios para facilitar la transición a una economía baja en carbono e imprescindibles para el avance tecnológico podría conducir al surgimiento o exacerbación de tensiones, violencia y fragilidad entre las partes interesadas en los países productores.

China se ha convertido en el principal proveedor de algunas de las materias primas más importantes que importan los países occidentales. Además de la producción interna, China ha comprado algunas de las minas más grandes del mundo para la extracción de estos minerales y también ha realizado cuantiosas inversiones en instalaciones de procesamiento que refinan las materias primas para convertirlas en productos de utilidad industrial, fortaleciendo su posición en las cadenas de suministro globales. Las empresas chinas también han realizado importantes inversiones en activos extranjeros en Australia, Chile, la República Democrática del Congo e Indonesia. Estas inversiones podrían afectar a Estados Unidos y sus aliados, si estos no logran adquirir su propia infraestructura de suministro y refinación de algunos minerales estratégicos como las tierras raras.

<sup>153</sup> <https://www.mining-technology.com/features/blood-and-treasure-breaking-the-bonds-between-small-scale-mining-and-terrorism/>

<sup>154</sup> <https://www.theafricareport.com/58290/sahel-treasure-trove-informal-gold-trade-fuelling-islamist-insurgencies/>

Asegurar que la minería contribuya al desarrollo sostenible dependerá de la presencia de leyes y políticas sólidas para el sector, así como de mecanismos e instituciones para su implementación y cumplimiento.

En los próximos años, la demanda de metales en crecimiento lento pero continuo, hará que las inversiones chinas en el exterior sigan aumentando. La competencia por los depósitos en África Central probablemente aumentará a medida que las empresas chinas comienzan a ocupar más cuota en la producción de minerales críticos en el exterior.

Las empresas chinas tendrán que optimizar su oferta a los Gobiernos africanos para evitar las críticas de la población local por la falta de retorno en las inversiones, la generación de contaminación o la pérdida de medios de vida. Por tanto, todavía hay tiempo para que los países africanos negocien mejores acuerdos para la extracción de sus recursos minerales. Para evitar futuros conflictos, será esencial para los Gobiernos africanos crear una situación competitiva entre las empresas chinas y las empresas mineras transnacionales tradicionales, ya sean de Europa, EE. UU., Canadá o Australia.

Además de los minerales involucrados directamente en conflictos o en la financiación de grupos terroristas, también es necesario analizar la forma y lugar en el que se obtienen los minerales necesarios para satisfacer la demanda creciente en un futuro verde y digital. Si los proyectos mineros respaldan el desarrollo pacífico y sostenible en los países donde se encuentran reservas estratégicas, pueden contribuir a la estabilización de ciertas regiones; pero si, por el contrario, los proyectos se ven respaldados la gobernanza débil, sin un reparto equitativo e inclusivo de los recursos, con impactos ambientales y limitación de recursos básicos —como agua y tierras—, se incrementarán las tensiones, poniendo en riesgo los propios proyectos de extracción minera. En países que luchan contra la inestabilidad política, donde la gobernanza del sector minero es débil, la extracción de estos minerales puede estar vinculada a la violencia, los conflictos y los abusos contra los derechos humanos.



## Capítulo segundo

### Las materias primas minerales y la transición energética

*Carlos López Jimeno  
Carmen Mataix González*

#### Resumen

La transición energética implica el cambio de un sistema de uso intensivo de combustibles fósiles a otro basado en el uso intensivo de materiales en el que el suministro de materias primas minerales, muchas consideradas críticas, es crucial.

Las tecnologías de energía limpia son mucho más intensivas en materiales que las basadas en combustibles fósiles. Por ejemplo, la energía eólica requiere aproximadamente 25 veces más recursos minerales que una central de gas. Según las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), el consumo actual de minerales, como poco, se va a cuadruplicar y, en el caso de un escenario de cero emisiones en 2050, podría multiplicarse por seis, lo cual plantea enormes interrogantes sobre la disponibilidad y confiabilidad del suministro de recursos minerales.

En este sentido, la AIE alerta de que el hecho de que haya recursos minerales suficientes no garantiza que los suministros vayan a estar disponibles de manera fácil y asequible donde y cuando se necesiten.

Con el cambio de paradigma han entrado en juego múltiples minerales, cada uno con sus propias peculiaridades y dinámicas, y con cadenas de abastecimiento más complejas que las de los combustibles fósiles y, en algunos casos, mucho menos transparentes, pudiendo surgir riesgos significativos en prácticamente todas sus etapas.

La confiabilidad, asequibilidad y sostenibilidad del suministro de minerales está amenazada por múltiples factores entre los que destacan la mayor concentración geográfica de la producción, las incertidumbres tecnológicas y políticas de la demanda, el desajuste entre los cambios en la demanda y el tiempo de desarrollo de los proyectos mineros, los efectos derivados de la disminución de la calidad de los recursos o el escrutinio creciente del desempeño ambiental y social de la explotación minera.

#### **Palabras clave**

Transición energética, minerales críticos, disponibilidad mineral, abastecimiento, riesgos, vulnerabilidades, energías renovables, energías limpias, solar, eólica, baterías, movilidad eléctrica.

## Mineral raw materials and the energy transition

### Abstract

*The energy transition involves the shift from a fossil fuel-intensive system to a material-intensive one in which the supply of mineral raw materials –many considered critical– is crucial.*

*Clean energy technologies are much more material-intensive than fossil fuels technologies. For example, wind power requires about 25 times more mineral resources than a gas plant. According to International Energy Agency (IEA), current mineral consumption will at least quadruple and, in the case of a zero-emission scenario in 2050, it could increase sixfold, raising huge questions about the availability and reliability of the supply of mineral resources.*

*In this regard, the IEA alerts that the fact that there are sufficient mineral resources does not guarantee that supplies will be easily and affordably available where and when they are needed.*

*With the paradigm shift, multiple minerals have come into play, each with its own peculiarities and dynamics, and with supply chains more complex than those of fossil fuels– and much less transparent in some cases– and significant risks can arise in practically all its stages.*

*The reliability, affordability and sustainability of mineral supply is threatened by multiple factors, including the greater geographical concentration of production, demand's technological and political uncertainties, mismatch between demand's changes and the development time of mining projects, effects of declining resource quality, or increasing scrutiny of the environmental and social performance of mining.*

### Keywords

*Energy transition, critical minerals, mineral availability, supply, risks, vulnerabilities, renewable energy, clean energy, solar, wind, batteries, electric mobility*

## Introducción

### De la primera revolución industrial a la emergencia climática

La industria, entendida como el conjunto de procesos y actividades que permiten transformar las materias primas en productos elaborados o semielaborados, ha experimentado a lo largo del tiempo una evolución provocada por el surgimiento de avances tecnológicos que, en cada momento, desencadenaron un cambio profundo en los sistemas económicos y las estructuras sociales, marcando un antes y un después en la historia.

Estos hitos se han pasado a denominar *revoluciones industriales*, término que podría definirse como aquella sucesión de cambios caracterizados por su profundidad y rapidez que afectan al conjunto de la sociedad. Significa hablar de puntos de inflexión, de transformación y de evolución, lo que es equivalente a crecimiento y desarrollo.

En los dos últimos siglos, el mundo ha vivido tres revoluciones industriales y tecnológicas, en las que se cambiaron las fuentes de energía básicas, el tipo de actividades industriales más dinámicas y los medios de comunicación disponibles para desplazar mercancías, personas e información.

Ahora estamos en los albores de una *cuarta revolución industrial* —término acuñado en 2016 por Klaus Schwab, el fundador del Foro Económico Mundial—, basada en la revolución digital, que, en palabras del propio Schwab, va a generar «un mundo en el que los sistemas de fabricación virtuales y físicos cooperan entre sí de una manera flexible a nivel global»<sup>1</sup>.

Los antecedentes se remontan al año 1760, cuando, en tierras británicas, comenzaba la primera etapa de esta andadura. Fueron dos hombres, Thomas Newcomen y James Watt, quienes, respectivamente, inventaron y perfeccionaron la máquina de vapor, que se convertiría en icono de la *primera revolución industrial*.

La aplicación del vapor a la producción mecánica, junto con la disponibilidad de materias primas como el algodón, el hierro y el carbón, y, más tarde, el desarrollo de los barcos y de los ferrocarriles a vapor, impulsaron el desarrollo del sector textil, del siderúrgico y el de transportes.

---

<sup>1</sup> Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Editorial Debate.



Todo ello significó la mecanización de las tareas que, hasta ese momento, eran manuales y cuya fuerza motor no era sino la humana y la animal, propiciando así la transición de una economía agrícola y artesanal a una economía industrial.

La máquina de vapor supuso también la primera transición energética de la historia, que se basó en la explotación con técnicas industriales de un combustible fósil en estado sólido, el carbón.



Figura 1. Diagrama de las primeras cuatro revoluciones industriales (modificado de Christoph Roser en AllAboutLean.com).

Un segundo hito relevante tuvo lugar a mediados del siglo XIX, que estuvo acompañado por el descubrimiento de otras fuentes masivas de energía, como el gas natural y petróleo, y de un nuevo vector energético, la electricidad, que se convertirían en el símbolo de esta *segunda revolución industrial*.

Además, se logró el acceso a diferentes recursos minerales, indisponibles o poco útiles hasta ese momento, como el cinc, el aluminio, el níquel o el cobre, entre otros; se descubrieron nuevos materiales, como el acero o cemento portland; y se desarrollaron nuevos sistemas de comunicación (teléfono y radio) y de transporte (avión, automóvil y nuevas máquinas a vapor).

La invención del motor de combustión interna o de gasolina impulsó la producción en masa y el aumento de la potencia de todo tipo de vehículos, desde automóviles a barcos y carros de combate, así como la de unos nuevos aparatos, los aviones, lo bastante potentes para despegar del suelo y permanecer volando durante un tiempo prolongado de hasta horas.

Esta *segunda revolución industrial* fue, así mismo, una transición energética, basada en la extracción de otro recurso minero como es el petróleo, denominado en ocasiones como *aceite de roca*.

A lo largo del siglo xx, todo un conjunto de avances, como son, en el sector energético, la energía nuclear y las denominadas *energías renovables*, han jugado un papel fundamental, junto con las tecnologías de la información y comunicación (TIC), en la *tercera revolución industrial*.

El desarrollo de la informática, la electrónica y las telecomunicaciones, catalizado por el descubrimiento de los semiconductores, ha hecho posible, no solo que un número importante de actividades se realizaran de manera automática dentro de los procesos productivos, sino que, además, hayan sido responsables de la proliferación de nuevas tecnologías (PC, ordenadores portátiles, teléfonos móviles, etc.), así como de la irrupción de Internet en la década de 1990.

Ya en el siglo *xxi*, según algunos analistas, el desarrollo inédito de las tecnologías que conectan las esferas física, digital y biológica (*big data*, internet de las cosas, *cloud computing*, impresión 3D, realidad aumentada, sistemas ciberfísicos, etc.) anuncian la llegada de una *cuarta revolución* basada en la digitalización, que se está construyendo sobre la anterior y hacia la que transitamos cada vez con mayor celeridad. Aunque hay que decir que algunos académicos y profesionales consideran que esta coyuntura y sus consecuencias simplemente forman parte de la Tercera Revolución Industrial.

Sea cual sea el caso, este proceso de transformación, esta secuencia de revoluciones industriales, que indudablemente ha llevado aparejado un crecimiento y desarrollo económico, social y político sin precedentes en la historia de la humanidad, arrastra una deuda acumulada, tras más de doscientos años de quemar carbón, petróleo y gas natural, cuya amortización resulta cada vez más urgente.

Desde la Primera Revolución Industrial, los combustibles fósiles han sido las principales fuentes de energía empleadas en la producción de electricidad y en el transporte, lo que ha liberado a la atmósfera cantidades masivas de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (GEI) que amenazan con provocar un cambio catastrófico en la temperatura de la Tierra.

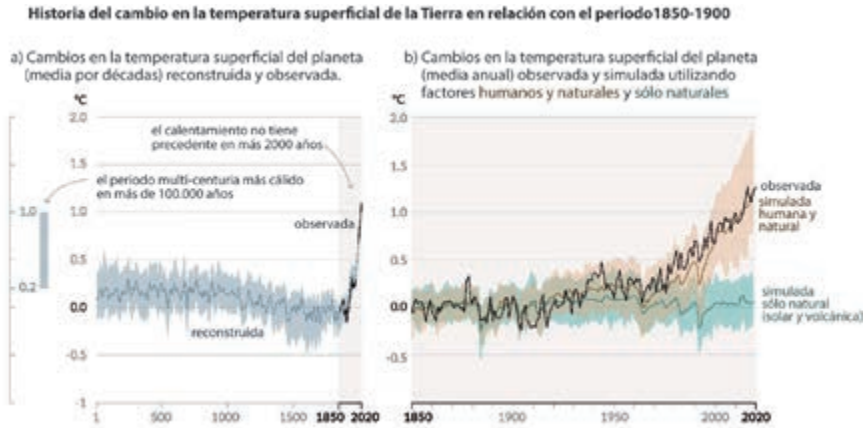


Figura 2. Historia del cambio de temperatura de la superficie de la Tierra en relación al periodo 1850-1900 y causas del calentamiento reciente (IPCC, 2021).

Nos encontremos en la tercera o de camino a la cuarta revolución industrial, la lucha contra el cambio climático, un fenómeno no solo ambiental, sino con profundas consecuencias económicas y sociales, es uno de los grandes desafíos a los que se enfrenta la humanidad. Según los científicos, aún se puede cambiar el curso de los acontecimientos si se reducen de manera inmediata, rápida y a gran escala las emisiones de GEI y se logra alcanzar la neutralidad de carbono hacia 2050 (IPCC, 2021)<sup>2</sup>.

En la actualidad, parece que las *energías renovables* se configuran como el camino hacia un nuevo modelo energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente, que contribuya a la cada vez más necesaria transición hacia una cultura global «post-carbono».

Sirvan como ejemplo las energías eólica y solar fotovoltaica, que son dos tecnologías ya consolidadas en cuanto a la producción de electricidad y que se analizarán en detalle posteriormente. Junto a ellas, la energía nuclear, aunque no exenta de riesgos e inconvenientes, es otra de las opciones de generación eléctrica llamada a jugar un papel importante en las estrategias de reducción de las emisiones de GEI y la descarbonización del sistema energético (figura 3).

<sup>2</sup> IPCC (2021). «Summary for Policymakers», en: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

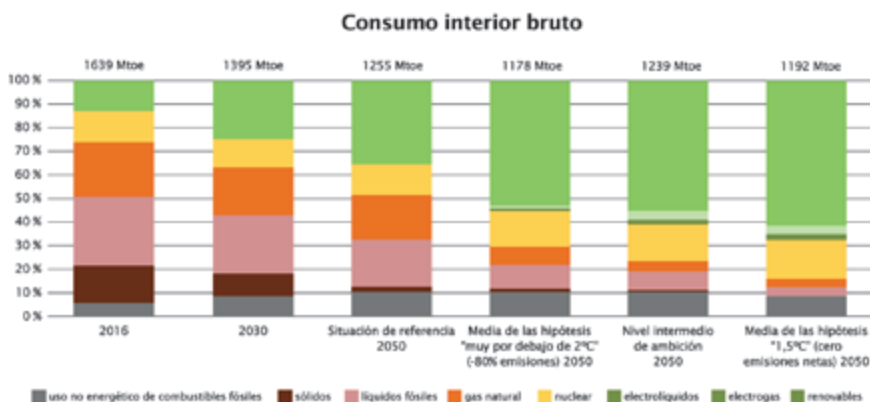


Figura 3. Combinación de combustibles en el consumo interior bruto de la Unión Europea (Comisión Europea, 2018).

La estrategia a largo plazo de la Unión Europea definida en la comunicación de la Comisión *Un planeta limpio para todo*<sup>3</sup>, propone, como uno de los siete componentes estratégicos principales para lograr el cambio a una economía climáticamente neutra, el despliegue a gran escala de soluciones de generación de energía renovable y movilidad eléctrica, y estima que «para 2050, más del 80% de la electricidad provendrá de fuentes de energía renovable (localizadas cada vez más en el mar), que, junto con una proporción del 15% de energía nuclear, será la piedra angular de un sistema energético europeo sin carbono».

En este mismo documento se señala que «la transición hacia un sistema energético en gran medida descentralizado y basado en las energías renovables exigirá un sistema más inteligente y flexible sustentado en la implicación de los consumidores y en una mayor interconectividad, un mejor almacenamiento de energía desplegado a gran escala, una respuesta del lado de la demanda y la gestión a través de la digitalización».

### El coste material de las tecnologías de energía limpia

Parece que por fin se ha alcanzado un consenso a nivel mundial, no exento de voces discrepantes, respecto la necesidad de adoptar medidas urgentes para frenar el cambio climático, entre las que el despliegue de las renovables y la implantación masiva de vehículos de motor eléctrico o híbrido, junto con las tecnologías

<sup>3</sup> COM (2018) 773 final. *Un planeta limpio para todos. La visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra*. Bruselas, 28 de noviembre de 2018.

de almacenamiento, van a ser los pilares básicos de la descarbonización de la economía.

	Eólica	Solar fotovoltaica	Energía solar concentrada	Hidráulica	Geotermia	Almacenamiento de energía	Nuclear	Calor	Gas	Captura y almacenamiento de CO <sub>2</sub>
Aluminio										
Cinc										
Cobalto										
Cobre										
Cromo										
Grafito										
Hierro										
Indio										
Litio										
Manganeso										
Molibdeno										
Neodimio										
Níquel										
Plata										
Plomo										
Titanio										
Vanadio										
<b>TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>6</b>

Tabla.1. Principales metales que intervienen en la fabricación y construcción de diferentes instalaciones energéticas (Grupo Banco Mundial, 2020).

Pero todas las formas de producción de energía, incluidas tanto las dependientes de combustibles fósiles como la nuclear y las renovables, implican externalidades no reguladas, inherentes a la extracción, movimiento y procesamiento de minerales y materiales<sup>4</sup>.

En otras palabras, para construir los nuevos vehículos y para que se pueda generar esta energía baja en emisiones de GEI, común-

<sup>4</sup> Mills, M. P. (2019). *New Energy Economy: An Exercise in Magical Thinking*. Manhattan Institute.

mente denominada *verde* o *limpia*, son necesarios productos básicos que hasta ahora provienen de la minería, ya que la fabricación de todos los equipos y dispositivos necesarios requiere la extracción y el procesamiento de materias primas minerales.

La transición a gran escala que se prevé va a conllevar un aumento drástico, no solo en el consumo de materias primas «convencionales», incluidos el hormigón, el acero, el aluminio, el cobre y el vidrio, sino también en la diversidad de materiales utilizados. Si hace tres siglos las tecnologías utilizadas por la humanidad requerían media docena de metales, hoy se utilizan más de cincuenta, que abarcan prácticamente toda la tabla periódica<sup>5</sup>.

En comparación con las tecnologías de combustibles fósiles y la nuclear, las tecnologías bajas en carbono, particularmente la solar fotovoltaica, la eólica y la geotérmica, necesitan mayor cantidad de materiales. El alcanzar ese futuro bajo en carbono, tal y como se describe en el Acuerdo de París, va a requerir un despliegue sin precedentes de estas tecnologías, así como de las de almacenamiento de energía, consideradas fundamentales para los futuros sistemas de generación eléctrica a partir de fuentes renovables y para la electrificación del sistema de transporte, lo que conducirá a una huella material tanto mayor cuanto más ambiciosos sean los objetivos de mitigación del cambio climático.

Los datos recogidos en el informe del Grupo Banco Mundial titulado *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the*

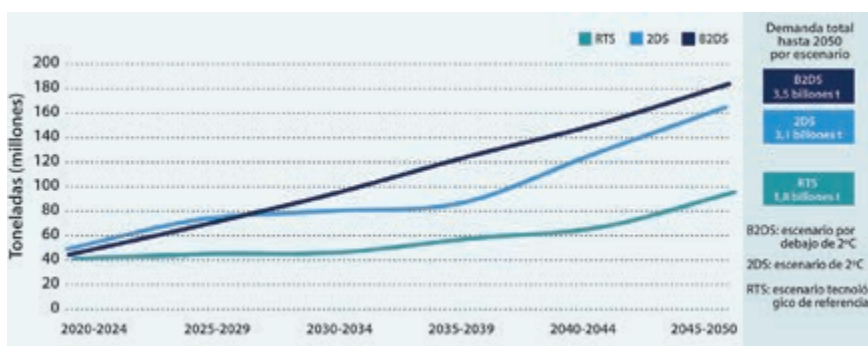


Figura 4. Estimación de la demanda anual media de minerales hasta 2050 bajo los escenarios de perspectiva de tecnología energética de la Agencia Internacional de Energía (Grupo Banco Mundial, 2020).

<sup>5</sup> Cenki, B. (2020). «Critical minerals are vital for renewable energy. We must learn to mine them responsibly». Profesora asociada de la Universidad de Montpellier e investigadora visitante de la Universidad de Sydney. *The Conversation*, 16 de febrero de 2020.

*Clean Energy Transition*-<sup>6</sup> hablan por sí solos. Se estima que para lograr una reducción de la temperatura por debajo de los 2 °C se van a necesitar más de 3000 Mt de minerales y metales, para la implementación de la energía eólica, solar y geotérmica.

Y más cifras recogidas en este informe. En ese mismo escenario, para satisfacer la demanda de las tecnologías de almacenamiento de energía, la producción de grafito, litio y cobalto se incrementaría en más del 450 % para 2050 respecto a los niveles de 2018. La demanda de algunos minerales básicos, como el aluminio y el cobre, es mucho más baja en términos porcentuales, pero sus cifras absolutas de producción resultan muy significativas, con 103 y 29 Mt, respectivamente, para 2050.

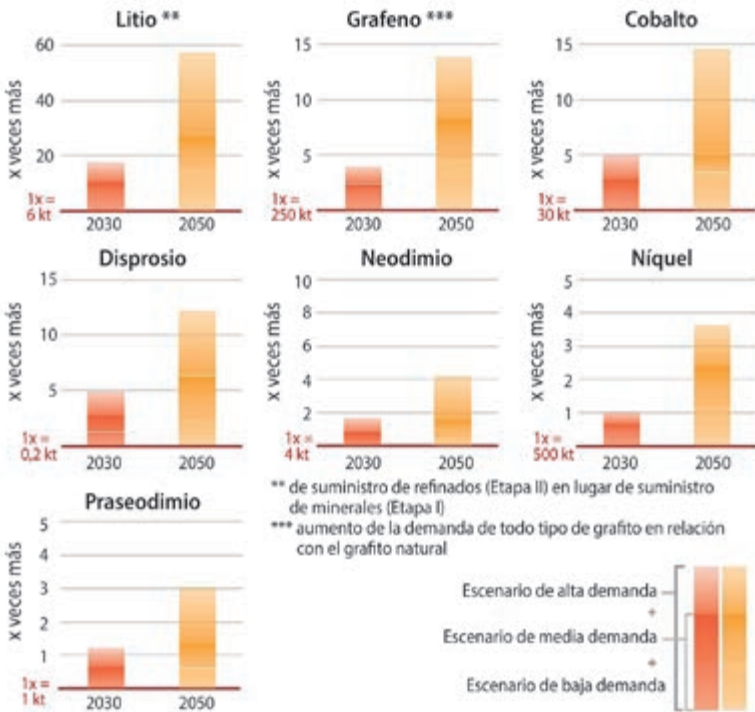


Figura 5. Incremento del consumo de diferentes materias primas minerales en energías renovables y movilidad eléctrica (baterías, pilas de combustible, turbinas eólicas y fotovoltaicas) respecto al consumo actual de material en la UE (Bobba, 2020)<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Grupo Banco Mundial (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition 2020*. International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.

<sup>7</sup> Bobba, S. et al. (2020). *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study*. 10.2873/58081.

Hay que señalar que las proyecciones del Grupo Banco Mundial no incluyen las infraestructuras asociadas necesarias para respaldar el despliegue de estas tecnologías, como por ejemplo las líneas de transmisión o las partes físicas, como las torres y las palas de los aerogeneradores o los chasis de los vehículos eléctricos, y que los escenarios de limitación del calentamiento global de la AIE empleadas en el análisis son modestas respecto a las realizadas por otros organismos.

Un informe prospectivo sobre las materias primas para sectores y tecnologías estratégicos, publicado por la Unión Europea en 2020, indica que, en comparación con el suministro actual de toda la economía de la UE, la demanda de tierras raras (TR) para imanes permanentes, utilizados, por ejemplo, en vehículos eléctricos o generadores eólicos, podría multiplicarse por diez de aquí a 2050, y que para baterías para vehículos eléctricos y almacenamiento de energía, en 2030 se necesitaría hasta 18 veces más litio y 5 veces más cobalto, y, en 2050, casi 60 veces más litio y 15 veces más cobalto.

Para concluir esta presentación de cifras, destacar dos aspectos relevantes que muestran las proyecciones realizadas por el Banco Mundial. La primera, que, a medida que aumenta la ambición climática, se produce un rápido incremento de la demanda de metales y materiales, cuyo ejemplo más significativo es que, en el campo las baterías de almacenamiento eléctrico, el aumento de la demanda de los metales más relevantes (aluminio, cobalto, hierro, plomo, litio, manganeso y níquel) puede superar el 1000% de aquí a 2050 en el supuesto de un calentamiento de 2 °C en comparación con un escenario de limitación de 4 °C (Grupo Banco Mundial, 2017)<sup>8</sup>.

La segunda, que, debido a la intensidad material de las tecnologías bajas en carbono, cualquier posible escasez en el suministro de minerales podría afectar la velocidad y la escala a la que ciertas tecnologías pueden implementarse a nivel mundial.

Este incremento tan notable en la demanda de recursos minerales no va a resultar gratuito. El manejo y procesamiento de cantidades tan grandes de materiales conlleva sus propios costes de energía, así como implicaciones de índole ambiental, econó-

---

<sup>8</sup> Banco Mundial (2017). *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future* ('Papel creciente de los minerales y metales para un futuro con bajas emisiones de carbono').





Figura 6. Situación supuestamente futurista.

mica, política y social, poco conocidas por la opinión pública y, no pocas veces, obviadas por el ecologismo más radical, en las que algunas de esas voces discrepantes a que se ha hecho mención al inicio de este apartado se apoyan para poner en cuestión no solo la «limpieza» de esta revolución energética baja en carbono, sino su propia viabilidad.

Las materias primas minerales necesarias para implementar las tecnologías de energía renovable y movilidad eléctrica, al igual que los combustibles fósiles, son recursos no renovables.

Desde este punto de vista, ninguno de estos sistemas alternativos de generación energética es realmente «renovable», porque, si bien el Sol o el viento son fuentes renovables, las tecnologías necesarias para su aprovechamiento no lo son. Según el analista Nate Hagens, toda la energía «renovable» es en realidad energía «reemplazable», ya que cada 15-25 años (o menos) gran parte o la totalidad de los sistemas y estructuras de energía alternativa deben ser reemplazados, además de que, hoy por hoy, muy pocos de los procesos mineros, de fabricación y de transporte necesarios para ello pueden realizarse con la electricidad «renovable» que generan estas fuentes.

Esta cuestión, que puede parecer un mero juego de palabras, pone en evidencia que este nuevo paradigma, la eliminación gra-

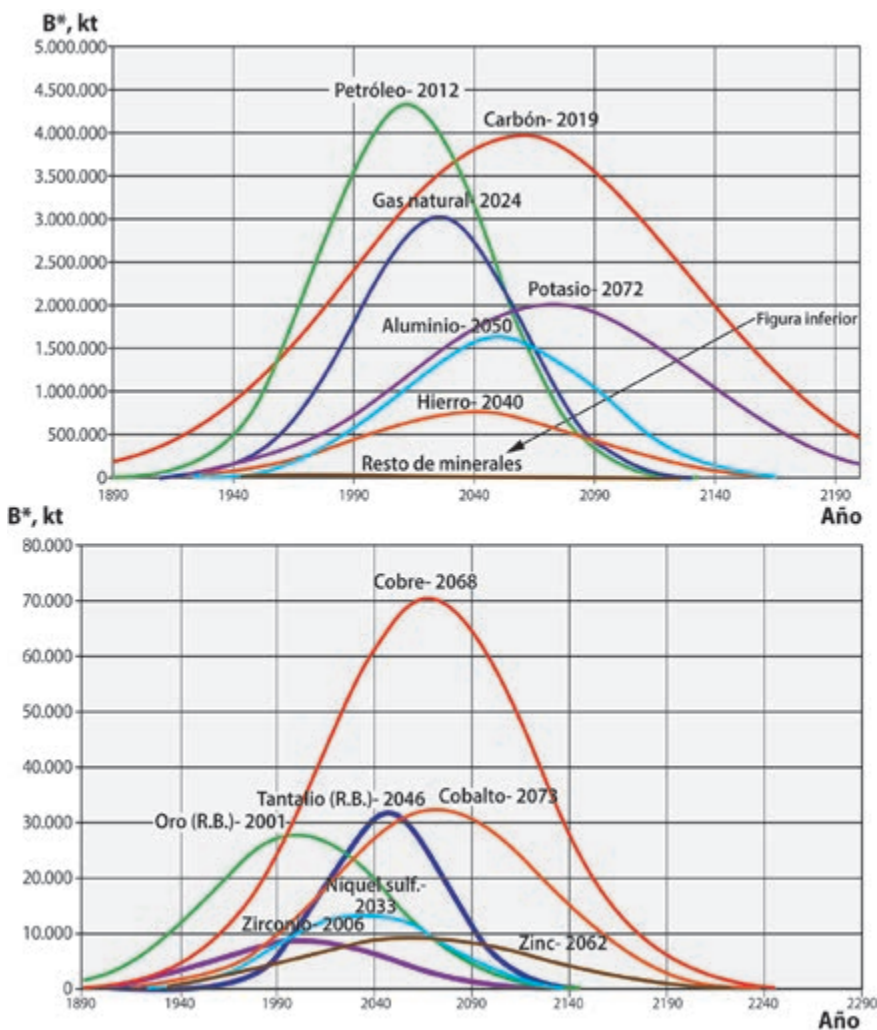


Figura 7. La evaluación exergética de recursos minerales revela que el pico de producción de hasta 27 materias primas minerales (circonio, níquel, uranio, cobre, wolframio, entre otros) puede alcanzarse antes de fin de siglo (Michaux, 2021).

dual de los combustibles fósiles y de su infraestructura, arrastra uno de los vicios de los anteriores: su absoluta dependencia de recursos naturales no renovables para obtener energía.

En un reciente informe publicado por el Servicio Geológico de Finlandia<sup>9</sup> se señala que la disponibilidad de minerales podría

<sup>9</sup> Michaux, S. (2021). *The Mining of Minerals and the Limits to Growth*. 10.13140/RG.2.2.10175.84640.

ser un problema en el futuro cuando su extracción resulte excesivamente costosa por la disminución de las leyes, y se plantean dudas sobre la existencia real de suficientes reservas para hacer frente al incremento de demanda que se avecina.

Por ejemplo, en 2019 el consumo mundial de cobre metálico fue de 24,5 Mt y las reservas mundiales de 870 Mt. Con estos datos, las reservas actuales cubrirían 35,5 años de suministro con los índices de extracción y reciclaje de 2019. Pero se estima que la demanda de cobre aumentará hasta alcanzar, aproximadamente, los 100 Mt en 2100<sup>10</sup>.

En el supuesto de un calentamiento de 1,5 °C, se estima que la demanda acumulada de las tecnologías de almacenamiento y de energía renovable podría exceder en 2050 las reservas actuales de cobalto, litio y níquel, y alcanzar más del 50% de las reservas de indio, plata y telurio<sup>11</sup>.

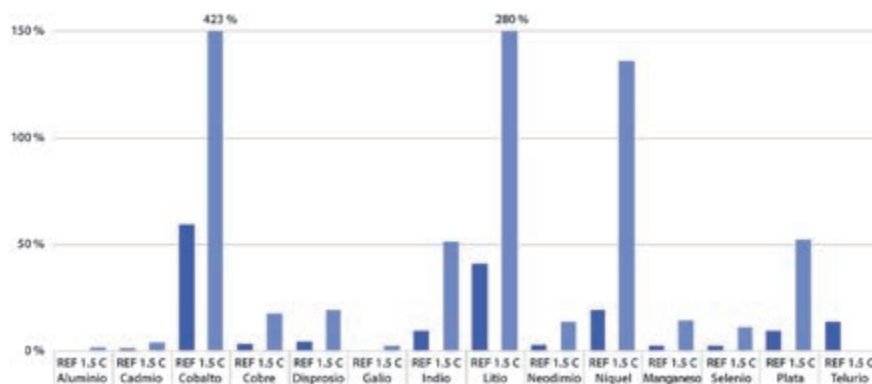


Figura 8. Demanda total acumulada derivada de los sistemas de energía renovable y almacenamiento para 2050 como porcentaje de las reservas. Escenarios climáticos de 1,5 °C y de referencia (Dominish, 2019).

Ya a más corto plazo, cubrir la creciente demanda primaria de los recursos minerales necesarios para la transición hacia las energías renovables presenta serias dificultades, agravadas en algunos casos por el hecho de que muchos de ellos nunca antes se han extraído en grandes cantidades. Y aquellos que tienen una demanda anual proyectada alta en comparación con los niveles de producción actuales necesitarán aumentar rápidamente la oferta.

<sup>10</sup> Ibídem.

<sup>11</sup> Dominish, E. et al. (2019). *Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy*. Informe elaborado para Earthworks por el ISF (Institute for Sustainable Futures). Universidad Tecnológica de Sídney.

En este sentido, resulta preocupante el rápido aumento de la demanda de cobalto, litio y tierras raras que ha provocado la pronosticada electrificación rápida del transporte y la expansión de las baterías de almacenamiento eléctrico. Según las previsiones, la demanda de litio y tierras raras, empleadas en las baterías li-ion de los vehículos eléctricos, superará las tasas de producción actuales en 2022 (para todos los usos), y la de cobalto y níquel en 2030<sup>12</sup>.

Otro fenómeno es que muchos de estos nuevos materiales, actualmente tan demandados por la sociedad, son escasos y su explotación está concentrada en áreas políticamente conflictivas, donde la falta de sostenibilidad ética y social se pone de manifiesto en una ausencia de control y seguridad que, en ocasiones, pone en peligro los propios derechos humanos, con lo que su suministro no está garantizado.

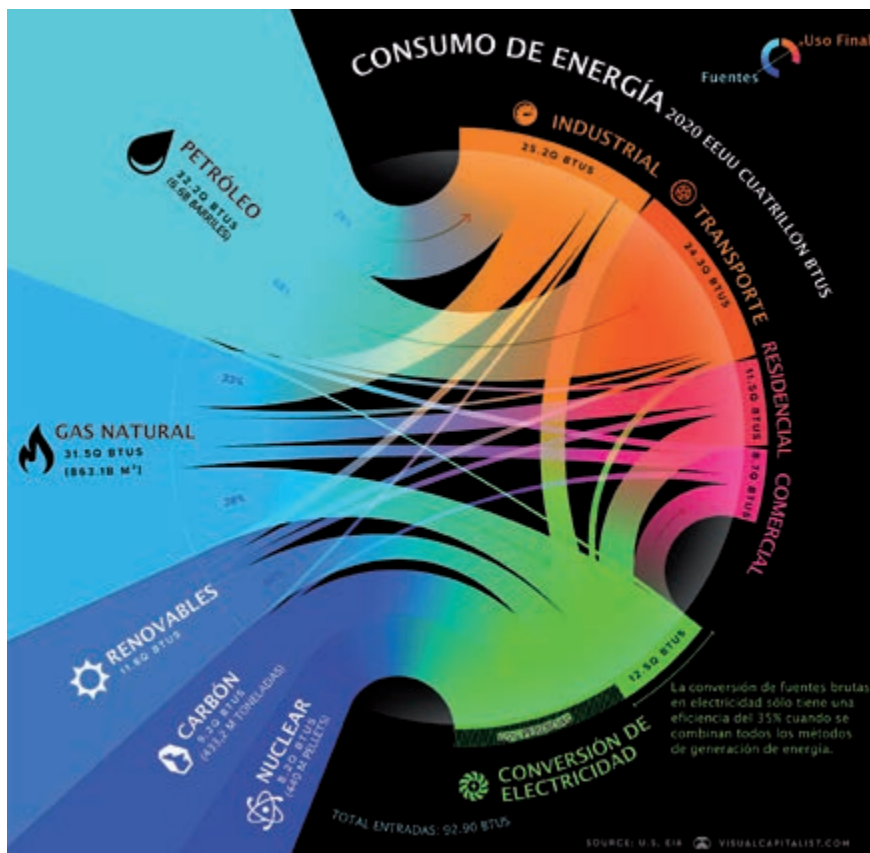


Figura 9. Distinción entre energías primarias y energías finales (U.S. EIA).

<sup>12</sup> Ibídem.

Satisfacer la creciente demanda de los recursos minerales es un problema complejo que requiere también soluciones complejas, algunas que, probablemente, todavía deben ser inventadas. Del lado de la oferta, será necesario invertir en geociencias y crear nuevas herramientas para la exploración, extracción, beneficio y recuperación para incrementar la disponibilidad de materiales primarios y desarrollar procedimientos de reciclaje eficaces que complementen el suministro con materiales secundarios.

En este sentido, el Banco Mundial pone especial énfasis en la importancia que revestirán el reciclaje y la reutilización. Pero también indica que, incluso si se incrementaran en un 100% las tasas de reciclado de minerales como el cobre o el aluminio, el reciclaje y la reutilización seguirían siendo insuficientes para satisfacer la demanda derivada de las tecnologías de energía renovable y de almacenamiento de energía.

En el corto-medio plazo, como señala el mencionado informe del Servicio Geológico de Finlandia, la mayoría de las infraestructuras y tecnologías necesarias para eliminar gradualmente los combustibles fósiles aún no se han fabricado, y no se pueden reciclar productos que aún no existen.

Desde el punto de vista ambiental y social, la OCDE alerta de que, si no se abordan las implicaciones que tienen las tecnologías hipocarbónicas en los recursos, existe el riesgo de que el hecho de transferir la carga de la reducción de las emisiones a otras partes de la cadena económica provoque nuevos problemas ambientales y sociales, como la contaminación por metales pesados, la destrucción de hábitats o el agotamiento de recursos.

A este respecto, únicamente destacar que la extracción y el uso de los minerales con los que se fabrican estas tecnologías hipocarbónicas, en general, suponen un consumo muy elevado de energía, tanto mayor cuanto menor es la ley del mineral, con las consiguientes emisiones de GEI, que, aunque resultan muy inferiores a las de las tecnologías de combustibles fósiles, no dejan de ser significativas, y la generación de volúmenes increíbles de residuos.

Por ejemplo, para los depósitos de arcillas iónicas se estima que, por tonelada concentrados de óxidos de tierras raras se remueven 300 m<sup>2</sup> de vegetación y suelo y se producen 2000 toneladas de residuos y 1000 litros de agua de proceso con-

taminada con altas concentraciones de reactivos y metales pesados<sup>13</sup>.

El futuro de la minería y de las energías renovables están interconectados. Mientras que el camino exacto para reducir la cantidad de combustibles fósiles aún es incierto, la adopción masificada de nuevas tecnologías en este campo tiene el potencial de cambiar los patrones de uso de los metales a nivel mundial, y con ellos la función a desempeñar por el sector de la minería.

### Del carbón energético a la minería de tierras raras

Las transformaciones en el campo de la energía también están jugando un papel cada vez más revelante en el sector de la minería. Por un lado, han desaparecido de una forma rápida, y en ocasiones drástica, la mayoría de las minas de carbón que eran las encargadas de proporcionar el combustible necesario para que las centrales térmicas convencionales produjeran electricidad.

En España, lejos de producirse una verdadera transición, gradual o planificada, se ha llevado a cabo de manera casi espontánea o contundente, como cuando a un enfermo se le ingresa por urgencias, resultando un diagnóstico de suma gravedad y con intervención rápida, demoliéndose con explosivos cualquier vestigio que pudiera permanecer para poder explicar a las generaciones futuras un periodo de la historia energética del que no hay que vanagloriarse, pero tampoco avergonzarse o arrepentirse.

Cabe aquí hacerse una pregunta: ¿qué opinaríamos hoy en día de los romanos si hubieran decidido, por desacuerdos relativos a la intrusión paisajística de sus grandes obras hidráulicas, demoler todos los acueductos?

Como consecuencia de lo anterior, se da la paradoja de que el sector extractivo tradicional está pasando a ser proveedor de otros elementos o componentes necesarios en los dispositivos que generan la electricidad. Los metales y los minerales destinados a la producción de energías renovables son de vital importancia, ya que sin ellos sería imposible la fabricación de, por ejemplo, aerogeneradores o paneles solares.

Los minerales también hacen acto de presencia en los diferentes sistemas de almacenamiento de la electricidad producida. Hoy en

---

<sup>13</sup> Su, W. (2009). *Economic and policy analysis of China's rare earth industry*. Beijing: China Financial and Economic Publishing House.

día, ese acopio de energía se hace en los dispositivos electroquímicos, también llamados *baterías*, elaboradas con litio, plomo, níquel, sodio, etc., y que son, a corto plazo, los que ayudarán a integrar las energías renovables dentro de los sistemas eléctricos existentes en cada país.

Además, la reserva de energía en baterías solventará el problema de los picos altos y bajos en el suministro, produciéndose un aplanamiento de la curva de consumo y, consecuentemente, un uso más racional y eficiente de las instalaciones de transporte y de distribución.



Foto 1. Explotación a cielo abierto de elementos de tierras raras.

No obstante, la construcción de las nuevas redes y el refuerzo y conservación de las existentes producirá un aumento inmediato de metales como son los tradicionales: el cobre, el aluminio, etc.

El ansia por las materias primas, en general, y por los metales básicos y las tierras raras en particular, se ve continuamente estimulada por una población mundial que llegará, el año 2030, a superar los 8500 millones. El pasar de un modelo energético antiguo a un modelo energético nuevo, pretendiendo los máximos responsables políticos emanciparse de los combustibles fósiles, podrá conducirnos a una situación de nueva dependencia mineral, aún más fuerte que la actual.

Todos los sectores estratégicos de las economías del futuro, todas las tecnologías que aumentarán nuestra capacidad de cálculo y mejoras en todos los procesos que consumen energía, incluso

cualquier decisión colectiva o el más ínfimo gesto cotidiano, se revelarán como totalmente dependientes de los *metales raros*.

Mientras que las energías renovables siguen avanzando como fuentes de electricidad, la previsible expansión a corto-medio plazo de la capacidad nuclear incrementará la demanda de uranio y otros minerales como el deuterio y el tritio, además del interés por catalizadores hechos con metales preciosos.

En la figura 10 se hace un resumen gráfico de los usos y aplicaciones que tienen actualmente las tierras raras.



Figura 10. Principales aplicaciones de las tierras raras.

### ***Las energías renovables o alternativas, y también llamadas limpias***

Los objetivos de clima y energía de la Unión Europea para 2050 pasan por reducir las emisiones de carbono hasta el 95% respecto del año 1990, al mismo tiempo que se dependerá cada vez más de las energías renovables.

Se predice que, para 2050, España podría abastecerse únicamente de energías renovables si se llegara a hacer un uso eficiente de ellas.

Las dos energías renovables que se encuentran más consolidadas son, como ya se ha mencionado, la eólica y la solar fotovoltaica, cada una con unas potencias instaladas respectivas, a fecha de cierre de 2020, de 27 485 MW y 11 714 MW.



Si se tienen en cuenta todas las tecnologías, renovables y no renovables, la potencia total instalada supera los 110 000 MW, siendo esto debido a que la falta de disponibilidad de las principales instalaciones de renovables (eólica y solar fotovoltaica) no generan electricidad, respectivamente, cuando no hay viento y por la noche o cuando no irradia el sol, teniendo la necesidad de contar con el respaldo de las instalaciones convencionales, como son las de ciclo combinado que se alimentan con gas natural.

En este contexto, la energía eólica se posiciona como una de las principales formas de producción de energía eléctrica en el panorama energético europeo, al ser una de las menos contaminantes y seguras.

Tal como se puede ver en las curvas de demanda del 25 de agosto de 2021, la demanda máxima de potencia era de 32 856 MW. Si se compara esta cifra con la de potencia total instalada en el territorio nacional, que es, como ya se ha dicho, de más de 110 000 MW, representa algo menos del 30%, o, dicho de otro modo, el modelo energético del sector eléctrico manifiesta un fuerte sobredimensionamiento, cuyo coste, lógicamente, lo pagan los consumidores.

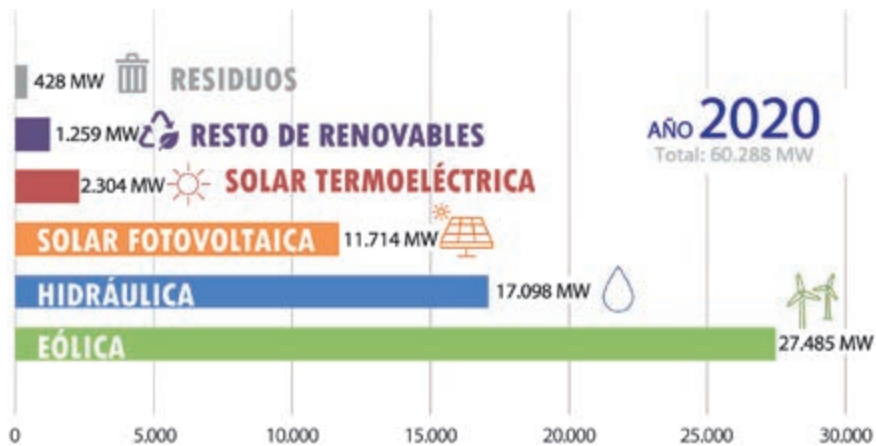


Figura 11. Potencias instaladas de las fuentes de generación renovables en España (datos de REE).

Lo anterior es debido a la necesidad de disponer como apoyo a las renovables, ante eventos de falta de disponibilidad, de instalaciones convencionales de generación, como son las de ciclo combinado que consumen gas natural.

Llama la atención la poca pedagogía para explicar o comunicar determinados aspectos técnico-económicos sobre energía, o la carencia de cultura energética que manifiestan algunos responsables políticos. Solo hace falta leer la prensa durante estos días del verano de 2021 en los que se han alcanzado los precios más altos del MWh.



Figura 12. Curva diaria de demanda eléctrica a nivel nacional (REE).

### El futuro pasa por la energía nuclear

A pesar de la incertidumbre existente con respecto a los desarrollos tecnológicos y la evolución de las políticas nacionales e internacionales, y de que los desafíos que plantea no son insignificantes (altos costes de capital, generación y gestión de residuos radiactivos, opinión pública contraria, proliferación con fines bélicos), los escenarios futuros de mitigación del cambio climático reflejan el importante papel que puede jugar en el futuro la energía nuclear a escala global, reconociendo que se trata de una fuente confiable, de coste relativamente bajo y que proporciona electricidad baja en carbono (figura 13).

Lo cierto es que el futuro sistema energético global deberá depender de una amplia gama de tecnologías que trabajen en sinergia en un sistema más integrado y complejo, y en este marco, como afirma Rafael Mariano Grossi, director general del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), la energía nuclear y las renovables no deberían considerarse competidoras, sino complementarias<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> OIEA (2020). *Climate change and nuclear power 2020*. Organismo Internacional de Energía Atómica. Disponible en [www.iaea.org](http://www.iaea.org).

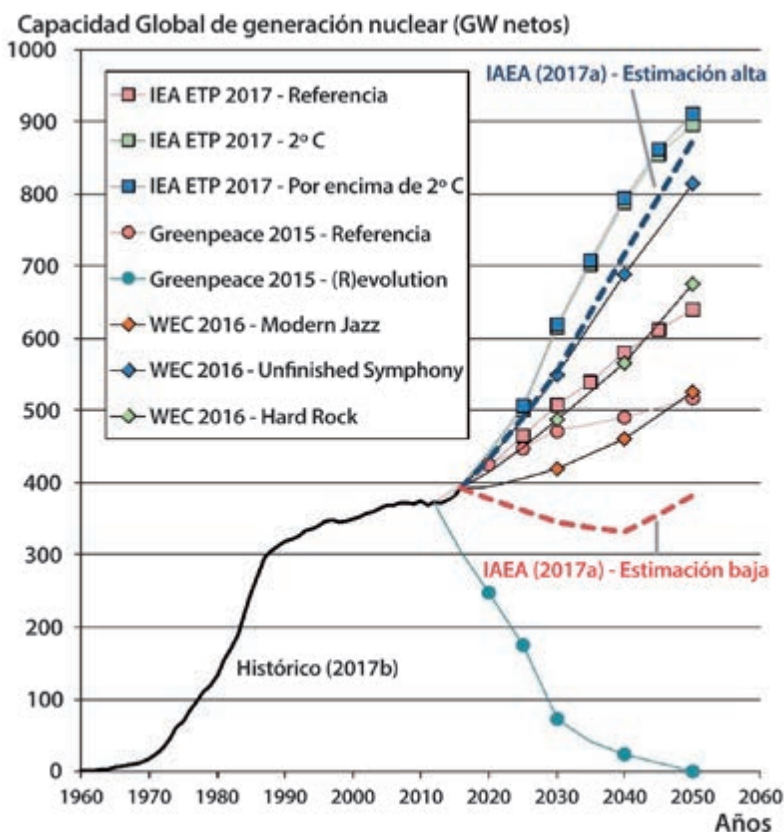


Figura 13. Capacidad de generación nuclear a escala global en los escenarios de mitigación del cambio climático definidos por la Agencia Internacional de la Energía (AIE), el Consejo Mundial de la Energía (WEC) y Greenpeace (OIEA, 2017)<sup>15</sup>.

La energía nuclear se presenta como una alternativa que, al igual que las renovables, permite reducir el uso de carbón para la generación de electricidad, y facilita que esta se genere de forma sistemática con un nivel muy bajo de emisiones de dióxido de carbono. Es, además, compatible con otras energías renovables dentro de una matriz diversificada y limpia.

La producción de energía eléctrica en una central nuclear es continua, es decir, se genera electricidad durante el 90 % del tiempo,

<sup>15</sup> OIEA (2017). Nuclear Power for Sustainable Development. Organismo Internacional de Energía Atómica. En las proyecciones del WEC, el escenario Modern Jazz representa un mundo «digitalmente disruptivo», innovador e impulsado por el mercado; Unfinished Symphony, un mundo con modelos de crecimiento económico progresivamente más «inteligentes» y sostenibles conforme se avanza hacia un futuro con bajas emisiones de carbono; y Hard Rock explora las consecuencias de un crecimiento económico más débil e insostenible, con políticas introspectivas o autocráticas.

lo que beneficia a la planificación eléctrica. Además, al no depender de factores naturales, se solventa la que puede ser la gran desventaja de las energías renovables en tanto no se fabriquen sistemas de almacenamiento más potentes.

En el plano económico, la energía nucleoelectrica se encuentra entre las tecnologías de generación más baratas, una vez en funcionamiento. En la figura 14 se muestran los costes normalizados de generación de 1 MWh a lo largo de la vida útil de una planta con diferentes tecnologías eléctricas a gran escala. Esta estimación representa los costes directos privados y excluye los costes sociales o beneficios por externalidades, como las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas. Los rangos de costes reflejan las diferencias regionales y nacionales relacionadas, principalmente, con la estructura del mercado y la dotación de recursos.

En el plano ambiental, y tomando como referencia los análisis de ciclo de vida del funcionamiento normal de diferentes tecnologías de generación eléctrica, metodología que permite comparar su impacto total desde «la cuna hasta la tumba», la energía nuclear, junto a la hidroeléctrica y la eólica, es la tecnología que menores emisiones de GEI genera, tiene un impacto muy pequeño en los ecosistemas en comparación con el resto de alternativas (acidificación y eutrofización) y, aunque utiliza cantidades similares de agua

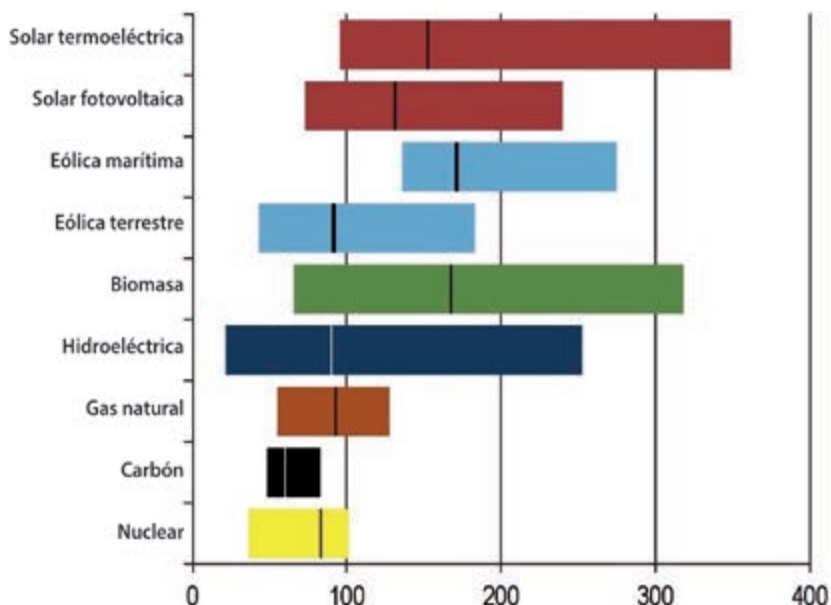


Figura 14. Costes normalizados de generación eléctrica (US \$ 2013/MWh) con una tasa de descuento del 7%. Las barras indican estimaciones bajas, medias y altas (OIEA, 2017).

a las otras centrales térmicas (por ejemplo, carbón), sus requerimientos de ocupación de suelo son muy inferiores (figura 15).

Respecto a riesgos para la salud y seguridad, a pesar de las bajas tasas de mortalidad de la energía nucleoelectrónica (emisiones tóxicas y de partículas de combustión), permanece la posibilidad de accidentes graves provocados por riesgos naturales, fallas tecnológicas y errores humanos, y, a diferencia de la mayoría de las otras tecnologías, estos accidentes pueden causar un número considerable de muertes y provocar impactos sociales y sobre la salud más amplios cuando las comunidades tienen que ser reubicadas.

El papel que juega la minería dentro de la energía nuclear es el de proporcionar los minerales necesarios para llevar a cabo los procesos de fisión y fusión. El mineral más usado en la energía

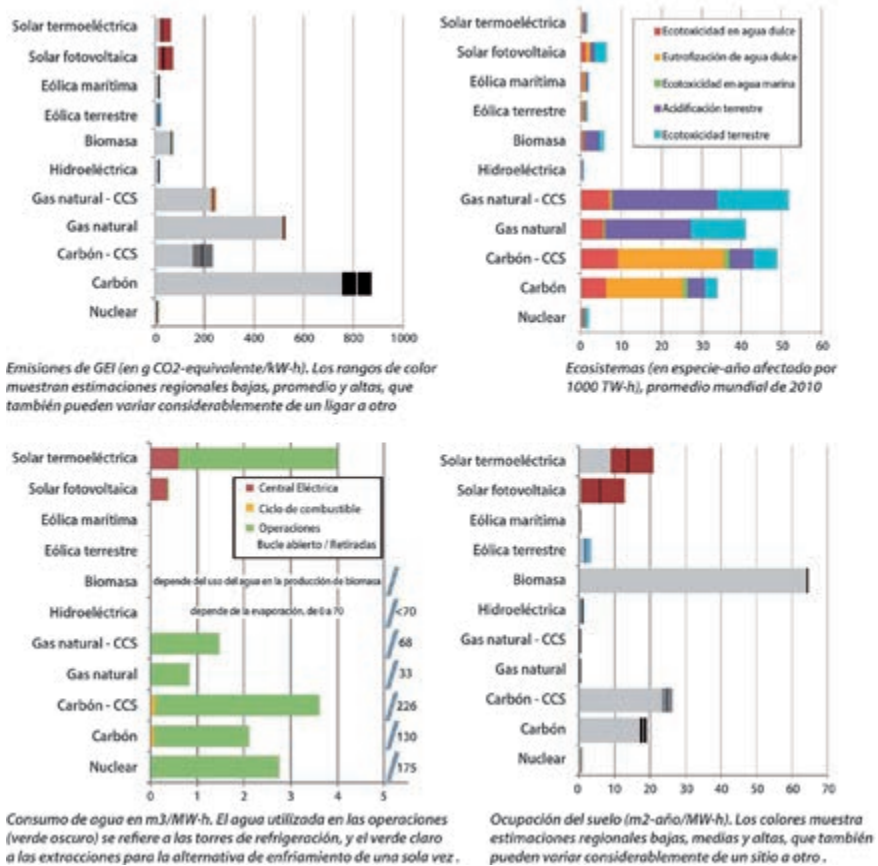


Figura 15. Comparativa de los resultados del análisis de ciclo de vida del funcionamiento normal de diferentes tecnologías de generación eléctrica (OIEA, 2017).

nuclear es el uranio, del que se extrae su isótopo 235, el único fisible. Pese a ser un elemento radioactivo, su extracción se hace de igual forma que la de otros minerales, tomando siempre las precauciones necesarias para no contaminar el entorno.

Independientemente del desempeño económico y ambiental de la energía nuclear, su contribución a la descarbonización de la economía va a estar determinada en última instancia por el apoyo político y de la opinión pública, que, en general, tiene una visión muy negativa, en parte influida por argumentos que obvian sus beneficios y exageran sus riesgos.

### Intensidad mineral en el sector energético y la movilidad eléctrica

Tal como se ha expuesto anteriormente, las TR juegan un importante papel en numerosas instalaciones energéticas de origen



Figura 16. Las tierras raras y su criticidad (Prego Reboredo, 2021).

renovable y, también y de forma paralela, en todo lo que abarca el ámbito de la movilidad eléctrica.

En los siguientes apartados se estudian con mayor profundidad dos tecnologías de energías renovables y el futuro del vehículo eléctrico, con sus elementos, sus características, etc.

### Energía eólica

La energía eólica es una de las tecnologías más rentables para mitigar el cambio climático, siendo hoy en día un sector en continuo crecimiento y con una amplia base industrial, especialmente en la UE.

La mayor penetración de la tecnología eólica, en la UE y en el resto de los mercados mundiales, depende de sus características técnico-económicas, junto con los marcos regulatorios y la eficacia de las políticas energéticas. También se ve influenciada, como es obvio, por la estabilidad de los suministros de materiales y por la evolución de los precios de estos.

La relevancia del sector eólico español se manifiesta a través de los siguientes datos: el sector empresarial mantiene el liderazgo mundial de esta tecnología, siendo en 2018 el quinto país con mayor potencia instalada del mundo con un 4% del total, después de China (35%), Estados Unidos (17%), Alemania (10%) e India (6%).

Los 23484 MW instalados en España hasta finales de 2018 convierten a la energía eólica en la energía renovable con mayor potencia instalada del sistema eléctrico nacional.

El elevado nivel de penetración eólica en España durante la pasada década ha propiciado que se hayan venido realizando todo un conjunto de actividades empresariales en la cadena de valor de este mercado: promotores de parques eólicos/productores de energía, fabricantes de aerogeneradores, fabricantes de componentes específicos (torres, palas, rodamientos, multiplicadoras, equipos de control, etc.).

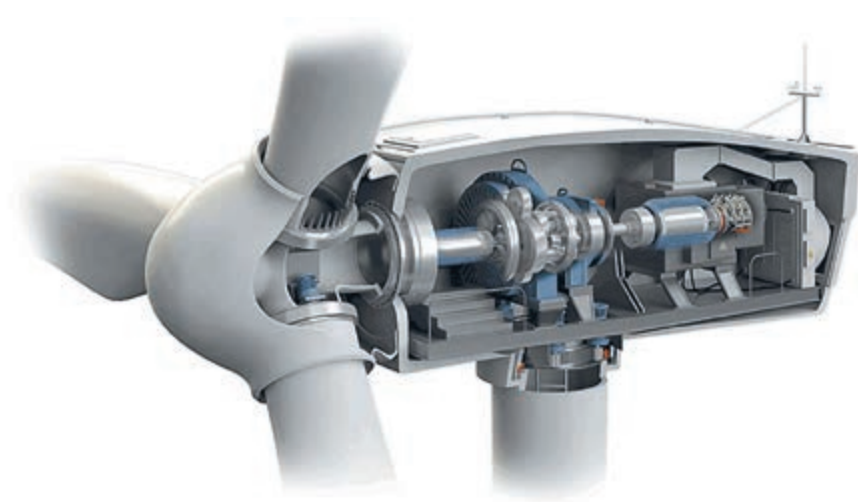
La existencia de proveedores de componentes y servicios de alta calidad, así como la existencia de profesionales muy cualificados, ha atraído a empresas extranjeras de la industria a instalarse en España.

La política intermitente de la Administración respecto a este y a otros sectores energéticos ha dado lugar a que esa presencia extranjera se haya debido al interés de adquirir de una manera rápida y a bajo coste unas tecnologías que, de pretender

desarrollar en sus países de origen, tardarían muchos años en lograrlo. En definitiva, esa situación se ha traducido en algunos casos en la compra o adquisición de empresas españolas, con todo lo que ello conlleva.

Desde un punto de vista estrictamente tecnológico, en la actualidad se utiliza una variada combinación de tipos de turbinas eólicas para cumplir con una extensa variedad de condiciones específicas de los emplazamientos, ya sea en tierra (*on-shore*) o en alta mar (*off-shore*), por ejemplo:

- Accionamiento directo GSEE (Generador Síncrono Excitado Eléctricamente)
- Accionamiento directo GSIP (Generador Síncrono de Imanes Permanentes)
- Caja de engranajes GSIP (Generador Síncrono de Imanes Permanentes)
- Caja de engranajes GIDA (Generador de Inducción de Doble Alimentación)
- Caja de engranajes GIJA (Generador de Inducción de Jaula de Ardilla, SCIG)



**Figura 17. Vista interior de un aerogenerador con caja de engranajes o multiplicadora.**

Todas estas tecnologías son adecuadas tanto para aplicaciones en tierra como en alta mar, a excepción de los GIJA, que se aplican únicamente a la energía eólica marina.



Los GIDA dominan el mercado *on-shore* hoy en día, mientras que los GIJA dominan el mercado *off-shore*. Según los expertos en este campo de la ingeniería, un aerogenerador sin caja multiplicadora y con un generador síncrono con imanes permanentes permite conseguir que la velocidad del rotor sea transferida de manera directa al generador.

Los SAT (Superconductores de Alta Temperatura) de accionamiento directo conforman una tecnología prometedora que actualmente se encuentra en una etapa inicial de investigación.

Las turbinas eólicas están diseñadas específicamente para mejorar su rendimiento en términos de producción de energía, fiabilidad, operatividad, mantenibilidad, costes de capital, etc.

Las turbinas eólicas modernas integran una serie de componentes altamente optimizados como son el generador, el tren de transmisión, el rotor y las palas, para conseguir unos costes de producción de energía lo más bajos posibles.

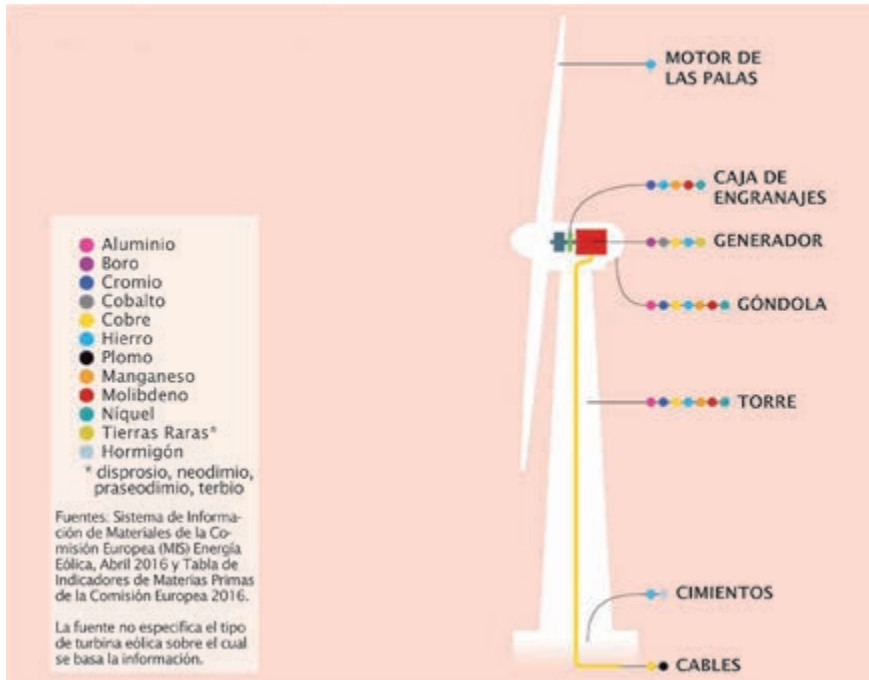


Figura 18. Materias primas usadas en la construcción y montaje de un aerogenerador (European Commission Materials Information System, 2016).

Un componente clave de una turbina eólica es el generador, que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Hay tres tipos principales de aerogeneradores: de corriente continua, de corriente alterna síncrona y de corriente alterna asíncrona.

Teniendo en cuenta la naturaleza fluctuante del viento, resulta muy ventajoso operar con los generadores de velocidad variable, para reducir las tensiones mecánicas en las palas y en el tren de transmisión.

Los generadores de imanes permanentes (IP) se han introducido en las últimas décadas en aplicaciones de turbinas eólicas debido a su alta densidad de potencia y reducida masa. En particular, el sistema Direct Drive GSIP ofrece ciertas ventajas en términos de eficiencia, peso, dimensiones y mantenimiento. Sin embargo, este tipo de turbinas está asociado con una alta demanda de TR.

Las palas son otro componente clave de un aerogenerador. Están diseñadas y fabricadas para soportar las cargas provocadas por las continuas variaciones de velocidad de los vientos. Estas condiciones de carga, en combinación con las bajas fuerzas gravitatorias requeridas, conducen a una selección de materiales que combinan una alta resistencia al peso con una alta rigidez y resistencia a la fatiga.



Foto 2. Vista de un aerogenerador terrestre convencional.

Las capas compuestas de fibra de vidrio se utilizan comúnmente para la fabricación de palas, aunque la fibra de carbono podría

representar el siguiente estándar en el refuerzo de turbinas eólicas.

Las TR, es decir, el neodimio, el praseodimio y el disprosio, son ingredientes clave en el material magnético más poderoso, el neodimio-hierro-boro (NdFeB). Este imán se utiliza para fabricar generadores síncronos de imanes permanentes (GSIP), que se emplean en las principales configuraciones de turbinas eólicas.

Los materiales más relevantes requeridos en la generación de energía eólica y los componentes principales de una turbina eólica se enumeran en la figura 19.

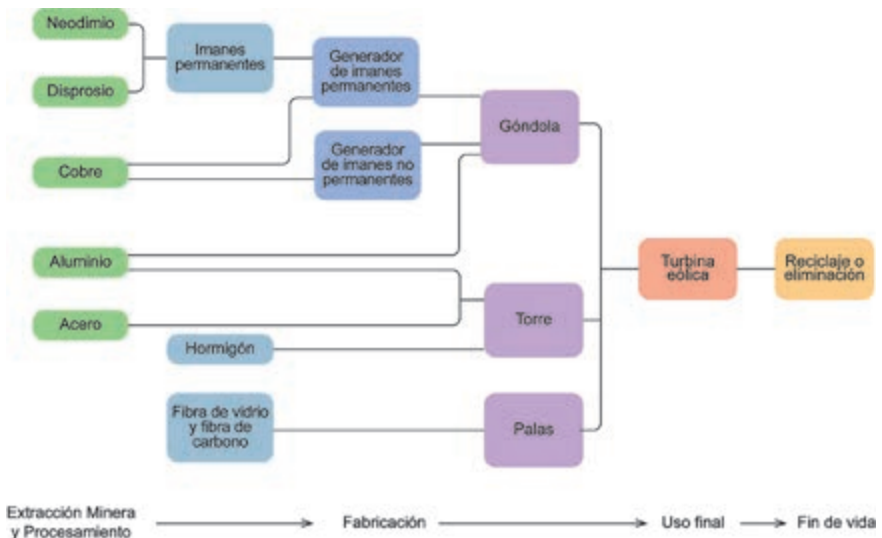


Figura 19. Metales y elementos de tierras raras empleados en los aerogeneradores (Dominish, 2019).

En la figura 20 se detalla dónde se utiliza cada material y la presencia de aleaciones con otros metales.

De manera análoga a lo que ha ocurrido con las instalaciones fotovoltaicas, la energía eólica ha tenido dentro del conjunto de las renovables un crecimiento espectacular. Así, por ejemplo, según la AIE, en 2018 se ha alcanzado una potencia instalada de 566 GW.

El aumento del tamaño de las turbinas, la mayor eficiencia, los menores costes de capital y los efectos de la economía de escala han permitido generar electricidad a unos costes cada vez más bajos. Cada vez con una mayor frecuencia, se tienen costes con

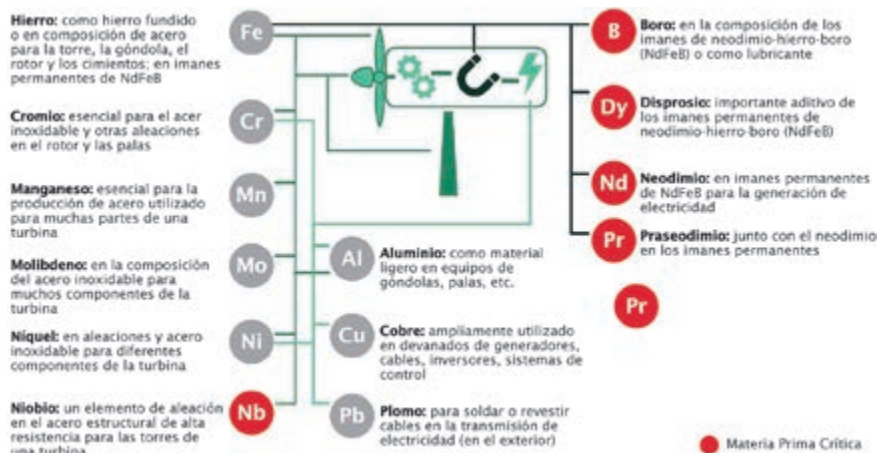


Figura 20. Materias primas minerales críticas usadas en la fabricación de aerogeneradores (Bobba, 2020).

eólica terrestres inferiores a los 40 \$/MWh en mercados en desarrollo. Con la eólica marina, esa tendencia a la baja ha sido aún más espectacular, llegando al intervalo de 150 a 200 \$/MWh en 2015 y a menos de 50 \$/MWh en Inglaterra en 2019 (ESMAP, 2019).

Algunos de los aerogeneradores terrestres superan actualmente los 6 MW de potencia instalada, con capacidad para suministrar electricidad a más de 5000 viviendas, mientras que los mayores aerogeneradores marinos son del doble de potencia (12 MW) y poseen unas palas de más de 107 m de longitud. Y dentro de muy poco tiempo se instalarán aerogeneradores con tamaños de turbinas de unos 15 MW y, a continuación, las de 20 MW.

España cuenta con 6000 km de costa en los que existe recurso eólico estable y abundante. Sin embargo, por diversos factores, la eólica marina apenas ha tenido desarrollo, en contraste con la eólica terrestre y con otros países europeos que sí están apostando fuertemente por la eólica marina.

A continuación, se analiza la tecnología existente actualmente en el medio marino, así como las tendencias principales.

Las turbinas eólicas terrestres y las marinas tienen muchos puntos en común, pero también presentan diferencias significativas en el diseño, en la tecnología y en los materiales requeridos, tanto en las propias turbinas como en el equilibrio y estabilidad de cada planta.

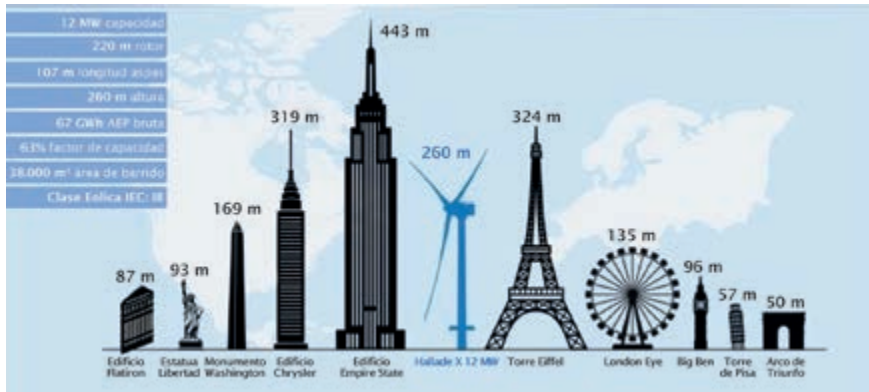


Figura 21. Tamaño relativo de un aerogenerador de 12 MW de potencia instalada. Los aerogeneradores más modernos pueden tener entre 150 y 250 m desde la base hasta la punta de la pala, casi la altura de la Torre Eiffel (GE Renewable Energy).

En general, las turbinas eólicas marinas se enfrentan a condiciones más duras que sus homónimas terrestres y, por lo tanto, deben ser más resistentes a la corrosión, a los vientos más fuertes y a los climas extremos.

Los parques eólicos marinos también requieren mayores insumos de materiales en sus cimientos (principalmente acero) y en el cableado necesario para transportar la electricidad a tierra (por ejemplo, el cobre). Así mismo, los parques eólicos marinos ofrecen mayores factores de capacidad que sus homólogos terrestres (ESMAP, 2019).

Las turbinas eólicas más modernas se pueden dividir en dos grandes grupos: con engranajes o de transmisión directa.

1. Las turbinas con engranajes representan aproximadamente el 80% del total de la capacidad instalada. Estas máquinas, que se denominan de *diseño danés*, utilizan una caja de cambios para convertir la velocidad de rotación relativamente baja del rotor de la turbina (12-18 r/min) a una velocidad mucho más alta a la entrada del generador (1500 r/min). La gran mayoría de estos generadores son de inducción de doble alimentación, que requieren para su fabricación cantidades apreciables de cobre y de acero. Las turbinas de engranajes han logrado tener un coste muy bajo con un alto nivel de fiabilidad, aunque precisan un mantenimiento más frecuente por el mayor número de partes móviles, en comparación con las de transmisión directa.

2. Las turbinas eólicas de transmisión o accionamiento directo cuentan con generadores que se fijan directamente al rotor y, por lo tanto, giran a la misma velocidad. Algunos modelos cuentan con un generador con imanes permanentes que contienen minerales de tierras raras como neodimio y disprosio. Otros modelos utilizan un rotor excitado eléctricamente que requiere cantidades significativas de cobre. Este tipo de turbinas de accionamiento directo tienden a ser inicialmente más caras por megavatio, aunque esto puede compensarse con un menor mantenimiento durante su funcionamiento.

En términos generales, las turbinas con engranajes tienden a implantarse en la mayoría de los parques terrestres, donde el mantenimiento es relativamente sencillo. Por el contrario, las de accionamiento directo se prefieren en aplicaciones eólicas marinas, donde el mantenimiento es mucho más desafiante o sofisticado.



Foto 3. Fabricación de una pala de un aerogenerador.

La diferencia en cómo se implementan estas subtecnologías entre eólica terrestre y la marina tiene implicaciones en la demanda de minerales de las tecnologías eólicas.

Los componentes principales de los aerogeneradores (torres, cimentaciones, góndolas, ejes, etc.) están constituidos principalmente de acero.

Las palas suelen estar hechas de un compuesto de fibra de vidrio, resinas, madera de balsa y adhesivos (algunos fabricantes usan fibra de carbono, aunque esto aumenta el coste significativamente de este componente).

La figura 22 muestra la proporción entre los principales minerales necesarios para abastecer la demanda de la generación eólica hasta 2050. Únicamente se ha considerado el hierro o acero utilizado directamente en la turbina, ya sea en el núcleo del generador, en el bastidor principal o en los cubos del rotor, que representa el 84,6% de la demanda (no se incluye el hierro necesario para los componentes de acero). El resto de los minerales, sin contar el cobre, suponen casi el 11% de la demanda, que responde principalmente a imanes permanentes (neodimio), cajas de engranajes (níquel) o cableado (aluminio). Entre los minerales no incluidos en este análisis se encuentra el disprosio, que se utiliza en los imanes permanentes de las turbinas de accionamiento directo.

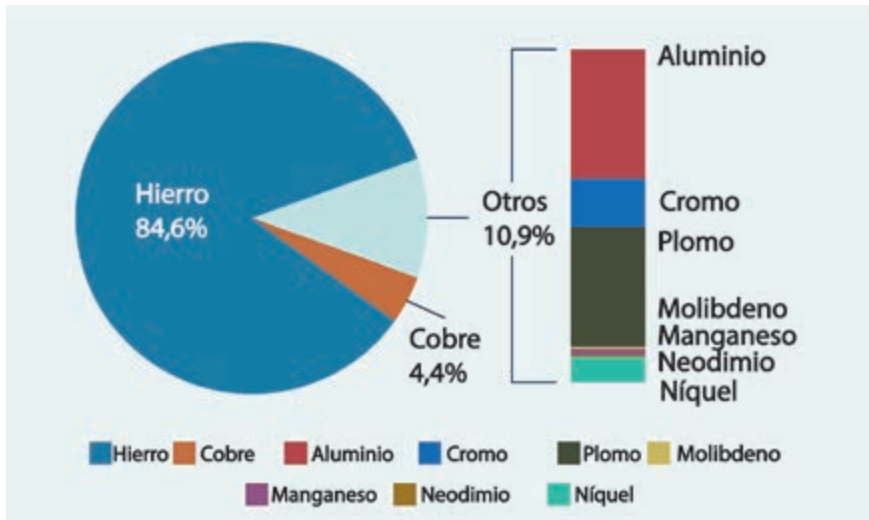
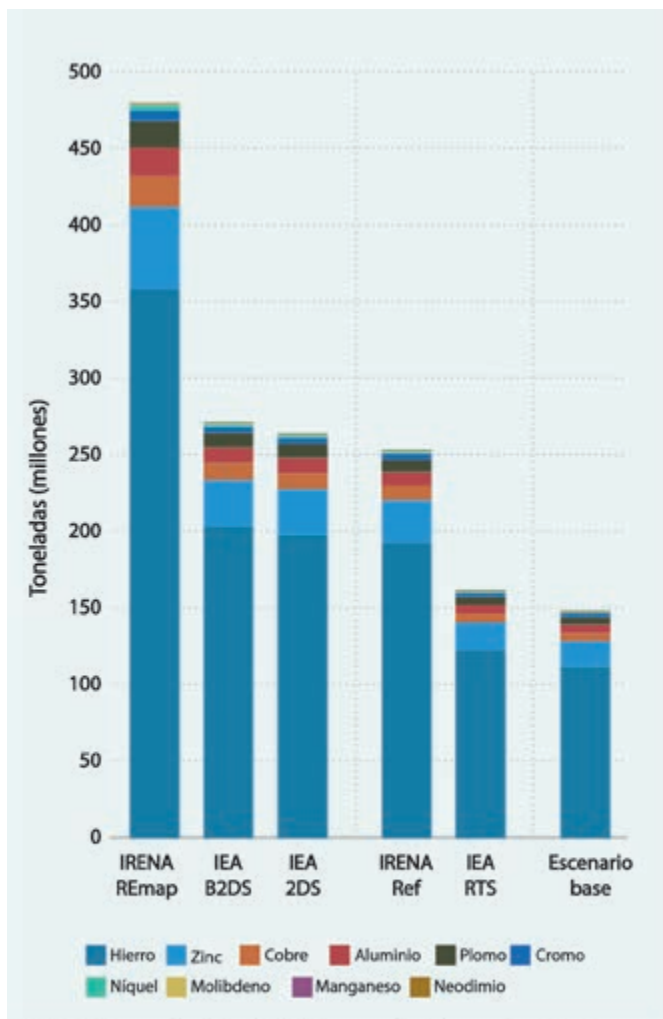


Figura 22. Demandas porcentuales de distintos metales que intervienen en la fabricación de aerogeneradores (Grupo Banco Mundial, 2020).

Como se ve en la figura 23, la mayor demanda de estos minerales corresponde al escenario climático más ambicioso (IRENA REmap), que limita el aumento de la temperatura global para 2100 a «muy por debajo» de 2°C sobre los niveles preindustriales, lo cual supone una mayor capacidad eólica instalada en comparación con el resto de los escenarios.



Nota: 2DS= escenario de 2 grados, B2DS= por encima del escenario de 2 grados, IEA=Agencia Internacional de la Energía, IRENA=Agencia Internacional de Energías Renovables, Ref= escenario de referencia, REmap=escenario de la hoja de ruta de las energías renovables, RTS= escenario tecnológico de referencia

Figura 23. Demandas acumuladas de metales en el sector eólico, hasta el año 2050. Estimaciones realizadas por diversos organismos (Grupo Banco Mundial, 2020).





Foto 4. Bobinados de cobre.

Con la excepción del zinc, el resto de los minerales utilizados para construir turbinas eólicas también son necesarios en otras tecnologías de energía limpia. Como se ve en la figura 24, algo más del 98% de la demanda de zinc proviene de la industria eólica, y se usa para proteger las turbinas eólicas de la corrosión.

Por otro lado, existen compensaciones en la demanda de minerales, según la subtecnología empleada, transmisión directa o mediante caja de engranajes o multiplicadora, siendo esta última la más implementada.

La transmisión directa está destinada principalmente al despliegue de parques eólicos marinos, por sus menores requisitos de mantenimiento. Si bien la energía eólica terrestre representa la mayor parte del despliegue de energía eólica en todos los escenarios climáticos, se espera que la proporción de eólica

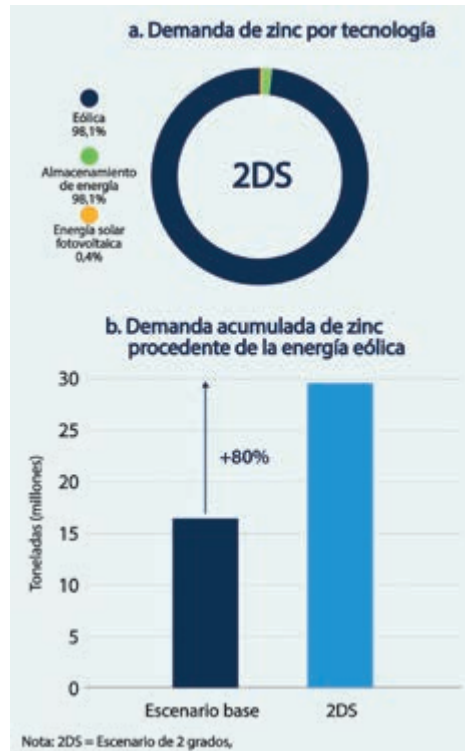


Figura 24. Demanda de zinc según tecnologías (Grupo Banco Mundial, 2020).

marina aumente significativamente en los próximos años con diversas mejoras tecnológicas y con una disminución en los costes.

El neodimio, que solo se emplea en aerogeneradores de accionamiento directo de imanes permanentes, es un mineral clave afectado por el equilibrio entre estas tecnologías. Seguidamente, se contemplan dos escenarios alternativos para resaltar cómo los cambios en el equilibrio entre los aerogeneradores de transmisión directa y los de engranajes pueden afectar a la demanda de neodimio.

El primer escenario tiene una mayor proporción de turbinas de transmisión directa, aumentando al 40% de las de tierra y al 90% las de alta mar para 2050, en comparación con el 25% y el 75% en el escenario de base mixta. El segundo escenario tiene una mayor proporción de aerogeneradores con engranajes, que representan el 90% de los aerogeneradores en tierra y el 40% de las marinas (tabla 2).

<b>Cuota 2050</b>	<b>En tierra con engranaje</b>	<b>Transmisión directa en tierra</b>	<b>Marina con engranaje</b>	<b>Transmisión directa</b>
<b>Cuota base (2DS)</b>	75%	25%	25%	75%
<b>Alta cuota Engranajes</b>	90%	10%	40%	60%
<b>Baja cuota Transmisión directa</b>	60%	40%	10%	90%

**Tabla 2. Penetración prevista de las subtecnologías terrestre y marina (Fuente: Grupo Banco Mundial, 2020).**

La mayor demanda de neodimio se da en el escenario de transmisión directa, con una demanda acumulada casi un 50% más alta que en el escenario cuota base. Por el contrario, la demanda de neodimio en el escenario de alta cuota, con engranajes, es un 65% menor que en el escenario de cuota base (Tabla 2).

Complementariamente, las mejoras materiales en los aerogeneradores terrestres y marinos de transmisión directa podrían

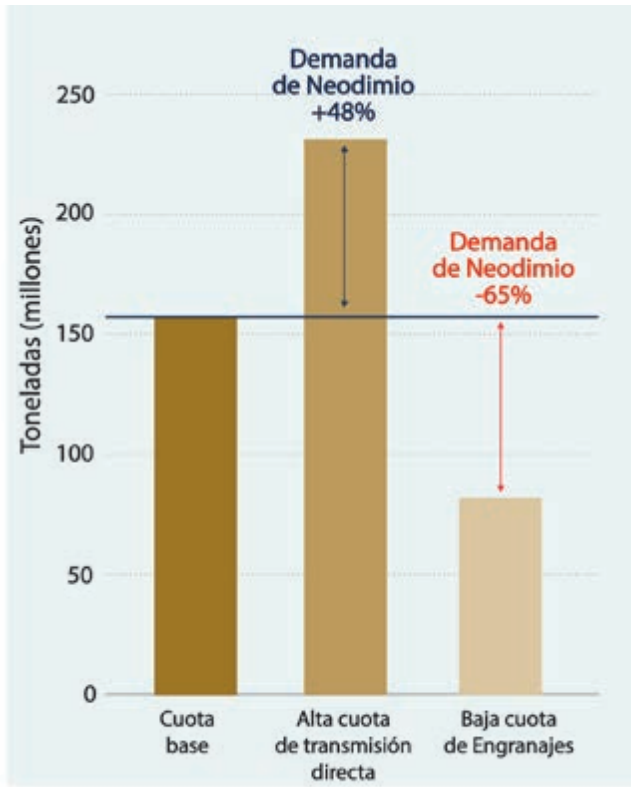
conducir a ganancias potenciales de eficiencia en el uso de neodimio en las turbinas. Estas mejoras podrían incluir la disminución del uso de imanes permanentes mediante diseños alternativos (por ejemplo, flujo axial del núcleo de aire) y/o al mayor uso de aerogeneradores híbridos que utilizan una caja de cambios de velocidad media y un generador de imanes permanentes.

Para estimar las ganancias de eficiencia derivadas de la reducción de materiales en aerogeneradores, se supone una reducción de mineral del 67% hasta 2050 con un escenario por debajo de 2 °C (2DS), una cifra derivada de la más baja de neodimio en aerogeneradores de transmisión directa que refleja la literatura. Como se observa en la Tabla 2, si se produjeran mejoras materiales, la demanda acumulada de neodimio se reduciría en un 45%, en comparación con la composición mineral actual de la tecnología eólica.

Aparte de las cuestiones mencionadas, otra de las diferencias entre la eólica terrestre y la marina es la naturaleza de la estructura soporte, que eleva los aerogeneradores sobre el nivel del mar, mediante estructuras montadas sobre cimentaciones fijas o con estructuras flotantes ancladas al fondo marino mediante cables o cadenas, según la profundidad.

Las estructuras de apoyo con cimentación fija son estructuras montadas sobre el fondo marino y son clasificadas en función de la profundidad a la que se van a instalar:

- **Monopilote**, solución aplicada para bajas profundidades, ubicadas por debajo de los 15 m de profundidad. Son estructuras sencillas compuestas por un cilindro de acero enterrado en el lecho marino que sujeta la torre del aerogenerador.
- **De apoyo por gravedad**, utilizado en profundidades comprendidas entre los 15 y los 30 m, que consiste en una plataforma de hormigón o de acero que requiere preparación previa del lecho marino.
- **Jackets o trípode**, a partir de los 30 m de profundidad, donde se requieren estructuras de soporte y de sujeción más complejas en las que las cimentaciones incorporan 3 o 4 puntos de anclaje en el fondo.



Nota: 2DS = Escenario de 2 grados,

Figura 25. Demanda acumulada de neodimio de las subtecnologías eólicas para el horizonte 2050 bajo un escenario 2DS, comparada con la del nivel base (Grupo Banco Mundial, 2020).



Figura 26. Tecnologías de cimentación fija, de izquierda a derecha: monopile, apoyo por gravedad y trípode (MITECO).

Las flotantes presentan un enorme potencial de cara al futuro, existiendo al menos tres, que se clasifican en función del sistema de anclaje al fondo marino:

- **Monopilar flotante o spar**, consistente en una boya flotante cilíndrica amarrada por cables o cadenas al fondo del mar.
- **Plataforma semisumergible**, anclada al fondo marino y basada en la experiencia de la industria del gas y del petróleo.
- **Plataforma de apoyo en tensión**, que consiste en una estructura flotante amarrada verticalmente mediante cables de tensionado para instalar aerogeneradores en entornos marinos de gran profundidad.

En las próximas décadas se espera una rápida evolución y maduración de la tecnología flotante de la eólica marina, con una reducción de costes muy significativa.



Figura 27. Tecnologías de eólica flotante, de izquierda a derecha: plataforma de apoyo en tensión; plataforma semisumergible y monopilar flotante o spar (AEE).

Por último, se recoge a continuación un conjunto de datos de los consumos específicos, también llamados *intensidades de materiales*, y porcentajes de reciclado de los aerogeneradores para los siguientes metales: aluminio, cobre, disprosio y neodimio.

Materiales	Aluminio	Cobre	Disprosió	Neodimio
<b>Intensidad actual de materiales (t/GW)</b>	560	3000	0	0
<b>Intensidad de materiales GIP (t/GW)</b>	560	3000	27	198
<b>Reciclado actual (%)</b>	80%	95%	0%	0%
<b>Reciclado potencial (%)</b>	95%	95%	95%	95%

Tabla 3. Intensidades y porcentajes de reciclado de materiales (Institute for Sustainable Futures, 2007).

En la citada tabla, las intensidades de materiales se refieren a los citados metales indicados correspondientes a parques en tierras. Los porcentajes de reciclado se basan en la hipótesis de una eficacia de recogida del 100 %.

### Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica ha sido la tecnología que más rápidamente se ha implementado de todas las energías renovables a nivel mundial, con una potencia instalada que superó los 485 GW en 2018, y superó todas las demás tecnologías, entre 2017 y 2018, con un incremento del 24 %.

Los paneles solares fotovoltaicos están destinados a la generación de energía eléctrica. Se fabrican con diversas tecnologías, de las que las más frecuentes en la actualidad son las siguientes:

- Las *células de silicio cristalino* (Si c) constituyen aproximadamente el 85 % del mercado actual. Pueden fabricarse con silicio monocristalino, policristalino o amorfo.
- El *seleniuro de cobre, indio, galio* (CIGS) es una capa solar de «lámina delgada». Se puede convertir en células más delgadas que el cristal, lo que puede reducir los costes de material y fabricación, y permite células flexibles.
- El *telururo de cadmio* (CdTe) es otra tecnología de lámina delgada. Tiene un coste competitivo con el cristal Si y una buena eficiencia. Sin embargo, la toxicidad del cadmio y el suministro de telurio hacen que su futuro sea incierto.

- Las *células solares de silicio amorfo* (Si a) son las tecnologías más avanzadas. Se caracterizan por un rendimiento más bajo que el vidrio, pero pueden imprimirse en materiales flexibles.

Las tres últimas tecnologías son conocidas colectivamente como *tecnologías de lámina delgada* debido al reducido espesor de las células fotovoltaicas, de 10 a 100  $\mu\text{m}$ , frente a los 150 a 200  $\mu\text{m}$  de las obleas de silicio. Esta diferencia es debida a que los materiales empleados en las láminas delgadas absorben la luz de manera más eficiente que las de silicio cristalino.

Otras tecnologías fotovoltaicas innovadoras son, por ejemplo, las células de unión múltiple o dispositivos híbridos a nivel nanoescala que están actualmente en desarrollo. Estas nuevas tecnologías permiten vislumbrar una mayor eficiencia y un menor coste a largo plazo. Algunas de estas tecnologías son las siguientes:

- Sulfuro de estaño, zinc y cobre.
- Células solares de perovskita, desarrolladas a partir de células en estado sólido sensibilizadas con tintes (*dye-sensitized solar-cell*).
- Fotovoltaicas orgánicas.
- Células solares sensibilizadas con tintes.
- Fotovoltaicas cuánticas coloidales.

No obstante, el éxito de comercialización de estas tecnologías es incierto, y muy probablemente no tenga lugar a gran escala en un futuro próximo. Por todo ello, a efectos prácticos, se considera más pragmático considerar las cuatro tecnologías más maduras citadas anteriormente, que casi con seguridad monopolizarán o, al menos, controlarán el mercado las próximas tres décadas.

Para clasificar los materiales empleados en las tecnologías fotovoltaicas se consideran los siguientes dos grupos: materiales, en general no celulares, usados en los módulos y sistemas fotovoltaicos; y materiales necesarios para fabricar la célula solar en sí misma.

En la figura 28 se ilustran los principales componentes de un panel solar fotovoltaico.

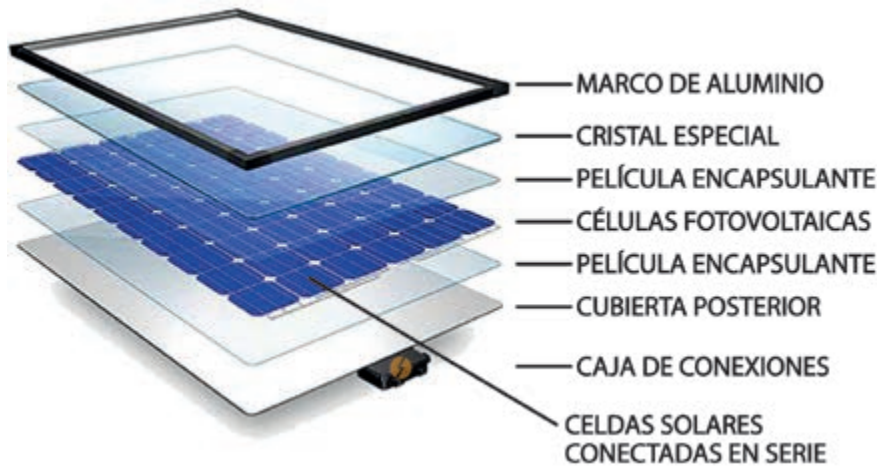


Figura 28. Esquema de los componentes de un panel solar fotovoltaico (www.portal solar.com.br).

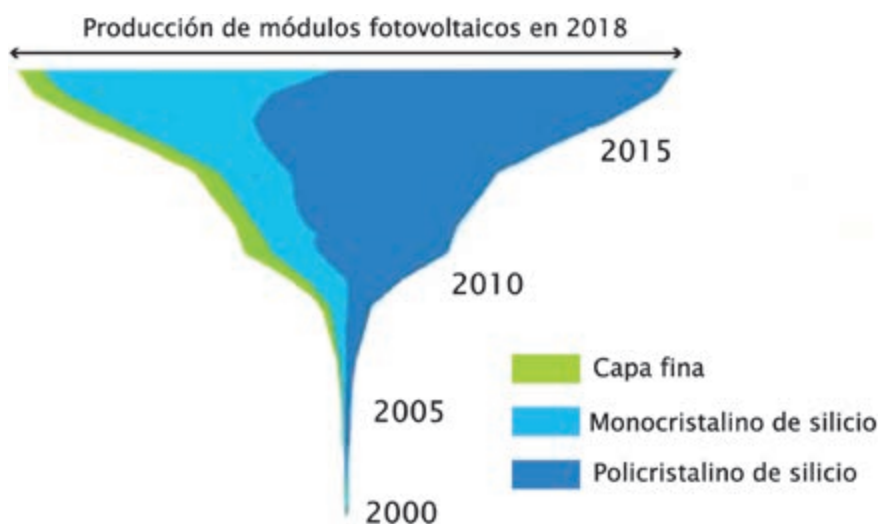
Los materiales que se suelen emplear en estas instalaciones son los siguientes:

- **Hormigones.** Estructura soporte del sistema.
- **Aceros.** Estructura soporte del sistema.
- **Plásticos.** Protección ambiental.
- **Vidrio.** Substrato, módulo de encapsulado.
- **Aluminio.** Marcos de los módulos, bastidores, soportes.
- **Cobre.** Cableado, puestas a tierra, inversores, transformadores.

Los materiales específicos de las células fotovoltaicas y que intervienen en su fabricación son los siguientes:

- **Silicio,** tecnologías Si-c y Si-a.
- **Plata,** tecnologías Si-c.
- **Germanio,** tecnologías Si-a.
- **Cadmio,** tecnologías TeCd.
- **Teluluro,** TeCd.
- **Cobre,** tecnologías CIGS.
- **Indio,** tecnologías CIGS.
- **Galio,** tecnologías CIGS.
- **Selenio,** tecnologías CIGS.

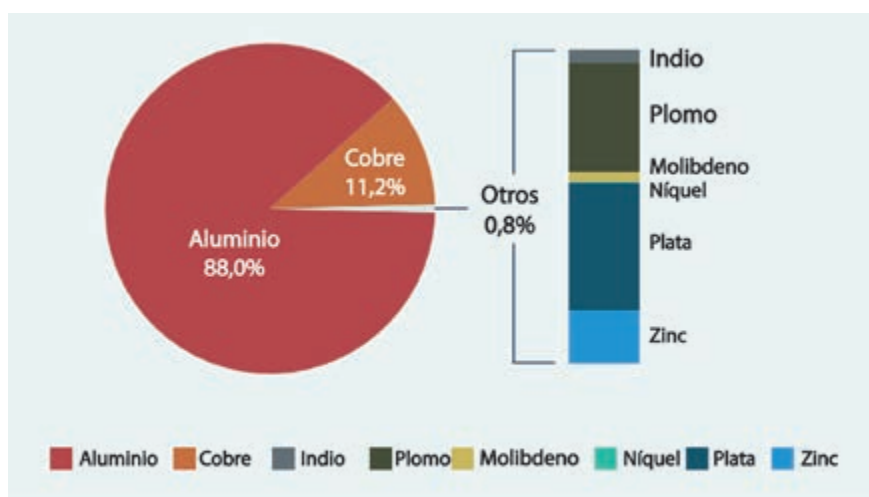




Fuente: Fraunhofer Institute (ISE, 2019)

Figura 29. Cuotas de mercado de las tecnologías fotovoltaicas. Producción de módulos en 2018 (Fraunhofer Institute, 2019).

Las tecnologías solares fotovoltaicas están compuestas principalmente de aluminio, cobre y plata, y varios minerales también juegan un papel en alguna de las tecnologías, y en otras no, como el indio en CIGS o el cadmio para CdTe.



Nota: 2DS = Escenario de 2 grados, IEA= Agencia Internacional de la Energía

Figura 30. Participación en la demanda de minerales de la energía solar fotovoltaica bajo el escenario tecnológico de la IEA 2DS hasta 2050 (Grupo Banco Mundial, 2020).

La figura 30 muestra la estimación de la demanda de minerales para la energía solar fotovoltaica hasta 2050. El aluminio representa más del 85% y se utiliza para los marcos de los paneles; le sigue el cobre con un 11%, aproximadamente. Aunque la plata es un componente muy minoritario, con menos del 0,05%, representó casi el 7% de la demanda total de plata en 2015, por el rápido despliegue de la energía solar fotovoltaica en todo el mundo (Sanderson, 2016).

Al igual que la eólica, el escenario climático por debajo de 2 grados (REmap) es, con mucho, el más intensivo en materiales por su mayor capacidad instalada, con una demanda estimada de 160 Mt de aluminio y 20 Mt de cobre en 2050 (figura 31). Comparado con el escenario base, la demanda de ambos minerales crece en más de un 350%.

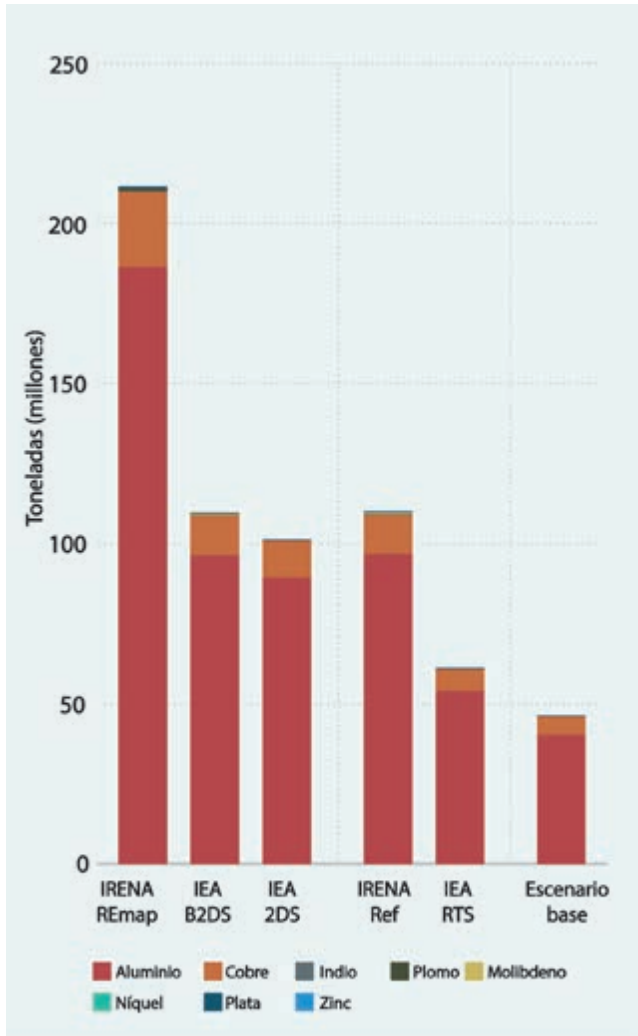


Foto 5. Paneles fotovoltaicos.

Si bien el aluminio es un contribuyente importante a las tecnologías solares fotovoltaicas, también se utiliza en la mayoría de las otras tecnologías bajas en carbono, como son la eólica, en el almacenamiento de energía y en hidráulica.

A nivel mundial, se espera que en África, Asia y Europa se alcancen los 8519 GW para 2050, debido a la continua disminución de costes, y se estima que esta tecnología alcance aquí la paridad de precios con los combustibles fósiles.

Según el World Energy Outlook 2019 de la AIE, el crecimiento relativo de la energía solar fotovoltaica en África, por ejemplo, es



Nota: 2DS= escenario de 2 grados, B2DS= por encima del escenario de 2 grados, IEA=Agencia Internacional de la Energía, IRENA=Agencia Internacional de Energías Renovables, Ref= escenario de referencia, REmap=escenario de la hoja de ruta de las energías renovables, RTS= escenario tecnológico de referencia

Figura 31. Demanda acumulada de minerales necesarios para la energía solar fotovoltaica hasta 2050 (Grupo Banco Mundial, 2020).

probable que sea enorme, con un crecimiento regional de más del 3000% entre 2018 y 2040. Para 2050, se espera que la mayoría de las implementaciones de energía solar fotovoltaica tengan lugar en países no pertenecientes a la OCDE, especialmente en China e India.

Además de los materiales semiconductores, en los sistemas fotovoltaicos se necesitan otros materiales como plata (utilizada como pasta para recolectar y transmitir electrones y crear una

corriente eléctrica), silicio (para el vidrio de alta transmitancia y resistente en módulos fotovoltaicos), aluminio (para hacer los marcos alrededor de los paneles solares) y cobre (como material conductor en el cableado, puesta a tierra, inversores, transformadores y cintas de células fotovoltaicas). En la figura 32 se muestra una descripción general de las materias primas más comunes utilizadas en la tecnología solar fotovoltaica y su funcionalidad.

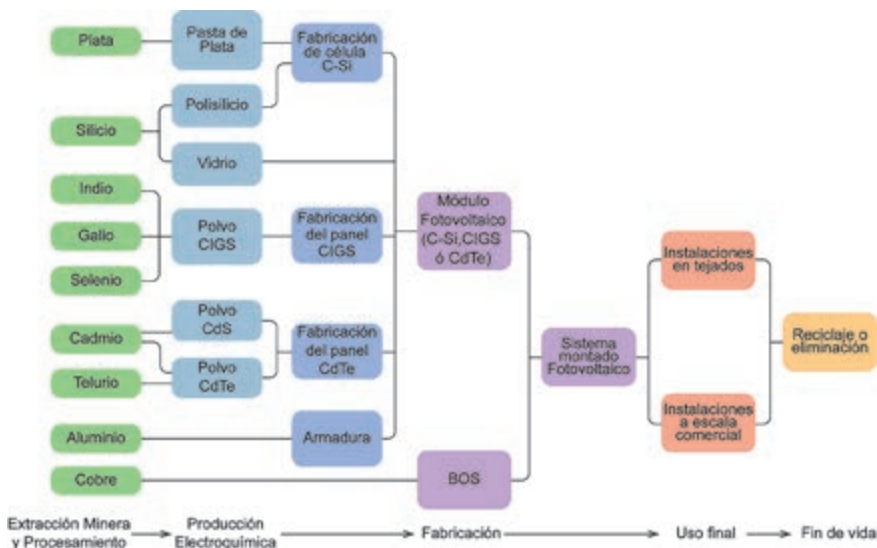


Figura 32. Presencia de diferentes metales en los componentes principales de un panel solar (Dominish, 2019).

En lo relativo a la eficiencia de los materiales, su uso en paneles fotovoltaicos ha disminuido significativamente desde la comercialización de la tecnología, en particular la plata y el polisilicio, que son los materiales más caros en los paneles de c-Si.

La industria prevé la sustitución de la plata por cobre, un material menos costoso, y se espera que esta reducción de la plata continúe y pueda rebajarse a la mitad en la próxima década.

El reciclaje de paneles fotovoltaicos no es una industria madura aún debido a la larga expectativa de vida de la mayoría de los módulos (unos treinta años). Los volúmenes de los paneles al final de su vida útil son generalmente demasiado bajos para que el reciclaje sea económicamente viable en la actualidad, aunque se realiza en algunos lugares.

Actualmente los paneles fotovoltaicos se reciclan en plantas ya existentes para vidrio y chatarra de hierro utilizando métodos manuales y mecánicos. Estos procesos pueden lograr una alta recuperación de vidrio y aluminio (> 90%) y alrededor del 40% de cobre. De los minerales y metales minoritarios no se recuperan cantidades significativas. Incluso la plata no se suele recuperar, aunque es el metal más valioso en un panel típico y representa casi el 50% del valor de los materiales.

Si bien los paneles son «técnicamente reciclables», la recuperación de las pequeñas cantidades de metales valiosos (p. ej., plata, cobre), escasos (p. ej., indio, telurio) o la mayoría de los peligrosos (p. ej., cadmio, plomo, selenio) requiere un tratamiento térmico adicional o el uso incluso de disolventes orgánicos.

El cadmio y el telurio de los paneles de CdTe se pueden recuperar con una eficiencia de alrededor del 90%.

En la tabla 4 se recoge el consumo de materiales en la fabricación de paneles fotovoltaicos para las cuatro tecnologías principales ya citadas, con las estimaciones correspondientes a los diferentes metales.

	Todos PV		c-Si	CIGS			CdTe	
Materiales	Aluminio	Cobre	Plata	Galio	Indio	Selenio	Cadmio	Telurio
Intensidad de materiales actuales [t/GW]	32000	4000	20	9	28	41	70	60
Intensidad de materiales mejorados [t/GW]	32000	4000	4	2	7	17	19	17
Reciclaje actual tasa [%]	77%	34%	0%	0%	0%	0%	77%	77%
Reciclaje potencial tasa [%]	81%	81%	81%	81%	81%	81%	81%	81%

Tabla 4. Intensidad de material solar fotovoltaico y tasas de reciclaje (Institute for Sustainable Futures).



Foto 6. Instalación solar convencional montada sobre suelo rústico.



Foto 7. Parque mixto con las tecnologías más implantadas actualmente: eólica y fotovoltaica.

### El vehículo eléctrico

Las ventas de automóviles eléctricos se han disparado en los últimos años, aumentando, por ejemplo, un 65% en el año 2018 respecto al anterior, hasta superar los 5,1 millones de vehículos en todo el mundo.

En un reciente informe de Naciones Unidas titulado *Commodities at a glance. Special issue on strategic battery raw materials* se documenta la creciente importancia que ha experimentado la movilidad eléctrica y los principales materiales empleados en la fabricación de baterías recargables para los automóviles.

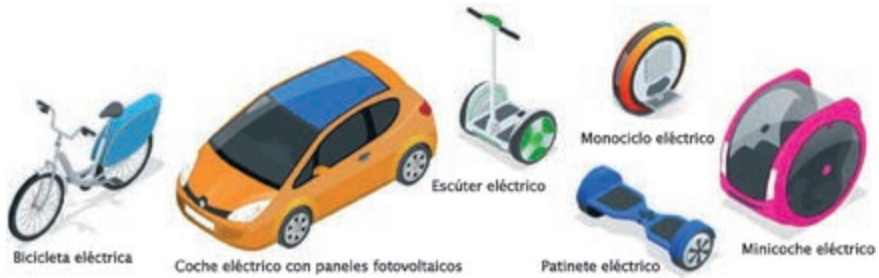


Figura 33. Dispositivos y vehículos eléctricos actualmente en uso en las ciudades.

La demanda de materias primas utilizadas para fabricar, por un lado, los motores eléctricos, y, por otro lado, las baterías recargables, se vislumbra que va a crecer muy rápidamente, a medida que se reduzca el peso que tienen los hidrocarburos, hoy en día, como fuente de energía en el sector de la automoción

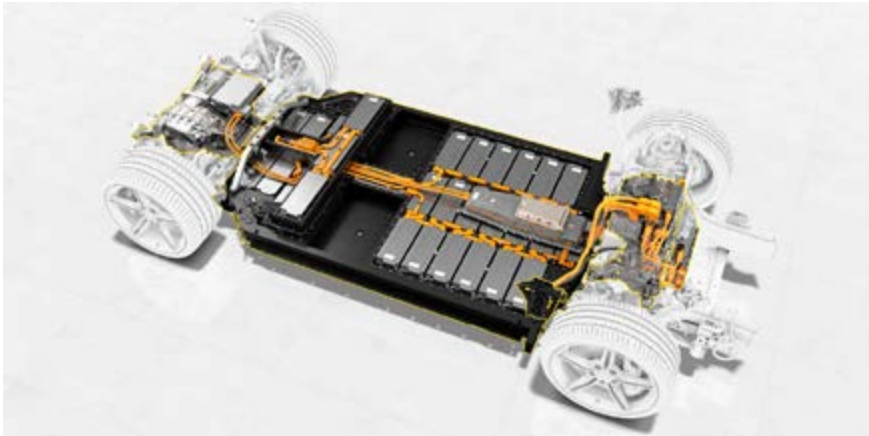


Figura 34. Ubicación de las baterías y conexiones en un coche eléctrico.

Se espera que los esfuerzos que se están realizando para reducir las emisiones GEI estimulen una mayor inversión en la producción de energía verde, que se ha manifestado estable a lo largo de los años, situándose en alrededor de 600 000 M\$ por año, como media.

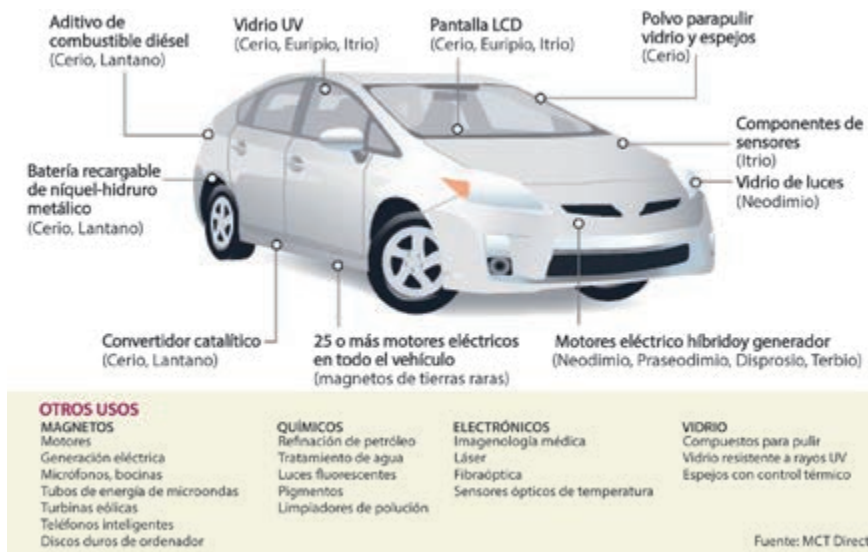


Figura 35. Minerales high-tech o elementos de tierras raras presentes en un vehículo eléctrico actual (MCT Direct).

Los coches eléctricos y los híbridos pueden contener de 9 a 11 kg de tierras raras y entre 40 y 60 kg de cobre, es decir, el doble que los coches de motor de explosión.

Está habiendo una aceptación generalizada por parte de los fabricantes de automóviles, pues ninguno se quiere quedar atrás y, por ello, todos tienen varios modelos totalmente eléctricos, y también híbridos. Los híbridos recargables son una opción atractiva que podría ser la tecnología puente entre los vehículos con motor de explosión y los totalmente eléctricos.

Algunos especialistas e instituciones alimentan el debate, e incluso la controversia, al afirmar, como lo han hecho algunas fuentes de la Universidad de California (Los Ángeles), que el impacto global de un vehículo convencional con motor de explosión no es mucho mayor que el de un vehículo eléctrico. En su fabricación, este último consume mucha más energía que un vehículo convencional. Esto se puede explicar si nos fijamos en las baterías. En el caso del modelo S de Tesla, las baterías pesan por sí solas más de 500 kg, es decir, la mitad que un vehículo como el coche Clío convencional.

Las baterías de ión litio son muy pesadas, pues hoy por hoy se componen de un 80 % de níquel, un 15 % de cobalto y un 5 % de aluminio, pero también contienen litio, cobre, manganeso, acero e incluso grafito.



Son varias las fuentes que existen en cuanto a previsiones del mercado de automóviles, pudiéndose citar, por ejemplo, la Agencia Internacional de la Energía, que espera alcanzar la cifra de 23 millones de VE en 2030.



Figura 36. Configuración de un paquete de baterías de litio para un vehículo eléctrico (SKODA).

Como conclusión de lo expuesto, es prematuro lanzar las campanas al vuelo con el vehículo eléctrico, como si este se constituyera en la tabla de salvación, pues son numerosas las cuestiones que deben plantearse e intentar darles respuesta cuanto antes:

- ¿Es lógico calcular para cada uno de los dispositivos de movilidad el ratio carga humana (peso de la persona)/peso neto del dispositivo (kg) y bonificar a aquel que presente un menor valor? De esta forma, se penalizaría al usuario que viajara solo en un coche eléctrico grande.
- ¿No es llamativo que cuando se llena de biocombustible el depósito de un todo terreno, que se aproxima normalmente a los 100 litros, se está generando una demanda de 3 kg de cultivos energéticos por litro de combustible, lo que equivale a unos 300 kg de cereales, que es el consumo global de un africano a lo largo de un año?
- ¿Se conocen con precisión los costes ambientales de las baterías que se sustituyen y cada cuánto tiempo, los costes de la electrónica y de otros componentes? ¿Se sabe cuáles son las

magnitudes de los impactos ambientales que supone el reciclado de los vehículos?

- Y, finalmente, ¿qué energía habrá que consumir para construir las redes y las centrales de generación indispensables para estas nuevas necesidades? ¿Están todas las redes y centros de transformación en condiciones de soportar esas cargas, cuando, por ejemplo, durante los meses de calor, y especialmente en junio, el número de incidencias aumenta de manera espectacular?

Tomando como base la primera cifra citada de VE en 2030, diversos organismos, instituciones y empresas del sector extractivo han hecho también sus proyecciones de demanda de las TR, sino incluso de metales básicos como el cobre y otros más que se precisan para la generación eléctrica, la construcción o reforma de las redes de distribución actuales, la fabricación de los puntos de recarga, los propios motores eléctricos, etc.

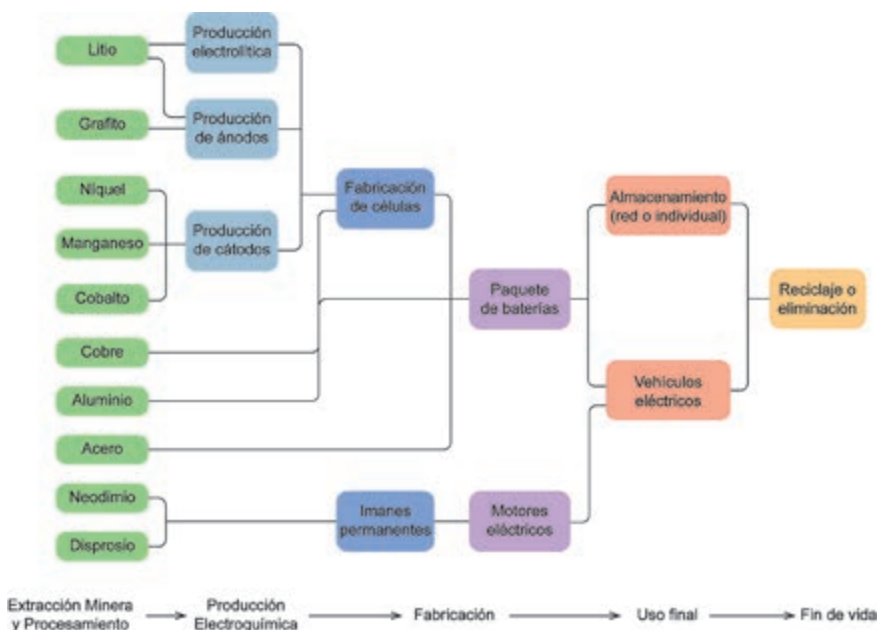


Figura 37. Metales base y de TR empleados en la fabricación de un vehículo eléctrico (Institute for Sustainable Futures, 2007).

En la figura 38 se resume de manera gráfica la demanda inducida por la puesta en circulación de los 23 millones de VE que se esperan para 2030, según la empresa Glencore. Esta empresa, especializada en la producción y comercialización de cobalto, prevé que en 2030 se alcanzará un ritmo de fabricación de 30 M

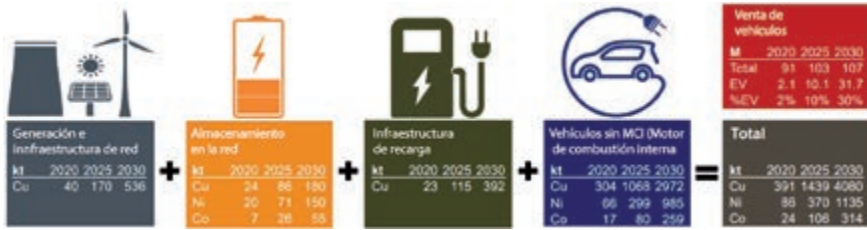


Figura 38. Requerimientos de metales en distintos sectores de actividad o cadenas de valor como consecuencia de alcanzar en 2030 30 M de vehículos eléctricos (Glengore).

de vehículos, que se traducirá en un consumo de 4,1 Mt de cobre (18% del consumo de 2016), 1,1 Mt de níquel (50% del consumo de 2016) y 314 kt de cobalto (314% del correspondiente a 2016).

Las posibilidades de aprovechamiento en general de los materiales empleados en los vehículos automóviles son muy elevadas, pero se debe partir de un conocimiento exhaustivo de todos los componentes y de una caracterización de los mismos.

En la figura 39 se puede ver gráficamente los componentes principales de los vehículos eléctricos, de los híbridos, así como de algunos datos de la fase de reciclado.

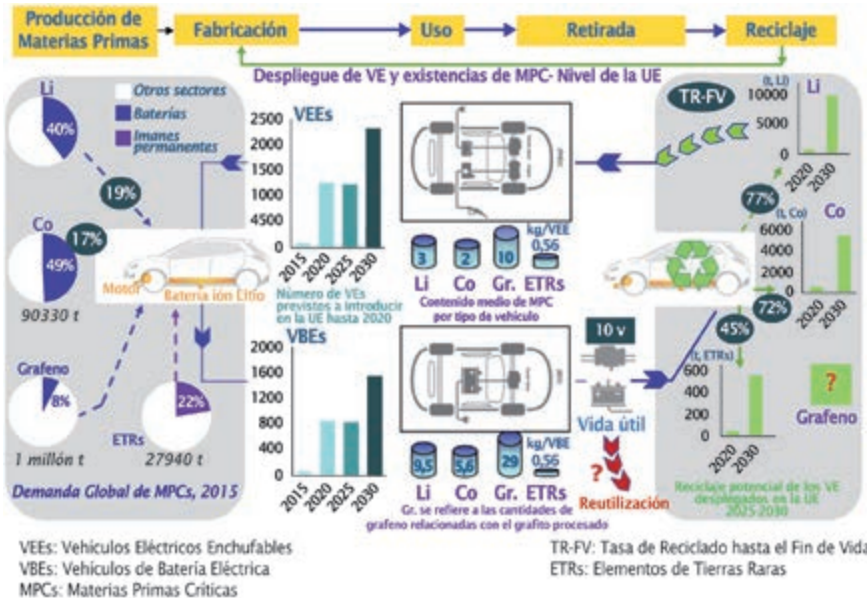


Figura 39. Componentes de los vehículos eléctricos e híbridos y fase de reciclado (Comisión Europea, 2018).

## Situación del sector de las tierras raras a nivel mundial

### Las tierras raras y sus aplicaciones actuales

El nombre de *tierras raras* (TR), habitualmente utilizado para referirse al escandio (Sc), itrio (Y) y lutecio (Lu), más los 15 lantanoides del periodo 6 de la tabla periódica, puede llevar a la confusión de que se trata de elementos escasos en la corteza terrestre, pero no es así. La denominación *tierras* proviene del antiguo nombre que se daba en francés a los óxidos de algunos minerales y metales.

Respecto al apelativo de «raras», hasta hoy en día se han extraído de varios minerales que se encuentran en la naturaleza en cantidades no tan escasas como su nombre puede dar a entender; sin embargo, este nombre está justificado por la baja concentración en que se suelen encontrar y la consiguiente dificultad para localizarlos en proporciones que permitan su explotación comercial.



Figura 40. Clasificación y usos principales de los elementos de tierras raras (Colegio de Geólogos de España).



importantes, actualmente las innovaciones tecnológicas exigen el uso de docenas de metales diferentes y de sus aleaciones, entre los que las tierras raras son la pieza clave.

En tan solo unas décadas, las TR han penetrado profundamente en el tejido tecnológico e industrial moderno y han demostrado ser excepcionalmente difíciles de reproducir o reemplazar. Tanto es así que podría afirmarse que, si no existiesen o no se hubieran descubierto sus propiedades y la manera de aprovecharlas, el nivel de desarrollo tecnológico habría quedado anclado en los años 60 del pasado siglo.

Los elementos de tierras raras son habilitadores críticos<sup>16</sup> de cientos de tecnologías diferentes ligadas a todo tipo de aplicaciones comerciales, industriales, médicas y ambientales, incluidas las relacionadas con la generación de energía limpia y con múltiples dispositivos y productos electrónicos de uso cotidiano.

Sus propiedades únicas —químicas, magnéticas, ópticas, catalíticas, eléctricas y metalúrgicas— las hacen indispensables en la industria actual civil y militar, si bien su interés se centra, fundamentalmente, en las actividades relacionadas con las nuevas tecnologías. En este sentido, uno de los mayores logros del empleo de estos elementos en la industria electrónica ha sido la miniaturización de dispositivos y de sus componentes (tabla 5).

Elemento	Aplicaciones
<b>Cerio</b>	Convertidores catalíticos de vehículos de gasolina y diésel y catalizadores en la industria petroquímica, piedras de mechero, electrodos para baterías recargables, colorante cerámico, aditivo diésel para catalizar descomposición de humos, filtros UV, aleaciones metálicas, abrillantadores de lentes (vidrio, placas frontales de televisión, espejos, vidrio óptico, microprocesadores de silicio y unidades de disco).
<b>Disproσιο</b>	Discos duros, aditivo en imanes de neodimio, láseres. Imanes permanentes. Motores y baterías híbridas. Discos duros. Teléfonos móviles. Cámaras.
<b>Erbio</b>	Láseres, paneles solares, mantenimiento de la señal en fibras ópticas, colorante en vidrios.
<b>Escandio</b>	Agente de rastreo en refinerías de petróleo, aditivo en lámparas de halogenuros, aumentar la dureza del aluminio, aleaciones de metales en la industria aeroespacial.

<sup>16</sup> Que otorgan a los materiales propiedades únicas que juegan un papel clave en el desarrollo de productos de alta tecnología. Los imanes permanentes basados en elementos de tierras raras son, quizá, la más importante de este tipo de aplicaciones.

Elemento	Aplicaciones
<b>Europio</b>	Láseres, autenticar billetes, pantallas de cristal líquido (LCD), iluminación fluorescente, aditivo para vidrio, fibra óptica.
<b>Gadolinio</b>	Memorias de ordenadores, láseres para cortar acero, tubos de rayos X, agente de contraste para resonancias magnética para hospitales, aditivo para vidrio.
<b>Holmio</b>	Láseres, los más poderosos imanes fabricados, aparatos de resonancia magnética para hospitales.
<b>Iterbio</b>	Fibra óptica, paneles solares, aleaciones (acero inoxidable), fuente de radiación para equipos portátiles de rayos X, láseres de corte, bengalas.
<b>Itrio</b>	Bombillas de bajo consumo, cerámica, aleaciones metálicas, láseres cortadura, mejora eficiencia de combustibles, comunicación por microondas, pantallas LCD, sensores de temperatura.
<b>Lantano</b>	Electrodos para baterías recargables, catalizadores en industria petroquímica, baterías vehículos eléctricos, lentes de cámaras digitales de alta tecnología, cámaras de vídeo, baterías de portátiles, películas de rayos X, láseres.
<b>Lutecio</b>	Bombillas led, vidrios con altos índices de refracción, pantallas de rayos X, catalizador en industria petroquímica.
<b>Neodimio</b>	Imanes permanentes de alta pureza, aditivo en cristales (gafas de soldadura o faros coches, por ejemplo), catalizadores en automoción, condensadores de cerámica, electrodos para baterías recargables, aparatos de resonancia magnética para hospitales, imanes de alta potencia para portátiles, láseres, catalizadores de fracking de fluidos.
<b>Praseodimio</b>	Láseres, motores eléctricos, aditivo en cristales de gafas de soldadura, aumentar la resistencia a la corrosión del imán, pigmento en vidrios y esmaltes, reflectores, lentes de señales de aeropuerto, filtros fotográficos.
<b>Prometio</b>	Pinturas fosforescentes, baterías nucleares, fuente de radiación beta, fuente radioactiva para instrumentos de medición de espesores.
<b>Samario</b>	Láseres, imanes de alta temperatura, varillas de control de reactores nucleares.
<b>Terbio</b>	Láseres, lámparas fluorescentes, aditivo en imanes de neodimio, iluminación y pantallas, sistemas de guía y control.
<b>Tulio</b>	Láseres, aparatos de rayos X y otros instrumentos médicos, imanes de alta potencia.

Tabla 5. Principales aplicaciones de los elementos de las tierras raras.

Como ejemplos de la importante mejora de las tecnologías que ha supuesto su empleo pueden citarse la miniaturización de los auriculares, que ha sido posible gracias a los imanes de neodimio; las imágenes cada vez más nítidas de los televisores gra-

cias al europio; el indio permite el *touch screen* en las pantallas de ordenadores y móviles; y el terbio pavimenta la fibra óptica, que permite una transmisión de datos por Internet mucho más veloz.

En el marco de la transición energética, el empleo de las TR está relacionado con tres ámbitos principales: la producción de energía, el ahorro y la eficiencia energética y el almacenamiento, en los que se emplean diferentes tecnologías, como turbinas eólicas, vehículos eléctricos, baterías recargables o iluminación de bajo consumo.

En la figura 42 se presentan de forma gráfica los elementos de TR que resultan clave para cada una de ellas. Como puede observarse, las energías limpias emplean solo 7 de los 17 elementos de TR existentes (lantano, cerio, neodimio, europio, terbio disprosio e itrio), y la mayoría de las aplicaciones requieren solo dos o tres de estos elementos.

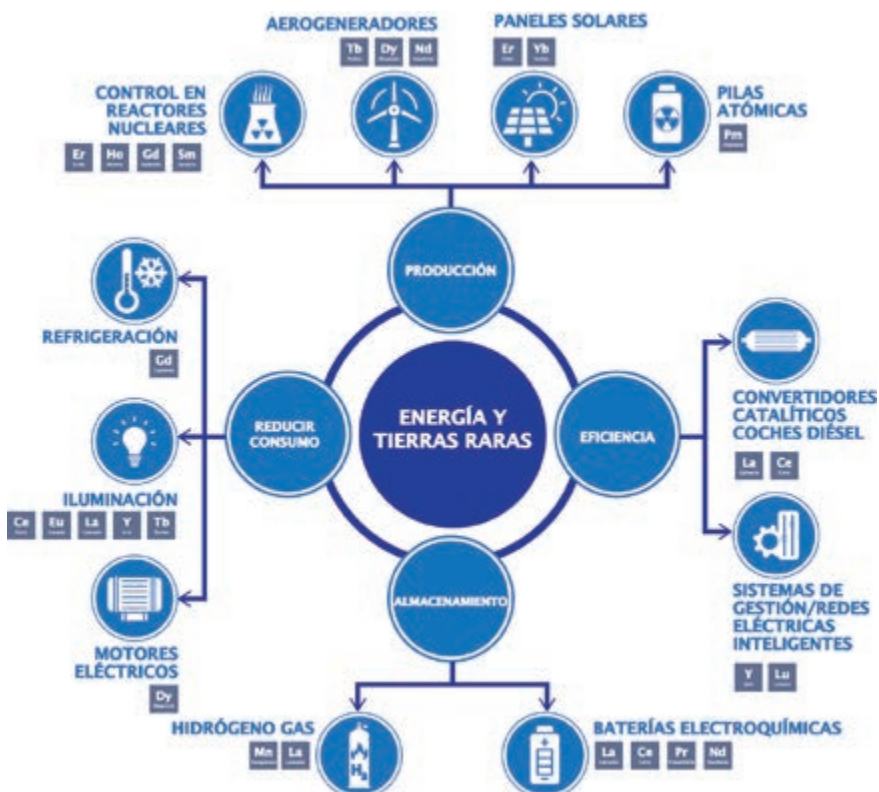


Figura 42. Tierras raras y energía.



El mercado actual de las TR se centra en nueve sectores intermedios principales (catalizadores, pulido, vidrio, fósforos y pigmentos, metalurgia, baterías, imanes permanentes y cerámica), además de diversas aplicaciones minoritarias como láser, blindaje de reactores nucleares, refrigeración magnética, textiles y pinturas, etc. (tabla 6), siendo los catalizadores, empleados en la industria petroquímica, la automoción y diversos procesos industriales, y los imanes permanentes, los principales impulsores de la demanda, aunque con importantes diferencias regionales.

Por ejemplo, mientras que China y Japón emplean la mayor parte de las TR en la fabricación de imanes, en Europa y Estados Unidos es mayoritario su uso en la formulación de catalizadores.

Catalizadores	24 %
Imanes	23 %
Pulido	12 %
Baterías	8 %
Metalurgia	8 %
Vidrio	7 %
Cerámica	6 %
Fósforos	2 %

Ce	39,5 %
La	26,4 %
Nd	19,9 %
Y	7,1 %
Pr	4,1 %
Gd	1,1 %
Dy	0,7 %
Sm	0,3 %
Eu	0,2 %
Tb	0,2 %
Otras	0,5 %

**Tabla 6. Reparto estimado del consumo según las aplicaciones de las TR (Roskill, 2016).**

Según datos de 2018, el mayor consumo en volumen de TR corresponde a catalizadores e imanes permanentes, que engloban más del 60 % del consumo mundial, aunque por importancia económica estos últimos representan por sí solos más del 90 % del valor total del consumo mundial de TR. Y esta proporción podría incrementarse aún más si la demanda y los precios del neodimio, el praseodimio, el disprosio y el terbio, esenciales, hoy por hoy, para la fabricación de imanes permanentes, continúan aumentando los próximos años<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Adamas Intelligence (2019). *Rare earth elements. Small Market, Big Necessity*. Informe Q2 2019.

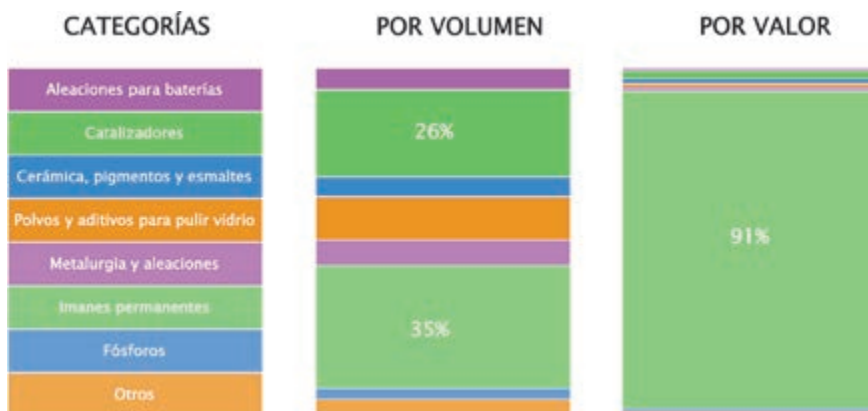


Figura 43. Los imanes permanentes y los catalizadores son actualmente los principales impulsores de la demanda de tierras raras (Adamas Intelligence, 2019).

Estos cuatro elementos no solo constituyen la mayor parte del valor global de las TR en la actualidad, sino que se espera que su demanda en los próximos años crezca más rápidamente que la del resto de los elementos de TR. Y si esto sucede, lo más probable es que haya dificultades para mantener una capacidad de respuesta adecuada<sup>18</sup>.

En cuanto a las previsiones de futuro, los aerogeneradores y los vehículos eléctricos, los dos campos principales de aplicación de los imanes permanentes y, por tanto, de las TR, son sectores emergentes para los que no hay tendencias de mercado establecidas, y su crecimiento futuro, además, está estrechamente vinculado a las decisiones que adopten los países respecto al cambio climático, por lo que, tanto su despliegue como, indirectamente, la demanda de TR se ven influenciados por ambos factores (decisiones políticas y la dinámica del mercado), lo que dificulta el establecimiento de tendencias claras.

Por ejemplo, el último análisis de mercado realizado por Roskill, realizado tras la reincorporación de EE.UU. al Acuerdo de París (febrero de 2021) y la presentación de su ambicioso plan de electrificación del transporte ligero, estima un crecimiento anual del consumo de TR del 4% hasta 2030, un valor similar al de los cinco años previos a 2020<sup>19</sup>, contradiciendo el análisis anterior,

<sup>18</sup> Ibídem.

<sup>19</sup> Roskill (2021). *Rare Earths Outlook to 2030*. 20<sup>th</sup> edition. London: Roskill.

que auguraba un crecimiento anual de solo el 3,3% hasta 2024 y una desaceleración al 2,1% anual entre 2024 y 2029<sup>20</sup>.

En cualquier caso, las diferentes previsiones realizadas coinciden en que la demanda de TR seguirá aumentando de forma sostenida, con los imanes permanentes como principal impulsor.

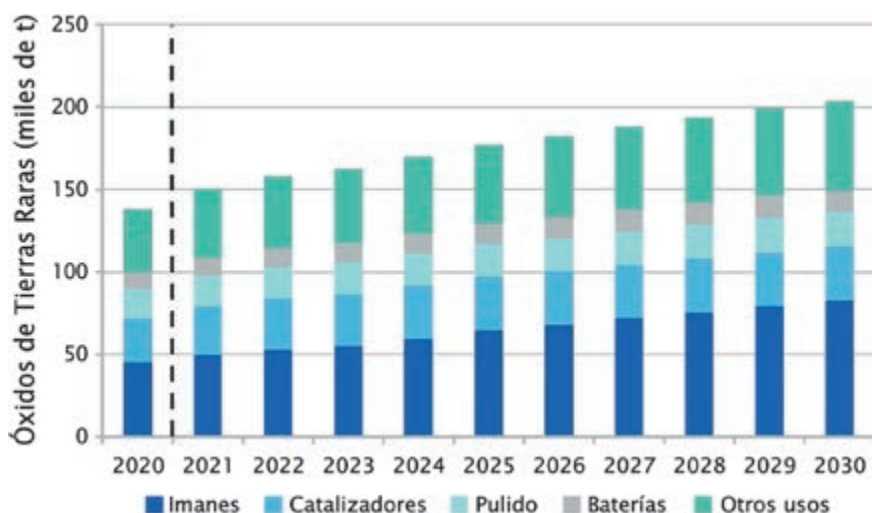


Figura 44. Proyección del consumo de tierras raras por uso final (Commonwealth of Australia, 2021).

### La producción minera de tierras raras y la demanda reciente

La producción minera de tierras raras alcanzó sus valores máximos en los últimos años con unas 200 000 t/año.

En el gráfico adjunto se distinguen básicamente cuatro periodos:

Desde 1950 hasta 1965, con producciones bajas acumuladas de diversas explotaciones y por debajo de las 10 000 t/año.

Desde 1966 hasta 1985, periodo en el que Estados Unidos tuvo el liderazgo mundial de explotación de TR, con la presencia muy activa de la empresa norteamericana Molycorp, hasta el año 2003, en que cerró la mina de Mountain Pass.

Desde 1985 hasta 2020, cuando aparece un máximo como consecuencia de que a la producción importante de China se suma la de otros países que, tras constatar la existencia de recursos con intensas campañas de exploración, pusieron en marcha diver-

<sup>20</sup> Roskill (2019). *Rare Earths: Market outlook to 2029*. 19<sup>th</sup> edition. London: Roskill.

sas explotaciones, destacando de todas ellas la aportación de Australia.

Durante las últimas dos décadas, China ha producido, a nivel mundial, entre el 80% y el 95% de las tierras raras, un grupo de 17 metales que se han convertido en componentes clave del progreso tecnológico en campos que van desde la energía, las TIC o los dispositivos médicos a la defensa.

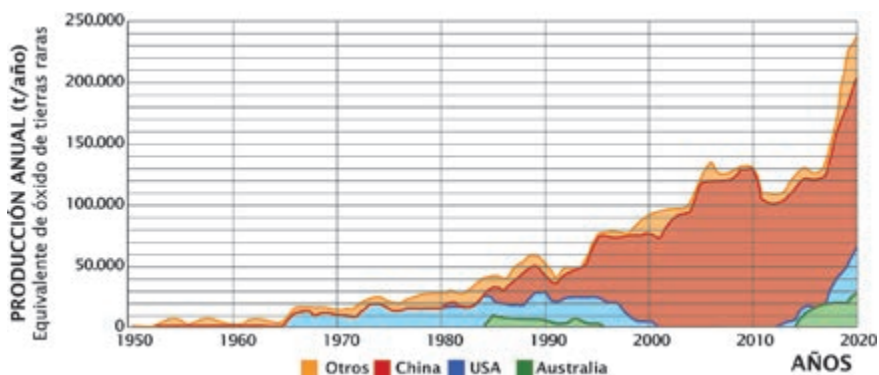


Figura 45. Evolución de la producción de TR a nivel mundial (U.S. Bureau of Mines; US. Geological Survey, 2019).

A pesar de su nombre, las TR no son raras y se pueden encontrar en todo el mundo. Las preocupaciones ambientales, que se dispararon en las décadas de 1970 y 1980, especialmente en Estados Unidos y en Europa; el comercio global liberalizado, y las políticas chinas diseñadas para aprovechar la riqueza de recursos del país son las principales responsables de la producción concentrada de estos metales.

A partir de 2010, el mundo tomó conciencia de esta división del trabajo distorsionada. En contra de sus compromisos con las reglas del comercio mundial, China implementó estrictas medidas de control de las exportaciones, incluidas licencias, impuestos y cuotas de exportación, que limitarían severamente el suministro de TR a los consumidores industriales en el extranjero

En ese mismo año, China también fue duramente acusada, aunque lo negara con vehemencia, de imponer un embargo de facto de dos meses a los envíos de TR a Japón, que dependía en un 90% de las importaciones chinas, como forma de castigo por la detención de un barco pesquero chino en aguas en disputa del mar de China Oriental.

Los beneficios que China pudo haber logrado con tal embargo fueron marginales, pero el incidente causó gran alarma entre los consumidores y sus respectivas naciones, y dejó patente su vulnerabilidad frente a riesgos de suministro y del peligro que esto entrañaba para el futuro de las industrias de alta tecnología

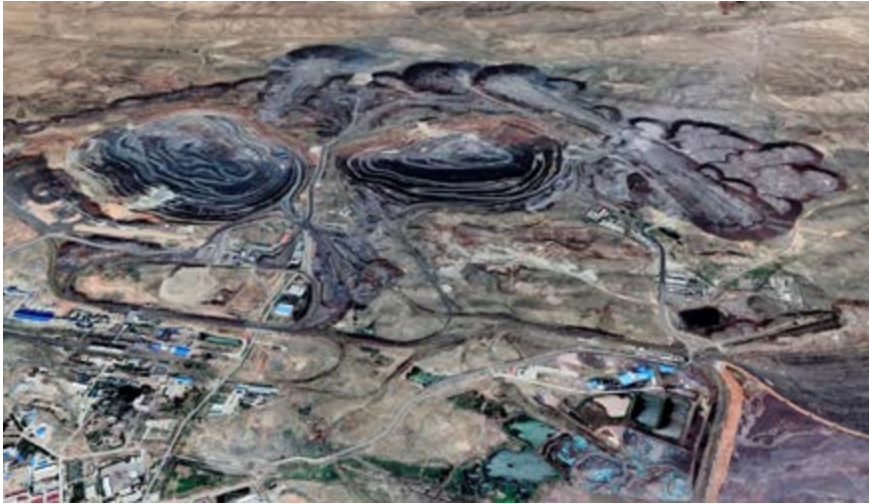


Foto 8. Complejo minero dedicado a la extracción de TR.

La preocupación por el suministro, unida al aumento de los precios, que para algunas TR se incrementaron un 500% o más en el año siguiente, impulsó un conjunto de campañas de exploración de TR que incluían algunas zonas de la selva de Brasil, las profundidades del océano Pacífico e, incluso, la superficie de la Luna.

Parte de la producción externa a China, en particular la de la mina Mount Weld, en Australia, ha demostrado ser viable hasta ahora, pero otras, como la de la mina Mountain Pass de California, han fallado a medida que las condiciones del mercado han cambiado. Después de un proceso de solución de controversias en la Organización Mundial del Comercio, China volvió a las prácticas comerciales más o menos normales en 2015, aunque su participación en la producción todavía representa más del 80% de las TR en la actualidad, incluida casi toda la producción mundial de algunos elementos críticos, como el disprosio.

Por el lado de la demanda, los consumidores industriales en el extranjero se apresuraron a encontrar soluciones. Muchos han podido aumentar la eficiencia, encontrar materiales sustitutos

o cambiar tecnologías por completo que se tradujeron en una caída estimada en casi un tercio de la demanda mundial de TR hasta 2016. Pero para otros, por ejemplo en las industrias eólica y automotriz, las soluciones son bastante más complejas y se ha constatado que las TR siguen siendo materiales clave, por ahora, insustituibles.

Muchos especialistas proyectan que la demanda de TR, como el neodimio y el disprosio, aumentará significativamente gracias a estas industrias dependientes, pero el cambio tecnológico y las mejoras de la eficiencia aún pueden traer más sorpresas. Aquí, los riesgos son dobles. Primero está la continua dependencia de China para las TR, todavía consideradas insumos críticos para muchas tecnologías emergentes. En segundo lugar, está el riesgo de que, en la frenética búsqueda de soluciones a los riesgos de suministro, los usuarios industriales resulten menos competitivos que otros usuarios, en particular chinos, que no se enfrentan a las mismas limitaciones materiales.

Para China, la utilización de sus mayores recursos como «arma» económica para librar sus batallas diplomáticas está lejos de ser el objetivo principal. De hecho, su enfoque hacia la industria de las TR ha estado impulsado en gran medida por preocupaciones más internas.



Foto 9. Planta australiana de TR de la que se abastecen algunas empresas japonesas (Lyna).

Una de ellas responde a la creciente crisis ambiental del país. En este esfuerzo, Beijing está favoreciendo cada vez más las tecnologías más eficientes energéticamente y con bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, como la energía eólica y los vehículos eléctricos que dependen de las TR.

Al mismo tiempo, también busca gestionar mejor el desastre ambiental que la producción de TR ha provocado a las regiones mineras del país.



**Foto 10. Trabajadores chinos en una explotación artesanal con precariedad de medios técnicos.**

Otro factor fundamental ha sido el facilitar la estrategia económica china, llegando esta a liderar las industrias del futuro y dominar cada vez más las respectivas cadenas de valor, asegurando, así, la transformación económica a largo plazo del país y proporcionando una mayor legitimidad al partido gobernante.

En este sentido, el enfoque de China hacia las TR no solo ha sido dominar la producción de recursos y garantizar que sus industrias tengan los recursos que necesitan, sino también dominar cada vez más las industrias de valor añadido que dependen de estos metales críticos.

Los resultados de esta estrategia son patentes. En la actualidad China no solo es el principal productor mundial de óxidos de TR, sino también su mayor consumidor y el país que mayor control ejerce sobre las cadenas de valor de productos de dispositivos de los que dependen tecnologías clave, como los imanes de TR.

Aun así, los recursos de China no son infinitos, y las preocupaciones sobre el aumento de la demanda y las reservas chinas cada vez más limitadas de algunas TR están empujando a sus empresas a buscar suministros de recursos en el extranjero.

Uno de los efectos que se ha detectado es, efectivamente, una nueva ola de inversión china en el extranjero que puede significar que la producción (y la contaminación) que alguna vez se deslocalizó hacia China se desvíe cada vez más a otras áreas del mundo, y destine parte de sus esfuerzos a adquirir empresas con mayor valor añadido.

Esa aportación es consecuencia de la crisis que se produjo entre China y Japón, que dio lugar, entre otras cosas, a las citadas campañas de exploración.



Foto 11. Explotación a cielo abierto de TR en Australia.

Dentro del análisis introspectivo, cabe señalar que en 2011 tuvo lugar el enfrentamiento entre China y Japón, cuyo origen se encuentra en la estrategia que años atrás había adoptado el primero de esos dos países para potenciar sin ambages su crecimiento económico y la transformación de una economía agrícola a una economía tecnológica.

Dicha estrategia consistía, por un lado, en el conocido *dumping*, en su doble vertiente, económica y ambiental. Con respecto al primero, vale la pena recordar que a primeros de los años 2000 el precio medio de las tierras raras era del orden de unos 2,8 \$/kg, es decir, aproximadamente la mitad que en Estados Unidos, lo cual condujo al ya citado cierre temporal de la mina norteamericana, más allá que una guerra de precios.



Pero también aplicó un *dumping* ambiental, pues en ningún momento las empresas chinas aplicaron una internalización de los costes ecológicos o de corrección ambiental en los costes de producción. Es obvia la razón de no hacerlo, y es simplemente que dichos costes no los conocían al no haber incurrido nunca en ellos.

Esa doble política ha ido más allá que la simple medida de anular la competencia. Algunos expertos analistas opinan que China no solo pretendía apoderarse de casi la totalidad de los recursos geológicos de las TR, sino que, a continuación, pretendía incluso hacerse con el control de las tecnologías innovadoras que permitirían sus aplicaciones finales. En definitiva, sería el equivalente a aprovechar al máximo el valor añadido de las TR en favor de las propias industrias chinas.

Aún hoy, algunos empresarios europeos piensan que al abandonar las actividades industriales básicas o pesadas, las empresas podrían concentrar sus esfuerzos en los sectores fabriles de alto valor añadido (tecnologías verdes y del ámbito digital) y seguir manteniendo sólidos márgenes de beneficios.

Coloquialmente, lo anterior significa que pensaban que los países emergentes seguirían siendo la fábrica del mundo, produciendo pantalones vaqueros o juguetes con precios bajos, mientras que las élites de Occidente continuarían gobernando sin competencia en los segmentos más remunerados. Pero parece que no va a ser así.

### Reservas mundiales de tierras raras

Las reservas mundiales de tierras raras estimadas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2021<sup>21</sup>) ascienden a un total de 120 Mt de TREO (óxidos de tierras raras totales en su acrónimo inglés, *total rare earths oxides*). De ellas, destaca la cifra de reservas de China, con más de 44 Mt (38%), a la que siguen Vietnam y Brasil, con unos 22 Mt cada uno (19%); Rusia con 12 Mt (10%); y una serie de países que están incrementando la explotación de TR con cantidades mucho menores.

Tal como se puede observar en la figura 46, las reservas identificadas, a día de hoy, a nivel internacional se encuentran relativamente dispersas.

<sup>21</sup> USGS (2021). *Mineral commodity summaries 2021*. U.S. Geological Survey.

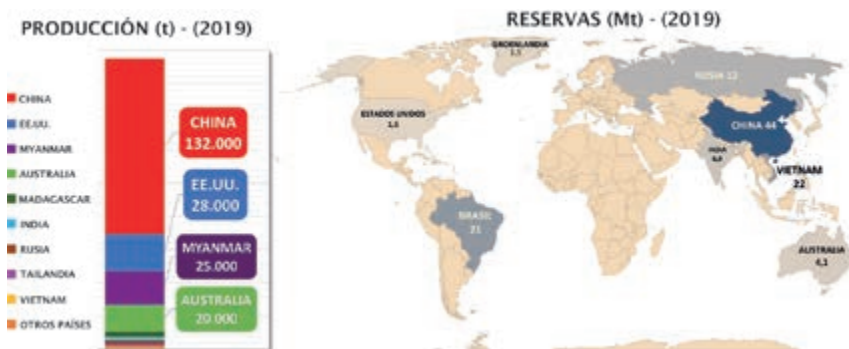


Figura 46. Producción de tierras raras por regiones y reservas conocidas (datos del USGS, 20-21).

Hay que señalar que, de este volumen de reservas, únicamente 8,49 Mt<sup>22</sup> son conformes con los estándares y códigos internacionales (NI 43-101, JORC, SAMREC). El 30 % de ellas está contenido en las cinco reservas minerales de TR que posee Australia, gracias a los numerosos proyectos avanzados de tierras raras actualmente en desarrollo. El 18 % está en Groenlandia y otro 18 % en Estados Unidos. El resto se distribuye entre Tanzania (10 %), Sudáfrica (10 %), Brasil (6 %), Canadá (4 %) y otros países (Suecia, Malawi y Chile)<sup>23</sup>.

En cuanto a recursos<sup>24</sup>, los depósitos de bastnasita<sup>25</sup> de China y Estados Unidos constituyen el mayor porcentaje de los recursos económicos de TR a nivel mundial, seguidos de los depósitos de monacita<sup>26</sup> de Australia, Brasil, China, India, Malasia, Sudáfrica, Sri Lanka, Tailandia y Estados Unidos<sup>27</sup>.

<sup>22</sup> El volumen de reservas evaluadas conforme a los estándares y códigos internacionales asciende a 694,86 Mt de material mineralizado, con un 1,22 % de REO, lo que equivale a 8,49 Mt REO *in situ*.

<sup>23</sup> Adamas Intelligence, *op. cit.*

<sup>24</sup> Recursos: cantidades de minerales en depósitos existentes; reservas: cantidades de minerales en depósitos explotables y conformes a los códigos y estándares internacionales.

<sup>25</sup> Bastnasita: fluorocarbonato con contenido medio en REO del 70 %, principalmente como itrio, cerio y lantano.

<sup>26</sup> Monacita: fosfato complejo con contenido medio en REO del 55 %, principalmente como cerio, lantano, itrio y tulio.

<sup>27</sup> King, H. M. (2021). «REE - Rare Earth Elements and their Uses». Geology.com.

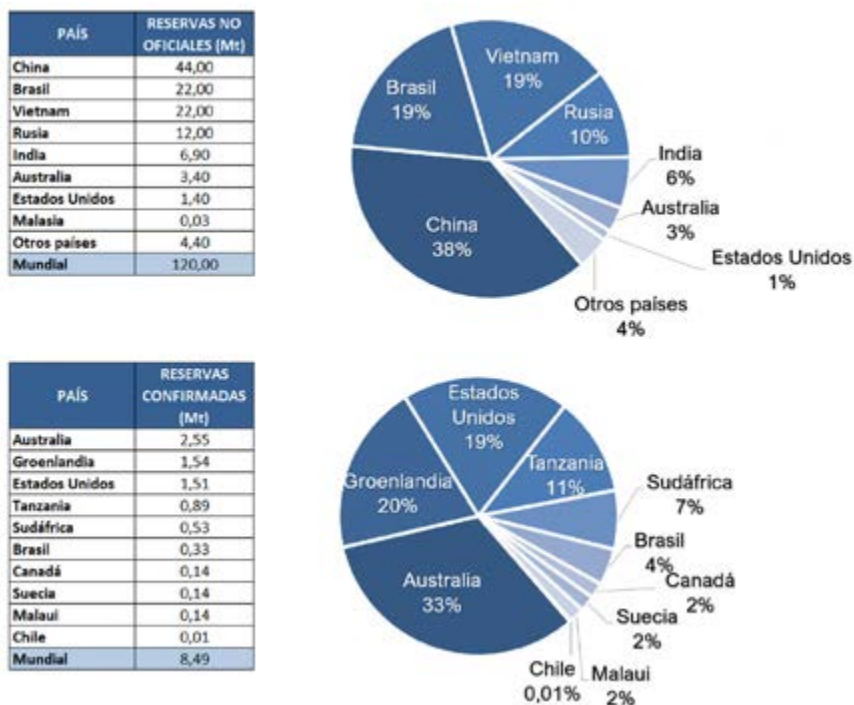


Figura 47. Reservas de tierras raras por países (datos de Adamas Intelligence, 2019).

Además de los datos aportados en los párrafos anteriores, en la figura 48 se reflejan los depósitos minerales que contienen elementos de TR en todos los continentes.



Figura 48. Depósitos minerales que contienen elementos de tierras raras (USGS, Rare Earth Deposits: Interactive Map, 2018).

En la tabla 7 se presentan los últimos datos de producción minera y reservas estimadas a nivel mundial. Como se puede comprobar, aunque China es el líder mundial en la producción de tierras raras, solo controla alrededor del 38% de las reservas, lo que brinda una oportunidad a otros países ahora que China no vende TR por debajo de su coste de producción.

País	Producción (t)	Reservas (t)
Estados Unidos	38 000	1 500 000
Australia	17 000	4 100 000
Brasil	1000	21 000
Burma	30 000	No disponible
Burundi	500	No disponible
Canadá	---	830 000
China	140 000	44 000 1000
Groenlandia	---	1 500 000
India	3000	6 900 000
Madagascar	8000	No disponible
Rusia	2700	12 000
Sudáfrica	---	790 000
Tanzania	---	890 000
Tailandia	2000	No disponible
Vietnam	1000	22 000 000
Otros países	100	310 000
Total mundial	240 000	120 000 000

Tabla 7. Producción minera mundial y reservas en 2020. Datos estimados (King, 2021).

Respecto a la evolución de la producción mundial, el gráfico de la figura 49 muestra un incremento significativo de la producción total a partir de 2018, en parte debido a que los datos de Myanmar volvieron a estar disponibles, así como de la mayor participación de Australia y Estados Unidos.

Como puede verse, China lidera claramente la producción minera con 140 000 t/año, una cifra que multiplica por más de 3,5 la de Estados Unidos, el segundo en la escala de producción, y que supera el 57% del total mundial; y, además, acapara una cuota muy importante de los recursos identificados y las reservas, lo que supone para el resto de los países, hoy por hoy, una total dependencia del abastecimiento de esta serie de elementos que resultan claves para sectores estratégicos, como la energía o la defensa.

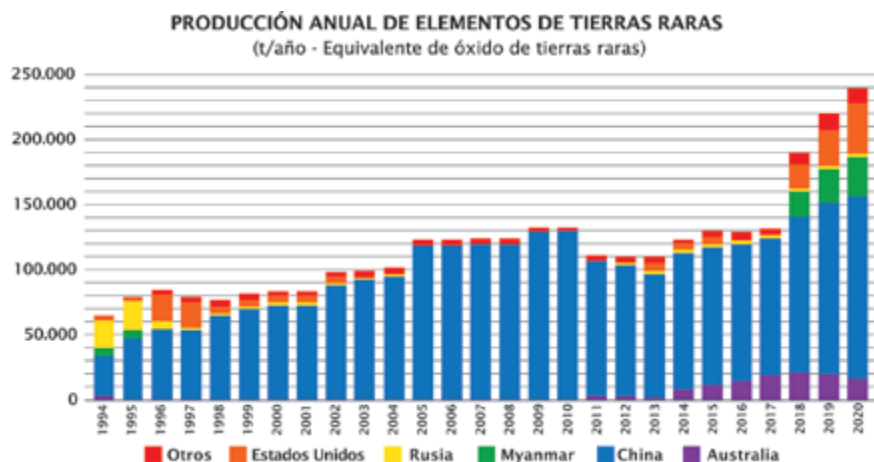


Figura 49. Producción de elementos de tierras raras (datos de King, 2021).

Además, en los últimos años China estableció límites a sus exportaciones, lo que dio lugar a una elevación de los precios mundiales.

AÑO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Ce</b>	40	30	30	30	100	28	8	5	2
<b>La</b>	30	30	38	38	100	58	20	5	3
<b>Nd</b>	45	42	63	63	270	124	72	65	47
<b>Pr</b>	60	38	60	60	225	118	85	99	67
<b>Y</b>	50	44	50	50	165	110	26	15	7
<b>Dy</b>	150	170	310	310	1600	1203	557	373	271
<b>Eu</b>	1000	1600	1400	1400	3300	2610	1102	771	269
<b>Tb</b>	800	900	1400	1400	2750	2035	925	657	547

Tabla 8. Evolución de los precios medios anuales de algunos óxidos de TR (\$US/kg) (Paulick, 2017)<sup>28</sup>.

Cómo es lógico, esa dependencia de China, que ha ido más allá de actuar como un verdadero monopolio para el abastecimiento de la mayoría de los países de Occidente, se ha traducido en una toma de conciencia por estos últimos de la necesidad de adoptar medidas encaminadas a garantizar el abastecimiento futuro de las industrias y sectores consumidores.

<sup>28</sup> Paulick, H. y Machacek, E. (2017). «The Global Rare Earth Element Exploration Boom. An Analysis of Resources Outside of China and Discussion of Development Perspectives». *Resources policy*, n.º 52.

La primera de ellas, y aunque no es una respuesta ágil frente a posibles encarecimientos o falta de suministro por el prolongado tiempo que transcurre desde el descubrimiento de un yacimiento hasta su explotación comercial, ha sido invertir en investigación para encontrar yacimientos explotables e intentar abastecerse con sus propios recursos. Los datos anteriores, tanto de recursos como de reservas, muestran que, si bien la producción actual de tierras raras se encuentra principalmente en China, otros países también tienen potencial para desarrollar actividades mineras.

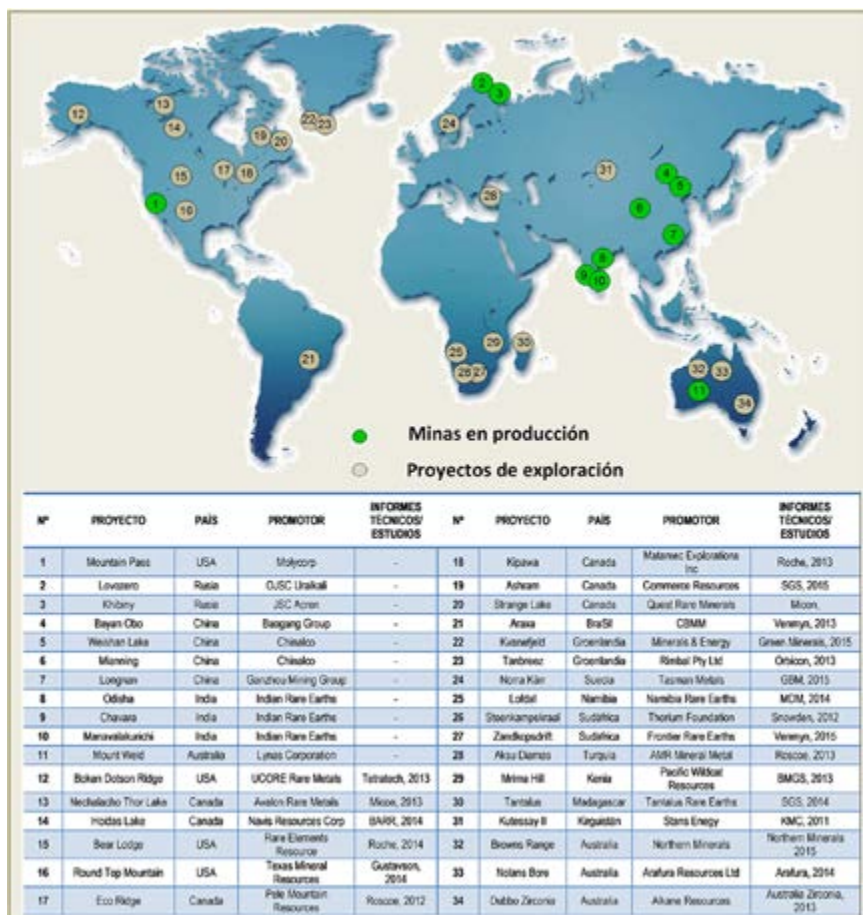


Figura 50. Mapa del mundo con la distribución de minas activas de tierras raras y proyectos avanzados de exploración (López Jimeno et al., 2019)<sup>29</sup>.

<sup>29</sup> Escribano, M. M., López Jimeno, C. y Mataix, C. (2019). *Manual de minerales críticos y estratégicos en la nueva economía*. Grupo de Proyectos de Ingeniería. E.T.S.I. Minas y Energía.

Siguiendo esta estela, hay unos veinte proyectos en desarrollo en Australia, Canadá y Estados Unidos, en cinco de los cuales se espera iniciar la operación a principios de la década de 2020. También está prevista la explotación de TR en Groenlandia (complejo de Ilímaussaq de uranio, TR y zinc), Zambia (Nkwombwa Hill), Canadá (Hoidas, Thor, Stange y Misery Lakes), Sudáfrica (complejo descubierto de Pilanesberg y reapertura de Steenkampskraal)<sup>30</sup>.

En España, la investigación ha confirmado la existencia de recursos explotables de tierras raras, pero, hasta la fecha, los esfuerzos por aprovecharlos se han visto frustrados. En 2013 se desistió de continuar con un proyecto de explotación en la Sierra del Galíñeiro (Galicia) ante su dificultad técnica y la presión social local; y en 2019, el proyecto de explotación de Matamulas (Campo de Montiel), de la empresa española Quantum Minería, se rechazó porque la declaración de impacto ambiental fue negativa en consideración a que se afectaban los hábitats del águila imperial, el lince y el sisón.

Y mientras los países occidentales buscan afanosos nuevas fuentes de suministro para reducir su dependencia, como en una partida de ajedrez, China también ha movido sus piezas y se ha acercado a las naciones africanas, aprovechando su deuda internacional para ofrecerles rescates financieros a cambio de tener acceso a sus depósitos de tierras raras.

Y ahora parece que se está acercando al nuevo Gobierno afgano con la intención de tener acceso privilegiado a los importantes recursos minerales que contiene ese país. Según un informe del USGS de 2011, en Afganistán hay más de 900 000 millones de dólares en reservas minerales, y, entre ellas, al menos 1,4 Mt de elementos de TR ligeras, con concentraciones de lantano, cerio, praseodimio y neodimio de entre el 0,5 % y el 6,2 %. El contenido medio total de tierras raras ligeras alcanza el 3,3 % en peso y, según el citado organismo, son depósitos de primer nivel comparables en ley a los de Mountain Pass y Bayan Obo.

---

<sup>30</sup> Prego Reboredo, R. (2021). «Las tierras raras, una pieza clave en el puzle de la energía», en: *Energía y Geoestrategia 2021*. CECME, ENERCLUB, CEDESEN, IEEE del Ministerio de Defensa



Figura 51 Recursos de tierras raras en Afganistán (Sedqi, 2011)<sup>31</sup>.

Otro frente abierto que no soluciona la apertura de nuevas minas está en las operaciones de separación y refinado del mineral, porque, si bien su participación en la producción minera se ha reducido un tanto los últimos años, su presencia en las operaciones posteriores, desde el procesamiento del mineral hasta la producción de metales y la fabricación del producto final, ha continuado incrementándose. China domina todos los pasos en la cadena de producción.

Según datos de 2019, China acapara el 90% de la cuota de mercado de las operaciones de separación y refinado de minerales de TR. De las cuatro plantas que operan fuera del territorio chino (Malasia, Francia, India y Estonia), la única no china es la de Malasia, dirigida por Lynas (AIE, 2021).

Para intentar cubrir este flanco, en 2020 el Gobierno de Estados Unidos ha financiado dos proyectos, uno de Lynas y el otro de MP Materials; y un tercer proyecto, de Texas Mineral Resources, está

<sup>31</sup> Sedqi, A. (2011). *Mineral Resources of Afghanistan Driver for Regional Economic Development*. Director General del Servicio Geológico de Afghanistan (AGS).



en revisión. Además, MP Materials planea ampliar la capacidad de procesamiento en la mina Mountain Pass (California) para eludir su actual dependencia de Asia<sup>32</sup>.

En paralelo a las medidas descritas, también se están considerando opciones para reducir la intensidad material, encontrar sustitutos y promover el reciclaje como fuente de recursos secundarios, cuya viabilidad y eficacia aún están por demostrarse.

### Riesgos e incertidumbres

En la última década se ha producido un incremento muy notable del nivel de implantación de las renovables en el *mix* energético mundial, que ya representan (incluida la hidráulica) alrededor del 15% de la demanda de energía primaria, y las proyecciones anuncian que para cumplir los objetivos climáticos va a ser necesaria una rápida aceleración, del orden del 7% anual en el periodo 2019-2030, hasta alcanzar en 2070 una cuota de casi el 60%, que estará sostenida, principalmente, por la bioenergía y la solar, con una cuota de participación no despreciable de la energía eólica (AIE, 2020)<sup>33</sup>.

Esta perspectiva futura lleva asociada una cuestión fundamental que no se ha venido considerando en la impresionante variedad de análisis y previsiones realizadas en la última década sobre mitigación y adaptación al cambio climático. Y es que este despliegue de tecnologías renovables necesariamente debe contar con un suministro adecuado y confiable de formidables cantidades de recursos minerales, muchos de ellos considerados críticos.

Según las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía, llevar a cabo este ambicioso plan de descarbonización va a suponer un incremento del consumo actual de minerales de, como poco, cuatro veces (seis veces, en el caso de un escenario de cero emisiones en 2050), lo cual plantea enormes interrogantes sobre la disponibilidad y confiabilidad del suministro de recursos minerales.

<sup>32</sup> En la actualidad produce un concentrado de tierras raras que requiere un procesamiento adicional en Asia.

<sup>33</sup> AIE (2020). *Energy Technology Perspectives 2020*. Versión revisada, febrero de 2021.

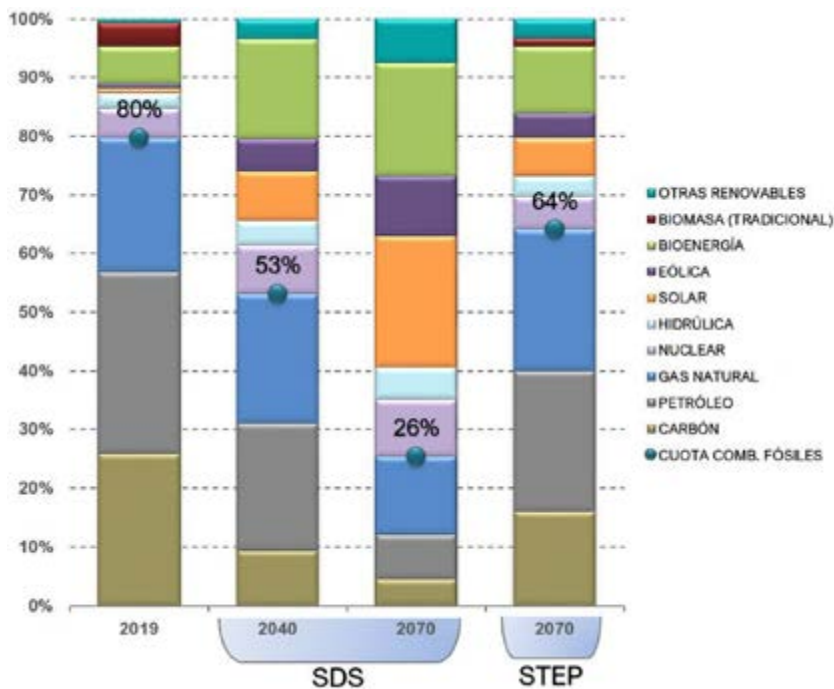


Figura 52. Demanda mundial de energía primaria por cuota de combustible y escenario climático<sup>34</sup> (AIE, 2020).

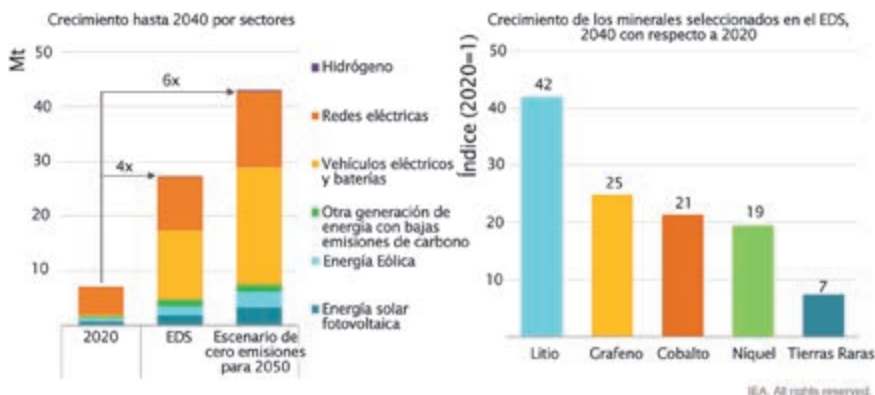


Figura 53. Demanda de minerales para tecnologías de energía limpia por escenario climático (AIE, 2020).

<sup>34</sup> SDS: escenario de desarrollo sostenible en su acrónimo inglés (*sustainable development scenario*). Contempla el logro de la totalidad de los objetivos climáticos, incluyendo el Acuerdo de París y los objetivos de acceso a la energía y calidad del aire. STEP: escenario de políticas declaradas, en su acrónimo inglés (*stated policies scenario*), refleja las intenciones y objetivos respaldados con medidas detalladas anunciados hoy en día por los Gobiernos. Otras renovables incluyen la energía geotérmica y mareomotriz.

Tim Gould, jefe de la División de Suministro Energético e Inversión de la AIE, es bastante claro al respecto: «El mundo tiene recursos minerales más que suficientes para hacer que las transiciones funcionen, pero esto no garantiza que los suministros vayan a estar disponibles de manera fácil y asequible donde y cuando se necesiten».

Y es que la transición hacia las energías limpias implica el cambio de un sistema de uso intensivo de combustible a otro basado en el uso intensivo de materiales en el que el suministro de minerales y metales es crucial. Pero los mecanismos actuales de seguridad energética, diseñados para proporcionar un seguro frente a los riesgos de interrupción y picos de precios en el suministro de hidrocarburos ya no sirven, han quedado obsoletos.

En comparación con los combustibles fósiles, las cadenas de suministro de minerales son más complejas y, en algunos casos, mucho menos transparentes, y pueden surgir riesgos significativos en prácticamente todas sus etapas. Y si es preocupante la cantidad de recursos minerales que se va a necesitar, lo es tanto o más la variedad de ellos, cada uno con una problemática específica asociada.

Siguiendo la estela de algunos autores, como Alicia Valero<sup>35</sup>, estas nuevas tecnologías bajas en carbono, en vez de «energías verdes», se deberían denominar «energías multicolor», por el gran número de elementos de la tabla periódica que necesitan.

La crisis provocada por la COVID-19 ha revelado la rapidez y la profundidad con la que pueden interrumpirse las cadenas de suministro mundiales, haciendo saltar todas las alarmas. Ha quedado claro que la sustitución de las fuentes de energía fósiles por otras renovables no ha disipado los riesgos tradicionales de la seguridad energética. Y ahora sí, muchos Gobiernos han empezado a revisar con visión crítica la organización de sus cadenas de suministro para mejorar su capacidad de adaptación, su *resiliencia*, lo cual es vital para garantizar tanto la transición hacia las energías limpias como la seguridad energética.

En los apartados siguientes se revisa el concepto de criticidad y se hace un repaso de algunas cuestiones relacionadas con los

---

<sup>35</sup> Valero, A. (2015). «El cambio climático desde la perspectiva de los materiales». Tercer Foro de Sostenibilidad y Progreso de las Sociedades. Las perspectivas científicas y nuevas políticas contra el cambio climático. El protocolo de París. Zaragoza, 24 septiembre 2015.

riesgos e incertidumbres que plantean las cadenas de suministro de minerales críticos para el sector de la energía en el marco de la transición hacia las tecnologías limpias.

## Minerales críticos para las tecnologías de energía limpia

### El concepto de criticidad

Se considera *minerales críticos* a aquellas materias primas importantes desde el punto de vista económico, en cuanto a que son imprescindibles para un determinado proceso industrial que presenta alta probabilidad de que su suministro se vea interrumpido. Es decir, un mineral se considera crítico cuando su déficit puede dañar la economía de un país.

A menudo existe una confusión entre los términos que puede conducir a errores. Regueiro (2014)<sup>36</sup> diferencia entre *mineral crítico* y *mineral estratégico*, en tanto en cuanto un mineral *crítico* pasa a considerarse *estratégico* si, además, su abastecimiento constituye un reto a nivel nacional y es necesario definir un plan estratégico para asegurar dicho suministro, como es el caso, por ejemplo, de los minerales utilizados en aplicaciones militares.

El primer país en introducir el concepto de *criticidad* fue Estados Unidos. En 2008, el Consejo Nacional de Investigación (NRC) realizó un estudio titulado *Los minerales críticos y la economía de Estados Unidos*, en el que se analizaron por primera vez determinadas sustancias mediante una matriz de criticidad (figura 54). A partir de ese momento se han desarrollado diferentes metodologías, lideradas fundamentalmente por Estados Unidos y Europa.

Los dos ejes sobre los que se establece la criticidad de un mineral o grupo de minerales son la importancia de su uso, representado en el eje Y a través del *impacto de la restricción de suministro*; y el *riesgo de suministro*, es decir, su disponibilidad y la posibilidad o probabilidad de posibles restricciones.

La «importancia en el uso» conlleva el concepto de que, por sus propiedades químicas y físicas, unos minerales son más imprescindibles para usos específicos que otros. Así, cuanto mayor sea la dificultad, el coste o el tiempo necesario para encontrar un

<sup>36</sup> Regueiro y González Barros, M. (2014). «Minerales críticos en Europa: metodología para la evaluación de la criticidad de los minerales». MACLA, n.º 19, julio.

sustituto adecuado para un determinado mineral, mayor será el impacto de la restricción en el suministro del mineral.

Algunos de los parámetros que intervienen en los estudios de criticidad son el incremento de su demanda para las nuevas aplicaciones tecnológicas, su abundancia/escasez en la corteza terrestre, la ubicación de sus yacimientos (concentración geográfica, inestabilidad política) y la dificultad de extracción como minerales primarios<sup>37</sup>.

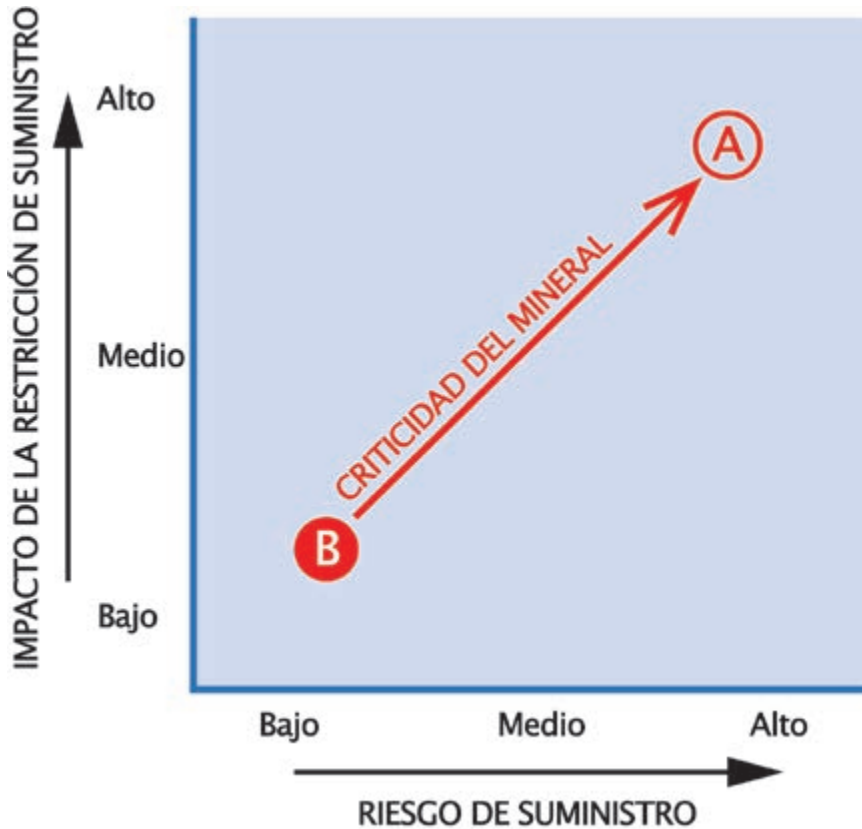


Figura 54. Matriz de criticidad (National Research Council, 2007)<sup>38</sup>.

Un paso más en la consideración de mineral crítico es añadir los aspectos sociales y ambientales a los indicadores de riesgo

<sup>37</sup> Hidalgo García, M.<sup>a</sup> del Mar (2012). *Los elementos críticos del sector energético: una cuestión de geopolítica*. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Documento de Opinión 72/2012 3.

<sup>38</sup> National Research Council (2007). *Minerals, critical minerals, and the US economy*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12034>.

de suministro y vulnerabilidad<sup>39</sup>. Para su consideración pueden utilizarse diferentes índices, como el Índice de Comportamiento Ambiental de la Universidad de Yale, que establece un ranking de países definido a través de su situación respecto a la «salud» ambiental y la «vitalidad» de sus ecosistemas; o los Indicadores Mundiales de Gobernanza (IMG) del Banco Mundial, que evalúan seis dimensiones de la gobernabilidad: voz y rendición de cuentas, estabilidad política y la ausencia de violencia, eficacia gubernamental, calidad normativa y estado de derecho y control de la corrupción<sup>40</sup>.

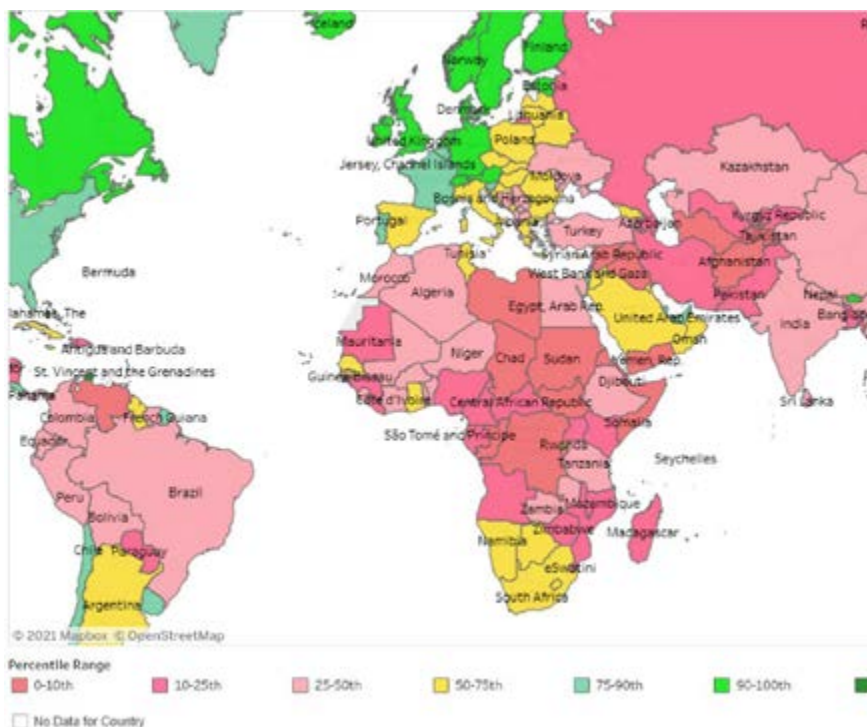


Figura 55. Evaluación del «Estado de Derecho y control de la corrupción» (IMG) en 2019. Este índice refleja el grado en el que el poder público se ejerce para beneficio privado, así como la «captura» del Estado por intereses privados. España se encuentra al nivel de Namibia, Ghana o Ruanda (Visor interactivo <https://info.worldbank.org/governance/wgi/Home/Reports>).

<sup>39</sup> Bradshaw, A. M. *et al.* (2013). *The potential scarcity of rare elements for the Energiewende*. DOI: 10.1515/green-2013-0014.

<sup>40</sup> Los IMG abordan los aspectos ambientales en el marco de los indicadores de «eficacia gubernamental» y «calidad normativa».

En la Unión Europea, por ejemplo, los dos parámetros principales utilizados para determinar la criticidad de una materia prima son la importancia económica, para cuya evaluación se analiza su aplicación en sus usos finales de carácter industrial; y el riesgo del suministro, que examina la concentración a nivel nacional de la producción mundial y el abastecimiento a la UE, la gobernanza de los países proveedores mediante los IMG, la contribución del reciclaje (materias primas secundarias), la sustitución, la dependencia con respecto a importaciones y las restricciones del comercio en terceros países.

El modelo norteamericano aplica aspectos similares relacionados con el consumo de los elementos químicos y su empleo en los mercados actuales y emergentes, la relación entre las reservas/recursos mundiales y la producción minera primaria y secundaria, y el análisis del riesgo ambiental del país (Regueiro y González Barros, 2014).

El concepto de criticidad es dinámico y puede variar dependiendo de múltiples factores. En primer lugar, dependiendo del modelo y los indicadores que se utilicen, pueden obtenerse listas de elementos críticos diferentes y con niveles de criticidad también diferentes. Así, la lista de elementos considerados críticos puede variar mucho de un país a otro, y un elemento o materia prima solo se considerará crítico a nivel mundial cuando tiene esta consideración en tres o más países (Serrano, 2020)<sup>41</sup>.

Por otro lado, el nivel de criticidad depende del periodo de tiempo que se esté analizando, del país, región o zona para la que se aplique y de su industria, así como de la complejidad del mercado, que, a su vez, está condicionado por una serie de factores que inciden directamente en el riesgo de interrupción del suministro (concentración de productores, demanda, precio, situación geopolítica de los países productores).

La criticidad, además, evoluciona con la tecnología y con el desarrollo de nuevos productos. Cuanto más difícil, más caro o más tiempo requiera la sustitución de un mineral en un determinado uso, más crítico será dicho mineral para ese uso. O, análogamente, mayor será el impacto de la restricción del suministro<sup>42</sup>.

---

<sup>41</sup> Serrano Burruezo, J. et al. (2020). *Materias primas críticas. Los límites del desarrollo*. CONAMA 2020.

<sup>42</sup> Regueiro y González Barros, M. (2014), *op. cit.*

GRUPO	NOMBRE	UE	EEUU	APLICACIONES
Metales	Litio		■	Baterías
	Níquel	■	■	Baterías
	Cobalto		■	Aleaciones con alta estabilidad térmica
	Manganeso		■	Pilas
	Galio	■		Paneles fotovoltaicos
	Indio	■	■	Pantallas táctiles, celdas solares
	Ytrio		■	Iluminación eficiente
	Cadmio	■		Baterías
	Molibdeno	■		Aleaciones altamente resistentes al calor
	Plata	■		Baterías eléctricas de alta capacidad
	Niobio	■		Aleaciones altamente resistentes al calor, electroimanes
	Vanadio	■		Aleaciones, reactores nucleares, imanes superconductores
	Hafnio	■		Aislante térmico, chips de ordenadores
	Estaño	■		Aleaciones
No metales	Teluro	■	■	Celdas solares
	Selenio	■		Fotocélulas, células solares, rectificadores
Tierras raras	Lantano		■	Lentes ópticas, baterías
	Cerio		■	Motores diésel, colorante del cristal, baterías
	Praseodimio		■	Motores de aviones
	Neodimio	■	■	Turbinas eólicas, discos duros, lectores de CD y DVD
	Samario		■	Reactores nucleares, lámparas de proyectores
	Eurpicio		■	Pantallas de plasma y LCD, iluminación eficiente
	Terbio		■	Pantallas de plasma y LCD, iluminación eficiente
	Disprosio	■	■	Coches híbridos, lámparas láser, imanes de alta temperatura

UE: Lista de materias primas críticas o fundamentales publicada en 2011

Tabla 9. Resumen de los materiales críticos desde el punto de vista del sector energético para Estados Unidos y la Unión Europea (Hidalgo, 2012).  
UE: Lista de materias primas críticas o fundamentales publicada en 2011.

Por ejemplo, en la Estrategia de Materiales Críticos de 2011 del Departamento de Energía de Estados Unidos (US DOE) se informaba de que cinco elementos utilizados en imanes para turbinas eólicas y motores eléctricos y en iluminación led (disprosio, terbio, europio, neodimio e itrio), resultaban críticos a corto y medio plazo (2011-2015 y 2015-2025) y podrían presentar problemas de suministro que afectarían al despliegue esperado de las tecnologías de energía limpia. Pero, a partir de 2019, la estrategia se ha centrado, además de en las tierras raras, en una serie de elementos clave para las baterías de almacenamiento eléctrico (litio, cobalto, manganeso y grafito), y el indio y el galio, empleados en las células solares fotovoltaicas.

El Centro Común de Investigación Europeo (Joint Research Centre: JRC) ese mismo año se publicó un análisis de criticidad sobre 14 elementos clave para el desarrollo de las 6 principales tecnologías de baja emisión de CO<sub>2</sub> (nuclear, solar, eólica, bioenergía, captura y almacenamiento de carbono y redes eléctricas). En él, para el



periodo 2020-2030, se detectaron 6 elementos que presentaban el mayor riesgo potencial de estrangulamiento de su cadena de suministro (disproso, neodimio, telurio, galio e indio). En un estudio posterior (2013), esta lista se amplió a 8 elementos, que incluían 6 tierras raras (disproso, europio, terbio, itrio, praseodimio y neodimio), asociadas a la generación eólica y los vehículos eléctricos, más galio y telurio, empleados en la fabricación de paneles solares.

Moss, R. L. et al. (2011) <sup>43</sup>	
ELEMENTO	RIESGO
Tierras raras (Dy, Nd), telurio, galio, indio	ALTO
Niobio, vanadio, estaño, selenio	MEDIO
Moss, R. L. et al. (2013) <sup>44</sup>	
ELEMENTO	RIESGO
Tierras raras (Dy, Pr, Nd, Eu, Tb, Y), galio, telurio	ALTO
Grafito, renio, hafnio, germanio, platino, indio	MEDIO-ALTO
Tierras raras (La, Ce, Sm, Gd), cobalto, tantalio, niobio, vanadio, estaño, cromo	MEDIO

**Tabla 10.** Comparación de resultados de la evaluación del riesgo de futuros estrangulamientos de la cadena de suministro de elementos críticos respecto a su empleo en tecnologías de energía limpia (Fuentes: Moss, 2011 y 2013).  
En rojo: elementos con evaluación coincidente en los dos estudios.

### Materias primas críticas para las energías limpias en la Unión Europea

La última lista de materias primas críticas o fundamentales (en adelante «CRM», por su acrónimo inglés de *critical raw materials*) de la Unión Europea incluye un total de 30 materiales, de los que 26 ya estaban en la lista anterior, publicada en 2017. Se han incorporado por primera vez bauxita, litio, titanio y estroncio, con aplicación en diversas tecnologías energéticas bajas en carbono. De ellos, el litio merece una atención especial, ya que se estima que la UE necesitará 18 veces más litio en 2030 y 60 veces más en 2050.

Los dos parámetros principales para determinar la criticidad han sido la importancia económica y el riesgo del suministro para la

<sup>43</sup> Moss, R. L. et al. (2011). *Critical Metals in Strategic Energy Technologies: Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies*. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport.

<sup>44</sup> Moss, R. L. et al., *op. cit.*

UE. Respecto al primero, la lista recoge la creciente demanda de ciertos minerales y metales como consecuencia del auge de las nuevas tecnologías digitales y del logro de los objetivos climáticos. De hecho, como puede verse en la tabla 11, 19 de las 30 CRM son minerales clave para las tecnologías de energías renovables y la movilidad eléctrica.

Además de la demanda, el análisis de criticidad también considera factores geopolíticos que pueden afectar al suministro en un futuro cercano, como el grado de concentración geográfica del suministro o la aparición de nuevas potencias con una creciente demanda interior y con un mayor peso geopolítico, capaces de alterar el acceso a determinadas CRM, como es el caso de China, de donde proviene el 98 %-99 % de las tierras raras<sup>45</sup>.

MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS 2020				
<b>Antimonio</b>	Escandio	Magnesio	Volframio	<b>Leyenda</b>
<b>Barita</b>	Espato flúor	MGP		
<b>Berilio</b>	Fosforo	Niobio	Bauxita <sup>46</sup>	Rojo: CRM en 2020 y no en 2017
<b>Bismuto</b>	Galio	Silicio metal	Litio	Verde: CRM evaluados en 2020 y no en 2017
<b>Borato</b>	Germanio	Tantalio	Titanio	Azul tachado: CRM en 2017 y no en 2020
<b>Carbón de coque</b>	Grafito	Tierras raras ligeras	Estroncio	
<b>Caucho natural</b>	Hafnio	Tierras raras pesadas	Helio	Sombreado azul: utilizado en energías renovables y movilidad eléctrica.
<b>Cobalto</b>	Indio	Vanadio		

**Tabla 11. Lista de materias primas críticas o fundamentales de 2020 y materiales utilizados en energías renovables. MGP: Minerales del grupo platino (platino, rodio, paladio, rutenio e iridio). Tierras raras ligeras: lantano, neodimio, praseodimio y samario. Tierras raras pesadas: disprosio, erbio, europio, gadolinio, holmio, lutecio, terbio, tulio, itrio e iterbio.**

<sup>45</sup> Hidalgo García, M.<sup>a</sup> del Mar (2021). *Los minerales estratégicos: el ser o no ser de la descarbonización y transformación digital de la UE*. Documento de Análisis IEEE 03/2021. [www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_analisis/2021/DIEEEA03\\_2021\\_MAR-HID\\_MineralesEstrategicos.pdf](http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2021/DIEEEA03_2021_MAR-HID_MineralesEstrategicos.pdf)

<sup>46</sup> La bauxita es la mena del aluminio. Este material se emplea habitualmente en componentes eléctricos y estructurales en casi todas las tecnologías de energía limpia (marcos para paneles solares, carcasas, aleaciones de alto rendimiento, etc.) y en algunas aplicaciones específicas, como celdas de combustible o imanes permanentes AlNiCo, pero no suele considerarse clave para su desarrollo.



Figura 56. Principales países proveedores de materias primas fundamentales a la UE (Comisión Europea, 2020).

Una cuestión importante que hay que resaltar es que, aunque China es el mayor exportador mundial de muchas CRM, como tierras raras (95%), magnesio (87%), galio (85%) o wolframio (84%), otros países, como Brasil (niobio) o Rusia (escandio, wolframio, vanadio), dominan el suministro a la UE.

Dentro de las CRM relacionadas con las energías limpias, los elementos que conforman los grupos REE poseen valores altos tanto para el riesgo de suministro como para la importancia económica; y el magnesio, el niobio, el wolframio, el cobalto y los metales del grupo del platino (PMG), valores altos de importancia económica, y los dos primeros, además, valores medio-alto para el riesgo de suministro.

Con respecto a 2017, en esta nueva evaluación de 2020 se observa para los minerales energéticos un incremento general tanto del riesgo de suministro como de la importancia económica, esto último por el mayor crecimiento del sector de las energías limpias en comparación con la evaluación anterior. Con algunas excepciones, tales como un cierto retroceso de la importancia económica del magnesio y del riesgo de suministro del grafito y del indio, y algunos casos llamativos:

- El notable incremento de la importancia económica del niobio, empleado en baterías ion-Li y como en las microaleaciones utilizadas en el acero estructural de alta resistencia de las torres que soportan los aerogeneradores.

- El notable incremento del riesgo de suministro del germanio, que se emplea como semiconductor en celdas solares fotovoltaicas. También se observa un incremento del riesgo respecto a 2017, menor que el del germanio pero significativo y superior al de las otras CRM, en el titanio, las TR ligeras y el cobalto.

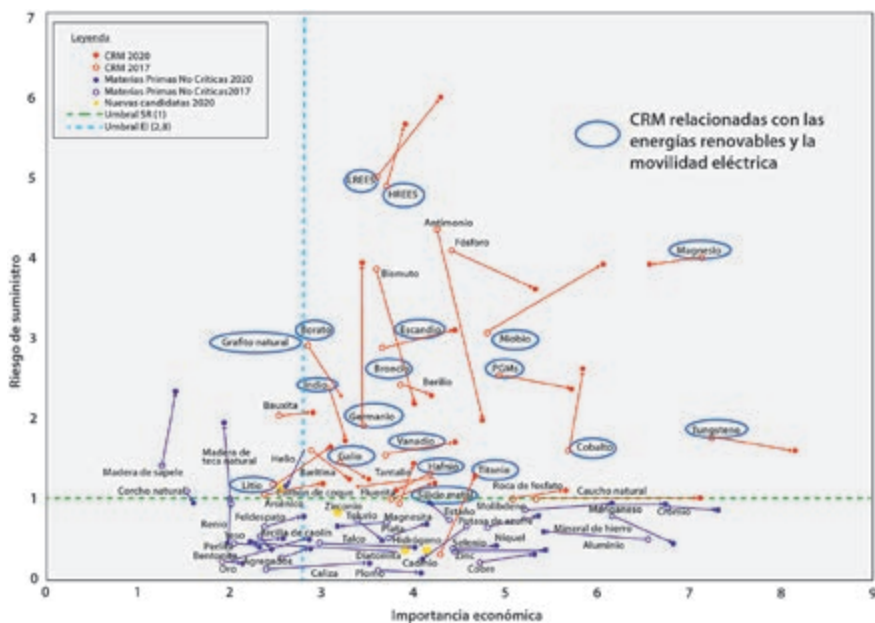


Figura 57. Resultados de la evaluación de la criticidad de 2020 en comparación con la de 2017 (modificado de Comisión Europea, 2020).

El informe *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU-A Foresight Study* (Bobba, 2020), publicado por la Comisión Europea en septiembre de 2020, arroja pocas dudas sobre la situación de vulnerabilidad de la UE respecto a muchos minerales clave para el desarrollo de las tecnologías de energía limpia y movilidad eléctrica.

Un sistema de energía renovable es más que la producción de electricidad renovable; también requiere tecnologías de almacenamiento, nuevas infraestructuras, automatización y tecnologías inteligentes/digitales. Y la UE depende de las importaciones de muchas CRM que son clave para el desarrollo de estas tecnologías y es susceptible a la interrupción del suministro de materiales como las tierras raras, el magnesio, el niobio, el germanio, los boratos o el escandio, caracterizados por riesgos de abastecimiento altos y muy altos<sup>47</sup>.

<sup>47</sup> Bobba, S. et al., op. cit.

En la energía eólica, en la que se necesitan las tierras raras, la UE solo se autoabastece del 1% requerido, siendo China quien ostenta el monopolio, aunque en cuestión de montaje supera el 50% de la cuota mundial. En la tecnología fotovoltaica, la UE solo proporciona un 1% de los ensamblajes basados en silicio.

En el caso de la movilidad eléctrica, la UE depende en gran medida de las importaciones de varias CRM clave, e igualmente algunas de ellas tienen un riesgo de suministro muy elevado (por ejemplo, tierras raras, MGP, cobalto y grafito natural). En la cadena de suministro, las etapas más vulnerables son las materias primas y el ensamblaje. China, África y América Latina proporcionan la mayoría de las materias primas, y China es también el principal proveedor de componentes de baterías (cátodo, ánodo, celdas de iones de litio) y, junto con Japón, domina la producción de imanes permanentes y motores eléctricos. La UE solo alcanza una cuota del 8% en un mercado de fabricación de motores eléctricos dominado por Japón, que acapara el 60%<sup>48</sup>.

Si Europa no quiere descolgarse del grupo de potencias tecnológicamente avanzadas en estos sectores, debe limitar su dependencia del exterior y garantizar el suministro a largo plazo, entre otros, de tierras raras, galio, germanio y MGP, cuya demanda se espera que se dispare a corto y medio plazo, así como fortalecer las oportunidades de fabricación y ensamblaje de los componentes críticos para los sectores de las energías renovables y la movilidad eléctrica<sup>49</sup>.

### Incertidumbres en las trayectorias de demanda

Una cuestión fundamental para anticiparse al impacto de la transición energética sobre la demanda de recursos minerales es tener una previsión de la demanda futura de productos minerales. Pero las trayectorias de demanda todavía están sujetas a grandes incertidumbres tecnológicas y políticas que conducen a una amplia gama de futuros posibles.

Y es que, aunque hay un consenso unánime en que la transición hacia las energías limpias va a conllevar un incremento sustancial de la demanda de muchos minerales, críticos y no críticos, y se han identificado numerosos materiales básicos que

---

<sup>48</sup> *Ibidem.*

<sup>49</sup> Hidalgo García, M.<sup>a</sup> del Mar. *Los minerales estratégicos...*, *op. cit.*

pueden desempeñar un papel más o menos relevante, predecir su demanda a medio y largo plazo sigue siendo problemático.

El futuro de la demanda de minerales está repleto de condicionantes e incógnitas derivados tanto de la innovación tecnológica y la influencia de las fuerzas del mercado, como de las decisiones políticas de los Gobiernos.

Un ejemplo muy gráfico es la respuesta de la consultora Deloitte a la pregunta de qué materias primas serán las estrellas de un futuro climáticamente neutro: «El incremento de la generación de energía renovable aumentará las necesidades de níquel, cobalto, litio, tierras raras pesadas y cobre, pero si las baterías Li-ión se confirman como la tecnología dominante en la movilidad eléctrica, el grafito y el manganeso podrían incorporarse a esta lista. Con las baterías de flujo redox, una alternativa posible a las de Li-ión para aplicaciones estacionarias, se requeriría un mayor suministro de vanadio y zinc, pero si las pilas de combustible de hidrógeno ganan mayor impulso, la demanda de platino podría aumentar»<sup>50</sup>.

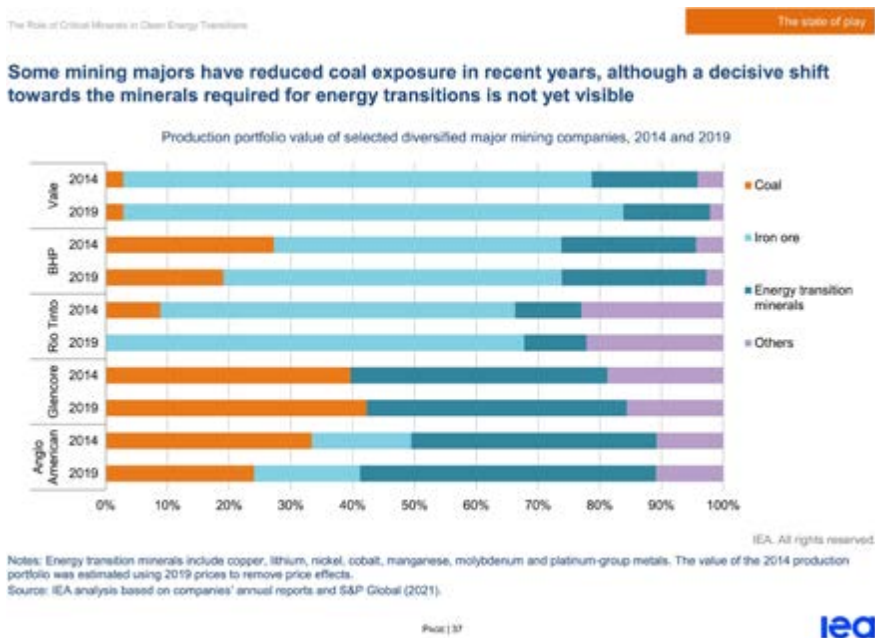


Figura 58. Valor de la cartera de producción de algunas de las principales empresas mineras a nivel mundial, 2014 y 2019 (AIE, 2021).

<sup>50</sup> Deloitte (2021). *Tracking the trends 2021. Closing the trust deficit.*

Hoy por hoy no hay una visión clara del mercado, o al menos no tan clara como en relación con los combustibles fósiles. Y estas incertidumbres en torno a posibles futuros podrían detraer los flujos de capital necesarios para respaldar la producción minera, lo que resulta especialmente relevante considerando los largos plazos de tiempo y las enormes inversiones que se requieren actualmente para el desarrollo de nuevas explotaciones.

La industria minera es la responsable última del abastecimiento mineral, y su papel en la transición energética es fundamental. Pero las empresas que extraen y procesan minerales, a pesar de la perspectiva de un crecimiento masivo a corto y medio plazo de las necesidades de recursos minerales, se están mostrando un tanto reticentes a asumir los riesgos de inversión que entraña la creación de una capacidad de producción significativa ante la indefinición y la amplia gama de posibles trayectorias que presenta la demanda.

Está claro que las empresas y los inversores mineros no están dispuestos a correr el riesgo de perder el acceso a productos minerales que pueden ser esenciales en el futuro, y seguro que, de una forma u otra, encontrarán los mecanismos adecuados para interpretar las señales de demanda y aclarar sus opciones de inversión. Pero para que el sector se comprometa al 100% y asuma el papel que le corresponde en la transición energética es necesario que se despejen las incertidumbres existentes en torno al compromiso real de los países con sus ambiciones climáticas. Y estas incertidumbres solo puede despejarlas los Gobiernos, enviando señales fuertes y contundentes sobre sus ambiciones climáticas e implementando políticas específicas que conviertan los objetivos en acciones.

Si las empresas no tienen confianza en las políticas energéticas y climáticas de los países, si no tienen claro que hay posibilidades de que sus proyectos salgan adelante, lo más probable es que las decisiones sobre inversión se tomen en función de criterios y expectativas más conservadoras, sin arriesgar en sectores económicamente inciertos o de dudosa viabilidad. Lo que, dados los largos plazos que conlleva el desarrollo de nuevos proyectos, podría crear cuellos de botella o estrangulamientos de la cadena de suministro cuando el despliegue de tecnologías de energía limpia tome impulso.

Entre las acciones que pueden desarrollarse para fomentar la producción de minerales necesarios para la transición energé-

tica, la AIE recomienda que los Gobiernos con recursos minerales apoyen el desarrollo de nuevos proyectos mineros reforzando los estudios geológicos a nivel nacional, proporcionando apoyo financiero a los proyectos de riesgos (*de-risk project*)<sup>51</sup> y racionalizando los procedimientos de otorgamiento de permisos y autorizaciones, para acortar los plazos de tramitación administrativa.

En línea con este tipo de medidas, cabe destacar el reciente anuncio del Gobierno australiano (septiembre de 2021) de la creación de una línea de préstamos de unos 2000 millones de dólares australianos (1249 M€) para proyectos de minerales críticos, por considerarlos «fundamentales» en la futura economía energética.

Este mismo organismo (AIE) destaca otra medida relacionada con el fomento de los proyectos mineros, que en España, donde la presión social es un factor de riesgo no desdeñable, resulta básica, y es que se informe a la población sobre el hecho de que los recursos minerales son imprescindibles para el despliegue de las tecnologías de energía limpia, y del papel que los proyectos mineros desempeñan en la transformación del sector energético.

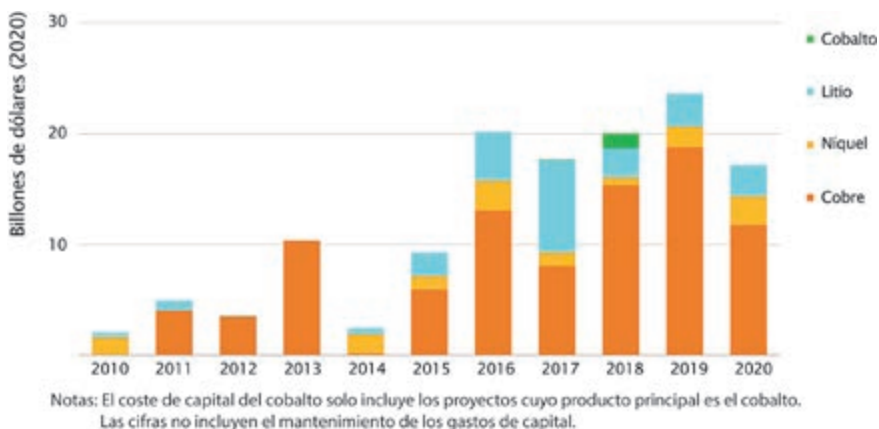


Figura 59. Costes de capital anunciado de proyectos greenfield para minerales seleccionados (AIE, 2021).

Bien es verdad que, en los últimos años, algunas de las grandes empresas mineras productoras de carbón han reducido el peso

<sup>51</sup> Los proyectos de eliminación o reducción de riesgos incluyen la realización de un extenso trabajo de exploración, la financiación adecuada del proyecto a corto y medio plazo y estudios para reducir los costes de operación.



de este combustible diversificando su cartera de negocios, aunque aún no es visible un cambio decisivo hacia los minerales de transición energética.

Según la AIE, el panorama está empezando a cambiar por dos efectos combinados: las señales más fuertes de los Gobiernos sobre sus intenciones de cumplir los compromisos del Acuerdo de París y la subida de precios de algunos minerales en 2017-2018, que estimularon su producción. La inversión en nuevos proyectos repuntó al final de la década de 2010 (aunque con un descenso provocado por la covid en 2020), pero esta tendencia debería mantenerse para asegurar una oferta amplia y sostenida en el tiempo.

### Riesgos y vulnerabilidades de las cadenas de suministro

Para asegurar el éxito de la transición energética y su propia sostenibilidad es necesario que los nuevos sistemas energéticos sigan siendo resistentes y seguros. En este sentido, garantizar a largo plazo un suministro ininterrumpido y seguro de combustibles y productos básicos relacionados con la energía a precios asequibles continúa siendo un objetivo político fundamental.

La sustitución de las fuentes de energía tradicionales por otras renovables y los cambios en las tecnologías de generación no han disipado los riesgos tradicionales de la seguridad energética, sino que, a medida que se avanza en la transición, están surgiendo nuevos riesgos, conflictos y dependencias que es importante explorar y analizar.

Los mecanismos actuales de seguridad energética, diseñados para proporcionar una salvaguarda frente a riesgos de interrupción o picos de precios en el suministro de hidrocarburos, especialmente de petróleo, no son directamente aplicables, aunque se pueda aprender de la experiencia de los mercados petroleros.

Con el cambio de paradigma, entran en juego múltiples minerales, cada uno con sus propias peculiaridades y dinámicas, y con cadenas de abastecimiento que, en comparación con las de los combustibles fósiles, son más complejas y, en algunos casos, mucho menos transparentes, pudiendo surgir riesgos significativos en prácticamente todas sus etapas.

Las consecuencias de las posibles interrupciones del suministro no son tan amplias como las del petróleo y el gas, al menos en cuanto a su repercusión inmediata, pero los patrones comercia-

les, las políticas de los países productores y las consideraciones geopolíticas siguen siendo cruciales.

Lejos de ser inmunes a los riesgos geopolíticos, muchos minerales esenciales para la transición energética están sometidos a ellos. No pocos se concentran en un pequeño número de países y otros se producen en países políticamente inestables y zonas en conflicto o de alto riesgo, en las que toda la cadena de suministro debe someterse a protocolos de diligencia debida, lo que hace que su suministro sea potencialmente vulnerable a interrupciones.

Además, la creciente importancia de los factores ESG (ambientales, sociales y de gobierno corporativo, en su acrónimo inglés) en la toma de decisiones de inversión es, de hecho, otro riesgo en el suministro de recursos minerales esenciales. Aunque los minerales clave para las tecnologías de energía limpia ayudan a reducir las emisiones de GEI, su extracción y procesamiento afecta el medio ambiente local y regional y requieren una regulación y supervisión estrictas para ser socialmente aceptables y para reducir las incertidumbres sobre los suministros.

Estos riesgos y vulnerabilidades que amenazan la confiabilidad, asequibilidad y sostenibilidad del suministro de minerales se pueden gestionar, y la forma en que lo hagan los responsables políticos y las empresas determinará si los minerales críticos son un habilitador esencial para la transición hacia las energías limpias o un obstáculo para el desarrollo del proceso.

Generalmente, el mercado responde a las tensiones de la oferta reduciendo la demanda, sustituyendo los productos o aumentando la oferta, lo que suele ir acompañado de volatilidad de precios, retrasos considerables o pérdidas de rendimiento o eficiencia. En el contexto de la transición energética, un suministro insuficiente de minerales podría resultar en transiciones energéticas más caras, tardías o menos eficientes, lo que daría al traste con los esfuerzos de mitigación del cambio climático.

### Concentración geográfica y riesgos de suministro

Hay una idea bastante generalizada de que las tecnologías de energía renovable son inmunes a los riesgos geopolíticos. Pero la producción actual y el procesamiento de muchos minerales esenciales para su desarrollo tienen una concentración geográfica muy superior a la del petróleo o el gas natural, lo que les

hace tanto o más vulnerables que ellos a la inestabilidad política y a las restricciones a la exportación.

En la figura 60 se aprecia esta situación. Las tres principales naciones productoras de litio, cobalto y tierras raras controlan más de tres cuartas partes de la producción mundial, y para el cobalto, el grafito y las tierras raras, más de la mitad está en manos de un solo país (República Democrática del Congo, RDC y China).

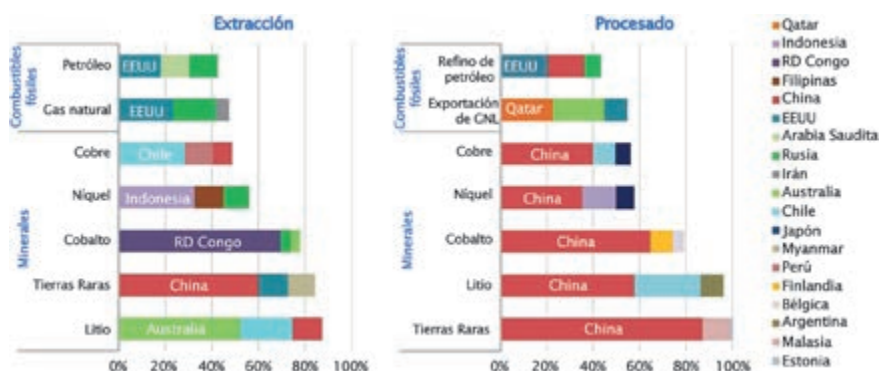


Figura 60. Cuota de participación de los tres países principales en la producción de combustibles fósiles y algunos minerales necesarios para la transición energética en 2019 (AIE, 2021).

China, además, es el mayor productor de los minerales utilizados en las tecnologías solar fotovoltaica y eólica, con una cuota mayoritaria, además de en tierras raras, aluminio, cadmio, galio, indio, selenio y telurio<sup>52</sup>; y ha realizado inversiones sustanciales en activos en Chile, la RDC, Indonesia y Australia. De hecho, Greenbushes, la mayor mina australiana de litio, es propiedad mayoritaria de una empresa china.

En las operaciones de procesado, el nivel de concentración es aún mayor que el de producción, con una fuerte presencia china en todos los ámbitos: 35% para el níquel, 50%-70% para el litio y el cobalto (el 90% del mineral que procesa proviene de la RDC a través de compañías mineras chinas y casas comerciales) y casi el 90% para los elementos de tierras raras.

Como se ve, China domina la situación en casi todos los frentes del suministro y, por el lado de la demanda, también va a la cabeza en cuanto a la fabricación de baterías Li-ión y sola-

<sup>52</sup> Dominish, E. *et al.*, *op. cit.*

res fotovoltaicas, y es el mayor mercado de destino para esas tecnologías<sup>53</sup>. La mayoría de los países, en esta cuestión de la transición energética, dependen demasiado de China, que se presenta como un «rival sistémico», tal y como la etiqueta oficialmente la Comisión Europea en un documento de perspectivas de 2019.

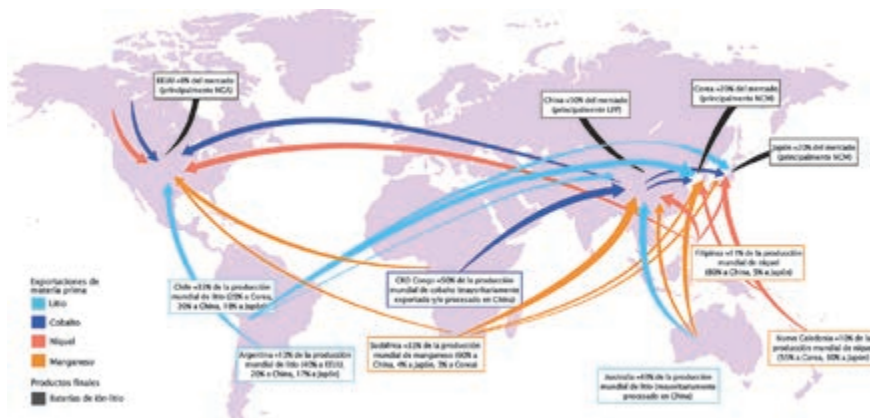


Figura 61. Cadena de suministro de baterías de litio (Dominish, 2019).

Es poco probable que este panorama cambie a corto plazo, antes al contrario. Con la excepción del cobre, donde el crecimiento planificado de la producción en Estados Unidos, RDC e Indonesia ayudarían a diversificar el conjunto de la oferta, se espera que la mayor parte del crecimiento de la producción de litio, níquel y cobalto provenga de los principales productores de la actualidad, lo que implica un grado de concentración aún mayor en los años venideros (AIE, 2021).

Con esta gran concentración geográfica, las interrupciones físicas de la producción provocadas por desastres naturales (terremotos, tsunamis e inundaciones) y acontecimientos regulatorios y geopolíticos en los principales países productores pueden tener grandes impactos en la disponibilidad de minerales y, a su vez, en los precios, como ya se experimentó en 2010 con las tierras raras por las restricciones impuestas por China. Como continuación de este episodio, el Gobierno chino ha presentado la versión preliminar del Reglamento sobre la Gestión de Tierras Raras (enero de 2021), que introduce nuevas cuotas a la producción nacional y

<sup>53</sup> Ibídem.

subordina las exportaciones a la aprobación del Gobierno a través de la Ley de Control de Exportaciones<sup>54</sup>.

El caso de las tierras raras no es el único. Hay otros acontecimientos que ilustran la multiplicidad de factores que pueden intervenir como desencadenantes y que dejan patente la alta dependencia y los riesgos reales que existen en torno a las cadenas de suministro de los minerales de energía limpia.

El efecto de imponderables de origen natural ya se ha experimentado con la crisis sanitaria de la COVID-19, que, por ejemplo y entre otros, paralizó las actividades mineras en Sudáfrica e interrumpió el 75% de la producción mundial de platino, un metal clave en varias de estas tecnologías.



Figura 62. Cadenas de suministro indicativas del petróleo, el gas y algunas tecnologías de energía limpia (AIE, 2021).

Como daños colaterales, en un primer momento los confinamientos hundieron la demanda de ciertas materias primas, la cual, posteriormente y de forma abrupta, retornó a su nivel habitual sin haberse aumentado adecuadamente la producción, lo que provocó que se disparasen los precios de muchos metales y minerales relacionados con las energías limpias. Por ejemplo, en el periodo 2020-2021, el precio del litio se incrementó en un

<sup>54</sup> Con el Reglamento sobre la Gestión de Tierras Raras, China pretende proteger sus intereses nacionales y la seguridad industrial, y prevenir actividades como la minería ilegal, la minería destructiva, la producción no planificada y planificada en exceso, el comercio ilegal de productos de tierras raras y la destrucción del medio ambiente, entre otras. El proyecto cubre toda la gestión de la cadena de tierras raras en China y limita el alcance de la exportación, estableciendo la aplicabilidad de la Ley de Control de Exportaciones.

150%, el del holmio un 109,4%, el del neodimio en 73,7%, el del terbio un 60,4% y el del cobalto un 51,5%.

En cuanto a acontecimientos regulatorios y geopolíticos, pueden citarse, entre otros, el golpe militar en Myanmar (2021), que ha suscitado preocupaciones sobre la interrupción del suministro de las tierras raras pesadas y provocado un aumento de los precios; la prohibición de Indonesia de la exportación de mineral de níquel (2020); o la prohibición de exportación de concentrados de cobre y cobalto de la RDC (2013).

Estos ejemplos reflejan los desafíos inherentes a las políticas comerciales intervencionistas de los países cuya economía depende de materias primas básicas. Aunque, la evidencia empírica muestra que, a pesar del alcance geográfico limitado de la producción y/o procesamiento de ciertos minerales, las restricciones a la exportación suelen tener un efecto limitado a largo plazo debido a la posible diversificación de la oferta<sup>55</sup>.

	PRODUCCIÓN	RESERVAS	CRITICIDAD	CUOTA USO RENOVABLES
Aluminio	China 54%	Australia 20%	Baja	D
Cadmio	China 36%	D	Media	D
Cobalto	RD Congo 58%	RD Congo 49%	Crítica (UE)	43% (2020)
Cobre	Chile 27%	Chile 22%	Baja	D
Galio	D	D	Crítica (UE)	17%
Indio	China 43%	D	Crítica (Yale & EU)	8%
Litio	Australia 43%	Argentina 18%*	Baja	50% (2020)
Manganeso	Sudáfrica 33%	Sudáfrica 29%	Baja	D
Níquel	Indonesia 19%	Brasil 16%	Baja	3%
Tierras Raras	China 81%	Rusia/Vietnam 18%	Crítica (UE)	32%
Plata	México 22%	Perú 18%	Crítica (Yale)	9%
Selenio	China 28%	China 26%	Media	D
Telurio	China 67%	China 21%	Media	40%

\* Recursos  
D = desconocido

Tabla 12. Criticidad de la cadena de suministro de varios minerales relacionados con las energías limpias (Dominish, 2019). Calificaciones de criticidad basadas en las metodologías establecidas por la Universidad de Yale y la Unión Europea.

<sup>55</sup> IRENA (2019). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. (International Renewable Energy Agency).

La elevada dependencia a lo largo de las cadenas de suministro implica también que la disrupción puede tener un impacto más amplio en toda la cadena de valor, y entraña el riesgo potencial de que una interrupción local de suministro debida a cualquiera de los factores anteriormente mencionados provoque un efecto dominó global.

Por último, desde el punto de vista geopolítico, en el comercio internacional existe el riesgo cada vez mayor de que los países que dominan la producción de minerales críticos aprovechen su posición para presionar a los importadores que dependen de ellos, limitando la oferta. Una estrategia no muy diferente de la empleada por los países de la OPEP para controlar el suministro y los precios del petróleo a escala mundial.

#### Largos plazos de desarrollo de los proyectos y riesgo de desequilibrio entre la oferta y la demanda

Según la AIE, considerando el tiempo que tardaron en empezar su actividad las principales minas abiertas entre 2010 y 2019, se necesitan unos 16 años de media para materializar un proyecto minero, desde el descubrimiento y la confirmación de la existencia de recursos hasta la primera producción: más de 12 años para completar los estudios de exploración y factibilidad, y de 4 a 5 años para la fase de construcción.

Estos largos plazos plantean serias dudas sobre la capacidad del sector minero para responder en el caso de que se produzca un incremento rápido de la demanda. El inicio de la producción minera requiere proyectos de inversión a gran escala y a largo plazo, y, como tal, tiene un uso limitado para abordar la reducción de la oferta o el aumento de los precios de manera efectiva.

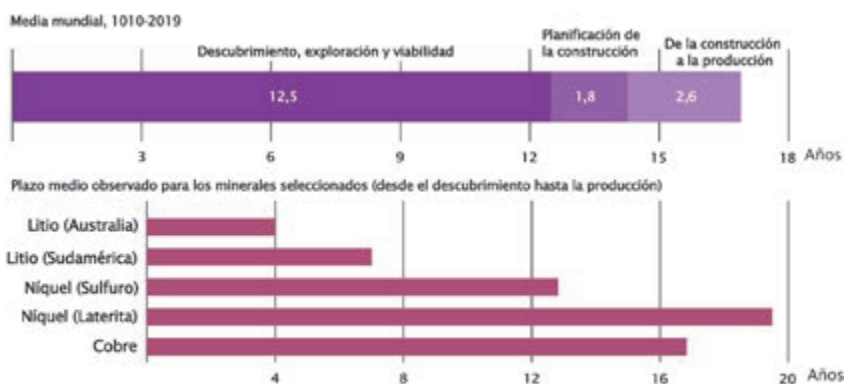
Como ya se comentó en apartados anteriores, a pesar del creciente impulso a la minería que va a conllevar la transición energética, la incertidumbre existente sobre las trayectorias de demanda puede retrasar las decisiones de inversión de las empresas, lo que, unido a estos largos plazos de desarrollo de los proyectos, incrementa el riesgo de que la nueva capacidad de producción que pudiera crearse llegue con retraso y no pueda cumplir a tiempo las expectativas de la demanda.

El reciente repunte de la inversión en muchos minerales garantiza un cierto apoyo al suministro a corto plazo, pero se van a requerir inversiones adicionales para satisfacer la demanda

creciente que se espera, especialmente en el caso de objetivos climáticos alineados con el Acuerdo de París (AIE, 2021). Y si las empresas e inversores no se comprometen con nuevos proyectos antes de que surjan déficits, podría producirse un periodo prolongado de tensiones en el mercado y de volatilidad de precios.

Otro problema es que la extracción minera es tan solo una parte de la cadena de valor de las tecnologías de energía limpia, y si la inversión no se produce de manera coordinada en todos sus estadios, las señales de precios pueden no transmitirse de manera eficiente y surgir tensiones en diferentes partes de la cadena.

Un indicador de posibles tensiones surgidas en diferentes partes de la cadena de valor es el reciente aumento en los precios del carbonato de litio (utilizado habitualmente para obtener hidróxido de litio) en un entorno de amplio suministro de materia prima de litio, debido al aumento continuado de la demanda de baterías LFP (litio-ferrofosfato). El procesamiento de tierras raras, con las que el crecimiento de la producción minera no garantiza necesariamente un mayor suministro de ciertos óxidos de tierras raras de alta demanda, es otro ejemplo de problema.



Nota: Valores medios mundiales están basados en los 35 principales proyectos mineros que estuvieron en producción entre 2010 y 2019  
 Fuentes: Análisis de la AIE basado en S&P Global (2020), S&P Global (2019) y Schodde (2017)

Figura 63. Plazos promedio de materialización de proyectos mineros, desde el descubrimiento de recursos hasta la producción, 2010-2019 (AIE, 2021).

### Disminución de la calidad de los recursos

Ante una posible escasez de materias primas minerales se ha dado impulso a la investigación de los yacimientos existentes



y al descubrimiento y desarrollo de otras áreas de extracción minera, incluidos los océanos. Las nuevas técnicas de exploración e investigación (teledetección, radares, laser, cartografía, geoquímica, etc.) permiten la extracción económica de yacimientos menos accesibles, de leyes más bajas y de minerales con mayor complejidad metalúrgica.

Según la AIE, las reservas económicamente viables se han incrementado para muchos minerales de transición energética y no existen signos preocupantes de escasez. Este ha sido el caso, entre otros, de las reservas de litio y cobre, que aumentaron un 30% en los últimos diez años como resultado de las campañas de exploración que impulsó el crecimiento de la demanda.

En el momento actual, más que con la cantidad, las preocupaciones sobre los recursos se relacionan con la calidad, debido a que, en los últimos años, la calidad del mineral ha ido disminuyendo progresivamente en todos los productos básicos, conforme los depósitos de alta calidad y las partes de mayor ley de los depósitos han sido explotados.

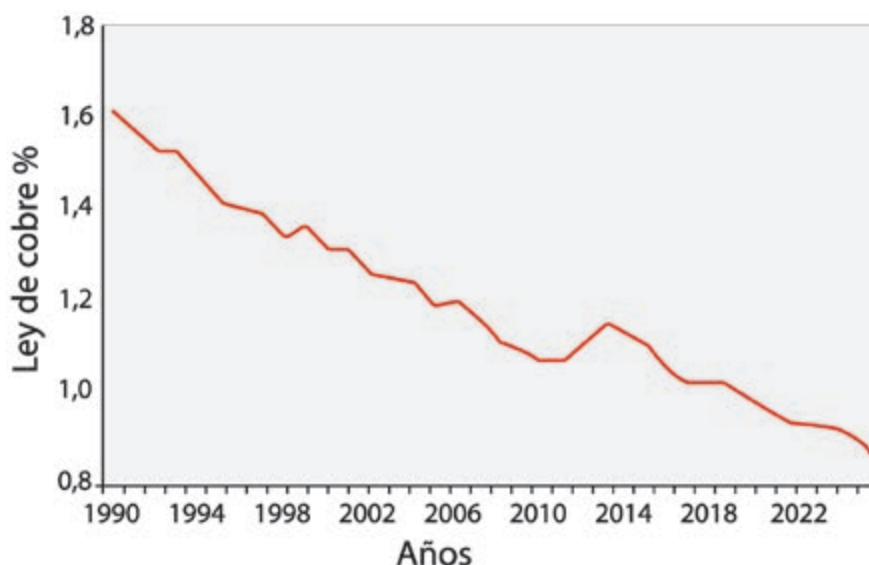


Figura 64. Perfil de la evolución negativa de la ley del cobre como % Cu en minerales procesados por la industria minera (Saavedra, 2018).

La explotación de menas con leyes más bajas implica un mayor gasto de energía —que algunos autores estiman que va a seguir una tendencia exponencial—, lo que repercute en mayores cos-

tes de extracción y procesamiento y más emisiones de CO<sub>2</sub>, así como la generación de volúmenes muy superiores de estériles y residuos que requerirán una mayor inversión técnica y económica para su correcta gestión.

Por ejemplo, la ley media del mineral de cobre en Chile se redujo del 1,25% en 2001 al 0,65% en 2017, y, como resultado, el consumo de combustible y electricidad por unidad de producción se incrementó en un 130% y 32%, respectivamente.

Cada vez se van a necesitar mayores esfuerzos para compensar las presiones alcistas subyacentes en los costos de producción. Las mejoras tecnológicas podrían compensar parcialmente estos mayores costes, pero, en la mayoría de los casos, el consumo energético seguirá incrementándose porque la variable principal es la ley del mineral. Si las industrias extractivas continúan dependiendo de los combustibles fósiles, no está claro que la descarbonización ocurra al ritmo que se espera, ya que este problema no se ha abordado suficientemente en los escenarios de transición energética actuales<sup>56</sup>.

En los últimos años se han descubierto importantes depósitos de minerales de tierras raras, manganeso y cobalto en los fondos oceánicos, cuya explotación podría ser la respuesta a la disminución de los depósitos terrestres de alta ley. Los trabajos experimentales y de exploración ya están en marcha en varios lugares, pero la extracción minera en aguas profundas aún no ha comenzado a escala comercial. Al mismo tiempo, existe creciente preocupación acerca de los efectos que la minería tendría si se autorizara su operación, y de si se podría controlar la industria y de qué manera, a fin de evitar el daño a los ecosistemas según lo exige el derecho internacional.

#### Examen creciente del desempeño ambiental y social (criterios ESG)

ESG son las siglas en inglés de *environmental, social and governance*. Los criterios ESG se refieren a factores ambientales, sociales y de gobierno corporativo que se tienen en cuenta a la hora de invertir en una empresa. Aunque su origen se remonta a varias décadas atrás, en los últimos años se han

<sup>56</sup> Valero, A. *et al.* (2021). «Summary and critical review of the International Energy Agency's special report: The role of critical minerals in clean energy transitions». *Revista de Metalurgia*, April-June, 57(2), e197.

convertido en la referencia de la inversión socialmente responsable (ISR).

- La E de *environmental* engloba el efecto que la actividad de las empresas tiene en el medioambiente, de forma directa o indirecta.
- La S de *social* incluye el impacto que una determinada empresa tiene en su entorno social, en la comunidad.
- La G de *governance* alude al gobierno corporativo de la empresa, por ejemplo, a la composición y diversidad de su consejo de administración, las políticas de transparencia en su información pública o sus códigos de conducta.

Generalmente, se considera al sector minero como uno de los que están más expuestos a los riesgos ESG, y tanto los inversores como las empresas consumidoras de productos minerales y, en general, la sociedad está presionando cada vez más a las empresas mineras para que su producción sea sostenible y responsable, y también cada vez está resultando más difícil a las empresas mineras ignorar estas preocupaciones.

No tanto referido concretamente a los minerales críticos, como a los recursos mineros en general, la minería constituye una actividad que induce un impacto social y ambiental muy importante si no se toman las medidas adecuadas para prevenir y corregir los efectos derivados de ella: ocupación y cambios de uso del suelo, contaminación, generación de residuos, afecciones paisajísticas, eliminación de la cubierta vegetal, afección a espacios naturales protegidos, pérdida de calidad de vida, etc.

En el caso concreto de los recursos minerales estratégicos, su explotación a veces está concentrada en zonas políticamente inestables, donde la falta de sostenibilidad ética y social se pone de manifiesto en una ausencia de control y seguridad que, en ocasiones, pone en peligro los propios derechos humanos.

Un rendimiento ESG bajo puede conducir, incluso, a la interrupción del suministro. Las explotaciones pueden ser cerradas por vertidos no autorizados o como consecuencia de acciones regulatorias sobre el trabajo infantil o las violaciones de derechos humanos. Las roturas en las presas de residuos pueden provocar paradas prolongadas en la actividad y grandes costes de remediación y reparación. Al mismo tiempo, la responsabilidad penal y civil relacionada con daños ambientales o prácticas corruptas puede elevar el coste de producción, con graves implicaciones financieras y de reputación para las empresas afectadas.

Aunque en muchas ocasiones la minería ha actuado al margen de los aspectos sociales y ambientales, también hay que destacar que existe un gran desconocimiento de esta actividad y de los beneficios que se obtienen de ella. En este sentido, una labor importante de las administraciones públicas y los productores sería dar a conocer, mediante campañas divulgativas, publicaciones, etc., los beneficios y los verdaderos impactos ambientales de las minas, así como de las técnicas de buenas prácticas<sup>57</sup>.

No obstante, en la actualidad las restricciones ambientales y legales y la misma presión social hacen incompatibles la conservación del espacio natural y la minería, que, por otra parte, y como se ha visto, constituye una de las principales fuentes de materias primas para el progreso y mantenimiento de la calidad de vida de muchos países del mundo —no de todos, ni siempre es así—.

Este escenario incide directamente en la disponibilidad de minerales, siendo cada vez más complejo y difícil desarrollar nuevos proyectos mineros, especialmente en las zonas con normativa ambiental más avanzada, como sucede en la Unión Europea, Estados Unidos, etc. Esta situación, por otra parte, es contradictoria con los avances técnicos en materia de energías limpias que se están logrando gracias al desarrollo de la minería.

La viabilidad ambiental y social de la industria minera pasa por que alcance un crecimiento sostenible basado en la creación de valor económico, ambiental y social. Un factor determinante en este proceso será el nivel de inversiones en innovación para un uso mejor de los recursos.

En este sentido, se debe señalar que, actualmente, muchas compañías y organizaciones incluyen de manera voluntaria en sus sistemas de gestión empresarial y de operaciones de negocio, prácticas y estrategias acordes con las leyes y reglamentos internacionales en relación con la defensa de los derechos humanos y los valores éticos, y la preservación del medio ambiente. Son las denominadas *empresas socialmente responsables* (ESR).

Muchas de estas ESR tienen cláusulas específicas en relación a la manera de actuar cuando se trata de minerales en conflicto, comprometiéndose a operar siempre de manera socialmente responsable en la cadena de suministro (políticas de extracción

---

<sup>57</sup> Regueiro y González Barros, M., *op. cit.*

responsables, negocio exclusivo con proveedores ESR, implementación de los mecanismos de control necesarios, comunicación de transacciones comerciales).



Figura 65. Países africanos donde se explotan y comercializan los «minerales en conflicto» (SPC Consulting Group).

Para hacer frente a estos efectos, se necesitarán esfuerzos normativos coordinados: prestar apoyo técnico y político a los países que tratan de mejorar las prácticas jurídicas y reglamentarias; incentivar a los productores a adoptar prácticas operativas más sostenibles; y garantizar que las empresas de toda la cadena de suministro lleven a cabo la diligencia debida para identificar, evaluar y mitigar estos riesgos.

## Conclusiones

En este capítulo se resumen los principales aspectos relacionados con el uso, cada vez más frecuente, de las denominadas *energías verdes* o *bajas en carbono* y su relación con la intensidad de consumo de los minerales.

Se desea hacer observar que algunas partes del texto son una mera descripción o informativas, mientras que otras responden a una valoración, e incluso a reflexiones u opiniones, que los autores hacen sobre los documentos que están publicados o sobre hechos reales.

Las conclusiones principales y algunas recomendaciones para garantizar el abastecimiento de las materias primas minerales son las siguientes:

1. La lucha contra el cambio climático es uno de los grandes desafíos a los que se enfrenta la humanidad. Según los científicos, aún se puede cambiar el curso de los acontecimientos si se reducen de manera inmediata, rápida y a gran escala las emisiones de GEI y se logra alcanzar la neutralidad de carbono hacia 2050.
2. El futuro sistema energético global deberá depender de una amplia gama de tecnologías que trabajen en sinergia en un sistema más integrado y complejo, y en este marco la energía nuclear y las renovables no deberían considerarse competidoras, sino complementarias.
3. Hoy por hoy, las energías renovables junto con la implantación masiva de vehículos de motor eléctrico o híbrido y las tecnologías de almacenamiento, se configuran como pilares fundamentales de la transición energética.
4. La transición energética implica el cambio de un sistema de uso intensivo de combustibles fósiles a otro basado en el uso intensivo de materiales, en el que el suministro de minerales y metales es crucial.

Las tecnologías de energía renovables y bajas en carbono necesitan mucha mayor cantidad de materiales que las tecnologías de combustibles fósiles y la nuclear. Alcanzar un futuro bajo en carbono, tal y como se describe en el Acuerdo de París, va a conducir a una huella material tanto mayor cuanto más ambiciosos sean los objetivos de mitigación del cambio climático.

5. En los análisis y previsiones realizadas en la última década sobre las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático no se ha considerado que el despliegue de tecnologías «verdes» necesariamente debe contar con un suministro adecuado y confiable de cantidades muy importantes de recursos minerales, muchos de ellos considerados críticos.
6. La disponibilidad de minerales podría ser un problema en el futuro cuando su extracción resulte excesivamente costosa por la disminución de las leyes, y se plantean dudas sobre la existencia real de suficientes reservas para hacer frente, a corto plazo, al incremento de demanda que se avecina.
7. El que realmente haya recursos minerales suficientes no garantiza que los suministros vayan a estar disponibles de manera fácil y asequible donde y cuando se necesiten.
8. Con el cambio de paradigma han entrado en juego múltiples minerales, cada uno con sus propias peculiaridades y dinámicas, con cadenas de abastecimiento más complejas que las de los combustibles fósiles y, en algunos casos, mucho menos transparentes, pudiendo surgir riesgos significativos en prácticamente todas sus etapas.
9. Las trayectorias de demanda están sujetas a grandes incertidumbres tecnológicas y políticas, lo que podría detraer los flujos de capital necesarios para respaldar la producción minera. Esto, unido a los largos plazos de desarrollo de los proyectos, plantea serias dudas sobre la capacidad del sector minero para responder en el caso de que se produzca un incremento rápido de la demanda.
10. Las tecnologías de energía renovable no son inmunes a los riesgos geopolíticos. La producción actual y el procesamiento de muchos minerales esenciales para su desarrollo tienen una concentración geográfica muy superior a la del petróleo o el gas natural, y no pocos se producen en países políticamente inestables y zonas en conflicto o de alto riesgo, lo que les hace tanto o más vulnerables que ellos a la inestabilidad política y a los riesgos de suministro.
11. La creciente importancia de los factores ESG (ambientales, sociales y de gobierno corporativo, en su acrónimo inglés) en la toma de decisiones de inversión es otro riesgo en el suministro de recursos minerales esenciales para la transición energética. Aunque los minerales clave para las tecnologías

de energía limpia ayudan a reducir las emisiones de GEI, su extracción y procesamiento afectan el medio ambiente local y regional y requieren una regulación y supervisión estrictas para ser socialmente aceptables y para reducir las incertidumbres sobre los suministros.

12. Los riesgos y vulnerabilidades que amenazan la confiabilidad, asequibilidad y sostenibilidad del suministro de minerales se pueden gestionar, y la forma en que lo hagan los responsables políticos y las empresas determinará si los minerales críticos son un habilitador esencial para la transición hacia las energías limpias o un obstáculo para el desarrollo del proceso.
13. La electricidad va a tener un papel cada vez más relevante, tanto por su generación en instalaciones más respetuosas con el medio ambiente como en su uso final con el accionamiento masivo de vehículos. Será necesario renovar y ampliar las capacidades de las redes de transporte y de distribución. Al aumento del consumo de cobre en los vehículos automóviles se le debe sumar el material empleado en las reformas y potenciación de las citadas redes.
14. La humanidad, desde sus orígenes, ha venido haciendo un uso de los minerales y metales cada vez mayor. Así, durante el último siglo, los consumos per cápita de minerales se han incrementado espectacularmente. La población mundial, para ese periodo de tiempo, se ha multiplicado por 4, mientras que las producciones de hierro, de cobre y de oro lo han multiplicado por 14, por 22 y por 4, respectivamente.
15. La minería, como sector de actividad económica responsable de abastecer de materias primas a las diferentes industrias para llegar estas a poner diferentes productos en el mercado, lejos de desaparecer se intensificará.
16. Con vistas a satisfacer las demandas de las diferentes materias primas minerales, además de ampliar la capacidad de producción de cada explotación hoy existente, será necesario abrir nuevas minas allí donde la naturaleza ha determinado su existencia.
17. La sociedad en general, y más particularmente aquellas que como agrupaciones sociales se encuentran más próximas a los yacimientos de distintas sustancias minerales, suelen oponerse con mucha frecuencia al desarrollo de los proyec-



tos mineros. Suele ser muy habitual la carencia de información, procedente tanto de la empresa minera como de las propias administraciones que intervienen en la tramitación administrativa.

18. En la mayoría de los países, la minería goza de una imagen y de una reputación negativa, lo que se traduce en una dificultad añadida para conseguir la apertura de cualquier nueva explotación.
19. Es necesaria una mayor coordinación entre organismos de las administraciones a la hora de planificar el territorio, teniendo en cuenta las potencialidades geológicas y, paralelamente, los instrumentos que faciliten el acceso a los recursos existentes.
20. Se deben elaborar y desarrollar campañas de formación, de imagen y de concienciación que permitan evaluar y transmitir a la sociedad, a todas las administraciones y, sobre todo, a las poblaciones próximas las ventajas y particularidades del sector extractivo.
21. Fomentar la economía circular implementando diferentes actividades de valorización dentro de los procesos productivos.
22. Impulsar la biodiversidad en los planes de restauración de los terrenos afectados por las actividades extractivas.
23. Algunos estudios de prospectivas ponen de manifiesto que los 7500 millones de habitantes que viven en nuestro planeta se disponen a consumir, en las tres próximas décadas, más metales que las 2500 generaciones que nos han precedido.
24. Es conveniente elaborar, a nivel nacional, una hoja de ruta o plan de abastecimiento de materias primas minerales que recoja, entre otros instrumentos, un equivalente al factor de agotamiento, pero dirigido específicamente a la exploración e investigación de nuevos recursos, que podría denominarse *factor de descubrimiento*.

## Bibliografía

- ADAMAS INTELLIGENCE (2019). *Rare earth elements. Small Market, Big Necessity*. Informe Q2 2019.
- AIE (2020). *Energy Technology Perspectives 2020*. Versión revisada, febrero de 2021. Agencia Internacional de la Energía.

- AIE (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. World Energy Outlook Special Report.
- ALVES DIAS, P. et al. (2020). *The role of rare earth elements in wind energy and electric mobility*. EUR 30488 EN. Joint Reserch Centre. Publication Office of the European Union, Luxembourg. DOI:10.2760/303258, JRC122671.
- BOBBA, S. et al. (2020). *Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - A Foresight Study*. European Commission. Joint Research Centre. 10.2873/58081.
- BRADSHAW, A. M. et al. (2013). *The potential scarcity of rare elements for the Energiewende*. DOI: 10.1515/green-2013-0014.
- BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2018). *Battery raw materials*. MineralsUK. Centre for Sustainable Mineral Development.
- BUSTILLO REVUELTA, M. y RUIZ SÁNCHEZ-PARRA, J. (2018). *Tierras Raras. Geología, Producción, Aplicaciones y Reciclado*. Fuego Editores.
- CARRARA, S. et al. (2019). *Raw Materials Demand for Wind and Solar PV Technologies in the Transition Towards a Decarbonised Energy System*.
- CENKI, B. (2020). «Critical minerals are vital for renewable energy. We must learn to mine them responsibly». *The Conversation*, 16 de febrero de 2020.
- COMISIÓN EUROPEA (2018). *Un planeta limpio para todos. La visión estratégica europea a largo plazo de una economía próspera, moderna, competitiva y climáticamente neutra*. COM (2018) 773 final Bruselas, 28 de noviembre de 2018.
- COMISIÓN EUROPEA (2018). *Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy*. 10.2873/167813.
- COMISIÓN EUROPEA (2020). *Study on the EU's list of Critical Raw Materials*. DOI: 10.2873/11619.
- COMISIÓN EUROPEA (2020). *Resiliencia de las materias primas fundamentales: trazando el camino hacia un mayor grado de seguridad y sostenibilidad*. COM (2020) 474 final.
- COMMONWEALTH OF AUSTRALIA (2021). *Outlook for selected critical minerals in Australia 2021*. Department of Industry, Science, Energy and Resources.
- DELOITTE (2021). *Tracking the trends 2021. Closing the trust deficit*.
- DOMINISH, E. et al. (2019). *Responsible Minerals Sourcing for Renewable Energy*. Informe elaborado para Earthworks por

- el ISF (Institute for Sustainable Futures), Universidad Tecnológica de Sídney.
- ESCRIBANO, M; LÓPEZ JIMENO, C. y MATAIX GÓNZALEZ, C. (2018). *Manual de Minerales Críticos y Estratégicos en la Nueva Economía*. E.T.S Ingenieros de Ingenieros de Minas y Energía. Universidad Politécnica de Madrid.
- EUROPEAN FEDERATION FOR TRANSPORT AND ENVIRONMENT AISBL (2021). *For dirty oil to clean batteries. Batteries vs. Oil: a systemic comparison of material requirements*. Transport and Environment.
- GLENCORE (2018). *The EV revolution and its impact on Raw Materials*. March.
- GOODENOUGH, K. *et al.* (2018). «The Rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations». *Natural Resources Research*, vol. 27, n.º 2.
- GRUPO BANCO MUNDIAL (2017). *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*.
- GRUPO BANCO MUNDIAL (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition 2020*. International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank.
- HIDALGO GARCÍA, M.<sup>a</sup> del Mar (2021). *Los minerales estratégicos: el ser o no ser de la descarbonización y transformación digital de la UE*. Documento de Análisis IEEE 03/2021.
- HIDALGO GARCÍA, M.<sup>a</sup> del Mar (2012). *Los elementos críticos del sector energético: una cuestión de geopolítica*. Instituto Español de Estudios Estratégicos. Documento de Opinión 72/2012 3.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers.
- IRENA (2019). *Renewable Power Generation Costs in 2018*. (International Renewable Energy Agency).
- KING, H. M. (2021). *REE - Rare Earth Elements and their Uses*. Geology.com.
- McLELLAN, B. C. *et. al.* (2019). *Critical Minerals and Energy-Impacts and Limitations of Moving to Unconventional Resources*.

- MICHAUX, S. (2021). *The Mining of Minerals and the Limits to Growth*. Servicio Geológico de Finlandia. Informe técnico 6/2021. Marzo. DOI: 10.13140/RG.2.2.10175.84640.
- MILLS, M. P. (2019). *New Energy Economy: An Exercise in Magical Thinking*. Manhattan Institute.
- MITERD (2021). *Borrador de la Hoja de ruta para el desarrollo de la eólica marina y de las energías del mar en España*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Secretaría de Estado de Energía.
- MOSS, R. L. et al. (2011). *Critical Metals in Strategic Energy Technologies: Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies*. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport.
- MOSS, R. L. et al. (2013). *Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector: Assessing Rare Metals as Supply-Chain Bottlenecks in Low-Carbon Energy Technologies*. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2007). *Minerals, critical minerals, and the US economy*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/12034>.
- OIEA (2017). *Nuclear Power for Sustainable Development*. Organismo Internacional de Energía Atómica.
- OIEA (2020). *Climate change and nuclear power 2020*. Organismo Internacional de Energía Atómica. Disponible en [www.iaea.org](http://www.iaea.org).
- PAULICK, H. y MACHACEK, E. (2017). «The Global Rare Earth Element Exploration Boom. An Analysis of Resources Outside of China and Discussion of Development Perspectives». *Resources policy*, n.º 52.
- PERTH USASIA CENTRE (2019). *Critical materials for the 21st Century Indo-Pacific*.
- PREGO REBOREDO, R. (2021). *Las tierras raras, una pieza clave en el puzle de la energía*, en: *Energía y Geoestrategia 2021*. Editorial: CECME, ENERCLUB, CEDESEN, IEEE del Ministerio de Defensa.
- REGUEIRO Y GONZÁLEZ BARROS, M. (2014). *Minerales críticos en Europa: metodología para la evaluación de la criticidad de los minerales*. MACLA, n.º 19, julio.
- ROSKILL (2021). *Rare Earths Outlook to 2030*. 20<sup>th</sup> edition. London: Roskill.

- ROSKILL (2019). *Rare Earths: Market Outlook to 2029*. 19<sup>th</sup> edition. London: Roskill.
- SAAVEDRA, A. (2018). *Diseño y desarrollo de sensores y biosensores para monitoreo de procesos biohidrometalúrgicos*. 10.13140/RG.2.2.12917.63205.
- SCHWAB, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Editorial Debate.
- SEAMAN IFRI, J. (2019). «Rare Earths and China. A Review of Changing Criticality in the New Economy». *Notes de l'Ifri*. Center for Asian Studies. Policy Center for the New South.
- SERRANO BURRUEZO, J. et al. (2020). *Materias primas críticas. Los límites del desarrollo*. CONAMA 2020.
- SU, W. (2009). *Economic and policy analysis of China's rare earth industry*. Beijing: China Financial and Economic Publishing House.
- TZIMAS E. (2015). *SETIS Magazine: Materials for Energy*. Luxembourg (Luxembourg). Publications Office of the European Union. JRC95048.
- USGS (2021). *Mineral commodity summaries 2021*. U.S. Geological Survey.
- VALERO, A. (2015). «El cambio climático desde la perspectiva de los materiales». Tercer foro de sostenibilidad y progreso de las sociedades. Las perspectivas científicas y nuevas políticas contra el cambio climático. El protocolo de París. Zaragoza, 24 septiembre 2015.
- VALERO, A. et al. (2021). «Summary and critical review of the International Energy Agency's special report: The role of critical minerals in clean energy transitions». *Revista de Metalurgia*, April-June, 57(2), e197.



## Capítulo tercero

### **Factores fundamentales de la formación de los precios de las materias primas minerales con visión estratégica internacional**

*Luis de la Torre Palacios*

*José Antonio Espí*

#### Resumen

Los metales y, en general, los recursos minerales, pertenecen a los bienes naturales no renovables. Sin embargo, todavía se discute su escasez y poseen una importante trascendencia económica, aunque se apartan algo de los ciclos generales de la economía global. Además, los actores de su aprovechamiento económico han variado sustancialmente en los últimos años y se han incorporado a sus relaciones con el entorno, los aspectos ambientales y sociales. La formación de sus precios, la participación de las innovaciones tecnológicas, las estrategias de su producción y la dificultad de definir su futuro también forman parte de sus peculiaridades e incertidumbres. Este trabajo aborda, como comienzo, los mecanismos básicos de la formación de los precios, que, en el fondo, reflejan de una manera bastante precisa y resumida las condiciones del entorno de la actividad económica y, sobre todo, el sentimiento hacia el futuro. Además, como postura final, se reconocen algunos aspectos de como son los precios quienes gobiernan los resultados económicos de la actividad productiva en las materias primas minerales. De esta manera, en la última parte del capítulo se desarrollan tres casos, dos de ellos casi históricos y otro actual: la «guerra del wolframio

en la Segunda Guerra Mundial», los conflictos sobre los fosfatos saharianos en los años 70 de pasado siglo y la actualidad de las tierras raras en la seguridad de suministro a las industrias tecnológicas occidentales. Los tres sirven de ejemplo a nivel geoestratégico de cómo funciona esta herramienta (los precios) cuando se intenta modificarla de manera artificial.

### **Palabras clave**

Geopolítica de suministros, materias primas minerales, mercados, precios materias primas.



## **Fundamental factors of price formation in mineral raw materials with an international strategic vision**

### **Abstract**

*The mineral resources belong to non-renewable natural assets. However, their scarcity is still debated and they have an important economic significance, although they deviate somewhat from the general cycles of the global economy. In addition, the actors of its economic use have varied substantially in recent years and have incorporated environmental and social aspects into their relationships with the environment. The formation of its prices, the participation of technological innovations, the strategies of its production and the difficulty of defining its future, are also part of its peculiarities and uncertainties. This work addresses the basic mechanisms of price formation that reflect in a precise and summarized way, the conditions of the economic activity environment and the sentiment towards the future. In addition, some aspects of how prices govern the economic results of productive activity in mineral raw materials are recognized. In this way, in the last part of the chapter, three cases are developed. Two of them are almost historical and another is actual: the «tungsten war in World War II», the conflicts on Saharan phosphates in the 70s of last century and the topicality of rare earths in security of supply to western technology industries. All three serve as an example at a geostrategic level of how this tool (prices) works when trying to modify it on artificial way.*

### **Keywords**

geopolitics of supplies, mineral raw materials, markets, raw material prices

## Introducción

Sin duda, el factor más importante en la demanda futura de los metales y minerales procederá del aumento de la población y del acceso a nuevos bienes por el desarrollo económico mundial. Sin embargo, existen factores que atenuarán el consumo de minerales y otras materias primas, tal como puede ser el nivel económico de los países con mayor incremento demográfico. La desmaterialización, los ciclos económicos, el reciclado de los metales, y otros factores, pueden ser controles de segundo orden en la demanda de nuevos minerales a nivel local. A pesar de que el consumo de minerales per cápita no varía con los ciclos económicos, la tendencia hacia el aumento de la demanda mundial ha sido evidente durante muchas décadas y es más que probable que lo siga siendo durante mucho tiempo más.

La variabilidad en los precios de las materias primas es una fuente de preocupación recurrente que crea no pocos quebraderos de cabeza entre Gobiernos, inversores, empresas fabricantes y empresas mineras. Aparte de la inestabilidad económica que provocan en los mercados, también tienen un marcado impacto a nivel geopolítico. Hablemos así del caso del petróleo, determinante desde hace cincuenta años, pero que va perdiendo peso ante los nuevos actores de la «guerra climática»<sup>1</sup>, donde los países líderes tratan de controlar el acceso a las tecnologías, cadenas de suministro y recursos imprescindibles para la transición a las energías verdes. De ahí que se considere de interés general para entender su importancia real, la investigación de la formación de precios en el ámbito de las materias primas.

Aunque la asignación de precios de estas materias tenga mucho en común con los motivos subyacentes de cualquier otro mercado donde se siga el mecanismo de la oferta y la demanda, es cierto que el sector extractivo de recursos no renovables cuenta con ciertas singularidades que vienen a complicar aún más las ya de por sí habituales fluctuaciones existentes en los mercados. Esta mayor complejidad que aparece por el lado de la oferta de las materias primas, viene motivada por varios factores relacionados con la operativa de la empresa, así como con la propia naturaleza.

Al tratarse de una actividad donde el insumo viene dado por la naturaleza, las calidades dentro de un mismo mineral se convier-

---

<sup>1</sup> ISRAEL, H., *Climate War*. Thematic Investing, BofA Global Research, 2021.

ten en variables que influirán en la economía del proyecto. Esto viene a añadirse a los diferentes costes operativos motivados por factores como la tecnología, la gestión y sus habilidades y prácticas laborales<sup>2</sup>. Otra variable que suma complejidad en estos últimos años es la necesidad de cumplir con los criterios de explotación sostenible, lo que engloba la revisión del carácter social y ambiental de cada proyecto minero en concreto. La importancia de estos criterios es tal, que pueden impedir el cambio de estado de recursos a reservas explotables, o, más directamente, extinguir o no entregar la licencia de operación necesaria.

### La economía global de las materias primas minerales (MPM) y los precios

#### La escasez y los precios

Los minerales y metales proceden de fuentes muy variadas, siendo la cantidad que de ellos se emplee reflejo de su escasez y valor de uso. Por ejemplo, las tierras raras resultan valiosas por su mayor demanda actual y la aparición poco frecuente de yacimientos en concentraciones económicamente interesantes. Sin embargo, los metales comunes nos llegan de minerales con concentraciones mucho más altas. Así, un buen mineral de hierro puede alcanzar hasta el 67% de contenido en hierro metal, mientras que la mayor parte de los metales preciosos derivan de yacimientos con escasísimos gramos por tonelada.

Los precios de los minerales suelen variar abultadamente. El oro, por ejemplo, en abril del año 2021 alcanzaba los 53,6 millones de dólares la tonelada, mientras que los fosfatos, en esa fecha, se cotizaban a 88\$/t. El precio de los metales es actualidad, y sus variaciones son noticia.

Los metales no férricos y los preciosos presentan muchos rasgos de mercados competitivos: los productos son razonablemente homogéneos y son fungibles. Los metales poseen una variedad importante de uso, en tanto y cuanto entren dentro de unas especificaciones estándar.

Existen muchos suministradores a través del mundo. Ordinariamente, un solo productor no tiene una influencia apreciable en

<sup>2</sup> ESPÍ, J. A., De la TORRE, L., ROMERO, P. «La minería metálica española del año 2020 y la definición económica, tecnológica y sostenible de sus proyectos». *Industria y Minería*, n.º 410, 2020.

el nivel de los precios o en su tendencia, al menos a corto plazo. Cada productor trata de producir al máximo posible, en tanto y cuanto cubra sus *cash costs* (costes específicos de producción), o al menos así le gustaría.

Dejando a un lado las complicaciones relacionadas con la existencia de los inventarios, los precios se encuentran en la intersección de las curvas de la demanda y la oferta. A igualdad de situaciones, un aumento de la demanda y un decrecimiento de la oferta provocan sin remedio un aumento de los precios de los metales, y su contrario también se cumple hasta la llegada de un nuevo equilibrio. En realidad, los precios tienden a fluctuar alrededor de un punto de equilibrio, y existen factores que provocan variaciones continuas de la oferta y la demanda.

El precio gravitará hacia los costes marginales de producción, que son los últimos o los más elevados costes de las unidades de suministro que son requeridos para asegurar el equilibrio entre oferta y demanda.

Algunos estudios ven estacionarios los precios a largo plazo de las materias primas minerales y concluyen que la escasez no será de momento ningún problema; otros concluyen que la relación de precios con el tiempo posee una forma de U y, por lo tanto, existiría una escasez también a largo plazo. Pero, primero, durante el pasado siglo y en periodos de explosión del consumo, no ha existido nunca problema alguno de escasez; y, segundo, del pasado se extrae que las tendencias en el precio de los minerales o de la disponibilidad de los mismos no son fijas.

#### Los mecanismos en la formación de los precios

El sector minero es una industria donde las fuertes inversiones y los largos periodos de maduración del capital, motivados por los años que transcurren desde la aceptación de la viabilidad de un proyecto hasta la venta de su mineral en mercado, convierten sus decisiones en meditadas y con efecto en el largo plazo. De ahí que, a la hora de estudiar los precios en el mercado de las materias primas minerales, se deba hacer distinción entre las variaciones en los precios en el corto o el largo plazo.

Las tendencias de los precios en el largo plazo vienen motivadas, principalmente, por las variaciones en la curva de la oferta, provocadas por algunos de los parámetros que hemos visto y que detallaremos, resultando clave la lucha entre la tecnología y los

costes de capital y operación, frente a la disminución en la calidad de los yacimientos.

Sin embargo, las fluctuaciones originadas en el corto plazo aparecen habitualmente por cambios en la curva de la demanda. Esta volatilidad de los precios en el corto plazo aparece recurrente y principalmente de la mano de los ciclos económicos. Cuando el PIB se incrementa, los sectores más intensivos en minerales metálicos y no metálicos, como infraestructuras, construcción, transporte, etc., crecen por encima, de ahí que los precios varíen desde un mínimo en las recesiones hasta precios normalmente elevados en los momentos más activos de la economía.

No obstante, resultará clave para el aumento efectivo de precios la cercanía al límite de producción o agotamiento de los almacenes naturales. Aun así, existe también cierta influencia desde el lado de la oferta, al poder elevarse los precios ante accidentes mineros, huelgas y otras interrupciones de la producción. De la misma manera, existen posibilidades en la disminución de precios ante ahorros en los costes de operación. A pesar de esto último, serán habitualmente los cambios en la curva de la demanda los que tengan mayor influencia en los precios<sup>3</sup>.

Sin ánimo de ser exhaustivos, si quisiéramos dar unas pautas del comportamiento de los precios, podríamos referirnos, según el CEPS<sup>4</sup>, a las siguientes.

Respecto a las características de los productos que pueden significar un impacto en la formación de los precios, podríamos referirnos a su calidad, posibilidades de almacenamiento, renovabilidad, reciclabilidad, sustitución y usos.

Si atendiéramos a los factores que influirán en la elasticidad por el lado del suministro, encontraremos necesario observar la convertibilidad o intensidad de capital, la integración horizontal y vertical, el almacenamiento y la capacidad de transporte, la concentración de la industria en oligopolios y la concentración geográfica que exponga el suministro a factores como la inestabilidad social, o bien los desastres climáticos. También hay que contar con los desarrollos tecnológicos con nuevos procesos productivos más eficientes, escasez o picos de suministro. Las

<sup>3</sup> TILTON, J. y GUZMAN J. I. *Mineral Economics and Policy*. FRF Press. Resources for the Future, 2016.

<sup>4</sup> VALIANTE, D. *Commodities Price Formation: Financialisation and Beyond*. CEPS-ECMI Task Force Report, Centre for European Policy Studies, Brussels, 2013.

expectativas de producción pueden igualmente influir en la formación de precios.

Por el lado de la demanda, en la formación de precios de las materias primas son clave factores como el aumento del nivel de ingresos, con el ejemplo claro de China, desarrollos tecnológicos necesitados de nuevos minerales, como el cobalto en las baterías del vehículo eléctrico, cambios en los hábitos y en la demografía, y el ciclo económico. Este último, dada su importancia sobre los demás, merece ser tratado más en detalle posteriormente.

Pero, antes, será interesante al menos nombrar aquellos factores que, aunque considerados exógenos, de nuevo influirán en el sistema de precios de mercado para estas materias: la «financiarización» de las materias primas en un nuevo papel separado del activo físico. Esto, junto a unas políticas monetarias, ha facilitado el acceso al crédito y al comercio, juntando en la misma cesta activos financieros y no financieros. Además, hay que contar con los subsidios e intervenciones de la política económica que distorsionan los precios de manera directa o indirecta. En ellos hay que incluir varios de tipo tasas, cuotas de producción o la gestión de almacenes de seguridad. Los desarrollos tecnológicos, los eventos impredecibles y los ciclos económicos u otros eventos macroeconómicos<sup>5</sup>, todos ellos hay que tenerlos en cuenta.

## El funcionamiento del mercado

### Los mercados de metales

En los metales más importantes, tales como el cobre, zinc, plomo, níquel, metales preciosos y otros, los precios se determinan en los llamados *mercados terminales*, como el London Metal Exchange o el New York Commodity Exchange. Directa o indirectamente, esos precios gobiernan todas las transacciones del día. La oferta y la demanda pueden venir no solo de las compañías industriales productoras y de los compradores, sino también de los intermediarios e inversores de todo tipo.

De manera general, en los mercados existen pocos productores y consumidores de tamaño importante. Bajo esas circunstancias, los suministradores pueden poseer alguna influencia en los precios. Ellos se relacionan con la curva de la demanda, que declina

---

<sup>5</sup> *Ibídem.*

de manera semejante a como lo hace la industria, y como usualmente existen pocos suministradores, entonces la curva posee una pendiente pronunciada.

Donde los precios son estables, sin duda, dependerán de cómo y dónde la demanda y el suministro se crucen. Puesto que los costes de los principales suministradores son más bajos o se encuentran cerca del máximo posible de producción, entonces tenderán a producir a su capacidad nominal.

Los mercados con pocos productores se han descrito como oligopolios. En muchos mercados puede existir una evidente penumbra de los pequeños suministradores y consumidores alrededor de unas pocas, pero grandes, compañías. En algunas ocasiones, los más pequeños productores pueden vender a través de los intermediarios, quienes a su vez pueden adquirir bienes de otros mercados.

Existen dos tipos de mercados de materias primas: el mercado de productores y el mercado competitivo. En el primero, son los productores los que fijan el precio. En él, existen pocos pero grandes productores, con precios relativamente estables, aunque cuando la demanda es débil, baja el precio (mineral de hierro, sales potásicas, litio, gemas, metales menores). En el competitivo, los precios se determinan por la oferta y demanda (oro, plata, wolframio, plomo, zinc, aluminio, cobre, níquel), en mercados (LME, sobre todo) donde existen multitud de compradores y vendedores. Los productores son precio-aceptantes.

Los metales se compran y venden de diferentes maneras y bajo diferentes acuerdos institucionales que reflejan su tamaño, facilidad de almacenaje y transporte, así como la manera en la que se muestran estandarizados o diferenciados. Los principales formatos a tener en cuenta serían:

- Bolsas de materias primas: el London Metal Exchange (LME) es el primer mercado de metales, cubriendo aproximadamente el 90 % de las transacciones globales de los metales que gestiona, que vienen a ser el aluminio y sus aleaciones, el cobre, estaño, níquel, zinc, plomo, cobalto, molibdeno, y palanquilla y chatarra de acero. También conviene reseñar como muy conocidos, el New York Mercantile Exchange (Nymex) y su división Comex (Al, Cu, Au, Ag, Pt, Pd, U), y el Shanghai Metal Exchange. Los precios son fijados diariamente (horario en operación), equilibrando la oferta y la demanda, cumpliendo, aparte de esta función en el mercado spot, la de permitir las transacciones

de futuros. Como es habitual en este tipo de mercados, resultan anónimos. El propio mercado provee garantías para los participantes.

- Mercados OTC (*over the counter*): negociación directa entre actores, los riesgos (*default*) asumidos por los participantes. Ej.: LBMA, LPPM. Los precios también se fijan de manera que O/D en equilibrio.
- Precio de los productores: pocos productores, con precios de venta similares. El productor anuncia el precio: diamantes, PGM, potasas.
- Precios negociados: contratos bilaterales negociados vendedor/comprador sin estructura institucional. Para MP con diferenciación (mineral de hierro, carbón), vendidos en pequeñas cantidades (Cd, Nb) o con otras características que no permitan venta en mercados. Los precios de referencia aparecen en *Metal Bulletin*, *Platts Metal Week*, *Industrial Minerals*.

Sus utilidades satisfacen a las diferentes necesidades de sus clientes, pero podríamos señalar como ventajas de los mercados terminales que estos sirven de referencia diaria de los precios, suministran coberturas contra el riesgo en las variaciones de precios, ofrecen sus almacenes distribuidos por el mundo y posibilitan invertir en los productos que negocian en el mercado.

### El funcionamiento de los mercados de metales

Su funcionamiento sigue, como no puede ser de otra manera, la ley de la oferta y la demanda.

#### La demanda de minerales y metales

Los determinantes de la demanda son muchos, y para cada análisis concreto se deberían decidir los factores a considerar, aunque resultan habituales:

- a) Ingresos o actividad económica: las materias primas se emplean para fabricar bienes, por lo que los cambios en la venta de estos producen un efecto inmediato. Se estudian el PIB y la producción industrial, así como los ciclos. Son de los factores más importantes en la demanda
- b) Precio: la demanda baja al subir el precio. A mayor precio de la materia prima, mayor precio del producto al trasladarse los costes.



- c) Precios de los sustitutos y complementos.
- d) Cambio tecnológico: reduce la cantidad de material requerido; altera las posibilidades de los materiales para competir en otros productos; crea y destruye mercados finales.
- e) Preferencias en el consumo. Sirva de ejemplo la disminución en la demanda del acero para construir el ferrocarril, frente al aluminio, el titanio y la fibra de carbono de los aviones.
- f) Políticas y regulación: unas políticas que favorecen la urbanización en China han estimulado el uso de cobre, acero, áridos, etc.

La existencia de una adecuada demanda, tal como reflejan los precios, es la que en último lugar dirige por completo la industria. Sin embargo, resulta peligroso afirmar que el comportamiento de los precios depende tan solo de lo que suceda con la demanda. Los precios están determinados por la interacción de la demanda y el suministro, y no solamente por una parte de la ecuación.

Muy pocos productos minerales son solicitados por su naturaleza intrínseca o valor, sino por sus propiedades referidas a sus usos terminales. Tan solo son excepciones las piedras preciosas, que son compradas por su propio valor estético, y quizás algunos de los metales preciosos. Además, el valor de las gemas, y por lo tanto su demanda, puede ser realzado por su rareza. El oro, y en menor medida el platino, se vende como inversión, porque se le ha asignado la virtud de atesorar valor.

Aunque las propiedades de algunos metales se superponen, la mayoría de los sustitutos lo hacen según diversos grados de efectividad. El metal elegido dependerá de su disponibilidad, la tecnología, moda y precio. Otro importante factor es la propia inercia adversa al cambio.

La forma de cómo los materiales son usados también es importante. Muchos procesos son muy intensivos en el uso de materias, ya que en algunos casos su precio no refleja el verdadero valor de los costes de su producción ni ambientales. En los países desarrollados las necesidades de materias primas son cada vez menores. Los bienes producidos son menos intensivos en estas materias y su orientación preferente lo es hacia los servicios<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> CROWSON, P. *Mining Unearthed*. UK: Aspermont, 2008.

### Interacción entre precios y demanda

Aunque a corto plazo las elasticidades de los precios en la demanda son frecuentemente bajas, puede ocurrir una inesperada subida de los precios, afectando sustancialmente a la demanda.

Ello ocurrió con los fosfatos en la industria de los fertilizantes. Aunque son realmente esenciales para la agricultura, se puede esperar uno o dos años sin usarlos, sin que, por ello, sea una catástrofe. De esa manera, en los años ochenta el boicot realizado por parte de los agricultores ante la subida continuada de un cartel de productores liderada por Marruecos, produjo un derrumbe de su demanda.

El caso del cobalto resulta algo similar. Entre 1978-1979 los precios de este metal subieron a causa de la demanda y de la limitación de su principal productor, el Zaire, en relación con la invasión de las tropas rebeldes en la zona productora. Ello produjo una fuerte subida de su precio. Ante ello, inmediatamente se produjo un acoplamiento industrial en el uso del cobalto en electroimanes, con electroimanes cerámicos sin cobalto. De esta manera, a finales de 1979 se estimó que su sustitución alcanzaba entre un 30% y 50%, y su aplicación química cayó en otro 10% durante 1979. Todo este conjunto de acontecimientos produjo un descenso de la demanda total del 15%. Al final, la demanda de la década de los 70 no se volvió a alcanzar hasta la de los 90.

En 1978-1980 los precios de los concentrados de tántalo se multiplicaron por cuatro debido a problemas de suministro. Entonces, los consumidores procedieron a sustituir este metal por productos alternativos, decreciendo su contenido en las etapas finales de los procesos y, además, aumentando el reciclado del tántalo. Así, fue retirado de algunos circuitos electrónicos y reemplazado por el aluminio, sobre todo en los condensadores, aunque con menor rendimiento. Además, se introdujo la tecnología de su fabricación en polvometalurgia. Con ello se redujo su demanda, aunque, circunstancialmente, cuando su precio bajaba, se volvía a reintroducir en los procesos industriales.

No hay que olvidar que la elección en el uso de un metal no solo depende de su precio, sino que intervienen otros factores que pueden llegar a compensar sus precios. De esta manera, son valores compensables, al menos en parte, la seguridad y coste en la fabricación, la resistencia hacia el desgaste, el coste de su mantenimiento y otros. Además, hay que considerar no tan solo

el precio del metal como parte de los costes de fabricación de un producto sino, también, la posibilidad de sustitución del correspondiente metal del mismo producto por otros de igual rendimiento y de menor demanda.

#### La oferta de minerales y metales

Por el lado de la oferta, los determinantes que se consideran habituales podrían ser:

- El precio, y que un aumento de precio, normalmente, supondrá un incremento de producción, aunque la respuesta venga condicionada por la capacidad existente. La minería y el procesado son intensivos en capital, requiriendo instalaciones que duren décadas, lo que convierte la oferta en bastante rígida. Habitualmente se necesitan más de cinco años para responder a los cambios de precios, y más aún a las reducciones de precio.
- *Input costs*, como pueden ser costes laborales y otros costes. Afectan a la rentabilidad de las operaciones y, por tanto, al suministro.
- El cambio tecnológico, con sus avances, logra disminuir los costes de procesado, afectando al suministro. En 1980-1990, el desarrollo del SX-EW en la industria del cobre (figura 1)



Figura 1. Empleo del sistema SX-EW en la recuperación electrolítica del cobre. Imagen de Asia Miner.

permitió la recuperación del cobre de minerales anteriormente no económicos.

- Huelgas, accidentes, catástrofes naturales tienen su impacto. En el periodo 2003-2013 las huelgas en los principales países productores de cobre ante el desigual reparto de los beneficios llegaron a paralizar los envíos, modificando los precios en el mercado.
- Actividades de los gobiernos como la regulación, los impuestos, los *royalties*, pueden elevar los precios de producción y, si varían frecuentemente, introducir una mayor sensación de riesgo en las mineras. Aunque también lo pueden estimular, como fue el caso de China con las tierras raras.

La capacidad de suministro viene determinada por la curva de suministro, que indica la cantidad de producto ofrecida en el mercado a diferentes precios al mismo tiempo. Aunque el suministro viene determinado por el precio de la materia prima y los diferentes costes, podríamos detallar que en el corto plazo las restricciones provocadas por la capacidad de la mina y su proceso son clave, así como las huelgas, accidentes o desastres naturales, resultando el suministro inelástico respecto al precio en el corto plazo; aunque podría ocurrir lo contrario en caso de la existencia de capacidad ociosa, resultando de nuevo elástica. Sin embargo, en el largo plazo pueden crearse nuevas reservas, resultando elástica, cosa que no ocurre con los subproductos, que vendrían limitados por la cantidad de subproducto encontrado.

#### El ciclo de vida del mercado

Habitualmente, en los mercados se cumple un ciclo de vida que se podría resumir en etapas de la manera siguiente:

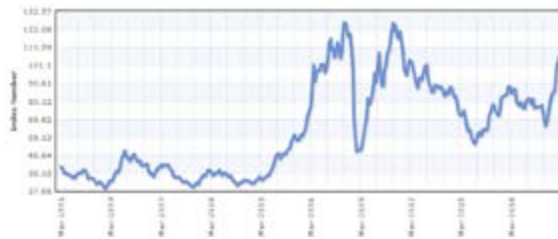
- Etapa 1. Ante la llegada de un nuevo producto, existen clientes dispuestos a pagar. Así, las compañías productoras forman una especie de monopolio con tecnología propia.
- Etapa 2. Los beneficios generados, atraen a otras compañías mediante la exploración e I+D.
- Etapa 3. La relación oferta/demanda obliga a rebajar los precios y provoca la búsqueda de nuevos usos.
- Etapa 4. Los nuevos productores poseen mejores yacimientos y, a veces, mejores tecnologías, pero, sobre todo, una posibilidad de mayor producción.

- Etapa 5. Como el número de productores se eleva, caen los precios hasta los costes marginales y el *break-even* de las operaciones.

En algunas ocasiones, algún productor ha actuado como *leader*, marcando el precio de las materias primas minerales. Es el caso del litio, en un principio; después, la explotación de los salares sudamericanos supuso la entrada de nuevos productores.

### Las variaciones de los precios

En las materias primas minerales (MPM), la oferta, la demanda o ambas suelen encontrarse en continuo cambio. Aquellas sustancias minerales que cotizan en los mercados terminales sufren precios que fluctúan mensualmente e incluso diariamente (figura 2). En general, son más sensibles a los cambios de ambiente que las que no entran en estos mercados, como el mineral de hierro o el carbón.



**Figura 2. Evolución de un indicador de precios (index mundi) de varios metales (1990-2020). Commodity Metals Price Index, 2005 = 100, incluyendo al cobre, aluminio, mineral de hierro, estaño, níquel, zinc, plomo y uranio<sup>7</sup>.**

Cuando se agotan los recursos, o cuando suben los costes de producción, existe un intento de llevar el control de los precios de las MPM. Al contrario, la apertura de nuevas explotaciones, o los descensos en las demandas de la industria, tienden a rebajar los precios de las MPM. Las nuevas minas entran en el ciclo a intervalos irregulares, y frecuentemente significan nuevos aportes de materias a los mercados sobrecargados.

<sup>7</sup> <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=metals-price-index-&months=360>

Como regla general, y con las otras variables parecidas, cuanto más rápido reaccionen los precios, menos probables son los periodos de una descompensación entre la demanda y la capacidad del suministro. Un uso generalizado de los productos financieros tales como las opciones, debilitan el mecanismo de la relación oferta/demanda y, por lo tanto, repercuten en los precios.

La producción tiende a ser más estable y predecible que la demanda, que compra en los mercados de manera fluctuante y va casi siempre ligada a la actividad económica. La demanda en el mercado de los minerales y también en los agrícolas se adapta de una manera muy general a los ciclos de actividad económica, pero en el corto plazo las fuertes variaciones son más difíciles de comprender.

#### La fluctuación de los precios en el largo plazo

Si se representan en precios reales las cotizaciones del cobre desde al año 1560 hasta el 2000, no se aprecia ninguna tendencia hacia el crecimiento, aunque las cargas del transporte y reparto también poseen alguna incidencia.

En casi todos los metales, los precios parece que poseen una tendencia descendente en el tiempo, aunque en cortos espacios de tiempo pueden aparecer otras configuraciones.

En el caso del mineral de hierro, la respuesta a corto plazo parece que es menos sensible que en otros metales en los mercados terminales, probablemente porque existen menos productores y usuarios y los precios se determinan en periodos anuales.

En general, los precios de todos los metales responden a los estímulos económicos, tales como los episodios de guerra y los ciclos de negocio, pero a largo plazo su comportamiento es muy diferente.

Una explicación sobre la volatilidad de los ciclos de los precios es la consideración de los desequilibrios en el capital de los sectores de las materias primas dentro de una economía. El incremento en la demanda de las materias primas minerales conduce a una sobrecapacidad eventual en el capital de estos sectores, escalando los precios, y a la eventual reducción de las órdenes. Se ha propuesto un ciclo de 40-60 años para este proceso, dependiendo de la naturaleza del sistema.

La mejor explicación de los ciclos de gran extensión es la que considera la innovación y sigue las ideas de Schumpeter. El afa-  
mado economista vio el ciclo de largo plazo como causado por  
las variaciones de la actividad de negocios y la innovación, tra-  
bajando juntas.

En resumen, el largo periodo necesario para madurar un pro-  
yecto (exploración, descubrimiento y desarrollo minero) puede, a  
largo plazo, provocar fluctuaciones en los precios. Sin embargo,  
las innovaciones tecnológicas, las técnicas empresariales y las  
economías de escala han compensado algunos de los efectos del  
agotamiento de los recursos, la reducción de las leyes de los  
minerales, los costes energéticos y la inflación durante los ciclos  
largos.

#### La volatilidad de los precios

El incremento de los precios de los metales desde el año 2000  
y la creciente influencia de los mercados financieros trajeron a  
debate las causas de la volatilidad de los precios.

Los precios de las materias primas son más volátiles que los de  
cualquier otro bien de consumo. Esto es debido a lo que los eco-  
nomistas llaman la *inelasticidad del precio*.

Si surge una fuerte demanda de un metal, la respuesta no es  
inmediata (es necesario localizar un proyecto minero, lograr la  
financiación y ponerlo en operación), como generalmente tam-  
poco lo es satisfacer la necesidad con sustitutos.

Se considera que la volatilidad es negativa al traer incertidum-  
bre a los precios futuros, empeorando las condiciones de la  
inversión.

Ciertos autores subrayan que los bajos tipos de interés tienden  
a reducir la volatilidad de los precios en las materias primas al  
disminuir los costes de inventario, suavizando cambios bruscos  
coyunturales en precios. Sin embargo, estos bajos intereses no  
tienen influencia en los cambios duraderos (como la creciente  
demanda china).

Algunos analistas critican que la volatilidad del LME es exce-  
siva bajo la influencia de los inversores en metales, que son,  
normalmente, instituciones financieras de todo tipo, agrupadas  
bajo la denominación de «especuladores». Los precios se pue-  
den mover de manera muy señalada, incluso dentro del mismo  
día. El explosivo crecimiento de las opciones también parece

haber sufrido una volatilidad extra en los últimos años. Sin embargo, muchas de las transacciones se conducen en beneficio de los productores, asegurando la estabilidad de los precios contra tendencias adversas a futuro, que de otra manera no se conseguiría.

## Hacia la estabilidad de precios

### El control de la producción

Un control de la producción o de las exportaciones sería el mecanismo que tratara de evitar que, ante las dificultades de reinstaurar la producción anterior en un corto plazo, los mercados cambien rápidamente, provocando su inestabilidad y un aumento de las cotizaciones

En el mundo existen un gran rango de costes de producción entre la mina menos y la más favorecida. Ello significa que los productores poseen diferentes intereses cuando consideran los controles de producción. Los que tienen estos costes muy bajos se ven favorecidos cuando se reduce la producción general, mientras desean su corte cuando los precios son altos y provocan un exceso de metal en los mercados.

Las empresas fundidoras, sin embargo, se consideran (en general) satisfechas en un ambiente inestable, ya que tienden a trabajar con precios muy estables. En algunas fórmulas de venta aparecen artículos de participación del fundidor en periodos de alza de cotizaciones y, también, de mecanismos de amortiguación ante los precios muy bajos.

Las limitaciones en la producción pueden verse debidas a un acuerdo internacional, o bien como un descenso voluntario de producción. Los controles de producción impuestos no suelen ser adecuados, y muchas compañías tienden a reducir su producción cuando cae la demanda.

Otras formas de buscar la estabilización de precios: los stockpiles nacionales

Estos almacenamientos nacen en los años 1973-1974 como consecuencias del embargo de la OPEP hacia los países occidentales. Francia y, sobre todo, Japón comenzaron a formar sus propios almacenamientos de metales y minerales, pero de no mucha importancia. Sin embargo, el Congreso norteamericano volvió



a reconsiderar los antiguos planes de formación de *stockpiles* de sustancias estratégicas, que se mantuvieron hasta los años noventa, cuando a raíz de la terminación de la Guerra Fría y del Apartheid se vendieron en los mercados internacionales.

En la actualidad, los Estados dejan a la iniciativa privada la formación de esos stocks. Los stocks actuales suelen ser creados como una contrapartida de algunos esquemas de garantía de materias primas entre los propios consumidores, o bien adquiridos por grupos de productores para abaratar su disponibilidad (figura 3).



Figura 3. Stockpile de cobre en China.

### El papel de los inventarios

Los inventarios poseen una enorme influencia en el precio de las MPM, y si estos exceden las necesidades normales de la industria, entonces disminuirán sus precios.

La reducción de los stocks de MPM nos indica que la oferta y la demanda se encuentran ajustando, y entonces los precios sí pueden estar influidos por la relación oferta/demanda. Estos inventarios no solamente son los que corresponden a los mercados terminales, sino también los de los intermediarios.

Los movimientos en los inventarios alcanzan sus máximos a causa de los balances en los mercados, más que por los cambios en la actividad industrial.

Los productores de minerales a menudo están dispuestos a almacenar sus productos minerales en forma de concentrados. De esta manera, desde hace ya años los productores de cobre del Copper Belt de Centroáfrica almacenan sus productos a fin de sostener los precios. En los primeros años de la década de los 90,

los productores de rutilo de las playas de Australia almacenaban el zircón como subproducto cuando acaecía una recesión de sus precios. Todos estos subproductos pueden mantenerse inmovilizados y, frecuentemente, compensan los gastos incurridos.

Cuando los inventarios caen por debajo de las necesidades normales, entonces los precios tienden a subir vertiginosamente. También pueden subir incluso cuando los stocks caen rápidamente, aunque sean excesivos. Las disminuciones en los stocks indican que los balances entre la oferta y la demanda se encuentran muy ajustados.

Los precios, entonces, parecen estar influidos por el balance de los mercados. La mayor objeción sobre los controles de producción es que no garantizan que un país incremente sus resultados. Ello ocurriría si los préstamos fueran fácilmente renegociables.

El secreto de la efectividad de un *stockpile* sería el grado de fluctuación que se pudiera considerar como aceptable y el nivel de un precio también aceptable. Cuanto más alto sea este nivel y más pequeña su variación, el stock debería ser mayor.

Algunos estudios econométricos señalan que un esquema que puede ser efectivo sería un precio ligado a cinco años de una media móvil del precio en el LME +/-15%. Un *stockpile* basado en estas medidas funcionó desde 1945 a 1975, con un volumen de 3Mt, pero en realidad operó con un muy pequeño coste real.

#### Buscando una explicación a los ciclos de precios

Es admitido por todo el mundo que existen ciclos en los precios de los minerales con una periodicidad de 50-60 años. Existen acontecimientos importantes, como los nuevos descubrimientos de yacimientos, los desastres climáticos, las guerras y otros, que sin duda influyen en la economía y en los precios de las materias primas. Sin embargo, su periodicidad no resulta clara.

Los conflictos bélicos, por ejemplo, provocan subidas espectaculares en las cotizaciones de los metales y en los largos periodos de paz se tiende a la saturación de los mercados, pero carecen de un periodo repetitivo. Las depresiones económicas también pueden dañar los procesos innovadores.

Algunos sectores industriales también poseen ciclos de 50-60 años. Esta causa, combinada con desarreglos en el proceso demanda/oferta de la economía, los impredecibles conflictos mili-

tares, innovaciones repentinas y otros, podría explicar el fenómeno de los ciclos de precios de las materias primas minerales

Tratando de encontrar una explicación, se van a separar los efectos de las innovaciones de los procesos oferta/demanda:

1. A un proceso difundido de una innovación trascendente se responde con una demanda de ciertos minerales necesarios para suplir a las nuevas industrias, y por lo tanto los precios tenderán a subir. La expansión de este sector minero demandará una investigación de recursos específica. Para nuevos yacimientos, se podría prever al menos 10 años de expansión.
2. Los beneficios generados inicialmente atraerán, sin duda, a nuevos entrantes, en principio bien acogidos por la demanda creciente.
3. Las inversiones realizadas acabarán sobresaturando el mercado, desequilibrando de nuevo la relación oferta/demanda, y provocarán la bajada de los precios.
4. Esto provocará un esfuerzo generalizado de los productores por rebajar sus costes a fin de mantener la rentabilidad de sus inversiones, buscando para ello innovaciones efectivas en reducción de costes de producción. Un efecto derivado de la bajada de precios es también la continuación del tirón de la demanda, a excepción de la inversión en la exploración de nuevos depósitos minerales.

Las mejoras tecnológicas en la exploración minera, y en el ciclo completo de la minería, también fomentan un aumento en la economía de escala, y consiguientemente el agotamiento de los recursos y una inflación generalizada.

#### La utilización de los precios: los precios reales

La realidad de los precios se puede buscar en los mercados, ya sean terminales o la simple información de transacciones realizadas, tomadas en revistas especializadas o de cualquier otra fuente de información. Esto puede parecer algo con limitada importancia, ya que, dependiendo del nivel donde se sitúe el usuario, así le llegará el valor modificado en la cadena de suministro. Sin embargo, en el comienzo de la cadena el productor (la empresa minera) no percibe el precio de mercado, puesto que no vende un producto apto para su primera transformación industrial. Por

ello, se dedicará un corto espacio para describir esta situación y colocar el verdadero precio percibido, ya que, en su posición inicial, esto posee una enorme trascendencia sobre el posible aprovechamiento de los recursos minerales.

### El NSR o precio percibido por el productor inicial

El *net smelter return* (NSR) es el ingreso neto que una propiedad minera recibe de la venta de los productos metálicos o no metálicos de la mina, menos los costes de transporte y refino. El término se denomina así porque la mayor parte del tiempo la producción minera vendida requiere un procesamiento adicional por parte de las empresas fundidoras, que procesan los concentrados producidos en mina para convertirlos en unidades físicas de metal (lingotes, cátodos o productos intermedios).

En términos físicos y económicos, el NSR es la ganancia neta efectivamente percibida por la venta de los productos minerales, después de haber deducido de la ganancia bruta los siguientes gastos: los *gastos de fundición y refino* (TC/RC), que son los gastos por manipulación, procesamiento, suministros, muestreo, costos de ensayos de fundición y de ensayos arbitrales, honorarios de representantes, árbitros, multas, mermas y cualquier otro gasto o pérdida correspondiente al proceso de fundición y/o refinado. También es necesario considerar los *costes de transporte* (carga, flete, descarga, manipulación en puerto y otros varios). Y, además, los *costes de comercialización*, los *costes de seguros* y las *tasas de aduana*.

Entonces, ¿el precio real es muy diferente al de cotización? Naturalmente, dependerá del nivel de precios en ese momento y, también, del valor de los TC/RC, que son las cargas por fundición y refino de los metales, que también varían temporalmente. Generalmente en el mismo sentido que la cotización de los metales. Además, el nivel de la cotización también cuenta, ya que los gastos que lleva aparejada la transformación del concentrado de mina en absoluto son proporcionales a los precios de los metales.

Como ejemplo, en el primer trimestre de 2021 el precio del cobre se encontraba en un valor extraordinariamente elevado en comparación con el de los pasados años (alrededor

de 9000 \$/t Cu). Con unos gastos de fusión (TC) de 54 \$/t de concentrado de mina y 5,5 cent\$/libra de cobre refinado, para un metal «pagable» del 98,5%, un concentrado del 24% Cu, el cobre refinado al 99,9% de pureza se abonaría alrededor del 93% del precio de mercado. En este caso se aproxima bastante a su cotización en el LME, pero en periodos de bajo valor, con concentraciones inferiores al 21% Cu y gran cantidad de metales indeseados en el producto vendible, ese porcentaje se aproximaba al 50% en nuestras minas del sur.

La predicción de los precios

En un nuevo proyecto minero de inversión, la elección del precio más probable es un verdadero problema<sup>8</sup>. Existen varios procedimientos para ordenar el proceso. Uno de ellos se presenta en la figura 5, apoyándose en la curva del *cash cost* (costes asignados al proceso de producción) acumulados en los más importantes proyectos mundiales en activo.

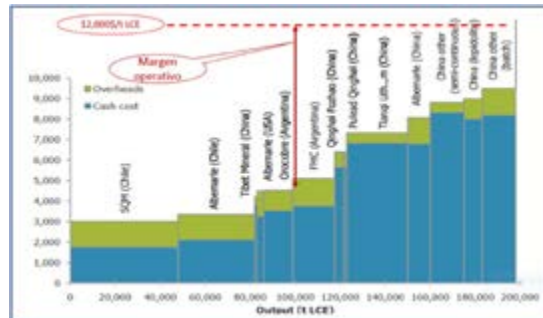


Figura 4. Costes operativos (cash costs) de distintos proyectos mineros de litio. Las salmueras se sitúan en los costes más bajos. También se señala el margen operativo medio para un precio de carbonato de litio de 12000 dólares. Modificado de Pinterest.co.kr.

El proceso sería el siguiente: un precio nunca debería bajar de los costes de producción del segundo o tercer cuartil de la curva de costes de producción internacional (fácilmente accesible) sin provocar el cierre o paralización parcial de muchas explotaciones, lo que provocaría un efecto rebote en la curva de los precios de mercado.

<sup>8</sup> ESPÍ, J. A., DE LA TORRE, L. «Factors influencing metal price selection in mining feasibility studies». *Mining Engineering*, vol. 65, n.º 8, 2013, pp. 45-51.

## Casos relacionados con las estrategias y los precios de las materias primas minerales (MPM)

La roca fosfática, sus precios y los intentos de su manipulación, incluyendo el caso de Fosbucraa

### Rasgos fundamentales

«El control de los precios de los fosfatos en el mercado mundial en los años 1960-80, la aparición de un nuevo productor, Fos Bucraa (en el antiguo Sahara Español) y los intentos más recientes de modificación de los precios de mercado».



Figura 5. La dragalina destinada al desmonte previo en la explotación de Bucraa.

### Contexto del caso

El intento de modificar los precios en los mercados internacionales de fosfatos por parte de Marruecos y otros países a principios de la década de los años 70 (un cartel creado a semejanza de la OPEP de aquel periodo) se vio truncado por la resistencia de los consumidores de abonos fosfatados hasta donde fue posible. Ello rebajó la demanda, haciendo fracasar ese intento.

Este esquema de lo sucedido debe ser pormenorizado, ya que, dentro de ese periodo, se sucedieron diversos acontecimientos relacionados con acciones empresariales y nacionales que deri-

varon en aplicaciones de carácter geopolítico, con resultados desiguales para sus actores. Este fue el ambiente en el que se desarrolló la vida de la empresa española Fosfatos de Bucraa y, por ello, tendrá más explicaciones.

## España y los fosfatos del Sahara Occidental

### Los depósitos minerales

Los yacimientos de fosfatos de Bucraa fueron descubiertos en el año 1947. Estos depósitos son, como todos los del noroeste africano, de origen sedimentario, más o menos recientes (Era Terciaria) y en situación cercana a la superficie, formando capas o estratos fáciles de arrancar. Sus riquezas o leyes no suelen ser extraordinarias, pero en Fosbucraa existen zonas de riqueza en  $P_2O_5$  superior a las de los yacimientos vecinos. Se trata de un proyecto a cielo abierto con alta calidad de sus fosfatos. En 1962, el Instituto Nacional de Industria (INI) constituye ENMINSA (Empresa Nacional Minera del Sahara), empresa que en 1968 se convierte en Fosfatos de Bucraa, S.A. con el fin de comenzar la explotación de estos recursos minerales.

Previamente, el INI había realizado una extensa campaña de investigación y valoración minera, cubriendo unos recursos de 1700 millones de toneladas de roca fosfatada, realizando el reconocimiento mediante sondeos, pozos y trincheras. Sin embargo, de ellas se eligió una superficie de 231 km<sup>2</sup> que, por su escasa profundidad (cobertera máxima para desmontar) y riqueza, podían producir un producto de alta competitividad. Las leyes superiores al 30%  $P_2O_5$  hacen de este yacimiento algo singular si se compara con los de Marruecos u otros de la región. Fosfatos de Bucraa, S.A., en los siguientes años, construyó una cinta transportadora de casi 100 km de longitud que transportaba el fosfato hasta la costa, en donde sufría un sencillo tratamiento de disgregación, lavado de las fracciones más finas y secado en un horno rotativo. Con ello, se elevaba su ley y se dejaba preparado para su comercialización. Después se transportaba a un pantalán en la costa a fin de realizar el cargamento en los buques mineraleros<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> FOSFATOS DE BU-CRAA S.A. INI. Madrid, 1972.

## La producción de fosfatos

La actividad productiva comenzó en el año 1973 (figura 6), llegando a embarcar hasta tres millones de toneladas anuales (tabla 1). Sin embargo, esta actividad duró poco. La firma de los Acuerdos de Madrid incluyó, en sus anexos secretos, la cesión en 1976 de un 65 % de la empresa a Marruecos, es decir, a la Office Chérifien de Phosphates (OCP).

	<b>1973</b>	<b>1974</b>	<b>1975</b>
<b>Desmante en toneladas</b>	4 200 000	9 270 000	15 930 000
<b>Producción en planta en toneladas</b>	702 000	3 000 000	2 800 000

Tabla 1. Producción de fosfatos en Fosbucraa listos para su venta.

## Fosbucraa en los mercados internacionales

Recogiendo las palabras de Martínez Milán<sup>10</sup>, «en una coyuntura mundial (entre finales de la década de 1960 y principios de la de 1970) marcada por la escasa demanda de fosfato natural, a causa de la caída de la cotización internacional de la roca fosfática y por la guerra de precios entre los principales productores, entró en escena un nuevo productor, Fosbucraa, que introducía más inestabilidad a un mercado de por sí ya inestable».

Ese fue el ambiente que se encontró la recién creada empresa del INI, en un contexto en donde actuaron los mayores productores de fosfatos del momento y, también, tal como explica este autor, algún otro consumidor como Francia, tratando de hacer valer sus intereses en la región. Entre todos sobresalieron las acciones del Reino de Marruecos con el deseo de, además de hacerse con el control del fosfato sahariano, continuar con sus ambiciones territoriales sobre el Sahara Occidental<sup>10</sup>.

La calidad siempre fue la baza de Fosbucraa en los mercados y, por ello, la OPC reanudó la producción en cuanto pudo. No es que fuera extraordinaria, pero el lavado en la planta conseguía, de manera simple, llegar al 80 % BPL en sus concentrados. Por ello,

<sup>10</sup> MARTÍNEZ MILÁN. «Los fosfatos del Sahara Occidental y los principales productores mundiales de roca fosfática: política versus estrategia empresarial, 1969-1975». *Estud. Asia Áfr.*, vol. 54, n.º 2, 2019, Ciudad de México.



la OPC podía mejorar sus productos, o bien vender los concentrados a clientes específicos que así lo demandaban.

La geopolítica en la producción de fosfatos en el último cuarto del siglo pasado

Siguiendo a Martínez Milán<sup>8</sup>, desde el primer momento la Administración española apostó por la creación de una empresa mixta con capitales externos, buscando un socio financiero y la relación, ahora industrial, con el Gobierno norteamericano como apoyo en referencia a otras situaciones relacionadas con el mandato de la ONU sobre la descolonización del Sahara español. Por ello, se pensó en un acuerdo con una de las más importantes productoras de fosfatos del mundo, la norteamericana International Mineral and Chemical Corporation (IMC). Esta empresa propuso al INI alcanzar un acuerdo con OCP para adquirir el 50% de las acciones de Fosbucraa, idea que fue rechazada por el Instituto, dada la posición del Gobierno español sobre ello. Sin embargo, el Gobierno reconocía su deseo de encontrar la fórmula para entrar en el oligopolio de los fosfatos y, así, asegurar la viabilidad de la empresa en el futuro.

A pesar del fracaso del intento de relación con IMC, el Gobierno español tomó la decisión de financiar la puesta en explotación de Bucraa. Para conseguirlo, creó una nueva sociedad, Fosfatos de Bucraa, participada enteramente por el INI. Su puesta en explotación en 1973 coincidió con la fuerte subida del precio de fosfato en el mercado mundial. Ante ello, la Administración «desoyó los consejos tanto de la empresa como del INI para subir los precios y hacer frente al incremento de los costes de explotación, y sucumbió a los intereses de la industria española de fertilizantes fosfatados que se benefició de un "precio político" en sus compras de mineral de roca fosfática del Sahara»<sup>11</sup>. «Desde el INI se opinaba que lo mejor para la empresa española era aliarse con OCP, por ser el mayor competidor en el mercado europeo y nacional, y llegar a acuerdos puntuales con IMC en aquellos mercados donde no se entrara en competencia directa con la empresa marroquí».

La relación con la OCP llegó a materializarse a pesar de los intereses contrapuestos y, así, el acuerdo de 1972 recogía la creación

<sup>11</sup> MARTÍNEZ MILÁN, J. M. «Empresa pública y minería en el Sahara Occidental: Fosfatos de Bu Craa S.A., 1969-1983». *Boletín Geológico y Minero*, 128(4), 2017, pp. 913-929.

de un cartel hispano-marroquí, fijando cuotas de producción y reparto de mercados. En el programa debatido, «Fosbucraa aspiraba a comenzar vendiendo en 1973 la cantidad de 1,6 millones de toneladas para llegar a los 6 millones tres años después. La OCP, por su parte, planteaba unas previsiones iniciales de producción de 14 millones de toneladas hasta conseguir, en 1976, los 18,6 millones de toneladas»<sup>11</sup>. A fin de no incurrir en un exceso de oferta, se acordó establecer una política común de precios y cuotas de mercado para Italia, Francia, Alemania y Rumanía. En cuanto al mercado español, a Fosbucraa se le adjudicó una cuota de 500 000 toneladas para 1973 y de 750 000 toneladas para 1974. El resto, hasta completar una cifra cercana a los dos millones de toneladas, le correspondía a OCP.

La reacción de los clientes españoles de OCP no se hizo esperar y amenazaron con incrementar las compras en Estados Unidos si subían los precios en relación a 1972, cosa que así hicieron al año siguiente. Por ello, y en contra de los deseos del consejo de administración de Fosbucraa, el INI ordenó a la empresa española que diese prioridad a los suministros al mercado nacional, limitando al mínimo las exportaciones al mercado exterior, además de imponer un «precio político» por debajo del precio de mercado. Con esta decisión se rompía el acuerdo con OCP en el mercado nacional y se perdían mercados en el exterior.

Sin embargo, en 1975, en el mercado internacional, la demanda general descendió de manera muy acusada, provocando una caída generalizada de los precios que osciló entre el 15% y el 40% según los países. No obstante, «fue la brusca “descolonización” del Sahara Occidental la que paralizó el desarrollo de una empresa que acababa de nacer»<sup>11</sup>. En 1976, el presidente del INI y el director de la Office Chérifien des Phosphates (OCP), de conformidad con lo recogido en la parte económica de los acuerdos de Madrid, formalizaron la venta del 65% de las acciones de Fosbucraa a la compañía estatal marroquí, iniciando un largo proceso que culminó en 2002 con la desaparición de la empresa.

Los técnicos y gestores españoles permanecerían en Bucraa hasta mayo de 1977. El INI conservaba cuatro representantes en el consejo de administración de la compañía, compuesto por diez miembros. Entre 1979 y 1986, la actividad de la empresa estuvo interrumpida debido a los ataques del Frente Polisario. En diciembre de 2002, la SEPI (heredera del antiguo INI) perdió su participación en Fosbucraa, que ostentaba desde 1976.

Los problemas (geopolíticos) no han cesado hasta hoy

En el año 2019 las ventas de fosfato de Marruecos desde el Sáhara Occidental cayeron un 46 %, aunque tan solo representaban una pequeña parte de las ventas totales<sup>12</sup>. La causa se debió, sobre todo, a que la empresa norteamericana Nutrien dejó de comprar el mineral en 2018. La Office Chérifien des Phosphates (OCP) de Marruecos vendió 1,03 millones de toneladas de fosfatos procedentes de Bucraa en 2019 por un valor estimado de 90,4 millones de dólares, frente a los 1,9 millones de toneladas antes de 2012.

En ese año, India se convirtió en el mayor comprador de fosfatos procedentes del Sahara Occidental, seguido de Nueva Zelanda, China y Brasil. Sin embargo, en 2018, de las ventas de fosfatos de la región, que alcanzaron 1,9 millones de toneladas, Canadá compró aproximadamente el 50 % de la producción de fosfatos de esa procedencia. En la actualidad, Marruecos asigna una capacidad de producción a la explotación de Fosbucraa de 2,6 millones de toneladas. Sin embargo, los depósitos de fosfato en la región representan solo el 2 % de los fosfatos que posee OCP, que es quien gestiona la producción de Fosbucraa. También, esta explotación representa menos del 5 % de los ingresos del Grupo OCP.

Otra cosa relevante que resalta S. Spurgeon<sup>12</sup> es que los fosfatos destinados a India y China viajaron a través del canal de Suez, y todos los transportes a Nueva Zelanda navegaron alrededor del extremo sur de América del Sur. Ningún barco pasó por el canal de Panamá o alrededor del Cabo de Buena Esperanza de Sudáfrica después de que los dos países detuvieran el cargamento de fosfato en 2017. La causa fue que los países con jurisdicción sobre las aguas de estos puntos vitales sostienen que Marruecos no debería vender ningún fosfato de la región hasta que la ONU encuentre una solución mutuamente aceptable al conflicto en Sahara Occidental.

Esta situación no es nueva, ya que, anteriormente, un gran número de importadores abandonaron la compra de fosfatos del proyecto de BouCraa, debido a aspectos del derecho internacional y los derechos humanos. Por ejemplo, en 2010 la firma estadounidense Mosaic anunció que había detenido las importaciones del territorio del Sahara, después de ser cliente de BouCraa durante

<sup>12</sup> SPURGEON, Susanna. *Morocco World News*, 24 de febrero de 2020.

varios años. Además, el gigante noruego de los fosfatos Yara declaró la abstención en las compras de fosfatos procedentes de este origen.

## Resultados

La razón externa del conflicto en el que se vio envuelta la empresa Fosfatos de Bucraa fue la lucha por los mercados de la roca fosfática, buscando el dominio sobre sus precios. En este caso, la empresa del INI tuvo que buscar un socio a fin de asegurar su futuro. Además, Marruecos mezcló sus intereses económicos con los de su política expansiva sobre unos territorios que hasta hoy no se encuentran descolonizados. Lo curioso es que, tal como apuntan algunos datos, los abrumadores recursos de Marruecos (apuntando hacia los 100 000 millones de toneladas) sobrepasan ampliamente las dimensiones de Bucraa (tan solo alrededor del 2%).

Por ello es fácil imaginar la interferencia de las razones políticas con las de dominio de los mercados. Hoy, después del embargo, la producción de Bucraa tan solo es de alrededor del 4% de las ventas de la OCP marroquí. Sin embargo, sí adquiere trascendencia, debido al interés de sus clientes específicos en razón a su calidad y, también, a un deseo internacional de solución del conflicto sobre el territorio ocupado.

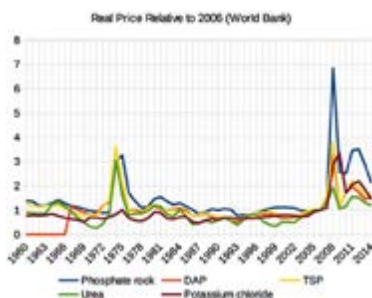
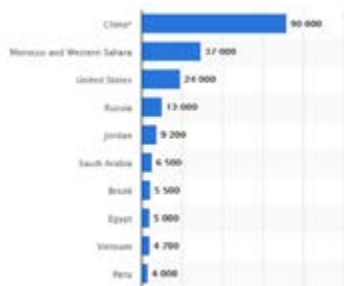


Figura 6. Indicador de precios relativos de la roca fosfática y otros fertilizantes (World Bank, 2006).

Después de los azarosos tiempos que se han descrito, en los mercados internacionales de los fosfatos sucedió la calma. Sin embargo, hoy, observando la evolución de los índices de precios de la figura 7, se aprecia un sorprendente aumento

de las cotizaciones alrededor del año 2008. Este breve aumento ha sido muy estudiado y, generalmente, es asignado a la influencia de la Primavera Árabe sobre una parte importante de los productores del norte de África. También se le asigna a la causa de un sentimiento generalizado de inseguridad alimentaria.

Además, el estudio de Khabarov N. y Obersteiner M.<sup>13</sup> descubre otras influencias algo más ocultas. De esta manera, los autores achacan un papel importante a las políticas del mercado de fertilizantes en la India, el mayor importador mundial de fertilizantes de fósforo y roca fosfórica. De esta manera, India duplicó su importación de fertilizantes fosfatados en 2008, en un momento en que los precios también se doblaron. Los autores afirman que el aumento de los precios se magnificó, por un lado, debido a las medidas comerciales de protección de los proveedores de fertilizantes, que llevaron a una caída del 19% en las exportaciones mundiales de fertilizantes fosfatados. Por otro lado, en la India los subsidios a los fertilizantes llevaron a los agricultores a no ajustar convenientemente su demanda.



**Figura 7. Los diez primeros países productores de fosfatos (en miles de toneladas) en 2020. Con fecha de 2020, la producción de Marruecos y el Sahara Occidental fue de, aproximadamente, 37 millones de toneladas de roca fosfórica, es decir, el segundo país productor de fosfatos a nivel mundial, después de China<sup>14</sup>.**

<sup>13</sup> KHABAROV, N.\* y OBERSTEINER M. «Global Phosphorus Fertilizer Market and National Policies: A Case Study Revisiting the 2008 Price Peak». *Frontiers in Nutrition*. 4:22, 2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5469897/>

<sup>14</sup> GARSIDE, M. *Global phosphate rock production by country 2020 - 2021*.

## El oportunismo económico en el abastecimiento de wolframio al III Reich durante la II Guerra Mundial

### Rasgos fundamentales

«Además de formar parte de las piezas fundamentales de los cañones de alto poder de fuego, fue a partir de la II Guerra Mundial cuando el wolframio, debido a su alta resistencia, densidad y elevado punto de fusión, se utilizó para blindar la punta de los proyectiles anti-tanque, en la munición AP y en la coraza de los blindados. De esta forma, el suministro de wolframio se convirtió en algo indispensable para los contendientes.

Los gobiernos de España y Portugal aprovecharon la coyuntura del embargo total al comercio y abastecimiento de materias primas a los países del EJE en la última parte de la segunda Guerra Mundial, a fin de provocar una inmensa subida de los precios de los concentrados de wolframio con destino a su industria de armamento».

### Contexto del caso

Durante los últimos años, el episodio del bloqueo de los suministros de materias primas a los contendientes de la Segunda Guerra Mundial ha sido objeto de interés por algunos investigadores económicos, aportando datos importantes para interpretar este acontecimiento<sup>15</sup>.

Los incidentes derivados del suministro de wolframio a los países del Eje provocaron una importante crisis diplomática entre los aliados y la dictadura del general Franco. Esta crisis se inició en octubre de 1943 a raíz del incidente Laurel (el reconocimiento del Gobierno títere de las Filipinas, ocupadas por las fuerzas japonesas) y terminó en abril de 1944, tras el embargo del petróleo básico a la industria española, con la firma de un tratado entre España, Estados Unidos y Gran Bretaña. A partir del acuerdo, las exportaciones se redujeron considerablemente y, además, el Gobierno español se comprometió a una mayor neutralidad. Entre las acciones que el Gobierno de Franco se había visto obligado a aceptar, estaba la limitación de no superar las ventas de wolframio a Alemania de 40 toneladas mensuales.

---

<sup>15</sup> CARUANA, 2001, y THOMÀS, J. M., 2017.

Hasta el año 1939, Alemania se abastecía de wolframio en la India, China y Birmania, pero el bloqueo naval británico obligó al Gobierno alemán a buscar otras fuentes en Portugal (Arouca y, sobre todo, en Panasqueira) y también en España (Galicia y Extremadura). Para ello, el Gobierno del general Franco autorizó a los alemanes para organizar empresas destinadas a la explotación del wolframio.

La deuda contraída por España por la ayuda alemana durante la Guerra Civil española se estimó en 212 millones de dólares de los años 1940. De esta forma, se llevó a cabo un acuerdo entre los dos países, mediante el cual esta deuda se iba a saldar entregando a Alemania cereales, naranjas y aceite de oliva, así como wolframio y magnesitas. Para ello se formaron dos sociedades encargadas de canalizar los intercambios: Hispano-Marroquí de Transportes, S.L. (HISMA) y Rohstoffe und Ware Einikaufsgesellschaft GmbH (RIWAK)<sup>16</sup>.

En el centro de la conflagración, el wolframio español tuvo para el Tercer Reich una gran importancia. Era, con Portugal, su única fuente de suministro, algo que los americanos e ingleses conocían. En España, entonces, confluyeron agentes alemanes e ingleses dispuestos, unos, a conseguir el mineral a cualquier precio, y los agentes aliados empeñados en evitarlo. Los norteamericanos también quisieron implicarse en ese negocio, provocando todavía más un encarecimiento del metal.

El aumento explosivo de los precios del wolframio resultó enormemente beneficioso para España. Supuso un enriquecimiento para los propietarios de las minas, pero también para la Hacienda Pública, de tal manera que España casi saldó esa deuda contraída con Alemania. Fueron 67,4 toneladas de oro, adquiridas en varios bancos suizos, alemanes e ingleses.

#### Las cifras

Según las investigaciones de J. M. Thomàs<sup>17</sup> sobre los países suministradores de wolframio para Alemania antes de obtenerlo en 1941 de España y Portugal, señalan que la principal aportación era china (tabla 2). Esto duró hasta que Alemania invadió Rusia en ese año, ya que el medio de transporte posible era el

<sup>16</sup> *Españoles en la 2ª G.M.* <https://www.mve2gm.es/paises/espa%C3%B1a-nacional/venta-de-materias-primas/>

<sup>17</sup> THOMÀS, J. M. *La batalla del wolframio*. Cátedra, 2010

ferrocarril transiberiano. Por mar no podían hacerlo fácilmente debido al bloqueo establecido desde 1939 por la Royal Navy británica. Forzados a buscar otras fuentes de aprovisionamiento, las encontraron en los dos países ibéricos.

Según Thomàs, los Estados Unidos disponían de este metal en su propio territorio y también lo compraban en Argentina y en Bolivia. Pero, a fin de que Japón no obtuviera wolframio chino, compraban toda su producción y la transportaban hacia la India. Una vez allí, la distribuían a los soviéticos, británicos y también se quedaban una parte para ellos mismos. Los japoneses lo conseguían de su colonia de Corea y también de contrabando en China<sup>18</sup>.

	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1938 (enero-agosto)	1938 (enero-agosto)
<b>China</b>	1,9	2,5	4,8	5,1	8,0	9,0	6,3	7,3
<b>Total</b>	3,8	4,4	7,9	8,7	11,4	14,2	8,9	7,3

**Tabla 2. Importaciones alemanas de wolframio en miles de toneladas. Totales y procedentes de China (1933-1939).**

Según las investigaciones de Thomàs, los stocks de wolframio de Alemania disminuyeron desde el año 1939 (5506 toneladas) hasta 1944 (1360 toneladas). En lo que respecta al contrabando, también en España fue tolerado. De hecho, cuando España se vio obligada a suspender las exportaciones de wolframio, este se siguió vendiendo. El propio Thomàs piensa que se continuó permitiendo el transporte de mineral de wolframio a Alemania.

En otro cuadro, Thomàs marca los hechos de la siguiente manera: las adiciones de nuevos recursos de wolframio a los stocks disponibles variaron desde 2700 t wolframio metal en 1939 a 1000 t W en el año 1941, mientras el consumo de metal varió de 4200 t W a 3400 t W en 1941. Es decir, que fueron los acopios anteriores (procedentes de China) los que soportaron el esfuerzo bélico, mientras que las nuevas aportaciones fueron limitadas. El mismo autor señala que, en vista de las dificultades de la renovación de los stocks, la industria alemana aplicó un proceso de racionalización del uso del metal con la simplificación, reorganización, estandarización de armamentos respecto a la utilización del wol-

<sup>18</sup> THOMÀS, J. M. *El tungsteno en la Segunda Guerra Mundial: China, Japón, Alemania, los aliados y la Península Ibérica*. ICREA/Universidad Rovira i Virgili, 2017.



framio. Aunque EE.UU. creía que la cantidad mínima de wolframio que necesitaba la economía alemana era de 3500 toneladas, está claro que pudieron trabajar con menos. Nunca se produjo una escasez crítica de wolframio.

De esta manera, Alemania comenzó a disminuir el uso del wolframio en la producción de proyectiles perforadores de blindaje antitanques (Thomàs, 2017). Los Panzers más avanzados, como el Tiger, utilizaban proyectiles con wolframio capaces de perforar las placas de los tanques rusos. Con la excepción de estas carcasas, se detuvo la producción de todos los demás calibres de núcleo de carburo de tungsteno. También se acordó mantener varias toneladas de wolframio destinadas a las insustituibles máquinas herramienta de corte y perforación.

Este autor presenta la producción española de wolframio desde 1941 a 1943 (320 t - 930 t - 2280 t de wolframio metal) sobre unas adquisiciones germanas de: 800 t - 805 t - 1309 t W metal, y como adquisiciones aliadas: 72 t - 771 t - 3021 t W metal, concluyendo que estas operaciones fueron un verdadero éxito.

#### Los suministros de España y Portugal

Tal como anteriormente se ha expresado, el Gobierno del general Franco autorizó a Alemania constituir dos empresas destinadas a la explotación de wolframio en Galicia. Por ello, los alemanes se



Figura 8. Mina Los Alemanes, Casaio (Ourense). Tomado de <http://casaio.blogspot.com/2009/01/la-mina-de-los-alemanes-en-fotos.html>

dirigieron a dos zonas conocidas, pero insuficientemente explotadas: el grupo minero de Casaio (figura 8) y la comarca de Carballo. Para este último objetivo y, sobre todo, para la explotación de las de Santa Comba-Monte Neme, habían constituido en Vigo una empresa minera. Así, los alemanes llegan a la región minera de Carballo (A Coruña) y en Ciudad de los Alemanes en Carballada de Valdeorras, ya antes del final de la Guerra Civil. Poco después le seguirían las cuencas mineras de Tornavacas (Cáceres), el Bierzo leonés y la Cabrera, y con menos intensidad en Asturias, Zamora y Salamanca<sup>14</sup>.

## Resultados

La escasez de wolframio en las fuerzas del Eje, a pesar de no ser comparable con la falta de otros materiales estratégicos mucho más relevantes, como la gasolina o el caucho, fue uno de los factores que contribuyeron a la disminución de su capacidad ofensiva y defensiva. Alemania llegó a depender del wolframio de Portugal y España, donde lo había estado comprando desde 1936, en cantidades mucho más pequeñas.

Tanto las acciones del Gobierno portugués como el español fueron singularmente oportunistas, anteponiendo sus propios intereses y permitiendo la competencia por el mineral entre Alemania, Reino Unido y Estados Unidos. Esto representó un comercio lucrativo tanto para los Estados ibéricos como para muchos intereses privados. Además, según Thomàs (2010), parece ser que Alemania estaba preparada para el cese de las importaciones de la península ibérica. De esta manera, a partir de 1943 redujo su consumo mensual de 170 toneladas a 100 toneladas, lo que aseguró que sus reservas tuvieran una duración de entre 17 y 40 meses.

Por otra parte, llama la atención, en los estudios realizados en los últimos años, la disparidad de las cifras manejadas, y entre ellas la producción asignada a las minas españolas. El enorme aumento del wolframio producido en España en los últimos años de la contienda merecería una acertada explicación. Son cifras bastante incomprensibles, alrededor de diez veces la producción normal y en un tiempo realmente corto. Las casi 4000 toneladas del año 1943-1944, de ser ciertas, deberían proceder, además de la producción real en mina, de acopios anteriores, de la minería artesanal de la época sobre todo tipo de recursos, como el arranque superficial de los filones o de

otras causas desconocidas, incluyendo el contrabando desde Portugal.

Hablando de hoy, el precio del wolframio depende, básicamente, de dos factores. Primero, la oferta, que de manera fundamental está relacionada con las políticas chinas respecto a su producción y exportación. Durante años, China ha mantenido el precio bajo ampliando su producción a fin de asegurar su participación en el mercado. Segundo, la demanda. Su uso en materiales de alta resistencia lo convierte en un componente relacionado con la nueva industria. Esto significa que cualquier énfasis en la industrialización y el crecimiento puede posiblemente aumentar la demanda del metal y, con ello, su precio<sup>19</sup>.

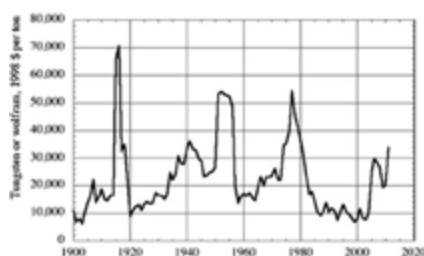


Figura 9. Evolución de los precios del wolframio 1900-2020<sup>20</sup>.

En la figura 9 puede observarse la característica principal de la curva de precios del wolframio, que es su estrecha relación con los periodos de contiendas universales. Hoy, esa dependencia cada vez resulta menos evidente, ya que el papel de este metal en los armamentos actuales es menos ostensible: disminución del blindaje en los elementos de combate, protección electrónica, misiles en vez de artillería convencional y otras.

La producción minera global de este metal en 2018 fue de 84 000 toneladas. En un informe reciente, Roskill afirma que

<sup>19</sup> OLAFSDOTTIR H. y VALA RAGNARSDOTTIR K. Published online, 7 August 2017. Springer International Publishing AG, 2017

<sup>20</sup> SVERDRUP H, ÓLAFSDÓTTIR A. KRISTIN VALA, «Modelling Global Wolfram Mining, Secondary Extraction, Supply, Stocks-in-Society, Recycling, Market Price and Resources, Using the WORLD6 System Dynamics Model». *BioPhysical Economics and Resource Quality*, 2(3), agosto 2017.

las regulaciones ambientales más estrictas en China (82 % de la producción mundial), junto con el agotamiento de sus minas, pueden crear un déficit de wolframio si en los próximos años no se ponen en marcha nuevos proyectos. Las fuertes medidas contra los excesos ambientales en Jiangxi, Hunan y Fujian (las regiones productoras de wolframio más importantes de China) han obligado a algunos productores a paralizar sus explotaciones hasta que sus proyectos se consideraran conformes con las regulaciones ambientales del Gobierno. Esta situación, sin duda, favorecerá el alza del precio del metal, ya que en el horizonte no se aprecian sustitutos a la bajada de la producción china.

La producción española de wolframio nunca ha dejado de existir y, es más, en pocos años podrá alcanzar de nuevo las míticas 4000 toneladas/año de metal cuando dos de sus principales proyectos, La Parrilla y Barruecopardo, se encuentren a pleno rendimiento.

### Las tierras raras y su producción en clave geopolítica

#### Rasgos fundamentales

«Las tierras raras son ingredientes vitales para la producción de una amplia variedad de tecnologías verdes, de defensa y de alta tecnología. Si bien no son particularmente "raras" en disponibilidad, son difíciles y costosas de extraer».

Sin embargo, China (tabla 3) ha llegado a controlar el 97 % de la industria de las tierras raras desde la década de 1990, a través de una producción barata, altos impuestos a la exportación y limitaciones artificiales de la oferta. En la actualidad domina menos, pero aún es enorme su importancia<sup>21</sup>.

La Unión Europea las considera como metales críticos en grado extremo debido, sobre todo, a la fuerte demanda que sufren en los últimos años y a la concentración de su producción. Esta última circunstancia se ha manifestado, probablemente, en la más importante acción geopolítica de los últimos tiempos.

<sup>21</sup> KALANTZAKOS, S. *China and the Geopolitics of Rare Earths*. Oxford University Press, 2018.

País	Producción de tierras raras 2020 en TREO (t en total de TR)	% de la producción mundial	Reservas en mill. t de TR
China	140000	58,3%	44,0
EE.UU.	38000	15,8%	1,5
Birmania	30000	12,5%	-
Australia	17000	7,1%	4,1
Madagascar	8000	3,3%	-
India	3000	1,3%	6,9
Rusia	2700	1,1%	-
Otros	1300	0,6%	
TOTAL MUNDIAL	240000	100%	120,0

Tabla 3. Producción y reservas de tierras raras (USGS, 2021)<sup>22</sup>.

El comportamiento de China como productora abrumadoramente indiscutible es la gran preocupación mundial. La presencia china a nivel de suministro y demanda, las inspecciones medioambientales, el almacenamiento gubernamental, el aumento de la actividad comercial y el crecimiento de la demanda son factores fundamentales que han tensado la oferta.

Para este tipo de metales de interés creciente, se destacan los siguientes factores<sup>23</sup>:

- *Limitaciones impuestas por las condiciones del stock natural.* Aunque los elementos de las tierras raras son relativamente abundantes en la corteza terrestre, rara vez se concentran en depósitos de minerales explotables.
- *La concentración de la producción.* La producción china acapara el 60% del total mundial. Curiosamente, tan solo posee el 35% de las reservas mundiales.

<sup>22</sup> <https://www.usgs.gov/centers/nmic/rare-earths-statistics-and-information>

<sup>23</sup> DE LA TORRE, L. y ESPÍ, J. A. *Predicción del comportamiento en el suministro seguro de los metales de interés energético: la actualidad del litio, cobalto y grafito.* Real Instituto Elcano, ARI 101/2018.

- *La independencia en la producción-coproducción.* Aunque es posible encontrar casos de explotaciones con otros metales y minerales acompañando a la producción, son las tierras raras las que dominan.
- *La variabilidad de los precios.* Las tierras raras no son negociadas en mercados abiertos. Además, son muy sensibles a un gran número de factores externos.
- *Las limitaciones de su sustitución.* Cuando China comenzó a restringir el suministro de tierras raras, las compañías electrónicas japonesas, como respuesta, hicieron esfuerzos para reducir su uso. Sin embargo, no han podido disminuirlas radicalmente.
- *Los factores éticos, sociales y ambientales.* Aunque Adamas Intelligence observa que la producción ilegal de tierras raras en China parece haber disminuido en 2018 y, con ello, numerosos problemas relacionados con la calidad ambiental.
- *El grado en las expectativas de la demanda.* China supone el 66% de la demanda mundial en 2017. Según E. Bulkhalter, existe un consenso en que la demanda crecerá un 5% cada año, con el avance en la producción de los vehículos eléctricos y las turbinas eólicas.
- *La existencia de una adecuada cadena de suministro.* China domina la producción hasta tal punto que sus prácticas de exportación resultaron en una decisión de la OMC en 2014, viéndose obligada a eliminar sus cuotas de exportación. El país mantuvo las cuotas internas de producción, renovó su impuesto a la producción nacional y eliminó los aranceles de exportación, lo que ayudó a bajar los precios. De cara al futuro, se espera que China establezca un límite anual en su producción a partir de 2020. Estados Unidos (figura 11) y la Unión Europea han tomado conciencia de ello. Creemos que no es insalvable encontrar nuevos recursos que superen el nivel de rentabilidad económica impuesto por las cotizaciones actuales.
- *Los factores políticos.* Un embargo chino sobre las tierras raras no es un escenario imposible. Todos están de acuerdo que el problema ocurre porque China produce tierras raras a un precio mucho más bajo que cualquier otro país, alentando a los otros a comprar a China en lugar de invertir en el desarrollo de sus propios suministros.



Figura 10. Explotación de tierras raras en Mountain Pass (California).

### La geopolítica en la producción y en la tecnología

China posee tal monopolio en el sector, que los precios de los elementos de tierras raras se dispararon en 2010 y 2011 cuando el país recortó las exportaciones. Ello provocó un auge para las empresas productoras de tierras raras en todo el mundo, ya que buscaban crear un suministro confiable de estas sustancias fuera de China.

Muchos de estos proyectos no prosperaron cuando los precios de las tierras raras volvieron a caer. En 2014, la Organización Mundial del Comercio falló en contra de las cuotas de exportación chinas, y China eliminó sus limitaciones industriales en enero de 2015. El país también eliminó sus aranceles de exportación para tierras raras en mayo de 2015, lo que provocó una nueva caída en los precios.

La guerra comercial en curso entre Estados Unidos y China ha agregado una capa de complicación al sector de los metales de tierras raras. Si bien se ha sugerido que la posición del país en el mercado podría debilitarse en un futuro próximo, los minerales y metales de tierras raras no se incluyeron en la lista final de aranceles de Estados Unidos sobre productos chinos<sup>24</sup>.

Las tierras raras se utilizan en una variedad de tecnologías diferentes y la demanda es mayor para unas que para otras. Se pueden dividir en categorías «pesadas» y «ligeras» (figura 11)

<sup>24</sup> INVESTING NEWS, «Rare Earth Elements Prices 101». Georgia Williams - May 29th, 2019. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/rare-earth-investing/rare-earth-metals-prices/>





Además (y eso es muy importante), así como en el resto del mundo la economía de las sustancias minerales se rige por los mercados libres en un ambiente de competencia de precios, la economía china resulta casi totalmente dirigida. También es de todos reconocida, al menos hasta ahora, la escasa sensibilidad ambiental y el poco cuidado en los vertidos al entorno en donde se desarrollan gran parte de las explotaciones de las tierras raras chinas. De esta manera, en otros depósitos minerales de este país, las circunstancias de la extracción y, sobre todo, de la separación de los distintos elementos que las componen, vienen acompañadas de una explotación, a veces de carácter artesanal, y una desenfrenada polución ambiental.

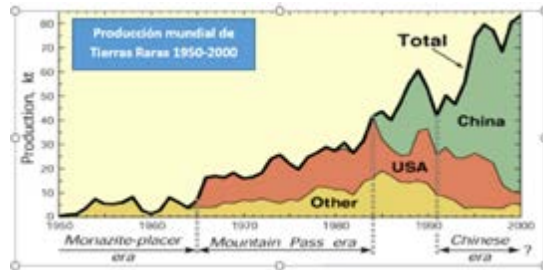


Figura 12. En el gráfico se señalan de manera esquemática los tres periodos de la producción mundial de tierras raras. 1.º) La producción dependía casi exclusivamente de las arenas monacíticas. 2.º) La mina californiana en el último tercio del pasado siglo abastecía las tierras raras pesadas que necesitaba el mundo. 3.º) La producción china, imparable, suministra al planeta las necesidades de tierras raras de todo tipo. Quedaría por saber si los últimos esfuerzos que se están realizando no permitirán la prolongación de esta situación.

Por otro lado, la producción final en mina, en casi todos los proyectos del mundo, acaba con concentrados conteniendo todas las tierras raras del yacimiento de manera conjunta. Eso equivale a decir que, aunque ya estén en forma de hidróxidos metálicos de sus componentes metálicos, su valor es notablemente inferior a las que tendrían de manera separada. Es decir, falta la fase de refinación y separación individual. Este proceso, hasta hoy era difícil y económicamente caro.

Además, China podía recibir, y de hecho ofertaba, la posibilidad de adquisición de concentrados de múltiples tierras raras para proceder a su separación, deduciendo económicamente, claro está, el valor del proceso. Esta era hasta hoy la etapa más

costosa del proceso minero, superando a las fases de extracción de los minerales y los procesos de concentración en planta y el hidrometalúrgico de separación y preparación de los metales. En esto la tecnología y el coste también eran la baza de diferenciación de la industria china. Sin embargo, también hoy esto está cambiando, ya que el esfuerzo de investigación tecnológica propone soluciones para reducir los costes de separación de las tierras raras de mayor interés. Piénsese que entre los 17 metales que las componen existen verdaderos abismos de cotización entre unas y otras (la cesta, *basket*, de precios), dependientes tanto de su rareza como de la demanda específica de las industrias tecnológicas.

Se dice con mucha tranquilidad que las tierras raras no lo son tanto, y eso es verdad, pero después no se comenta el motivo de por qué las leyes o riquezas de su explotación son también semejantes a los metales básicos (níquel, cobre). La razón es consecuencia de la dificultad del proceso para producirlos en forma aceptable para la industria (aislados y en forma elemental). Por ello, es muy comprensible lo sucedido después del pico de demanda alrededor del año 2011. Esta alerta, sobre todo económica, despertó el interés de potenciales productores en todo el mundo, provocando la exploración dedicada al descubrimiento de nuevos depósitos que luego, en gran parte, no se han llegado a materializar, debido a la consecuente bajada de precios en los mercados.

Es decir, que son los precios los que siempre mandan y, en ese sentido, Occidente se encuentra en desventaja con la economía china. Norteamérica ha sido el bloque que más ha tenido interés en deshacer el sistema actual, aunque, eventualmente, ha fracasado. La Unión Europea no ha pasado de meros esfuerzos sin apenas invertir dinero en ello. Pero, sobre todo, la rotura de la presa económica construida por China no resulta un problema de envergadura, sino de una común voluntad política. En el fondo, también es una cuestión de precios.

## Resultados

Algunos comentaristas económicos se preguntan por qué unos metales no tan escasos en la naturaleza (se explotan con concentraciones semejantes a las del cobre, por ejemplo) pueden ser objeto de un control tan desmesurado como el que vivimos en estos momentos. La solución a la pregunta no es difícil de res-

ponder. La colaboración de la naturaleza es incuestionable. Los depósitos minerales buenos (en tonelaje y, sobre todo, en ley o contenido unitario en tierras raras) son un regalo que alcanza, a veces, a unos pocos países.

China se encontró con la propiedad de los yacimientos de Mongolia y las arcillas con tierras raras en donde la naturaleza ya había colaborado en su separación parcial y, además, eran fáciles de concentrar. También, la industria china perseveró en desarrollar procesos tecnológicos económicos para la separación y purificación del conjunto de metales que componen los productos finales de esta minería. Ya se ha mencionado que las tierras raras son muy semejantes y, por ello, difíciles de separar. Sin esa etapa, carecen de valor alguno, al menos hasta que alguien (China en estos momentos) lo realice.

No todo es negativo. La elevación de los precios de los años 2010-2011 provocó un importante desarrollo de la investigación de nuevos procedimientos mucho más económicos que los convencionales y, por ello, ha dado pie a que se puedan explotar recursos minerales antes impensables. Además del desarrollo tecnológico, a partir de la «crisis de las tierras raras» la búsqueda de nuevos recursos también ha dado frutos importantes y hoy existen extensas zonas del mundo con grandes cantidades de estos elementos a disposición de que los precios permitan su aprovechamiento (los recursos de Groenlandia, por ejemplo).

Los resultados están a la vista. En principio, el control de la producción de las tierras raras por parte china ha bajado del 90% al 60%. Sin embargo, aún resulta difícil eludir esta dependencia a causa de la relación de los productores externos con la tecnología económica de separación china y de la producción de los primeros componentes industriales. Siendo el principal consumidor, resultaría complicado, pero no imposible, deshacer ese nudo.

## Conclusiones

Hoy, todo pensamiento serio e informado sobre recursos minerales admite que no existe una amenaza inmediata de agotamiento de cualquier producto mineral de importancia. Además, tampoco existe una teoría económica adecuada sobre la relación entre el precio, la demanda y la oferta en una situación de «suministro incómodo», por lo tanto, tanto los inversores como los paí-

ses productores no son capaces de hacer buenos planes para la inversión y el desarrollo de estos recursos.

Por lo tanto, siempre habrá alzas temporales de precios. De manera general, todos los intentos realizados para estabilizarlos han sido un fracaso, lo que podría causar conflictos, debido a circunstancias tales como las interrupciones políticas de suministros. Hoy más que nunca es una situación no deseable. Además, son causas inevitables los desastres naturales y el agotamiento de los tipos de depósitos tradicionales, con alternativas hacia el cambio a tipos de menor riqueza.

Según Stephen Kesler<sup>25</sup>, la población mundial está creciendo más rápidamente que en cualquier otro momento en la historia, y el consumo de minerales lo hace más rápidamente que la población, en tanto y cuanto nuevos consumidores entran en el mercado de minerales como consecuencia de su aumento en la calidad de vida. ¿Significa esto que nos enfrentaremos a una crisis de suministro de minerales en el siglo XXI? Si es así, podemos resolver esta crisis de suministro de minerales por el aumento de la exploración de nuevos recursos minerales, y por ello se requerirá una más fiable información geológica y un más fácil acceso al territorio.

Las respuestas a estas preguntas deben basarse en las predicciones de la demanda mundial de minerales en el siglo XXI, junto con una mejor comprensión de la relación entre las reservas mundiales de minerales y la formación de los yacimientos. La industria minera ha aumentado sus recursos base debido a los éxitos en la exploración de minerales y los avances tecnológicos y de procesamiento de minerales, superando hasta ahora a la demanda global de los metales. Sin embargo, ello no ha eliminado la tensión en los precios y las posibilidades de enfrentamientos en los mercados.

Sin duda, el factor más importante en la demanda futura de los metales y minerales procederá del aumento de la población y del acceso a nuevos bienes por el desarrollo económico mundial. Sin embargo, existen factores que atenuarán el consumo de minerales y otras materias primas, tales como el nivel económico de los países con mayor incremento demográfico. Los ciclos económicos, el reciclado de los metales y otros factores pueden ser controles de segundo orden en la demanda de nuevos minerales a nivel

---

<sup>25</sup> KESLER, S. E. «Mineral Supply and Demand into the 21st Century». *Deposit Modeling, Mineral Resources Assessment and their Role in Sustainable Development*, 2007, pp. 55-62. USGS Circular 1294.

local. A pesar de que el consumo de minerales per cápita no varía con los ciclos económicos, la tendencia hacia el aumento de la demanda mundial ha sido evidente durante muchas décadas y es más que probable que lo siga siendo durante mucho tiempo más.

Contemplando el futuro, la implantación de conceptos tales como la desmaterialización en la industria, ligada a la idea básica de la economía circular, que, a su vez, forma parte de la sostenibilidad en su sentido amplio, son ya, y lo serán aún más, factores del futuro desarrollo minero. Tampoco hay que olvidar el concepto de eficiencia económica, indispensable para cualquier tipo de progreso, y, bajo el amparo de las tres dimensiones de la sostenibilidad, se proponen para la minería ideas de desarrollo conjunto de los centros productivos. Las herramientas de gestión son variadas, y De la Torre y otros<sup>26</sup> proponen los encadenamientos industriales y el «clúster de desarrollo» como idea central, contando siempre con el apoyo horizontal de la innovación tecnológica.

---

<sup>26</sup> DE LA TORRE, L.; ESPÍ, J. A.; ROMERO, P. «Economic, technological and sustainable qualification with reference to Europe: Iberia's new metal mining projects». *Mineral Economics*. Springer, 2021.



## Capítulo cuarto

### Casos de estudio: el sentido estratégico en algunos minerales

*Paula Adánez Sanjuán*

#### Resumen

En este trabajo se exponen varios casos concretos con el objetivo de ilustrar por qué algunos minerales han tenido o tienen un sentido estratégico. Se ha dividido en tres partes en las que se habla de los minerales de conflicto, eligiendo como ejemplos más ilustrativos el tántalo y el oro artesanal. También se han incluido los recursos minerales «periféricos», como aquellos que se exploran en zonas no convencionales del planeta Tierra, como los fondos marinos o los polos. Finalmente, se han comentado dos casos en los que los recursos minerales han sido motivo de conflicto, como la guerra del Pacífico (1879-1883), también llamada «guerra del Salitre», o el conflicto minero de Pascua-Lama, más actual.

#### Palabras clave

Recursos minerales, conflicto, estratégico, zonas periféricas.

## Case studies: the strategic sense of some minerals

### Abstract

*In this work various specific cases have been displayed with the objective of illustrating why some minerals had or have a strategic sense. In this work, several specific cases are exposed in order to illustrate why some minerals have had or have a strategic sense. It has been divided in three parts, in which conflict minerals are explained and tantalum and artisanal gold have been selected as the most representative ones. In addition, «peripheric» mineral resources have been included, as those that are explored in non-conventional areas of the planet Earth, like seabed or the poles. Finally, it is commented on two cases where the mineral resources have been the cause of conflicts, like the «Pacific War» (1879-1883), called «Salt War», or the more recent Pasqua-Lama mining conflict.*

### Keywords

Mineral resources, strategic, conflict, peripheric areas



## Introducción

Si seguimos al economista de la industria mineral, Humphreys (2015)<sup>1</sup>, el auge de las materias primas de 2004-2012 fue un importante periodo en la historia de la industria minera que provocó importantes cambios. Algunos de ellos fueron esencialmente cíclicos y se revirtieron a medida que los precios fueron cayendo y las empresas se vieron obligadas a ajustar su comportamiento a fin de hacer frente a los problemas de flujos de caja más bajos y de altos niveles de deuda corporativa.

Sin embargo, otros cambios que tuvieron lugar durante estos años, probablemente resulten más duraderos y contribuyan a dar forma a la industria durante los próximos veinte a treinta años. Tal es el caso del comportamiento de los países productores en materia del nacionalismo y proteccionismo. Así, el auge de las materias primas ha visto un resurgimiento del proteccionismo de los recursos a medida que los países ricos en minerales buscaban obtener para sus ciudadanos una mayor participación de los beneficios del explosivo incremento de los precios de algunas materias minerales y mayores controles sobre el desarrollo de la industria local.

Tal nacionalismo de recursos ha tomado muchas formas<sup>2</sup>. Estas incluyen aumentos generalizados en tasas e impuestos, la revisión y reapertura de los contratos mineros existentes (con vistas a imponer condiciones más onerosas), restricciones a la propiedad, participaciones obligatorias en nuevos proyectos para inversores nacionales, bloqueo de empresas extranjeras para que no inviertan en proyectos, o bien estrategias basadas en materias primas y requisitos de beneficio local, y/o restricciones a la exportación para minerales no procesados.

Freeport, que posee la mina Grasberg en Papúa Occidental, la segunda mina de cobre más grande del mundo, y un gran pagador de impuestos en Indonesia, ha estado en disputa casi continua con el Gobierno sobre los términos de su funcionamiento y la tributación de sus exportaciones de concentrados de cobre. La empresa procesa parte de su producción en Indonesia, pero no quiere hacerlo totalmente. El resultado de esa política ha sido que

<sup>1</sup> HUMPHREYS, D. *The remaking of the mining industry*. Basingstoke: Palgrave Macmillan 2015.

<sup>2</sup> HUMPHREYS, D. «The mining industry after the boom». *Mineral Economics*. 2019. 32:145-151.

los gastos en exploración se han desplomado y los únicos inversores aparentemente preparados para tomar el riesgo geopolítico de invertir en la minería y en el sector de los metales han sido empresas chinas.

La guerra comercial entre Estados Unidos y China se transforma en tensión climática. Según el Bank of America, al analizar la situación de las relaciones comerciales mundiales, esta corporación piensa que la guerra comercial que China inició con la administración Trump podría transformarse en una guerra energética y climática en la próxima década.

China deberá seguir ampliando sus exportaciones de maquinaria y productos manufacturados para pagar sus importaciones de productos básicos. Sin embargo, la política de Estados Unidos, e incluso de la UE, podría hacer esto mucho más difícil. Por un lado, aumentará la competencia internacional por los escasos recursos globales en la lucha por contener las emisiones de gases de efecto invernadero. Aunque China produce más materias primas críticas que Estados Unidos para la transición a la energía verde, la participación de mercado de ambos países sigue siendo relativamente baja, lo que podría sentar las bases para la competencia internacional de recursos en América Latina o África. Por otro lado, las crecientes presiones sobre las empresas nacionales europeas y estadounidenses para reducir las emisiones de carbono podrían repercutir en el aumento de los aranceles sobre China, cuya producción industrial es elevada en carbono, a fin de reflejar la intensidad contaminante de cualquier bien importado<sup>3</sup>.

Este es el contexto general en el que se desarrollan los nuevos proyectos de minería mundial. Como se puede apreciar, no es un lugar del paraíso en el que desarrollar la actividad minera y no es de extrañar que en este ambiente se amplifiquen los problemas nuevos o heredados de situaciones más cercanas, tal como apreciaremos a continuación.

### **El grupo de los metales o minerales llamados de conflicto**

El término de *minerales de conflicto* ha tenido tanto éxito que, desde una denominación ciertamente periodística, se ha con-

---

<sup>3</sup> KISHAN, S. «Climate is Next Race for Global Supremacy, Bank of America Says». Bloomberg, febrero 2021. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-02-08/climate-seen-as-next-race-for-global-supremacy-bofa-says>

vertido en una referencia a los procesos de extracción de minerales en circunstancias socialmente complicadas. El término *conflict minerals* ('minerales de conflicto') se utiliza para describir aquellos que, cuando son vendidos o comercializados, corren el riesgo de alimentar conflictos armados y abusos de derechos humanos. Algunas instituciones norteamericanas han identificado casos concretos y, recientemente, la Unión Europea (figura 1) lo ha acuñado refiriéndose, sobre todo, a cuatro metales: tantalio o coltán, wolframio, estaño y oro. Los cuatro, de una forma más o menos directa, se encuentran relacionados con situaciones conflictivas o condiciones humanas degradantes (trabajo infantil, condiciones muy inseguras, sostenimiento de facciones militares insurgentes). Sin embargo, hay que señalar que esto ocurre en contadas ocasiones desde el punto de vista global.



Figura 1. Flujo entre la información sobre el explotador y las recomendaciones o medidas de la UE<sup>4</sup>.

También hay que advertir que también proliferan todo tipo de informaciones muy poco fundamentadas cuyo destino es la utilización periodística, o incluso a nivel novelístico o cinematográfico, y que poca información aporta a la definición de la verdad de esta situación.

En este trabajo, ya que por extensión no se pueden abordar los cuatro metales, se presentan dos de ellos, el coltán y el oro, que quizás sean los más representativos. Queda por advertir que, en el aspecto de la existencia de la pequeña minería, raro es el metal en el que se pudieran buscar casos, puntuales o no, con rasgos comunes a los anteriormente mencionados.

<sup>4</sup> EUROPEAN COMMISSION. *The EU's new Conflict Minerals Regulation. A quick guide if you're involved in the trade in tin, tungsten, tantalum or gold*. March 2017. [http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2017/march/tradoc\\_155423.pdf](http://trade.ec.europa.eu/doclib/docs/2017/march/tradoc_155423.pdf)

## Tántalo, tantalio o «coltán», metal de conflicto

### Propósitos fundamentales

Si de la opinión pública se tratase, el tántalo sería, probablemente, el metal que mayor ámbito ha conseguido, gracias a su utilización como tema periodístico. Sin embargo, conviene matizar y cargar de sentido bastantes aspectos.

### Contexto del caso

El tántalo es un componente esencial para la industria electrónica —con mucho, su mayor consumidora—, contando con un papel central en la miniaturización. En electrónica, es un excelente conductor para fabricar condensadores y resistencias de alta potencia. Además, el tántalo es utilizado por una amplia gama de sectores, como la industria aeroespacial, médica y militar. El mercado del tántalo es difícil de entender. Existen muy pocas minas dedicadas únicamente a la explotación de tántalo y, aunque la producción de este metal crece como subproducto en algunas explotaciones de litio, la minería artesanal y la pequeña minería han continuado tomando un decisivo papel en la cadena de suministro.

### La producción y sus circunstancias

La producción de tántalo se lleva a cabo en muy pocos países (tabla 1). La mayor parte se extrae en Ruanda y la República Democrática del Congo (RDC), formando un área de violencia pasada o actual. Los dos países juntos representan alrededor del 55% de la producción mundial. Además, todavía es más importante la concentración de la producción, ya que, debido al tráfico ilegal, posiblemente una parte importante de la producción de Ruanda, de hecho, pertenece a la República Democrática del Congo<sup>5</sup>. Sin embargo, existen fundadas esperanzas de que esta situación próximamente cambie.

---

<sup>5</sup> KAY, A. «5 Top Tantalum-mining Countries». November 22, 2018. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/critical-metals-investing/tantalum-investing/2013-top-tantalum-producers-rwanda-brazil-drc-canada/>

Producción de tántalo y sus reservas (toneladas de Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		
País	Producción de tántalo en el año 2020, en t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /año	Reservas en t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Australia	30	99 000
Brasil	370	40 000
China	70	ND
RDC	670	ND
Etiopía	60	ND
Nigeria	150	ND
Ruanda	270	ND
Otros	100	ND
<b>TOTAL (aprox.)</b>	<b>1700</b>	<b>&gt;140 000</b>

Tabla 1. Producción mundial de tántalo y sus reservas en el año 2020<sup>6</sup>.

- RDC (producción minera: 670 t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

La producción de tantalita congoleña posee como marca de identidad una fuerte proporción de minería artesanal. En ella se centran las discutibles prácticas mineras que poseen la fama de estar relacionadas con la corrupción. Sin embargo, se han tomado medidas para disuadir a las empresas de comprar tántalo producido de manera poco ética, pero este procedimiento se enfrenta a varios desafíos, tal como se explicará más adelante.

- Brasil (producción minera: 370 t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Brasil es uno de los dos únicos países productores importantes fuera de África. En general, Brasil alberga 40 000 toneladas de reservas de tántalo. La mina de tántalo más grande del país es el proyecto MIBRA, propiedad del Grupo Metalúrgico Avanzado. A la luz de los problemas que enfrenta el tántalo de los proveedores centroafricanos, en los próximos años Brasil podría convertirse en una importante fuente de tántalo para empresas de todo el mundo.

- Ruanda (producción minera: 270 t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Aunque en los dos últimos años su producción ha descendido, aún es uno de los tres grandes productores del mundo. Próximamente, Ruanda contará con la única refinería de minerales de África.

<sup>6</sup> U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *Mineral Commodity Summaries*, 2021. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/niobium-columbium-and-tantalum-statistics-and-information>

- Nigeria (producción minera: 150 t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Ahora, Nigeria es el cuarto país productor de tántalo. Se cree que la nación tiene grandes reservas, aunque se desconoce la cifra exacta. Gran parte de su producción se encuentra en los estados nigerianos de Nasarawa, Kogi, Osun, Ekiti, Kwara y Cross Rivers.

- China (producción minera: 70 t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Aunque en producción primaria apenas supone el 4% de la producción mundial, no así en el suministro de componentes para la industria electrónica.

- Australia (producción minera: 30 t Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

A pesar de que en el año 2020 la producción minera de tántalo fue de tan solo el 1,7% del total mundial, este país está llamado a ser el principal productor del mundo, revolucionando el mercado global. Se espera que causen este cambio las restricciones aplicadas a las producciones africanas, junto con la enorme producción de tántalo como segundo metal en los enormes depósitos de litio australianos.

### Los precios

Revisando la evolución de la curva de precios en los últimos años (figura 2), se aprecia que el último pico de precios comienza en el año 2010. Anteriormente, este metal había obtenido subidas muchas veces espectaculares en relación con diversas circunstancias ligadas a su demanda en productos de alta tecnología.

La desaparición de las producciones tradicionales a comienzos de este siglo propició una fuerte demanda de la tantalita del centro de África, hasta tal punto que ha llegado a suponer la mitad de la producción mundial. Sin embargo, las fuertes restricciones en origen aplicadas a las partidas procedentes de la RDC y Ruanda por los Estados Unidos y Europa a este metal calificado «de conflicto», juntamente con la puesta en producción de megaproyectos en Canadá y Australia, a corto plazo, cambiarán esta situación. Se esperaba que la demanda de niobio y tántalo aumentara a medida que la economía mundial continúa recuperándose de la recesión de 2008.

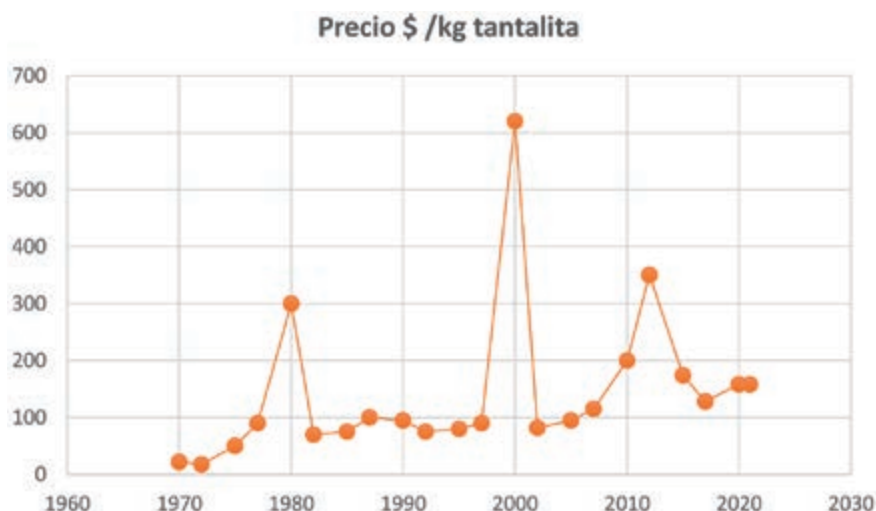


Figura 2. Precio spot de la tantalita en \$/kg Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, basado en los datos del USGS.

La aparición de la COVID-19 truncó momentáneamente esa tendencia, si bien todos los analistas especializados esperan una gradual recuperación, tanto en producción como en los precios. A principios de 2020, el impacto sobre el tántalo fue bastante limitado. A diferencia de muchas industrias, la proporción de suministro de China resulta relativamente pequeña, solo alrededor del 4% de la producción primaria del metal. Los principales proveedores en los últimos años han sido África Central (principalmente la República Democrática del Congo y Ruanda, con una alta proporción de producción artesanal) y Brasil (de las minas Mibra, de AMG, y Pitinga, de Mineração Taboca).

Sin embargo, la producción de subproducto de tántalo de las nuevas operaciones de litio en Australia ha ganado una participación de mercado cada vez mayor. El concentrado de tántalo de Australia representó el 3% de la oferta primaria mundial en 2017, pero ya había aumentado al 14% en 2019. El aumento de la producción de las minas de litio había sido estimulado por la creciente demanda en el sector de baterías de iones de litio. Sin embargo, una desaceleración en el sector de vehículos eléctricos de China en 2019, seguida por el impacto de la COVID-19 en 2020, obligó a la mayoría de los productores australianos a suspender la minería, y algunos continúan produciendo a partir de las existencias<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> ROSKILL. *Tantalum. Outlook to 2030, 16th Edition*, 2021. <https://roskill.com/market-report/tantalum/>

Tal como se dice en el párrafo anterior, todos los agentes involucrados creen que, muy a corto plazo, todo vuelva a la situación anterior a la pandemia.

En los últimos tiempos, los precios del concentrado de tántalo cayeron desde un pico de 100 \$/lb Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a mediados de 2018, con la inclusión de tántalo secundario procedente de las minas de litio australianas, hasta su punto más bajo en agosto de 2019 a 53 \$/lb Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A medida que la oferta australiana se desaceleró, los precios se recuperaron y continuaron aumentando hasta el primer semestre de 2020 a pesar de la COVID-19. Sin embargo, a partir de agosto de 2020 los pronunciados efectos de la COVID-19 en la demanda de tántalo afectaron a los precios, que cayeron de nuevo hasta los 51 \$/lb Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a finales de año. Con un indicio de recuperación en 2021, Roskill espera que los precios aumenten nuevamente a medida que la demanda de tántalo regrese en el año 2021, pero, a largo plazo, el movimiento ascendente de precios será limitado a medida que la oferta australiana vuelva a ingresar en el mercado.

#### España y los suministros

A pesar de los factores favorables, el tántalo apenas ha despertado interés en Europa en los últimos años. Ni siquiera en su prospección. Sin embargo, la puesta en marcha del yacimiento de Penouta, situado en la provincia de Orense (figura 3), cerrado a raíz de la crisis del estaño de 1985, supuso la vuelta a la producción del tántalo y niobio en España. Cabe destacar el esfuerzo tecnológico de los actuales operadores de Penouta para liberar el tántalo en condiciones de máxima eficiencia, invirtiendo tiempo y dinero en buscar soluciones completamente innovadoras. No obstante, la puesta en marcha de la nueva mina de Penouta no ha sido un éxito y se espera que los fallos iniciales puedan corregirse pronto y con eficacia. Quizás una adecuada difusión de las posibilidades que presenta el modelo de stock natural Ta-Nb-Sn podría reconsiderar nuevas áreas a partir de una exploración sistemática de áreas favorables europeas<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> DE LA TORRE L., ESPÍ J. A. «Predicción del comportamiento en el suministro seguro de los metales de interés energético: la actualidad del litio, cobalto y grafito». ARI 101/2018 - 10/9/2018. [http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano\\_es/contenido?WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/elcano/elcano\\_es/zonas\\_es/energia/ari101-2018-delatorrepalacios-espi-prediccion-suministro-metales-interes-energetico](http://www.realinstitutoelcano.org/wps/portal/rielcano_es/contenido?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/elcano/elcano_es/zonas_es/energia/ari101-2018-delatorrepalacios-espi-prediccion-suministro-metales-interes-energetico)



En nuestro país, como en toda Europa, la utilización del tántalo se realiza a nivel de componentes elaborados fuera del continente. Para comprender las repercusiones del suministro externo de tántalo en España, es mucho mejor hablar de Europa.

Así, es casi imposible estimar cuánto tántalo se consume en la UE. Las unidades de tántalo importadas a la UE para su procesamiento a menudo se consumen en otros lugares y las transferencias de material dentro de la empresa son comunes. La UE no es un gran importador de minerales que contienen tántalo. Las importaciones en 2015 fueron de aproximadamente 800 toneladas, que es una cantidad más baja que las importaciones de Estados Unidos y mucho más pequeña que las importaciones de China.

El sector de la transformación de la UE se alimenta en gran medida de materiales procesados o secundarios. Los principales importadores para su uso fueron probablemente la República Checa (172 t), donde AVX tiene una operación de fabricación de condensadores, y Alemania. Este país, debido a la importancia del sector aeroespacial en la UE, es el mayor usuario de superaleaciones en todo el mundo<sup>9</sup>.



Figura 3. La antigua explotación de estaño-tántalo de Penouta.

<sup>9</sup> REFRAM. *Report on balance between demand and supply of refractory metals in the EU*, 2016. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5af1b6fc5&appId=PPGMS>

## El tántalo como metal de conflicto

Los depósitos minerales que contienen tántalo aparecen con abundancia en África Central, donde a menudo son explotados a pequeña escala por mineros locales, lo que se conoce como *minería artesanal*. Los ingresos de la extracción de estos materiales se han utilizado ocasionalmente para financiar conflictos civiles en esta región. La Ley Dodd-Frank de 2011 y su legislación complementaria en la Unión Europea requieren que todas las empresas públicas revelen la fuente de los minerales utilizados en sus productos y certifiquen que no han sido asociados con violaciones de derechos humanos. El tántalo se define como un mineral conflictivo bajo este concepto.

El «conflicto del coltán» ha puesto de relieve la necesidad de una cadena de suministro global transparente que pueda limitar la comercialización de concentrados de tántalo en los mercados internacionales. Por tanto, las empresas proveedoras están obligadas a realizar una investigación para determinar si su tántalo de origen, o alguno de sus derivados, procede de la República Democrática del Congo o de sus países limítrofes. Existen estas y otras regulaciones similares en Canadá y China que limitan el suministro de tántalo en la región, ya que puede ser difícil para las empresas productoras presentar y demostrar que el mineral no proviene de un conflicto armado. Esto ha influido e influirá en el futuro de la geografía de la producción. Se espera que los consumidores de tántalo cambien a suministros libres de conflictos, en gran parte ofrecidos por productores de subproductos de litio, para reducir su dependencia de los suministros artesanales de África Central<sup>10</sup>.

El informe POLINARES considera que los grupos armados se han beneficiado de la riqueza mineral del Congo estableciendo varios «impuestos» y tarifas, mediante extorsión y robo, así como a través del control directo de minas o intermediarios comerciales. Sin embargo, la importancia del coltán como fuente de los ingresos de estos grupos suele ser exagerada. Con la excepción de un boom de coltán de muy corta duración en 2000-2001, nunca fue la fuente sustancial de financiación para el conflicto.

Hasta ahora, los minerales han sido la fuente de ingresos más fácil y disponible para los grupos armados de la zona. Hay poca

<sup>10</sup> POLINARES. *Coltan, Congo & Conflict*. The Hague Centre for Strategic Studies (HCSS), n.º 20.03.13, 2013. <https://hcss.nl/report/coltan-congo-and-conflict/>

evidencia convincente de que la iniciativa centrada en la limitación de los ingresos minerales conducirá a una reducción significativa de la violencia en el RDC. La conclusión del grupo POLINARES es que los resultados limitados ofrecidos por las iniciativas políticas existentes se deben al hecho de que simplemente están abordando síntomas de un problema más profundo.

Por otro lado, aunque la producción de África Central es importante para la industria del tántalo, el valor de las exportaciones de mineral de tántalo de RDC es un orden de magnitud menor que sus exportaciones de casiterita, por ejemplo. El informe más reciente de la ONU estimaba que el comercio de este metal tenía un valor de 160 millones de dólares por año. Incluso considerando algunas conjeturas en estas cifras y la relación cambiante de los precios de los metales, el papel relativo del tántalo en África Central es, por lo tanto, bastante pequeño.

Otra consideración es que el tántalo es un componente muy pequeño de los teléfonos móviles. El valor del tántalo en un teléfono es de tan solo 0,02 dólares, o menor que el 1% de otros metales. Este sector consume un poco menos del 10% de la producción total de tántalo en cualquier año. Afirmar que el uso de tántalo en teléfonos móviles es «la principal fuente de financiación» para la actividad rebelde en la República Democrática del Congo es simplemente una información errónea. Si bien una «mina industrial» generalmente negocia contratos y envía el producto directamente a los procesadores, este no suele ser el caso de los mineros no industriales o artesanales, que generalmente se tratan a través de un intermediario.

## Resultados

La República Democrática del Congo ha sido calificada de «escándalo geológico» porque el país está dotado con enormes riquezas minerales. Estas riquezas minerales podrían haber impulsado el desarrollo económico del país y contribuido a elevar los niveles de vida de su población. Sin embargo, décadas de mala gestión, corrupción y conflicto han convertido a la República Democrática del Congo en un país con uno de los niveles de desarrollo humano más bajos en todo el mundo<sup>11</sup>.

<sup>11</sup> HCSS (The Hague Center for Strategic Studies), FRAUNHOFER ISI, RAW MATERIALS GROUP, BGR. *Coltan, Congo & Conflict*. POLINARES CASE STUDY. The Hague Centre for Strategic Studies, n.º 20. 03.13, 2013.

Como se ha comentado, la desaparición de las producciones tradicionales de Australia y Canadá propició que la producción de tantalita del centro de África supusiera la mitad de la producción mundial. Sin embargo, se prevé que a corto plazo cambie esta situación.

Así, con el mercado de vehículos eléctricos de China recuperándose con fuerza desde mediados de 2020, el sector está preparado para volver a tasas más altas de recuperación de litio y subproducto de tántalo en 2021. Este material ofrece potencialmente un producto más sostenible y rastreable en comparación con el de origen africano, que, a pesar de importantes mejoras durante la última década, sigue estando asociado con temores de minería de conflicto y contrabando ilegal. Además, la nueva regulación de la UE sobre minerales en conflicto entrará en juego en 2021, reforzando los objetivos de la disposición Dodd-Frank de 2010 de EE.UU. El objetivo es poner más responsabilidad sobre los hombros de los consumidores a fin de garantizar la sostenibilidad del producto<sup>12</sup>.

En general, no se esperan incrementos dramáticos en la demanda del tántalo, e incluso en el futuro y en algunas aplicaciones puede caer su demanda. Se espera que Australia, libre de conflictos, y su mina de litio-tántalo Bald-Hill de Tawana Resources cobre mayor importancia, además de la producción de Pilbara Minerals como subproducto de la recuperación de litio en sus nuevos desarrollos. También serán de importancia la pronta terminación del aprovechamiento del tántalo en Wodgina, en Australia, o el proyecto de Abu Dabbad en Egipto y las posibilidades de Mozambique con Noventa. Todos, sobre todo los australianos, harán cambiar el mundo del tántalo.

El oro siempre en conflicto

Propósitos fundamentales

El oro es uno de los metales más conflictivos si consideramos su minería de pequeñas dimensiones, que afecta tanto al medio ambiente en el que conviven las personas como a la salud de los trabajadores y los habitantes de su entorno. Además, ha sido una actividad de la que se ha aprovechado la insurgencia de todo tipo en todo el mundo. Los estudios y esfuerzos por regularizarla

---

<sup>12</sup> ROSKILL, *op. cit.*

también son muy importantes y, para ello, existen mecanismos que cada vez serán de mayor cumplimiento.

## Contexto del caso

### Importancia del fenómeno

Quizás parezca que se abusa de la consideración de la pequeña minería o minería artesanal, pero casi el 20 % de oro mundial procede de ese origen y, lo que resulta más destacable, es el número escandaloso de los pequeños mineros informales. La minería artesanal y en pequeña escala (MAPE) es, en gran medida, una actividad impulsada por la pobreza. En 1999, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) estimó que, aproximadamente, 13 millones de personas estaban directamente involucradas en la minería artesanal y de pequeña escala, incluidas muchas mujeres y niños. Indirectamente, otros 80 a 100 millones de personas en 30 países de todo el mundo dependían de estas actividades para su sustento<sup>13</sup>.

Ahora, el problema se ha agravado. La minería artesanal y en pequeña escala (MAPE) ha experimentado un crecimiento explosivo en los últimos años debido al aumento del valor de los precios del oro y la creciente dificultad para ganarse la vida en la agricultura y otras actividades rurales. Se estima que 40,5 millones de personas participaron directamente en la MAPE en 2017, frente a 30 millones en 2014 y 13 millones en 1999.

### ¿Es el oro un metal de conflicto?

Sin duda el oro es el metal que más conflictos acarrea por todo el mundo. Con arreglo a esa definición de *minerales de conflicto*, el oro ha estado siempre involucrado en toda clase de conflictos. Sin embargo, es en su dimensión de pequeña minería en donde encaja con el propósito de esta definición. Más aún, las actividades de los pequeños mineros muy a menudo (aunque no siempre) provocan verdaderas perturbaciones al medio ambiente y, además, son causa de que aquellos que la practican también se vean envueltos en situaciones de trabajo peligrosas y degradantes. Si a ello unimos el hecho de que del oro, respecto tanto

<sup>13</sup> HENTSCHEL, HRUSCHKA y PRIESTER. «Artisanal and Small-scale Mining. Challenges and Opportunities». IIED, 2003.

a su relativa facilidad de extracción y concentración como a su innegable liquidez y facilidad de venta, frecuentemente ha sido objetivo de financiación de conflictos armados.

Por ello, sin estar en la definición anterior, los efectos nocivos de su minería cuando, por sus dimensiones, no se hace con unas estrictas reglas de preservación ambiental, también se alían en su consideración como de minería conflictiva. Hay que tener en cuenta que un verdadero desastre ecológico no solo se produce por la dimensión individual de un proyecto minero, sino que la acumulación de innumerables pequeñas explotaciones puede arrasar completamente un ecosistema<sup>14</sup>.

#### La producción informal y sus circunstancias

El oro constituye uno de los productos más importantes del sector minero mundial. Entre el 10% y el 20% de la producción mundial de este metal se origina en la minería artesanal y en pequeña escala. Ello supone una base de sustento para la población local. Más de 20 millones de pequeños mineros y sus familias dependen directamente de la extracción de oro. Sin embargo, este tipo de minería se asocia frecuentemente con condiciones de trabajo difíciles, trabajo infantil (figura 4) y riesgos ambientales<sup>15</sup>. Además, las cadenas de suministro de oro asociadas con productos artesanales y de pequeña escala se caracteriza por mayores riesgos de financiamiento de conflictos o contrabando.

Estos problemas se han magnificado debido a la relativa debilidad de la supervisión estatal que es típica de muchos países en desarrollo, así como a la situación jurídica incierta de los operadores de minas de pequeña escala. Legalizar y formalizar el sector de la MAPE y las cadenas de suministro asociadas, por lo tanto, juega un papel importante para facilitar la responsabilidad global en las cadenas de producción de valor del oro.

A veces ilegales o informales, a menudo apenas toleradas por las autoridades, las actividades de la MAPE pueden ser estacionales o durante todo el año, a largo plazo o siguiendo un ciclo de auge

<sup>14</sup> ESPÍ, J. A. «El entorno natural y social afectado por la minería del oro». *El Libro de la Minería del Oro en Iberoamérica*, capítulo 6, 2001. CYTED. Editor: J. A. Espí.

<sup>15</sup> STÄHR, F., SCHÜTTE, P. «Responsible Gold Sourcing from Artisanal and Small-Scale Mining Scoping Study on Developing Pilot Supply Chains». *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe* (BGR), 2016.



Figura 4. Actividad minera infantil en una explotación de oro en Burkina Faso. Foto: J. A. Espí.

y caída<sup>16</sup>. Los datos demográficos varían considerablemente y se pueden representar todos los grupos de edad. Las comunidades pueden comprender poblaciones locales o pueden generarse a través de una inmigración extensa. La MAPE puede ser una actividad de subsistencia familiar en la que hombres, mujeres y niños participan durante todo el proceso de trabajo minero. Algunos mineros de oro artesanales y de pequeña escala se caracterizan por ser trabajadores pobres, migrantes y estacionales que dividen su tiempo entre la minería y otras actividades económicas<sup>17</sup>.

#### Importancia del fenómeno

Las condiciones previas para la minería de oro artesanal y en pequeña escala en todo el mundo son muy variables. Esta cues-

<sup>16</sup> BUXTON, A. *Responding to the challenge of artisanal and small-scale mining. How can knowledge networks help?*. London: IIED 2013.

<sup>17</sup> WHO (World Health Organization). *Environmental and occupational health hazards associated with artisanal and small-scale gold mining*. Printed by the WHO Document Production Services, Geneva (Suiza), 2016.

ción se relaciona la pobreza en algunas áreas, mientras que en otras es una ocupación tradicional. Puede ser totalmente ilegal o, por el contrario, incluso estar subvencionada y apoyada por el estado. La explotación de oro (figura 5) puede seguir siendo una forma de vida reconocida durante varias décadas en comunidades estables, pero en otras puede estar tipificada por migraciones incontroladas de «fiebre del oro» de miles de mineros.



Figura 5. Minero joven en Burkina Faso. Foto: J. A. Espí.

A nivel mundial, la MAPE es un contribuyente importante a los sectores económicos formales e informales. Su crecimiento continuo significa que los peligros ambientales asociados y los impactos adversos para la salud humana seguirán siendo problemas importantes. Esto resulta un tema complejo y es evidente que los proveedores de atención médica necesitan más educación y capacitación sobre la detección y vigilancia sobre cómo desarrollar un diálogo con los trabajadores para comprender mejor sus condiciones y tratarles con eficacia. De manera similar, es fundamental educar a los mineros, sus familiares y comunidades sobre los peligros de la MAPE para la salud humana y el medio ambiente<sup>18</sup>.

<sup>18</sup> HENTSCHEL, HRUSCHKA y PRIESTER, *op. cit.*



## Oportunidades

Aunque existen enormes minas de oro en todo el mundo, las explotaciones artesanales emplean alrededor de diez veces más personas, generalmente trabajadores que no son elegibles para un empleo en la minería industrial debido a la falta de educación formal y experiencia. Además, las ganancias de los pequeños mineros tienden a gastarse localmente o enviarse como remesas a otras comunidades pobres, apoyando el crecimiento económico sostenible en las comunidades locales.

La minería a pequeña escala puede ser una opción de sustento adaptable para las personas vulnerables o que buscan diversidad económica en sus medios de sustento. De hecho, la MAPE genera hasta cinco veces los ingresos de otras actividades rurales impulsadas por la pobreza en la agricultura y la silvicultura. En general, el sector emplea diez veces más personas que el sector de la minería a gran escala y estimula un desarrollo económico local considerable alrededor de los sitios MAPE<sup>19</sup>.



Figura 6. Minería femenina de bateo en Burkina Faso. Foto: J. A. Espí<sup>20</sup>.

<sup>19</sup> IIED. «Responding to the challenge of artisanal and small-scale mining How can knowledge networks help?», 2013. [www.iied.org](http://www.iied.org).

<sup>20</sup> No lejos de la localidad de Bobó, en Burkina Faso, un grupo de mujeres batean el oro laterítico superficial, mientras los hombres se dedican a la minería artesanal subte-

Llevar la MAPE a la economía formal a través de la legalización beneficia a los Gobiernos, ya que estos reducen las transacciones financieras ilícitas, recaudan impuestos y, a menudo, ven una reducción posterior de la delincuencia en estas regiones. La MAPE es reconocida por las principales organizaciones de desarrollo del mundo, como la ONU, el Banco Mundial y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial, por tener el potencial de ser un motor importante para el desarrollo rural, mejorando la vida en grandes áreas rurales.

En un ya antiguo informe generado por la MMSD, Hruschka y otros afirman que el sector de la MAPE debe ser reconocido como un importante generador de medios de vida rurales que tiene el potencial de aliviar pobreza y ser una herramienta para el desarrollo sostenible. Hasta qué punto la MAPE puede contribuir a ello dependerá de la naturaleza de la minería. Iniciativas dirigidas al apoyo al sector deben verse en el contexto de toda la comunidad. Si la explotación es repentina y de corta duración, se debe hacer un esfuerzo particular para intentar estabilizar la situación local de la comunidad. En el caso de operaciones estacionales remotas, el problema principal es cómo integrar el sector de la MAPE en la comunidad local y animar a que las ganancias se inviertan en otras formas de actividad económica y servicios.

Existen ejemplos particulares de la actividad minera artesanal con resultados positivos, sobre todo respecto a la incorporación de la mujer a una minería no dañina y compatible con otras actividades, tal como se describe en la figura 6.

#### Cuestiones de economía

Si el 10% de la producción minera mundial de oro se deriva de MAPE, a los precios actuales del mercado tiene un valor estimado de alrededor de los 20000 millones de dólares. En algunos casos, los mineros artesanales individuales solo reciben aproximadamente un tercio del valor del oro contenido, mientras que en otras cadenas de suministro reciben más del 90% del valor del oro contenido. Estas cifras demuestran que el oro artesanal y de pequeña escala podría hacer una contribución significativa a la reducción de la pobreza en muchos países (figura 7) en desarrollo.

---

rránea, explotando filones. Las mujeres tienen su propio mercado de oro y los jueves de cada semana venden lo obtenido. Ellas sienten orgullo de su actividad.



Figura 7. Explotación semiartesanal en Mozambique. En este caso falla el poco respeto medioambiental sobre el entorno en que trabajan.

Los precios

El oro alcanzó un nuevo récord histórico en agosto del año 2020, cuando superó los 2060 dólares la onza. Pero ese alto umbral resultó insostenible, ya que los precios retrocedieron al rango de 1900 \$/onz Au a 1950 \$/onz Au en septiembre (figura 8).



Figura 8. Evolución del precio del oro en los diez últimos años, siempre en valores muy elevados. Precios en \$/gAu.

Si bien el periodo por encima de los 2000 dólares fue lucrativo para los inversores en oro, evidenció una economía mundial con problemas y los desafíos creados por la pandemia mundial prolongada.

En ese momento, un comentarista explicaba: «... si el virus cede, las economías se abren de nuevo y todo vuelve a la normalidad, también lo hará el precio del oro». La incertidumbre fue motivadora, ya que los inversores buscaron refugios seguros para protegerse contra un panorama económico que empeoraba. Al final del año 2020 y lo que ha transcurrido de 2021, parece que el oro se encuentra más o menos estable alrededor de los 1890 \$/onz Au. Ahora todo son pronósticos, muchas veces, exagerados.

Respecto a la influencia del precio en la actividad minera informal, este factor ha sido el determinante de que muchos pequeños mineros hayan invadido repetidas veces sus antiguos campos de producción. Ahora, con el precio del oro por las nubes, este efecto ahondará todavía más la proliferación de la minería informal y todavía será mucho más necesaria la búsqueda de una solución a la situación de necesidad social provocada por la pandemia.

#### España y los suministros

En la actualidad, en España tan solo existe un proyecto productor de oro, Orovalle, en Asturias, aunque también existen otros en estudio o en fase de exploración. Su producción, inferior a 100000 onz Au/año (alrededor de tres toneladas anuales de oro), es moderada, al igual que ocurre con el resto de proyectos en preparación. Los altos precios del metal amarillo, sin duda, favorecerán su puesta en marcha o la reactivación de los que están invernando. La explotación de Orovalle es moderna y cuenta con la aceptación social de los habitantes de su entorno.

#### Resultados: normas y reglamentos internacionales

En los últimos años, los debates sobre el control de la cadena de suministro han demostrado que las empresas que actúan como sus integrantes pueden contribuir a mejorar las condiciones de extracción de minerales, para beneficio mutuo.

El oro fue definido como un «mineral de conflicto» por la Ley Dodd-Frank de EE.UU. (2010) hacia los minerales originarios

de África Central y Oriental. La ley requiere que se controle de manera estricta su cadena de suministro. Las referencias asumidas proporcionan las directrices de la OCDE. Las pautas son una referencia básica para las cadenas internacionales de suministro de oro, y debe tenerse en cuenta en la cadena de suministro responsable de la MAPE.

La normativa europea también aprovecha lo definido por la OCDE. De esta forma, los importadores de la UE deben identificar y abordar los riesgos reales y potenciales vinculados a las zonas afectadas por conflictos y las zonas de alto riesgo cuando llevan a cabo operaciones en su cadena de suministro.

Esto debería ayudar a prevenir o mitigar cualquier impacto negativo que sus actividades de abastecimiento puedan tener en las personas en áreas afectadas por el conflicto. Los Estados miembros de la UE son responsables de comprobar que los importadores respetan los requisitos que establece el reglamento. Es decir, los importadores de minerales y metales de la UE deberán asegurarse de que se abastecen de fundiciones y refinerías responsables. Para ello, la Comisión elaborará una «lista global de fundiciones y refinerías responsables» que se considera que cumplen los requisitos del reglamento.

Los autores citan que en los últimos años se observa que algunas refinerías de oro están usando su influencia para mejorar las condiciones de trabajo en las minas de oro de la MAPE. Suiza, en particular, ha iniciado acciones importantes a este respecto.

De manera general, en la política de suministro de las empresas relevantes el control en las cadenas de suministro, basada en guiar principios desarrollados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), es ahora el estándar ampliamente aceptado, que requiere que las empresas cooperen estrechamente con sus proveedores e intercambien información. Como en un procedimiento de certificación, los requisitos para cumplir con estándares específicos y el desarrollo progresivo en la mina son los objetivos generales de una cadena de suministro responsable.

Las refinerías de oro representan un punto de apalancamiento central en términos de control y práctica responsable en las cadenas de suministro de oro. Actualmente, estos refinadores no están comprando cantidades significativas de oro de fuentes mineras artesanales y en pequeña escala.

## Los minerales y metales periféricos

El continuo desarrollo de la sociedad moderna y los avances en investigación y tecnología llevan de la mano la necesidad de nuevos materiales. Esta demanda creciente de recursos minerales ha inspirado la exploración en nuevas zonas del planeta no consideradas hasta los últimos años. En este trabajo se han denominado como «zonas periféricas» aquellas zonas no convencionales del planeta que podrían tener un gran potencial como fuente de recursos minerales en un futuro cercano.

Esta denominación se ha tomado con el fin de considerar los recursos que, conociendo su situación y circunstancias de su aprovechamiento, se encuentran, hoy por hoy, en la frontera de lo posible. Es decir, que son materiales en línea de conflicto, ya que no poseen una propiedad totalmente definida y, además, su aprovechamiento supone un reto tecnológico y/o económico. Sin embargo, son una reserva para la humanidad y se sitúan entre la preservación ambiental y las dificultades tecnológicas. Una clasificación podría ser:

- Recursos situados en el límite o frontera de la tecnología disponible de hoy: son los recursos de los fondos marinos en sus variedades fundamentales. También presentan retos sobre la afectación de un entorno ambiental muy desconocido.
- Recursos superficiales (y a veces marinos) en áreas territorialmente poco definidas en zonas climatológicamente extremas y despobladas: son los recursos de los territorios polares. Aquí los retos tecnológicos pueden ser asumibles, pero existe una voluntad de preservación muy acusada.

Este tipo de exploración es una realidad en zonas como los fondos marinos o la exploración en los casquetes polares, si bien el Tratado Antártico no permite la explotación de ningún material y en el Polo Norte existen varias zonas de conflicto para los recursos de todo tipo entre países árticos. Las restricciones voluntarias de estos son diversas según de quien se hable.

Los recursos de los fondos marinos y los tratados internacionales

Los océanos cubren aproximadamente tres cuartas partes de la superficie terrestre y sus fondos se encuentran prácticamente inexplorados. Próximamente, la minería en los fondos marinos va a ser una actividad bastante común, siempre que los precios

de productos básicos aumenten, o la tecnología evolucione y sea capaz de reducir los costos de extracción y del procesamiento de los minerales. La arena y la grava llevan décadas dragándose en el océano Atlántico y los placeres marinos de estaño, de platino, de oro y diamantes han sido significativos a nivel local<sup>21</sup>.

Desde los años 60-70 se han venido realizando una serie de investigaciones en fondos oceánicos como respuesta a la disminución de nuevos descubrimientos de yacimientos minerales. La exploración de los fondos marinos se considera beneficiosa para la humanidad más allá del simple conocimiento de los recursos minerales, incluyendo el conocimiento científico del medioambiente marino, que será crítico en cuanto a la «economía azul», así como al desarrollo tecnológico. Así mismo, la minería en los fondos marinos tiene el potencial de contribuir al desarrollo y bienestar global. Primero, debido al crecimiento de la población mundial, que necesitará de minerales cada vez más críticos, como fuentes de recursos fiables, limpios y explotados éticamente. Segundo, la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho Internacional del Mar (CNUDM) ha dejado de lado la zona internacional del fondo marino como un patrimonio común de la humanidad, para ser utilizado en beneficio de la humanidad como un todo. Los beneficios deben, por tanto, ser compartidos equitativamente entre todos los Estados<sup>22</sup>.

### Legislación en los fondos marinos

#### La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA)

El organismo que se encarga de legislar respecto a los fondos marinos es la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (International Seabed Authority, ISA), creada en 1994, de acuerdo con la Convención de 1982 de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM). Está compuesta por 167 Estados miembros y la Unión Europea. La ISA es la organización a través de la cual las partes de la CNUDM se deben organizar y deben controlar todas las actividades relacionadas con las materias primas en la zona internacional de los fondos marinos, denominada *La Zona*.

<sup>21</sup> PRICE, J. G. y ESPÍ, J. A. «Disponibilidad y retos actuales de los recursos minerales para la sociedad». *Boletín Geológico y Minero*, 125(1), 2014, pp. 3-29.

<sup>22</sup> INTERNATIONAL SEABED AUTHORITY. <https://www.isa.org.jm/es/node/19112>

La ISA regula, por tanto, las actividades de exploración y futura explotación de minerales submarinos más allá de las jurisdicciones nacionales, con el objetivo de asegurar una protección efectiva del medioambiente marino de los efectos que puedan derivar de la exploración y explotación de La Zona. Otro aspecto crítico de la ISA es promocionar e incentivar la investigación científica en los fondos marinos, así como coordinar y divulgar los resultados de dichas investigaciones y análisis.

#### Las zonas marítimas

Según la CNUDM, los fondos marinos se dividen en varias zonas de exploración:

- El «Mar Territorial» es el área hasta las 12 millas náuticas sobre la cual un país tiene derecho de soberanía para el espacio aéreo, agua, suelo y subsuelo marino.
- La «Zona Económica Exclusiva» (ZEE), entre las 12 y 200 millas, en la que un país tiene soberanía para la exploración, explotación, conservación y administración de los recursos naturales de las aguas, suelo y subsuelo marino.
- La «Plataforma Continental», más allá de las 200 millas, y ampliable hasta las 350 millas. En esta zona un país tiene derechos para explorar y explotar recursos naturales del suelo y subsuelo marino, aunque se debe pagar una tasa.
- El resto de los fondos marinos constituyen «La Zona», que es considerada, junto con sus recursos, patrimonio común de la humanidad, y cubre alrededor del 54% del área total de los océanos. Esta zona queda bajo la jurisdicción de la ISA.

#### Particularidades de «La Zona»

De conformidad con la CNUDM, la exploración y la explotación de los minerales de los fondos marinos en La Zona solo pueden llevarse a cabo suscribiendo un contrato con la ISA y con sujeción a sus normas, reglamentos y procedimientos. Pueden adjudicarse contratos a empresas mineras tanto públicas como privadas, siempre y cuando estén patrocinadas por un Estado parte de la CNUDM y cumplan determinados requisitos. En última instancia, las ventajas económicas de la explotación minera de los fondos marinos deben ser compartidas



en «beneficio de la humanidad en su conjunto», con especial énfasis en los países en desarrollo, que carecen de tecnología y capital para explotar por sí mismos los minerales de los fondos marinos<sup>23</sup>.

Dentro de «La Zona», la ISA ha otorgado permisos de hasta quince años a países y empresas para la exploración de nódulos polimetálicos, sulfuros polimetálicos y costras de ferromanganeso ricas en cobalto. Las áreas que están siendo exploradas son la zona de Clarion-Clipperton, el océano Índico, la dorsal centro-atlántica, el océano sud-Atlántico y el océano Pacífico. La ISA ha concedido hasta la fecha treinta permisos de exploración. Actualmente, para nódulos polimetálicos (75 000 km<sup>2</sup>), para los sulfuros polimetálicos (10 000 km<sup>2</sup>) y para costras de ferromanganeso ricas en cobalto (3 000 km<sup>2</sup>)<sup>24</sup>.

Entre los Gobiernos nacionales que participan están los de Alemania, China, la Federación de Rusia, Francia, la India, Japón y la República de Corea, y los que pertenecen a la Organización Conjunta Interocean Metal (consorcio formado por Bulgaria, Cuba, Eslovaquia, Rusia, Polonia y la República Checa). También se han adjudicado contratos a empresas privadas patrocinadas por los Estados partes desarrollados y en desarrollo.

Ahora, la prioridad principal de la Autoridad es elaborar un régimen jurídico para la explotación de estos recursos. Esto implica tener en cuenta una serie de cuestiones tecnológicas, financieras y ambientales. Se debe encontrar la forma de equilibrar los beneficios sociales de la explotación minera de los fondos marinos con la necesidad de proteger el medio marino. El hecho de que ninguna parte de La Zona pueda ser explotada sin el permiso de la Autoridad garantiza que los impactos ambientales de la explotación minera de los fondos marinos serán vigilados y controlados por un organismo internacional. Sin embargo, es evidente que la explotación minera afectará al medio marino de algún modo. Durante la exploración se deben recopilar datos sobre las especies e investigar los posibles efectos a largo plazo de la explotación minera<sup>25</sup>.

---

<sup>23</sup> LODGE, M. «La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos y la explotación minera de los fondos marinos». *Crónica ONU*. <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-autoridad-internacional-de-los-fondos-marinos-y-la-explotacion-minera-de-los-fondos-marinos>

<sup>24</sup> ISA. «Exploration Areas». <https://www.isa.org.jm/index.php/es/node/17209>

<sup>25</sup> LODGE, M., *op. cit.*

## Los fondos marinos como fuentes de recursos minerales

El interés comercial se concentra actualmente en tres tipos de yacimientos de minerales marinos: nódulos de manganeso, costras de ferromanganeso con alto contenido en cobalto y sulfuros polimetálicos submarinos (figura 9):

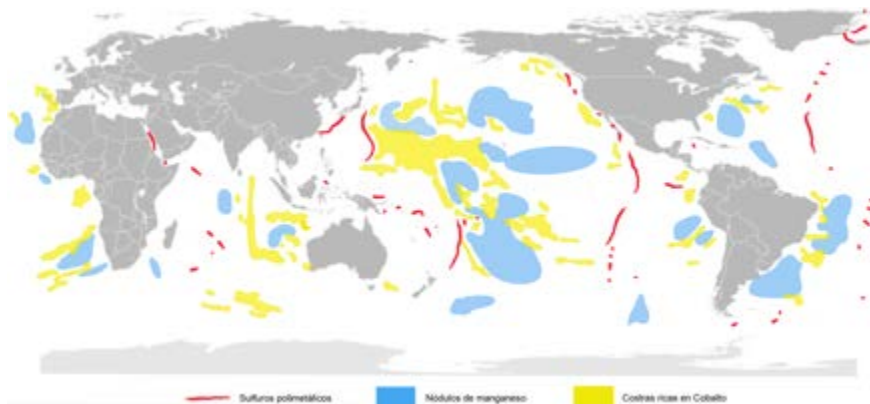


Figura 9. Distribución de los depósitos de nódulos de manganeso (áreas azules), costras de ferromanganeso con alto contenido en cobalto (áreas amarillas) y sulfuros polimetálicos submarinos (puntos rojos) (Fuente: Hannington et al., 2017)<sup>26</sup>.

Los **nódulos de manganeso** se encuentran como material suelto que yace sobre la superficie del lecho marino, en las llanuras abisales. Los nódulos son concreciones de formas subesféricas formadas por la precipitación de minerales disueltos alrededor de un núcleo. Su tamaño medio suele ir de dos a ocho centímetros, pudiendo llegar hasta veinte. Contienen una amplia variedad de metales como manganeso, hierro, cobre, níquel, cobalto, plomo y cinc, así como menores concentraciones de molibdeno, litio, titanio y niobio, entre otros. La zona de mayor interés comercial es la de Clarion-Clipperton, en el Pacífico oriental, a profundidades de entre 3500 y 5500 metros. Solamente este yacimiento contiene más níquel, manganeso y cobalto que todos los recursos terrestres juntos. Otras zonas de potencial interés son la Cuenca Central del océano Índico y la cuenca de Perú.

<sup>26</sup> HANNINGTON, M., PETERSEN, S. y KRÄTSCHHELL, A. «Subsea mining moves closer to shore». *Nature Geoscience*, n.º 10, 2017, pp. 158-159. <https://doi.org/10.1038/ngeo2897>

Los **sulfuros polimetálicos submarinos** son ricos en cobre, hierro, cinc, plata y oro. Estos depósitos se formaron por la actividad hidrotermal a altas temperaturas y están ligados a procesos de formación de corteza oceánica, así como a la actividad volcánica submarina. Se localizan tanto a lo largo de los límites de placas tectónicas como en zonas de volcanismo intraplaca. Estas emisiones hidrotermales forman, además, ecosistemas únicos. Muchas de las especies se consideran endémicas de estos emplazamientos, por lo que se considera que estos hábitats tienen un valor científico intrínseco.

Las **costras de ferromanganeso con alto contenido en cobalto** se acumulan a profundidades marinas de entre 400 y 7000 metros, en los costados y en las cimas de los montes submarinos. Se forman por la precipitación de minerales presentes en el agua de mar formando capas subparalelas. Contienen hierro, manganeso, cobalto, níquel, cobre, plomo, molibdeno, vanadio, telurio y tierras raras, además de cantidades significativas de elementos del grupo del platino. La zona de prospección más prometedora se encuentra en los montes submarinos de Magallanes, en el océano Pacífico, al este del Japón y las islas Marianas.

#### Exploración de los fondos marinos en España

En España se han estudiado y encontrado depósitos minerales en áreas de la jurisdicción nacional, así como en regiones que se encuentran dentro de la propuesta para la ampliación de los límites de la plataforma continental de España, registradas y presentadas ante la ONU<sup>27</sup>. Estos trabajos han sido liderados por el Instituto Geológico y Minero de España desde finales de la década de 1970. Concretamente, el Servicio de Cartografía Geológica Marina del IGME participa en acciones nacionales e internacionales para la investigación de minerales submarinos a través de varios proyectos.

En España, las tres áreas de mayor interés son el golfo de Cádiz, el margen oeste de Galicia y los montes submarinos de las islas Canarias (figura 10).

<sup>27</sup> MARINO, E. et al. «Llega la era de la minería submarina». *Tierra y Tecnología*, n.º 49, 2017.

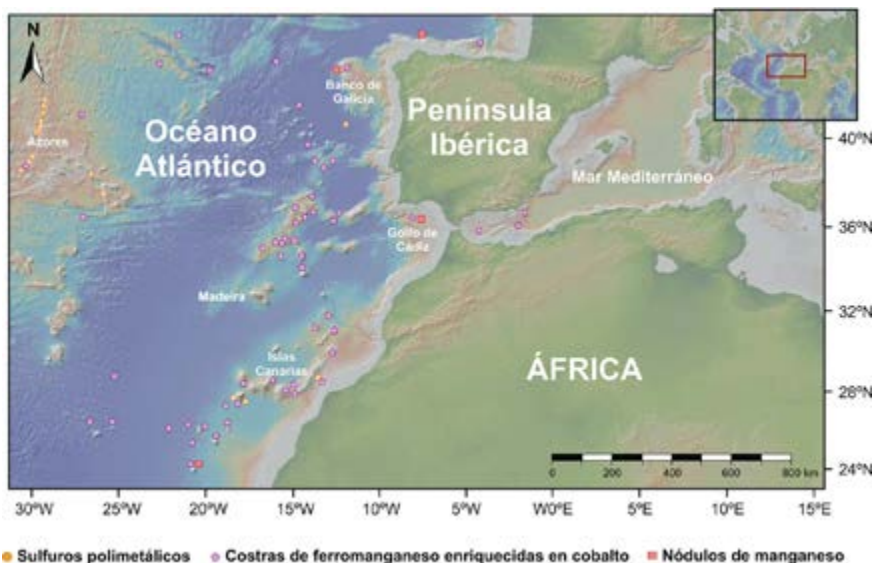


Figura 10. Mapa de situación con los diferentes depósitos submarinos de minerales polimetálicos que se han encontrado en aguas españolas y portuguesas (IGME).

En el golfo de Cádiz hay extensos campos de nódulos de ferromanganeso. Están acompañados de campos de chimeneas. Estos nódulos son ricos esencialmente en hierro y manganeso, mientras que, por el contrario, son pobres en elementos traza como níquel, cobre y cobalto. También en esta zona se encuentran costras de hierro-manganeso fosfatizadas, conformando un pavimento sobre el suelo marino del denominado Banco del Guadalquivir<sup>28</sup>.

En el margen oeste de Galicia hay montes submarinos reactivados y elevados durante el proceso tectónico pirenaico en el Cenozoico y posteriormente influenciados por la convergencia entre las placas ibérica y euroasiática. En esta región se han formado, principalmente, enlosados de fosforitas, nódulos de manganeso enriquecidos en cobalto/hierro, nódulos ricos en hierro y costras de hierro-manganeso<sup>29</sup>.

<sup>28</sup> GONZÁLEZ, F. J. *et al.* «Ferromanganese nodules and micro-hardgrounds associated with the Cadiz Contourite Channel (NE Atlantic): Palaeoenvironmental records of fluid venting and bottom currents». *Chemical Geology*, vol. 310-311, 2012, pp. 56-78. doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.03.03.

<sup>29</sup> GONZÁLEZ, F. J. *et al.* «Phosphorites, Co-rich Mn nodules, and Fe-Mn crusts from Galicia Bank, NE Atlantic: Reflections of Cenozoic tectonics and paleoceanography». *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 17, n.º 2, 2016, pp. 346-374.

La Provincia Volcánica de las Islas Canarias contiene un gran número de montes y colinas submarinas. Todas estas elevaciones tienen un origen volcánico y se deben a una zona de manto superior anormalmente caliente que a lo largo de más de 160 Ma ha promovido el ascenso de magma. En este conjunto se han encontrado varios depósitos de minerales submarinos. Destacan en extensión y tonelaje las costras de ferromanganeso ricas en cobalto, que cubren prácticamente todas las elevaciones submarinas de la zona. Estos depósitos son ricos en hierro, manganeso y elementos trazas como cobalto, níquel, vanadio, tierras raras y elementos del grupo del platino. Además, el telurio puede aparecer muy enriquecido con respecto a valores medios de la corteza terrestre. Otros depósitos importantes son los nódulos de manganeso y las fosforitas<sup>30</sup>.

## Resultados

Está claro que la futura explotación de los fondos marinos es una realidad imparable. La aprobación de la CNUDM en 1982 fue uno de los mayores logros de las Naciones Unidas. Una de las contribuciones más importantes de la Convención es que situó más del 50% del fondo marino bajo jurisdicción internacional, como patrimonio común de la humanidad, fuera del alcance de cualquier Estado en particular. Las perspectivas de una explotación sostenible de los recursos minerales de los fondos marinos son muy satisfactorias, pudiendo contribuir a un desarrollo sostenible, especialmente para los países sin litoral y en situación geográfica desventajosa y para los pequeños Estados insulares en desarrollo que dependen principalmente del océano y sus recursos para su desarrollo económico. Si bien, en muchos casos, queda por resolver, además de las condiciones técnicas y económicas de su extracción, la constatación de su neutralidad ambiental.

## Los minerales polares y la salvaguardia internacional

El inexorable aumento mundial de la demanda procedente del crecimiento demográfico del planeta y de la mejora del nivel de

<sup>30</sup> MARINO, E. *et al.* «Strategic and rare elements in Cretaceous-Cenozoic cobalt-rich ferromanganese crusts from seamounts in the Canary Island Seamount Province (Northeastern tropical Atlantic)». *Ore Geology Reviews*, vol. 87, 2017, pp. 41-61.

vida de sus pobladores hace que se miren con cada vez mayor atención las regiones que, como los polos, todavía albergan recursos hasta ahora en el límite de su aprovechamiento. Esta postura se ve apoyada por la degradación cada vez más acusada de las riquezas y calidades de los recursos minerales convencionales. Ello hace que lugares como el Polo Norte y el Polo Sur se conviertan en potenciales lugares de exploración y explotación minera. Esto conlleva unas consideraciones científicas y éticas que deben tenerse en cuenta.

### Cuestiones sobre la minería en la Antártida

La Antártida es el continente más austral de la Tierra. Se sitúa en el hemisferio sur, casi enteramente al sur del círculo polar antártico, y está rodeada por el océano Antártico. En este continente se sitúa el polo sur geográfico. Casi el 98% de su territorio (14 millones de km<sup>2</sup>) está cubierto por hielo.

#### Los recursos minerales en la Antártida

Según un estudio publicado por el USGS en 1984<sup>31</sup>, los indicios de minerales son abundantes a lo largo de toda la Antártida. Entre ellos, el hierro es probablemente la sustancia que forma los yacimientos más grandes en la Antártida. Su distribución sugiere una provincia metalogenética de hierro en el este. Los depósitos más extensos son los de tipo BIF (hierro bandeado). También son comunes los indicios de cobre, molibdeno y otros metales relacionados, pero no parecen ser recuperables, por estar muy erosionados o no ser lo suficientemente conocidos. Los yacimientos secundarios de cobre sí son más abundantes (sulfatos y cloruros). La cromita se encuentra en forma disseminada o en capas en una intrusión de dunita en la isla Gibbs. La intrusión puede contener minerales de níquel y cobalto, y posiblemente grafito y asbesto. Sin embargo, la intrusión de cromita no parece tener valor comercial. El uranio y torio contenidos en euxenita aparecen en pegmatitas en el área de la bahía de Lutzow-Holm. No se han observado concentraciones significativas de metales preciosos; solo en algunos lugares se han encontrado como trazas de minerales de sulfuros (figura 11).

<sup>31</sup> BEHRENDT, J. C. «Petroleum and Mineral Resources of Antarctica». *US Geological Survey*. 1983, 82 pp.

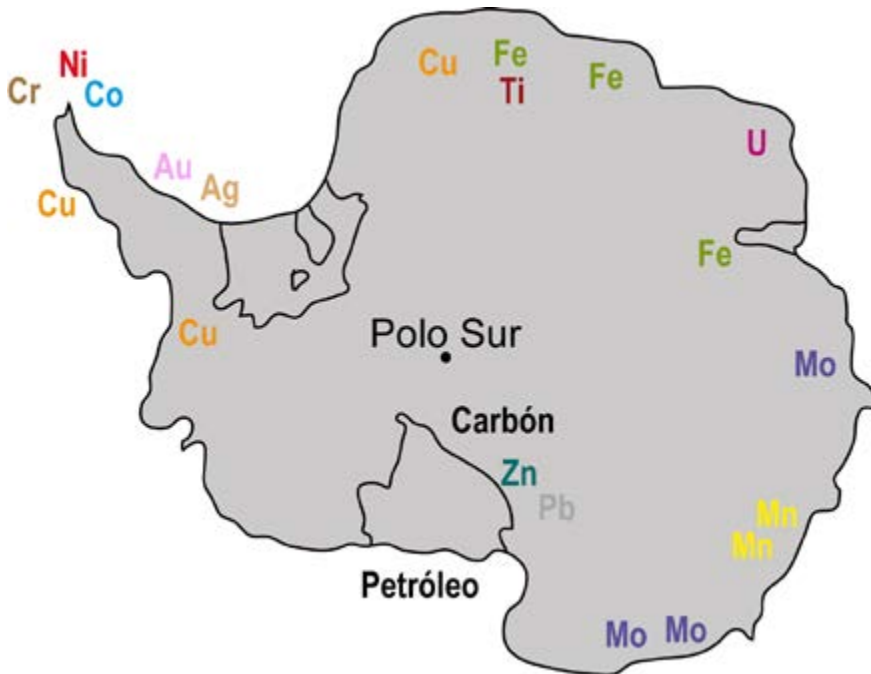


Figura 11. Distribución de los indicios minerales en la Antártida (Fuente: CENAC)<sup>32</sup>.

Por otro lado, se ha encontrado fosforita en estratos del Paleozoico en las montañas de Pensacola, aunque no como yacimiento económico. Por último, el carbón se encuentra extendido en las rocas en forma de capas en las Montañas Transantárticas, así como en el área Base Montañas Príncipe Carlos-Lago Beaver.

#### El Tratado Antártico

Incluso antes de que Roald Amundsen llegara a la Antártida en 1911, varios países ya habían reclamado porciones del continente, siendo Argentina el primero en presentar reclamaciones sobre su territorio en 1904. Le siguieron Reino Unido, Chile, Nueva Zelanda (tras independizarse de Reino Unido), Australia, Francia y, finalmente, Noruega, reclamando el territorio explorado por Amundsen. La tierra de Marie Byrd, una porción de la

<sup>32</sup> DE NICOLO, D. «Recursos Naturales Estratégicos en la Antártida: el caso de los minerales». Centro de Estudios Nuestroamericano (CENAC), 2020. <http://www.centronuestroamericano.com/recursos-naturales-estrategicos-en-la-antartida-el-caso-de-los-minerales/>

Antártida, quedaba sin reclamaciones, convirtiéndose en el mayor *terra nullius* del mundo (figura 12).

Sin embargo, la condición que hace especial a este continente es que ningún país ejerce soberanía sobre sus territorios. Es un condominio regido por un Tratado Antártico que regula sus relaciones internacionales.

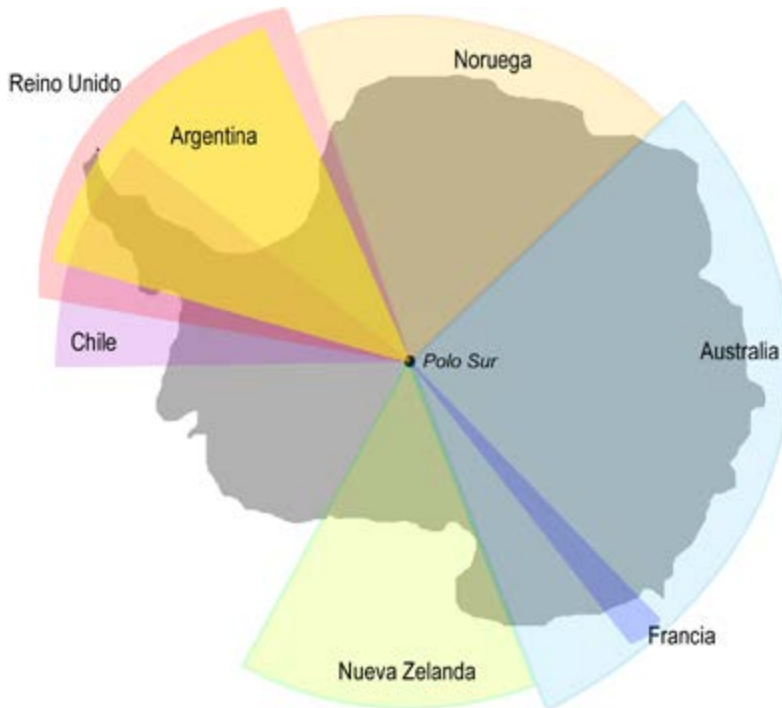


Figura 12. Reclamaciones territoriales en la Antártida. Fuente: El Orden Mundial<sup>33</sup>.

El 1 de diciembre de 1959, los doce países que habían llevado a cabo actividades científicas en la Antártida y sus alrededores durante el Año Geofísico Internacional (AGI) de 1957-1958 firmaron en Washington el Tratado Antártico. El Tratado entró en vigor en 1961 y ha sido aceptado por muchas otras naciones. Las partes del Tratado son actualmente 54<sup>34</sup>. En el Tratado se acuerda que la Antártida debe ser utilizada únicamente para

<sup>33</sup> EL ORDEN MUNDIAL. «Las reclamaciones sobre la Antártida», abril 2018. <https://elordenmundial.com/mapas/de-quien-es-la-antartida/>

<sup>34</sup> SECRETARÍA DEL TRATADO ANTÁRTICO. *El Tratado Antártico*, 2021. <https://www.ats.aq/s/antarctic treaty.html>



propósitos pacíficos (artículo 1). Su artículo 2 afirma que «la libertad de investigación científica en la Antártida y la cooperación hacia ese fin, como la aplicada durante el Año Geofísico Internacional, continuarán sujetas a las disposiciones del presente tratado»<sup>35</sup>.

El CRAMRA (Convention on the Regulation of Antarctic Mineral Resources Activities) es un tratado que forma parte del Sistema del Tratado Antártico. Fue firmada en 1988 por 19 Estados, pero ninguno la ratificó. Por lo tanto, no llegó a entrar en vigor.

Unos años más tarde se firmó el Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, en Madrid, el 4 de octubre de 1991, y entró en vigor en 1998. En su artículo 2 designa a la Antártida como una «reserva natural dedicada a la paz y a la ciencia». En el artículo 7 se prohíben todas las actividades relacionadas con los recursos minerales salvo la investigación científica. Hasta 2048, el Protocolo puede ser modificado solamente mediante el acuerdo unánime de las partes consultivas del Tratado Antártico. Además, la prohibición relacionada con los recursos minerales no puede revocarse a menos que esté en vigor un régimen jurídicamente obligatorio sobre las actividades relativas a los recursos minerales antárticos (artículo 25.5)<sup>36</sup>.

### El Polo Norte y los conflictos en el Ártico

Se podría decir que el Ártico es la otra cara de la moneda. Lejos de convertirse en un santuario, como se ha conseguido con la Antártida, el calentamiento global y el deshielo de grandes superficies, ahora inaccesibles, podría hacer más accesible este territorio y permitir la explotación de recursos minerales. La región es, a escala global, una de las pocas regiones terrestres que quedan con amplias áreas de geología «prospectiva» en donde el conocimiento del potencial mineral es limitado.

Por otro lado, a nivel comercial se abriría una nueva ruta marítima entre el Pacífico y el Atlántico, actualmente inaccesible por los hielos salvo treinta días al año, que ahorraría tiempo y dinero a los buques de carga que actualmente transitan por el canal de Panamá o el de Suez (figura 13).

<sup>35</sup> Tratado Antártico. Washington D. C., diciembre 1959.

<sup>36</sup> Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente. Madrid, 1991.



2008, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) publicó un informe en el que se evaluaban los recursos convencionales de petróleo y gas en todas las zonas de norte del círculo polar ártico<sup>38</sup>. El USGS estimó la presencia de petróleo y gas en 33 provincias geológicas para la prospección de petróleo. La suma de las estimaciones medias indicó que pueden encontrarse en el Ártico 90 000 millones de barriles de petróleo, y 44 000 millones de barriles de gas natural licuado, de los cuales aproximadamente el 84 % se encontraría en el océano. Esto supone un 13 % de las reservas mundiales de petróleo y un 30 % de las de gas natural licuado. Más del 70 % de los recursos de petróleo sin descubrir se encuentran en cinco provincias: Alaska, Cuenca de Amerasia, Rift Cuenca Este de Groenlandia, este de la Cuenca de Barents, y oeste de Groenlandia-este de Canadá.

Por otro lado, el Servicio Geológico de Noruega (NGU) ha recopilado recientemente, en una publicación<sup>39</sup>, los resultados de una cooperación entre servicios geológicos de los países árticos, sobre los depósitos minerales más importantes al norte del paralelo 60°N. La publicación se centra en los metales y diamantes.

En la región de Alaska destacan los depósitos de oro (de tipo placer o en relación con intrusiones, y precursores de los primeros). También existen depósitos de Pb-Zn-Ag tipo SEDEX (tipología exhalativa-sedimentaria) o depósitos de cobre porfídico (Cu-Au-Mo).

En la parte ártica de Canadá existen dos grandes depósitos de hierro, depósitos de sulfuros masivos volcanogénicos (Cu-Zn-Pb-Au-Ag) y yacimientos de oro. Asimismo, se ha encontrado uranio, niobio, tántalo, itrio y tierras raras, así como yacimientos Ni-Cu y elementos del grupo del platino, W y kimberlitas ricas en diamantes.

En Groenlandia son históricamente conocidos los depósitos de Zn-Pb. Se ha explotado Cu, grafito y carbón. Exploraciones más detalladas han permitido descubrir yacimientos muy interesantes de oro y se han concedido licencias para la explotación de oro, plomo-cinc, molibdeno, hierro o rubí. En este país se encuentran algunos de los mayores depósitos mundiales de metales raros (tierras raras-cinc, Ta-Nb-REE-Zr, Nb-Ta). Se han localizado rocas

<sup>38</sup> USGS. «Circum-Arctic Resource Appraisal: Estimates of Undiscovered Oil and Gas North of the Arctic Circle. Fact Sheet», 2008.

<sup>39</sup> BOYD, R. *et al.* «Mineral resources in the arctic. An Introduction». *Geological Survey of Norway* (NGU), 2016, 88 pp.

kimberlíticas, que contienen diamantes y se ha encontrado una mineralización de oro-PGE, de gran valor, también científico.

En el norte de Noruega, por su parte, se encuentran depósitos de hierro tipo BIF, Cu-Ag en sedimentos, Cu-Zn en corteza oceánica, rutilo (Ti), molibdeno (el mayor depósito de Europa), Ni-Cu y Cu-Au.

Los depósitos minerales en la parte ártica de Rusia son de oro, siendo actualmente uno de los tres primeros productores del mundo. Existen numerosos depósitos de diferentes tipos, los más importantes localizados en Siberia. También es un importante productor de plata, así como de níquel y platino. En la península de Kola se produce níquel y cobre. Otras materias que se explotan son Pb-Zn, metales ferrosos, wolframio, tierras raras, titanio, Nb-Ta y diamantes.

Como puede deducirse, son regiones muy ricas en cuanto a recursos conocidos. Además, han sido poco exploradas, por lo que cabe la posibilidad de existencia de depósitos todavía no descubiertos. Se piensa, incluso, que los mayores depósitos por descubrir se encuentran muy próximos a los ya localizados, así como a mayor profundidad que estos. El potencial minero, por tanto, es muy alto.

### El Consejo Ártico

El Consejo Ártico es un foro intergubernamental que nace con el objetivo de promover la cooperación, coordinación y la interacción entre los Estados árticos, los pueblos indígenas y resto de habitantes, en particular sobre un desarrollo sostenible y una protección medioambiental. El Consejo Ártico actúa como intermediario de conocimientos y defensor mundial de los temas árticos, y fue establecido formalmente en 1996, pero el primer paso para su formación se dio en 1991.

Los Estados miembros son Canadá, Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Rusia y EE.UU. Además se unen asociaciones indígenas con intereses particulares como participantes permanentes. Otros Estados son considerados como miembros observadores, y otros meramente observadores, simplemente porque se encuentran más cerca del polo que del ecuador, pero no tienen demandas territoriales.

En la Declaración de Ottawa, los Estados árticos establecieron el Consejo como un fórum de alto nivel para aportar los medios

para promover la citada cooperación, coordinación y la interacción. Hasta cien proyectos e iniciativas están en marcha relacionados con la prevención de la contaminación, biodiversidad o cambio climático, entre otros<sup>40</sup>.

### Problemas geopolíticos

Dinamarca, Canadá, Estados Unidos, Noruega y Rusia son los principales reclamantes de territorio en el Polo Norte. En una conferencia celebrada en Groenlandia en 2008, los cinco países se comprometieron a someter sus reclamaciones al arbitraje de Naciones Unidas. Pese a que Washington no ha ratificado la Convención de 1982 de Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM), los cinco países limítrofes se comprometieron a regir sus disputas por dicho texto hasta que un organismo de la ONU decida.

El conflicto parte de la diferencia de opiniones entre los límites de la plataforma continental, ya que pueden ampliarse si un país demuestra que su plataforma continental se extiende más allá de las 200 millas náuticas de soberanía. Lo que intentan hacer Canadá, Rusia y Dinamarca para el caso del Polo Norte es demostrar que su plataforma continental se extiende más allá de esa distancia.

Dinamarca pide un área de 900 000 km<sup>2</sup>; Canadá quiere demostrar que le pertenecen 1,2 millones de km<sup>2</sup>. Rusia y Estados Unidos también compiten en esta región. Por otro lado, Noruega y Rusia se dividieron un área de disputa de 175 000 km<sup>2</sup>. Hay varios casos concretos que tensionan especialmente las relaciones entre estos países y que se describen a continuación.

### El caso de Svalbard

El archipiélago de Svalbard pertenece a Noruega y posee, sin embargo, ciudades rusas. Careció de gobierno efectivo hasta después de la I Guerra Mundial. Desde el siglo XVI fueron sucediéndose asentamientos. Cuando en el siglo XIX encontraron carbón, se desarrolló una fiebre minera, con expediciones de decenas de Estados reclamando terrenos. Así, se hizo necesaria la creación de un Estado en las islas.

<sup>40</sup> ARCTIC COUNCIL. <https://arctic-council.org/en/>

A partir del Tratado de Svalbard (1920), Noruega tiene la potestad de legislar y hacer cumplir la ley en las islas, pero los ciudadanos y empresas de los países firmantes tienen los mismos derechos y no pueden ser discriminados administrativamente.

Desde principios del siglo xx se fundaron varias ciudades-empresas mineras, donde todos los servicios corrían a cargo de la empresa explotadora. En un entorno tan hostil, las empresas empezaron a poner ciudades y permisos mineros a la venta. La URSS adquirió varias de esas ciudades. Tras la crisis energética de los años 70, Noruega se vio forzada a nacionalizar las empresas para evitar que sus minas cerrasen y Svalbard quedase exclusivamente bajo explotación soviética. Actualmente, en la parte noruega se encuentran la Bóveda Mundial de Semillas y la Universidad del Ártico, pero el mantenimiento de las minas es insostenible.

Rusia ha mantenido abiertos sus asentamientos, siendo un lugar estratégico como salida al Atlántico y como plataforma para la explotación de los recursos de petróleo y gas que se calcula que existen bajo el hielo ártico. Noruega y Rusia han acordado pacíficamente sus límites marítimos en aguas árticas. China es otro agente con grandes intereses en las islas, ya que intenta hacerse un hueco en el Ártico. Pese a no tener tierras en la zona, se ha autoproclamado vecino del Ártico y ha entrado como observador en el Consejo Ártico.

#### Groenlandia y problemas relacionados con los recursos minerales

En Groenlandia, el desacuerdo sobre el proyecto de Kvanefjeld, uno de los mayores depósitos de tierras raras del mundo, ha llevado al colapso del Gobierno a principios de 2021, por lo que se convocaron elecciones anticipadas. Ganó las elecciones el partido indígena, con un fuerte enfoque ambiental y oposición a estos proyectos mineros, quedando ahora en el aire.

Pero los conflictos no solo quedan en casa. En los últimos años parece como si el territorio de Groenlandia fuese el escenario de una nueva Guerra Fría. Mientras Rusia tiene interés en aumentar su control sobre los recursos, EE.UU. persigue dismantelar el dominio de China sobre las tierras raras, que, a su vez, tiene como objetivo mantener dicho dominio. De momento, en 2014 China consiguió los derechos de explotación de un importante yacimiento de hierro.

### Conflictos en el norte de Canadá

En Canadá también existen algunos conflictos, como la soberanía de las aguas que rodean sus numerosas islas del norte. Se asume que todas las islas del archipiélago al norte del continente pertenecen a Canadá, pero no así sus aguas. EE.UU. y otros países, como Rusia, ven esas aguas como un pasaje internacional en el que cualquier barco puede transitar y, recientemente, el fondo marino como un recurso a ser explotado.

Según la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos, las aguas hasta 200 millas náuticas de un país están controladas por el mismo. Pero algunas islas en Canadá se encuentran a mayor distancia, lo que deja ese espacio fuera de su jurisdicción.

Esta distancia se puede expandir si se logra demostrar que las cordilleras y formaciones rocosas que se extienden más allá están conectadas a la plataforma continental. Canadá señala que las aguas que separan sus islas del norte están congeladas la mayor parte del año, suponiendo una extensión de la tierra. Pero si se considera este hielo, entonces Rusia también podría reclamar como suyos ciertos territorios. También han existido varios eventos en los que EE.UU. ha tensionado las relaciones con Canadá debido a estas aguas. Así mismo, Dinamarca ha reclamado como suya una isla cercana a Groenlandia que Canadá también considera de su propiedad.

### La dorsal de Lomonósov

Parece ser que otro motivo de conflicto es la dorsal de Lomonósov, un sistema montañoso submarino que intentan reclamar los diferentes países, tratando de demostrar que es una extensión de su plataforma continental. Los proyectos mineros son una de las razones por las que interesa esta zona.

El estudio sistemático de la dorsal oceánica al norte de Islandia no empezó hasta finales de los años 90. Resultó en el descubrimiento de un gran número de sistemas de chimeneas volcánicas activas e inactivas desde Islandia hasta la llamada llanura de Eurasia, cerca del Polo Norte. En estos conjuntos hay una gran actividad volcánica y magmática y el espesor de la corteza oceánica decrece hacia el norte, donde los valles se hacen más profundos y pronunciados. Las chi-

meneas activas expulsan plumas de fluidos a temperaturas de 250 °C-270 °C, y los sulfuros contenidos pueden precipitarse en profundidad<sup>41</sup>.

En 2007 se dio un hecho que tensionó las relaciones internacionales. Rusia plantó su bandera en el Polo Norte. Pretendía establecer que la cordillera Lomonósov era una extensión geológica de su país y, así, podría reclamar ese espacio en la ONU. La expedición rusa encendió la alarma en el resto de países que disputan derechos.

Dinamarca, Noruega y Canadá también llevan adelante sus respectivas investigaciones para demostrar que la cordillera Lomonósov, que se extiende bajo el agua desde Rusia por el Polo Norte y hasta la isla canadiense de Ellesmere y Groenlandia, es una continuación de sus respectivas plataformas y que, por lo tanto, les pertenece. EE.UU. se suma al grupo a través de Alaska.

#### Papel de España en las investigaciones de las zonas polares

Cabe mencionar que en España se estableció el Comité Polar Español (CPE) como la autoridad española encargada de coordinar las actividades de I+D+I de España en las zonas polares. Actualmente se adscribe al Ministerio de Ciencia e Innovación.

El apoyo institucional y desarrollo de proyectos científicos en las zonas polares de manera continuada se remonta a la década de 1980. Inicialmente, el interés de la comunidad científica española se centró en la Antártida, pero con el tiempo ha habido una diversificación de las investigaciones en el Ártico.

A través del Centro Nacional de Datos Polares (CNDP)<sup>42</sup> (1998) se administran y custodian los metadatos y datos generados por los proyectos científicos españoles en el ámbito polar. Además, tiene la responsabilidad de alimentar las bases de datos internacionales según sus respectivos estándares.

Con respecto a la exploración de recursos minerales en los polos, se han realizado numerosos estudios desde la primera campaña antártica española (verano austral 1987-1988), en la isla de Livingston (Antártida). También en el Ártico, como

<sup>41</sup> BOYD, R. *op. cit.*

<sup>42</sup> CENTRO NACIONAL DE DATOS POLARES (CNDP). [http://cndp.utm.csic.es/portal/#politica de datos](http://cndp.utm.csic.es/portal/#politica%20de%20datos)



los estudios sobre costras de Fe-Mn ricas en Co en las dorsales oceánicas del mar de Scotia, durante la campaña oceanográfica SCAN 2004<sup>43</sup>.

## Resultados

Durante los últimos cincuenta años (hasta 2007), la demanda energética y de materiales estratégicos ha crecido más de un 50% en todo el planeta, y se calcula que crecerá otro 50% hacia 2030, al ritmo de crecimiento que llevamos. Es lógico, por tanto, buscar nuevas alternativas en cuanto a exploración de recursos minerales. Sin embargo, se debe buscar un equilibrio entre la necesidad real de estos recursos, el ritmo de consumo actual y las nuevas tecnologías para la exploración y explotación de los recursos.

La Antártida es el único territorio en el que nos hemos puesto de acuerdo sobre su futuro. Es un lugar donde por el Tratado Antártico queda estrictamente prohibida la explotación de recursos minerales. Todo lo contrario ocurre en el Ártico, creando además una serie de tensiones geopolíticas que se han ido enumerando.

## Los recursos minerales transfronterizos y sus problemas

### La histórica guerra del Salitre

El salitre es un ejemplo de recurso minero cuya explotación condujo a un conflicto armado de Chile con sus países vecinos septentrionales, Bolivia y Perú. Ocurrió en la segunda mitad del siglo XIX y resultó en la modificación de sus respectivas fronteras. Se podría decir que esta sustancia jugó entonces el mismo papel que hoy representa el petróleo en los conflictos de Oriente Medio. De hecho, Chile, país en el que se concentran los mayores yacimientos de esta sustancia, sigue, a día de hoy, siendo líder mundial como productor de cobre, litio, yodo y nitratos naturales, y es el principal exportador de sal de Sudamérica.

<sup>43</sup> GONZÁLEZ, F. J. *et al.* «Costras de Fe-Mn ricas en Co en dorsales oceánicas del Mar de Scotia (Antártida): procesos de biomineralización en ambientes extremos». VII SIMPOSIO ESPAÑOL DE ESTUDIOS POLARES. *Libro de Resúmenes* (33-34). Granada, 18 a 20 de septiembre de 2006.

## El salitre y la zona de conflicto

En la región de conflicto, en particular, se sitúa un singular rasgo geológico, que se describe como el «dominio salino del Norte de Chile». Este factor es el que genera la presencia, en este territorio, de importantes yacimientos de minerales industriales, algunos únicos a nivel mundial, como los de nitratos, yodo, sal y litio<sup>44</sup>.

Chile se divide, administrativamente, en regiones. En su parte norte, entre los 18° y 29° de latitud Sur, se ubican cuatro de ellas, que corresponden, desde el norte, a Arica-Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama, con una superficie de alrededor de 260 000 km<sup>2</sup>. Las tres primeras y la mitad norte de la región de Atacama se describen como una región natural, bajo el nombre de «Norte Grande de Chile», por la Corporación de Fomento a la Producción de Chile. Esta macroregión posee características geológicas y geográficas específicas, siendo relevante, en toda su extensión, la presencia del desierto de Atacama (figura 14).

En dicha región se reconoce una abundante presencia de distintas sales, que incluyen importantes yacimientos. Están presentes en suelos, secuencias sedimentarias, cuencas evaporíticas, aguas superficiales y subterráneas y nieblas dinámicas. En este territorio, con distintas paragénesis y en gran abundancia, se reconocen principalmente cloruros, sulfatos, carbonatos, boratos y sales de escasa presencia en la naturaleza, como nitratos, yodatos, cromatos, dicromatos, cloratos y percloratos. Los compuestos más abundantes son yeso y halita<sup>45</sup>.

## Por qué era estratégica esa zona

Los yacimientos de nitrato y yodo (YNY) son los depósitos de minerales industriales más importantes de Chile. De ellos se obtienen nitratos de sodio y potasio (salitre), yodo como subproducto, y existió una producción irregular de sulfato de sodio. Hoy, casi la totalidad de las industrias activas producen exclusivamente yodo.

<sup>44</sup> CHONG DÍAZ, G. *et al.* «El Dominio Salino del norte de Chile y sus yacimientos de minerales industriales. The Saline Domain of northern Chile and its industrial mineral deposits». *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 72 (3), 1-59. 2020.

<sup>45</sup> CHONG, G. «The Cenozoic saline deposits of the Chilean Andes between 18°00' and 27°00' South latitude». En: Bahlburg, H., Breikreuz, C., Giese, P. (ed.). *The southern Central Andes. Lecture Notes in Earth Sciences 17*. Berlin: Springer 1988, pp. 137-151. <https://doi.org/10.1007/bfb0045179>

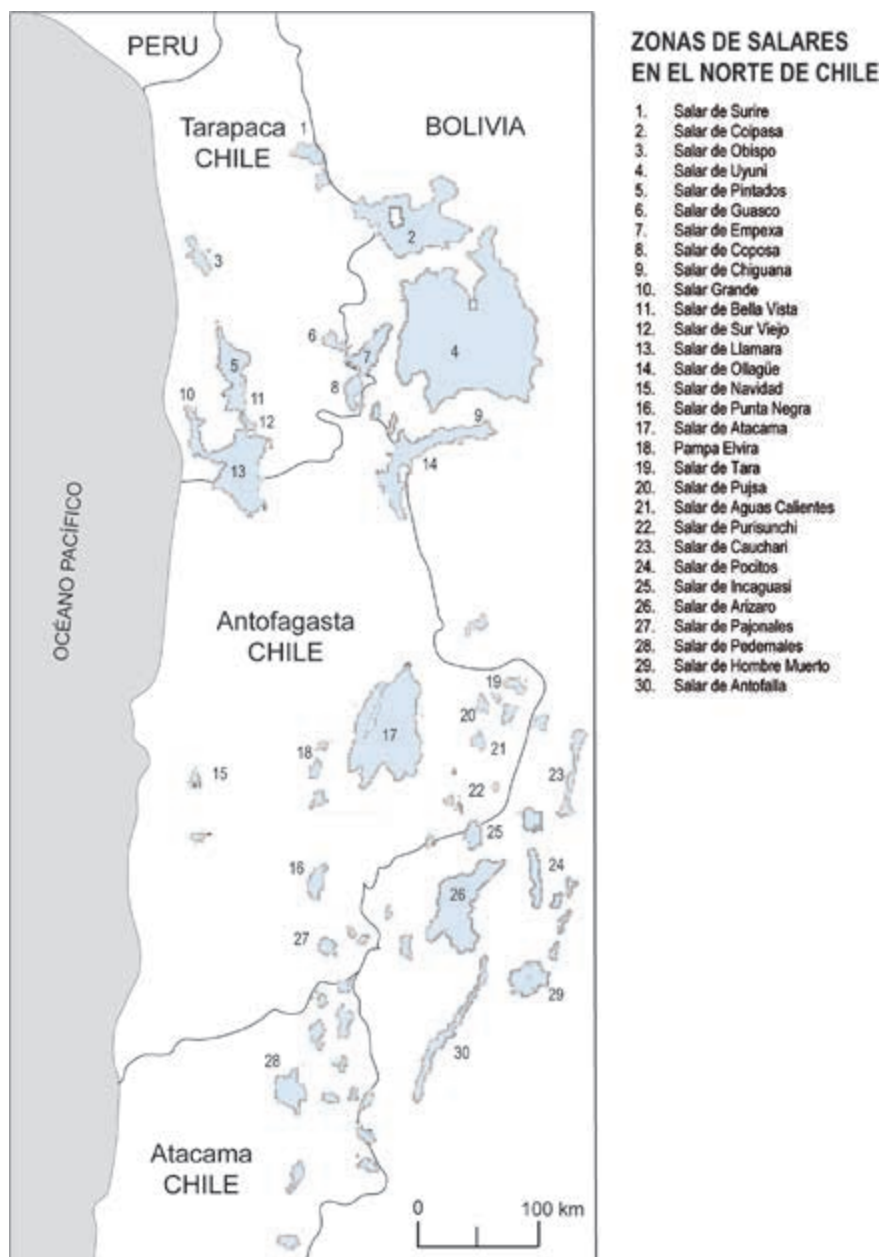


Figura 14. Mapa de localización de los salares y lagos en el norte de Chile (Fuente: USGS)<sup>46</sup>.

<sup>46</sup> STOERTZ, G. E. y ERICKSEN, G. E. «Geology of Salars in Northern Chile». USGS, Professional Paper 811, 1974, 76 pp.

Estos yacimientos corresponden a un conjunto de minerales salinos que se emplaza, de diferentes formas, en rocas de caja de distintas edades y litologías. Se presentan como cemento de rocas sedimentarias detríticas continentales, en secuencias sedimentarias lacustres o en brechas volcánicas, diseminados en rocas volcánicas, formando vetas y mantos hospedados en rocas volcánicas del Paleógeno o marinas del Jurásico, en «diques de barro» o neptúnicos y en costras de salares de la Depresión Central. Es común la existencia de distintos tipos de yacimientos en una misma área, especialmente en la parte oriental de la Depresión Central<sup>47</sup>.

Estos yacimientos presentan características exclusivas, como son sus reservas de cientos de millones de toneladas. Existen yacimientos similares en China, pero no incluyen yodo y sus reservas no son comparables a las de Chile.

Otro factor relevante y distintivo de los yacimientos chilenos es que su mena, el «caliche», término utilizado exclusivamente para denominar a la mena de nitratos, incluye un conjunto de minerales solubles en agua que difícilmente se encuentra en la naturaleza. Por otra parte, la solubilidad de estas sales no las hace compatibles con su estabilidad natural durante millones de años, mientras que aquí se conservan debido al marco climático/paleoclimático y geomorfológico del territorio donde están emplazadas.

En lo que se refiere al origen de las sales y a los procesos de formación de los yacimientos, persisten dudas razonables y existe una falta de conocimiento que, sin embargo, no parece ser de interés para las empresas, que dedican muy pocos recursos a su investigación.

#### Los hechos que desataron la guerra

La historia de la explotación salitrera chilena es un ejemplo perfecto de los dilemas de la industria minera con respecto a los conflictos que pueden crearse de la extracción de recursos naturales en relación con las políticas gubernamentales relativas a la propiedad de la industria y de los recursos mineros, en general.

La explotación de salitre comenzó en el norte de Chile en 1830, aunque algunas labores menores ya se habían desarrollado en 1820 e, incluso, en 1810. El principal uso de los nitratos, en aquellos tiempos, era para producción de explosivos (pólvora negra), y en menor medida para fertilizantes.

---

<sup>47</sup> CHONG DÍAZ, G. *et al.*, *op. cit.*

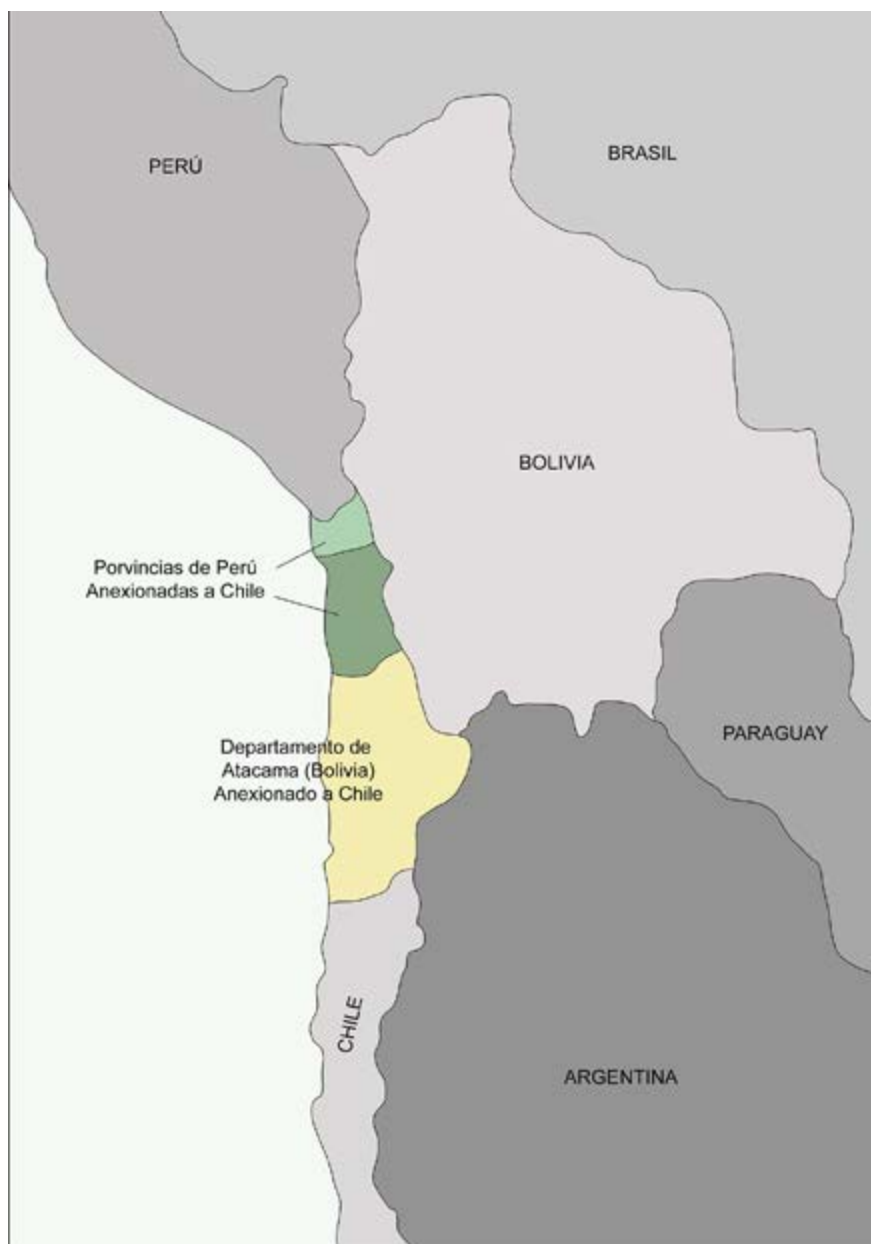


Figura 15. Territorios anexionados a Chile tras la guerra del Pacífico (Fuente: El País)<sup>48</sup>.

<sup>48</sup> *El País*. «Chile y Bolivia reviven en La Haya su conflicto por una salida al mar», mayo 2015. [https://elpais.com/internacional/2015/05/04/actualidad/1430744745\\_182951.html](https://elpais.com/internacional/2015/05/04/actualidad/1430744745_182951.html)

La explotación de salitreras fue el detonante de los conflictos desarrollados en el siglo XIX. Existían diferencias de opinión respecto a la ubicación de las fronteras. La zona se localiza en lo que los chilenos reclamaban como su territorio, llegando la frontera hasta el paralelo 23°S, mientras que, para Bolivia, el límite entre ambos países era el paralelo 26°S. La zona disputada era muy rica en yacimientos minerales, especialmente en salitre, llegando a ser este un recurso estratégico.

En el año 1866, una vez retiradas las flotas españolas definitivamente del Pacífico, se firmó el primer tratado de límites, fijando la frontera en el paralelo 24°S. Se estableció una zona de explotación minera compartida entre los paralelos 23°S y 25°S (figura 15). Se acordó que se repartirían de forma equitativa los beneficios derivados de dicha explotación. Tras esto, la actividad salitrera experimentó un nuevo máximo.

Los yacimientos más ricos, así como la infraestructura necesaria para su explotación, se encontraban en territorios bolivianos, pero la explotación atrajo principalmente a inversionistas e inmigrantes chilenos. La Compañía de Salitres y Ferrocarril de Antofagasta (de capital chileno) logró tener títulos para la libre y casi exclusiva explotación en esa zona. El Gobierno boliviano intentó regular esa explotación.

Esto derivó en la negociación de un segundo tratado. Sin embargo, Bolivia buscó un acuerdo de apoyo militar con Perú, principal socio comercial, y en 1873 firmaron un tratado secreto de alianza defensiva. En 1874 se firmó un nuevo acuerdo entre Bolivia y Chile, que establecía la renuncia de Chile a los beneficios económicos obtenidos por la explotación salitrera en la zona comprendida entre los paralelos 23° y 25°S. A cambio, el Gobierno boliviano se comprometió a no alzar los impuestos, durante 25 años, a los trabajadores chilenos que estaban ya instalados en la zona.

En el año 1878, el Gobierno boliviano aprobó una ley que grababa en 10 centavos por quintal de salitre exportado, el impuesto que pagaban los trabajadores chilenos que explotaban el salitre en el territorio boliviano. Como esto contravenía lo establecido en el tratado de 1874, los trabajadores chilenos se negaron a aceptar esta nueva condición y, ante la negativa, el Gobierno boliviano rescindió el contrato de la Compañía de Salitres y Ferrocarril de Antofagasta y dio la orden de embargar y cerrar las salitreras que estaban en manos chilenas en febrero de 1879. Ante este

conflicto, tropas chilenas desembarcaron en Antofagasta, impidiendo la acción boliviana; el desembarco de las tropas chilenas se produjo el mismo día en que estaba previsto el cierre de las salitreras en manos chilenas, el 14 de febrero de 1879.

Las noticias de la ocupación chilena llegaron a Lima. Perú decidió mediar y exponer una fórmula de paz, sometiendo sus diferencias a un país árbitro y, mientras, que Bolivia suspendiera el impuesto de 10 centavos. Sin embargo, las autoridades chilenas expusieron su conocimiento del tratado secreto entre Perú y Bolivia, exigiendo una explicación y desestimando cualquier posibilidad de que Perú actuara como mediador en las negociaciones.

Esto condujo al inicio de la guerra del Pacífico, declarada por Bolivia a Chile. Chile exigió a Perú neutralidad, pero al retrasarse su decisión, se entendió como un intento de ganar tiempo, con lo que Chile termina declarando la guerra a Bolivia y Perú. Es así como comienza la guerra del Pacífico el 5 de abril de 1879.

Se debe mencionar que durante la guerra del Pacífico (1879-1883), Chile contó con el apoyo de Inglaterra, ya que este país tenía intereses económicos, controlando la mayor parte de la explotación salitrera en la región de Tarapacá (entonces territorio peruano), y en Perú existía la intención de nacionalizar las salitreras en manos inglesas. Las armadas de Chile y Perú estaban equipadas con barcos ingleses y Perú no pudo obtener repuestos, ni reponer barcos durante el conflicto, lo que ayudó a que Chile lograra el control marítimo.

El triunfo de Chile en la guerra en 1883 condujo a la anexión de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, con los extensos recursos de nitratos existentes en ellas, de modo que, hacia 1900, la explotación salitrera se constituyó en la actividad económica más importante de Chile.

La explotación salitrera continuó hasta que en 1914 estalló la Primera Guerra Mundial, ya que la mayor parte de la misma estaba controlada por capitales británicos y, en menor medida, alemanes. Inglaterra bloqueó a Alemania los recursos chilenos, propiciando el desarrollo de nitrato sintético por parte de los alemanes. Este hecho constituyó un duro golpe para la industria salitrera en Chile<sup>49</sup> y, finalmente, con la gran depresión econó-

---

<sup>49</sup> «Depósitos de nitratos». *Nitratos y salares*. <https://www.medellin.unal.edu.co/~rrodriguez/victor-maksaev/NITRATOS-SALARES.pdf>

mica de 1930, prácticamente desaparecieron como actividad económica principal.

#### La situación actual

La explotación de nitratos continuó, aunque con dificultades, hasta los años 60, beneficiada por el alto costo del producto sintético y apoyada en subvenciones del Gobierno, pero con el progresivo cierre de muchas oficinas salitreras. En 1968 se creó la Sociedad Química y Minera de Chile como una sociedad mixta público-privada, para mantener la alicaída explotación salitrera.

Durante los años 70 y 80 pasó de ser una sociedad mixta a una empresa netamente estatal, y luego a una empresa privada, de acuerdo a las cambiantes orientaciones políticas imperantes en el país. En la década de 1980, la industria experimentó un giro positivo con el aumento de la demanda y precio internacional del yodo. Desde entonces, y hasta hoy, el principal producto de esta industria es el yodo, con el cual Chile ha liderado la producción mundial.

Actualmente es una empresa privada que produce nitratos de sodio y potasio, yodo (producto del caliche), litio (carbonato de litio e hidróxido de litio), así como otros químicos industriales<sup>50</sup>.

#### El proyecto andino de Pascua-Lama

Pascua-Lama es un claro ejemplo de la problemática derivada de la minería transfronteriza y los conflictos ambientales y políticos derivados de una ausencia de gobernanza transfronteriza a este respecto. Este tipo de minería, concretamente en América Latina, eleva las disputas políticas, así como problemas asociados al medioambiente o a la gestión de recursos naturales, a una dimensión global que va más allá de las fronteras nacionales. El Observatorio de Conflictos Mineros en América Latina (OCMAL) contabilizó 216 conflictos en 2016, de los que seis se califican como transfronterizos. Se trata de los proyectos: Pascua-Lama (Argentina y Chile), Pucamarca (Perú y Chile), Mirador (Perú y Ecuador), Panantza-San Carlos (Ecuador y Perú), Crucitas (Costa

<sup>50</sup> SQM, 2020. <https://www.sqm.com/>



Rica y Nicaragua) y Cerro Blanco (Guatemala y El Salvador)<sup>51</sup>. En este trabajo se presenta el caso del proyecto Pascua-Lama, como ejemplo de este tipo de conflictos.

### Descripción del proyecto

Este proyecto se considera como uno de los conflictos socioecológicos más importantes del siglo XXI. Pascua-Lama se proyecta como una de las más grandes minas auríferas del mundo, y la empresa responsable es la canadiense Barrick Gold Corp. (figura 16), la mayor de las transnacionales de oro, y que cuenta con una controvertida trayectoria social y ambiental<sup>52</sup>.



Figura 16. Lingotes de doré. Barrick Gold. Página oficial, 2021.

Se trataría de una explotación a cielo abierto del yacimiento de minerales de oro, plata y cobre para obtener metal doré (oro, plata) y concentrado de cobre. Su principal interés económico se debe al oro. Se estima que el yacimiento cuenta

<sup>51</sup> LIZAMA POBLETE, N. «La gobernanza ambiental transfronteriza como perspectiva para estudiar la conflictividad socioambiental en torno a la minería en zona de frontera». *Revista Iberoamericana de Viticultura, Agroindustria y Ruralidad*, vol. 4, n.º 11, 2017, pp. 52-73.

<sup>52</sup> SÁNCHEZ COROMINAS, A. y URKIDI AZKARRAGA, L. «Pascua-Lama: el oro bajo los glaciares». *Ecología Política*, n.º 33, 2007, pp. 118-120.

con 17,4 millones de onzas de oro (540 toneladas de oro puro) (figura 17).



Figura 17. Modelización del yacimiento de Pascua-Lama.

El yacimiento se encuentra en la cordillera de los Andes, en el límite internacional chileno-argentino, en la comuna de Alto del Carmen, provincia de Huasco, Tercera Región (figura 20). Es un proyecto binacional y considera obras y operaciones en territorio de Chile y Argentina. Supondría, por tanto, el inicio de la explotación minera a gran escala en zona fronteriza, prohibida hasta entonces por razones militares y estratégicas.

El área está establecida conforme a los protocolos adicionales 20 y 23 del 16.º Acuerdo de Complementación Económica entre Chile y Argentina, dentro del marco del Tratado de Montevideo de 1980<sup>53</sup>. El proyecto está situado en el nacimiento de la cuenca del Valle del Huasco, en Chile, y del Valle del Cura, en Argentina. En esta nación, la mina ocupa territorios de la reserva de la biosfera San Guillermo (UNESCO, 1981), situada en la provincia de San Juan. En Chile, la mina limita con el desierto de Atacama, uno de los más secos del mundo, y ocupa territorio ancestral indígena diaguita<sup>54</sup>.

<sup>53</sup> Acuerdo de Complementación Económica N.º 16 suscrito entre la República Argentina y la República de Chile. Sistema de Información sobre Comercio Exterior. [http://www.sice.oas.org/trade/argchi/protocolos\\_s.asp](http://www.sice.oas.org/trade/argchi/protocolos_s.asp)

<sup>54</sup> PÉREZ GUERRA, A. «Chile – Minería a cielo abierto en la cordillera andina». *Conflictos Socioecológicos. Minería*. Ficha n.º 16. Proyecto Cultura y Ambiente. Cip ecosocial, 2009.

## El tratado minero

Tanto las transnacionales mineras que tenían pertenencias en o cerca de la frontera con Argentina, como los propietarios de las pertenencias mineras de la cordillera transandina, tenían un problema común. No era posible ni viable explotar los minerales allí ubicados. No era posible desde el lado chileno por problemas geopolíticos, y económicamente inviable del lado argentino por la distancia hasta los puertos del Atlántico.

A principios de los años 90, las transnacionales mineras comienzan a adquirir casi la totalidad de las poco atractivas pertenencias mineras en Argentina. En 1996, Barrick Gold Corporation dio cuenta de un yacimiento que llamó Mina Pascua. Seguidamente, en 1997, la empresa, junto a otras transnacionales mineras, inició un fuerte *lobby* con destino al diseño de un tratado fronterizo entre los Gobiernos de Chile y Argentina para dar factibilidad económica al proyecto.

En 1997, los Gobiernos de Chile y Argentina firman el Tratado sobre Integración y Complementación Minera, que permite explotar los recursos mineros de la frontera. Con dicho tratado se resuelven ambos problemas: las distancias y las facilidades para el acceso a los minerales bajo la línea de frontera. A partir de ese tratado, ambos países ceden soberanía, creándose un área donde las legislaciones nacionales no son aplicables, violando sus propias constituciones. En el ámbito del tratado, por ejemplo, no se aplicará la prohibición que establece la Constitución chilena sobre la concesión de terrenos fronterizos a personas o entidades extranjeras.

En el libro *El exilio del Cóndor: hegemonía transnacional en la frontera*<sup>55</sup> se estudia la firma de este tratado desde una perspectiva ambiental y social. En él se critica que dicho tratado favorece, en primer y único lugar, a las transnacionales propietarias de los yacimientos. Eventualmente, abriría el desarrollo de una industria incipiente en Argentina: la minera. Sin embargo, una mirada más crítica indica que perjudica a ambos países, sus comunidades y el medio ambiente. Ello porque las empresas mineras transnacionales no incentivan los desarrollos locales y regionales. En segundo lugar, porque no generan empleo significativo. En

---

<sup>55</sup> LUNA QUEVEDO, D. *et al.* «El exilio del Cóndor: Hegemonía transnacional en la frontera. El Tratado Minero entre Chile y Argentina». Corporación Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (OLCA). 2004, 133 pp.

tercer lugar, porque extraen recursos naturales no renovables sin aportar a los Estados. Y, finalmente, porque destruyen el medio ambiente, contaminan las aguas, destruyen glaciares, enferman a las comunidades y ciernen un clima de corrupción y degradación política y social.

En este trabajo se crean sospechas sobre si los autores del tratado minero son juristas y técnicos al servicio de las empresas mineras transnacionales. Por un lado, porque económica, social y ambientalmente no son convenientes para ninguno de los dos Estados. Luego, porque los únicos beneficiados son las mineras transnacionales. Y, finalmente, porque viene a resolver problemas que impedían la explotación de yacimientos de frontera en manos de las empresas mineras transnacionales.

Así mismo, se ha criticado que el rol de Barrick en la elaboración del tratado y *lobby* correspondiente para su aprobación fue fundamental, ya que sería Pascua-Lama el primer proyecto beneficiado por la firma, ratificación y puesta en práctica de dicho mecanismo legal<sup>56</sup>.

#### Desarrollo del conflicto y avance del proyecto

En 2001 es cuando verdaderamente se desata un conflicto socioambiental en el valle del Huasco. El detonante fue la presentación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto Pascua-Lama, en el que, primero, no se menciona el impacto sobre los glaciares de la zona; en segundo lugar, se afirmaba que se trasladarían hacia otro sector alejado de la corta minera y a una altura similar, en un «plan de manejo de glaciares». Este fue presentado tras la exigencia de CONAMA, debido a la denuncia de las comunidades afectadas. En estas circunstancias, y por una bajada de los precios de los metales preciosos, la empresa decide congelar el proyecto entre 2001 y 2004.

En diciembre de 2004 la empresa retoma su proyecto, con ampliación de la producción, por la incorporación de un yacimiento alejado. La oposición al proyecto sigue en aumento, pero el proyecto sigue adelante. En 2006, la CONAMA aprueba el proyecto en el lado chileno, con la condición de no afectar los glaciares, y en diciembre se aprueba en Argentina. Con esto se abre una nueva

---

<sup>56</sup> RODRÍGUEZ PARDO, J. «Proyecto Minero Pascua Lama». Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales (OLCA).

etapa en la que la oposición se debilita y Pascua-Lama parece ser una realidad imparabile.

En el informe del Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina (OCMAL) se dice que «pese a toda la oposición generada, el CEO de la empresa viajó a entrevistarse directamente con la presidenta argentina y, luego, con su par chilena, y al cabo de unos días ya estaban arregladas todas las trabas tributarias que habían tardado años en resolverse. En una inédita maniobra comunicacional, se dio la puesta en marcha al proyecto Pascua Lama simultáneamente en la sede de la empresa en Canadá, en la Casa Rosada en Argentina y en el ministerio de Minería en Chile, demostrando que más allá de cualquier consideración, ambiental, social y económica, lo que de verdad está en juego es un entramado de acuerdos políticos que ya han entregado los bienes comunes de nuestros países al poder transnacional. En agosto de 2010, la empresa está en etapa de construcción de su proyecto, aun enfrentando diversos recursos que las comunidades han interpuesto y sin poder resolver sistemáticas irregularidades que se descubren en su accionar»<sup>57</sup>.

Tras varias infracciones, como los episodios de derrames tanto en la zona chilena<sup>58</sup> como la argentina<sup>59</sup>, en 2020, y tras la resolución del Primer Tribunal Ambiental<sup>60</sup>, se confirma la clausura total y definitiva de Pascua-Lama, que tendrá que pagar 7000 millones de pesos en multas debido a los problemas medioambientales producidos.

#### La causa más probable del conflicto

Este conflicto parece responder a la configuración de una gobernanza ambiental transfronteriza desenfocada por la ausencia de la escala binacional al respecto. Por lo tanto, la detonación del conflicto pudo haber respondido al desajuste de la estructura

<sup>57</sup> OBSERVATORIO DE CONFLICTOS MINEROS DE AMÉRICA LATINA (OCMAL). Conflictos Mineros en América Latina. Conflicto Minero: Pascua Lama, glaciares en peligro, Chile-Argentina. [https://mapa.conflictosmineros.net/ocmal\\_db-v2/conflicto/view/4](https://mapa.conflictosmineros.net/ocmal_db-v2/conflicto/view/4)

<sup>58</sup> ROMERO, N. «Nuevo derrame en la mina Pascua-Lama». *Página 12*, enero 2017. <https://www.pagina12.com.ar/14140-nuevo-derrame-en-la-mina-pascua-lama>

<sup>59</sup> PARRILLA, J. «Nuevo caso de contaminación de Barrick Gold, ahora en Pascua Lama». *Infobae*. Enero 2017. <https://www.infobae.com/sociedad/2017/01/05/nuevo-caso-de-contaminacion-de-barrick-gold-ahora-en-pascua-lama/>

<sup>60</sup> Primer Tribunal Ambiental. República de Chile, octubre 2018. <https://www.ita.cl/1ta-resuelve-aprobar-la-clausura-definitiva-en-contra-de-pascua-lama/>

normativa argentino-chilena frente a la cualidad transfronteriza del proyecto, debido a la ausencia de una regulación binacional que enfocara cada proyecto como un todo, no solo desde el punto de vista minero sino también del ambiental, que garantizara la protección del ecosistema a ambos lados de la frontera<sup>61</sup>. Por ejemplo, mientras en Argentina se aprobaron leyes provinciales para la protección de glaciares (en San Juan, en 2010), en Chile no existe ninguna ley particular que los proteja actualmente<sup>62</sup>, si bien existe un acuerdo para aprobar un proyecto de ley<sup>63</sup>.

## Resultados

Muchas veces los recursos geológicos no coinciden en su extensión con las fronteras políticas, que son un invento humano. El caso de la guerra del Salitre, además, se presenta como el deseo de monopolizar una producción, o, al menos, controlar el precio del producto. Esta situación, hoy es difícil que se repita, ya que la oferta de los productos minerales siempre está abierta; sin embargo, los intereses locales y regionales son otra cosa y siempre habrá situaciones de disputa. Además de la correcta delimitación, casi siempre verificable, también existen bienes que traspasan las fronteras, como los de la calidad ambiental, que conciernen por unísono a todos los actores de una explotación cercana a los límites territoriales.

## Conclusiones

En este capítulo se ha querido demostrar, con casos concretos, cómo los recursos minerales en general han ido marcando muchos de los eventos que se han sucedido a lo largo de la historia, y más concretamente en los últimos siglos, y cómo, en la actualidad, siguen siendo el origen de muchas de las tensiones políticas y sociales.

El hecho de que un país sea rico en determinadas sustancias minerales de alta demanda no tiene por qué ser signo de prospe-

<sup>61</sup> LIZAMA POBLETE, N., *op. cit.*

<sup>62</sup> HERNÁNDEZ, R. «Actual protección legal de los glaciares en Chile». Fundación Glaciares Chilenos, abril 2020 <https://www.glaciareschilenos.org/ley-glaciar/actual-proteccion-legal-de-los-glaciares-en-chile/>

<sup>63</sup> Fundación Centro de Estudios de Montaña. «Ley de protección de glaciares – Los principales hitos que han marcado su tramitación», junio 2020. <https://www.cem-fundacion.cl/ley-de-proteccion-de-glaciares-los-principales-hitos-que-han-marcado-su-tramitacion/>

ridad, como se ha visto. Más bien al contrario, corren el peligro de alimentar conflictos, corrupción o trabajo infantil, entre otros. En este sentido, son importantes los gestos que, tanto EE. UU. como la Unión Europea, están realizando con respecto a los minerales de conflicto, si bien la apertura de nuevas minas en otras zonas del planeta ayuda a disminuir esta problemática.

Con el incremento de la población mundial y de su nivel de vida se hace inevitable que aumente la demanda de recursos minerales, si bien se prevé que el reciclado de muchas de las sustancias ayude a aliviar el mercado. Nuevas tecnologías están siendo desarrolladas para poder llegar a explotar tipos de yacimientos que hasta ahora eran inalcanzables. Esto conlleva, además, legislar en territorios y en disciplinas donde hasta ahora no había sido necesario. Los fondos marinos y los casquetes polares son dos buenos ejemplos de los trabajos que se están realizando a favor de la convivencia, tratando de evitar posibles conflictos futuros, como en el caso de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos, el Tratado Antártico o el Consejo Ártico.

Finalmente, otro de los problemas que se han expuesto es la problemática asociada a los yacimientos que se encuentran en el subsuelo perteneciente a más de un Estado. Motivo de conflictos en siglos pasados, en la actualidad se mantiene una vía diplomática que puede ser capaz de resolver los problemas hasta cierto punto. Los representantes de intereses no son solo políticos (como podían serlo en la antigüedad), sino que suelen ser grandes empresas privadas, con medios suficientes para hacer frente a las posibles dificultades. En último lugar, entran en juego los intereses medioambientales, ligados a la licencia social, en los que los representantes políticos también deben implicarse. Y es que parece ser más fácil llegar a acuerdos sobre las cuestiones económicas, fiscales y administrativas entre países fronterizos que la obtención de la licencia social.

Se ha pretendido dar a conocer determinados casos, tanto actuales como pasados, en los que los recursos minerales han influido o influyen en las decisiones políticas y ambientales, tomadas no solo a nivel nacional, sino internacional. Los recursos minerales marcan y han marcado numerosos hechos que afectan al régimen mundial de los acontecimientos.





## Capítulo quinto

### El sector minero español buscando su futuro: estrategias de abastecimiento y de clúster de desarrollo

*José Antonio Espí  
Luis de la Torre Palacios*

#### Resumen

A nivel estratégico, hoy la minería española posee un claro sentido económico y social dirigido al abastecimiento de la industria y servicios propios y al desarrollo regional en algunos casos. El tercer nivel estratégico se refiere a los minerales escasos o tecnológicos que pueden formar una pieza importante en la estrategia de suministro seguro para la Unión Europea. El estudio también introduce el concepto de *clúster* o aglomeración productiva como guía para asegurar el desarrollo sostenible en sus aspectos económico, ambiental y socialmente duraderos. Con ello, además de asegurar la calidad del desarrollo minero, puede llegar a garantizar la permanencia económica o ambiental después de que haya desaparecido la actividad minera.

#### Palabras clave

Minería, abastecimiento, agrupaciones industriales, materias primas minerales, desarrollo.

## **The Spanish mining sector looking for its future: Supply strategies and development cluster**

### **Abstract**

*Today, Spanish mining has a clear economic and social sense aimed to supply to the industry, to its own services and, in some cases, at the regional development. The third strategic level refers to scarce or technological minerals that can be an important piece in the safe supply strategy for the European Union. The study also introduces the concept of «cluster» or productive agglomeration as a guide to ensure sustainable development in its economic, environmental and social aspects. This ensures both the quality of the mining development and the guarantee of economic or environmental permanence after the mining activity has disappeared.*

### **Keywords**

*Mining, mineral supply, industrial clusters, mineral raw materials, development*

## Contexto actual de la minería española

Hoy, la actividad minera en general se diferencia de otros sectores de la economía en que depende de recursos no renovables como materias primas para la producción y, por lo general, requiere grandes inversiones para formalizar una nueva capacidad. Además, estas pueden tardar un tiempo considerable en completarse y volverse operativas. La eficiencia de la producción está determinada por factores tales como la tecnología, la gestión, las habilidades y las prácticas laborales.

La productividad en la minería también refleja la influencia de los recursos naturales. Aunque estos son un insumo importante en la producción, los cambios en su calidad generalmente no se tienen en cuenta en la valoración estándar de su productividad. Esta se manifiesta no solo como cambios en la eficiencia de la producción, sino también en las variaciones en la calidad subyacente y en la accesibilidad de los recursos naturales. Por lo general, se pasan por alto porque estos recursos no se adquieren como bienes del proceso. En otras palabras, los recursos naturales tienden a tomarse como «dados», o bien como variables ambientales<sup>1</sup>.

La minería posee un alto nivel de productividad en comparación con otras industrias. La eficiencia laboral en la minería es alta porque este sector industrial es relativamente intensivo en capital (más capital disponible por hora de trabajador). Al mismo tiempo, la productividad de la mano de obra también resulta más variable a lo largo del tiempo porque el trabajo del personal representa una proporción comparativamente pequeña de los gastos totales.

Con estas ideas se comprende cómo es la situación actual respecto al aprovechamiento económico de las materias primas minerales y el grado de introducción de países más que emergentes en el panorama mundial. China, India y otros Estados con una potente economía (medida en actividad económica y en demografía) tratan de acceder a unos recursos más que nunca demandados en el contexto mundial. Europa, consciente de lo evidente del problema, trata, desde hace pocos años, de realizar su propia política de abastecimiento, empezando por revalorizar sus propios recursos.

---

<sup>1</sup> AUSTRALIAN PRODUCTIVITY COMMISSION. *Productivity in the Mining Industry: Measurement and Interpretation*. Staff Working Paper. December 2008.

Nuestro país, antaño gran productor a nivel mundial, se ha visto totalmente superado con la producción global de minerales en el pasado siglo. No obstante, la situación actual diferencia a una minería moderna situada a un elevado nivel tecnológico y significativa en el contexto europeo y que, hablando de manera global, corresponde a la minería de minerales metálicos. Esta evolución ha ocurrido amparada en los notables precios de algunos metales como respuesta, en los últimos años, a una demanda que refleja las necesidades crecientes de la población y la economía mundiales.

Todo lo anterior se enmarca en un momento en que la actividad minera se ha vuelto cada vez más compleja y más difícil de desarrollar: la disminución en la calidad de los nuevos depósitos y la necesidad de aumentar la eficacia tecnológica y económica de las explotaciones para hacer frente a ello. También se han incorporado las crecientes exigencias de calidad ambiental y aceptación social para su desenvolvimiento y, en muchos casos, la limitada preocupación de las administraciones públicas sobre políticas de carácter general, que deberían orientar a todos los actores que comprende el complejo productivo.

## Geología y agrupamiento de yacimientos minerales en España

### Condiciones geológicas de los depósitos minerales en producción

En el suroeste de Europa, la mayoría de las provincias metalogénicas están ligadas al Cinturón Varisco europeo, que es el macizo Hespérico en Iberia. En referencia a los depósitos de minerales metálicos operativos en Iberia, se podrían considerar dos grandes provincias metalogénicas. Una de las características de la Zona Sur de Portugal (SPZ) es la abundancia y el tamaño de los depósitos de sulfuros masivos que contiene. La parte de la SPZ donde existen estos minerales se conoce como la Faja Ibérica de Piritas<sup>2</sup>. La IPB (Iberian Piritic Belt), que forma parte del Cinturón Hercínico, consta de rocas del Devónico tardío al Carbonífero medio que albergan considerables depósitos de sulfuros masivos (VMS) mineralizados alojados en rocas volcánicas: 1700 mill. t

---

<sup>2</sup> BARRIGA, F. J. Pre-Mesozoic Geology of Iberia. En: R. D. Dallmeyer y E. Martínez García (ed.). *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag 1990, pp. 369-379.

de sulfuros que constan de 14,6 mill. t de Cu, 13,0 mill. t de Pb, 34,9 mill. t de Zn, 46 100 t de Ag y 880 t de Au<sup>3</sup>.

Varios yacimientos de menor importancia económica se localizan en la Zona Galicia-Tras-os-Montes, la Zona Oeste Asturiano-Leonesa y la Zona Centro Ibérica, en Portugal y España. Existen ocurrencias minerales productivas que contienen metales que se utilizan en aplicaciones tecnológicas (Sn, W, Ta y Li). Estos depósitos se forman generalmente por procesos magmático-hidrotermales y comúnmente se relacionan con rocas magmáticas con composiciones graníticas.

Otras áreas de interés metalogénico se ubican en la Zona Asturiano-Leonesa, que contiene la única mina de oro activa en la península ibérica, y la Zona Ossa Morena, que tiene considerables posibilidades de investigación para diversos metales.

A menudo, la asignación de un «depósito de mineral» a una provincia metalogénica específica es decisiva. En la IPB, la geoquímica y morfología de sus depósitos son los determinantes del sistema minero. En sus modelos fundamentales (diseminado, masivo y «zona de alimentación de *stockwork*»), aparecen frecuentemente imbricados, deformados (probablemente con flujo de material) e incluso invertidos. Sin embargo, juntos forman lentejones, que a menudo son cortas y gruesas<sup>4</sup>. Además, las configuraciones finales dejadas por las fases tectónicas a las que han sido sometidas tienden a ocupar tanto los flancos como las charnelas de los apretados pliegues de la Orogenia Varisca.

Esta morfología favorece la explotación económica a profundidades medias y, en el futuro, aún más profundas, en sistemas de explotación por subniveles con o sin relleno. Además, el acortamiento (pliegues muy apretados e imbricamientos) ayuda sustancialmente a la exploración. Por esta razón, los éxitos en exploración no son raros después de haber gastado cantidades considerables de dinero en esta empresa.

Las diferencias entre las características geotécnicas de un cuerpo mineral y sus hastiales facilitan una baja dilución en los stoc-

<sup>3</sup> INVERNO, C. *et al.* 3D, 4D and Predictive Modelling of Major Mineral Belts in Europe. *Introduction and Geological Setting of the Iberian Pyrite Belt*. Springer, 2015, pp. 191-208.

<sup>4</sup> TORNOS, F. «La Geología y Metalogenia de la Faja Pirítica Ibérica». *Macla*, n.º 10, noviembre 2008, pp. 13-23. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. Conferencia invitada: Tornos, 3-23.

*work* y en los minerales masivos. Además, la densidad de todos los metales que acompañan a los sulfuros es un factor de eficiencia volumétrica extractiva, de interés en la minería subterránea. Así, los enriquecimientos secundarios de los principales metales ligados a las últimas etapas de deformación favorecen la selección de sus calidades.

Por otro lado, los minerales tecnológicos (wolframio-estaño-tántalo-litio) no suelen presentar homogeneidad morfológica, incluso en su entorno, siempre muy disperso, lo que no facilita la formación de clústers de explotación. Además, los proyectos actuales carecen de dimensiones importantes y presentan muchas variaciones individuales. Por lo tanto, la tendencia del wolframio a ser explotado como minerales de scheelita se debe tanto a su abundancia relativa como a la falta previa de extracción. Esto genera problemas metalúrgicos y carece de aceptación social, tal como se puede ver en áreas sin tradición minera reciente.

#### Agrupamiento de los yacimientos minerales en producción

Se puede contemplar un agrupamiento de depósitos minerales referido a sus usos desde la perspectiva de Stephen Kesler en su libro *Mineral Resources, Economics, and the Environment*<sup>5</sup>. Este libro contiene información actualizada sobre la geología y distribución de metales denominados *elementos tecnológicos*. En este caso se describen los principales recursos, así como las condiciones tecnológicas y económicas de los metales básicos (por ejemplo, aluminio y cobre) y algunos metales seleccionados (por ejemplo, litio y tierras raras). Este libro contiene una descripción de los recursos disponibles actualmente y la distribución de tales depósitos, además del uso de este grupo de metales en varios campos de rápido crecimiento. En este sentido, los tres grupos siguientes se consideran por separado en la producción de metales ibéricos.

*Los metales base (Cu-Zn-Pb)*. No existe una definición rigurosa para este grupo de metales. El aluminio, el cobre, el zinc, el plomo y el níquel generalmente se consideran metales base. Sin embargo, en el caso de la minería en la península ibérica, solo se consideran cobre, zinc y plomo. Esto se debe a su importancia

<sup>5</sup> KESLER, E.; SIMON, A. *Mineral Resources, Economics and the Environment*. Cambridge: Cambridge University Press 2015, 434 p.

económica. El níquel cesó hace unos años, y no existen depósitos de aluminio de gran importancia.

En principio, los minerales básicos se producen en relativamente grandes cantidades, y suelen poseer una «vida de las reservas» de más de 100 años. Sin embargo, las concentraciones valoradas de plomo y zinc poseen vidas de tan solo 20 a 25 años. En este el caso, esta cantidad ha seguido siendo la misma desde más de 50 años, a pesar de un elevado aumento en la producción. Esta estabilidad significa un equilibrio dinámico entre el consumo y el descubrimiento de nuevas reservas de los dos metales en los últimos 50 años. Obviamente, resulta mucho más importante y constante el esfuerzo necesario para mantener un equilibrio dinámico para los minerales básicos de vida más breve que para los de muy larga vida útil<sup>6</sup>.

*El grupo W-Sn-Ta-Li.* De la Torre y Espí<sup>7</sup> se refirieron al grupo W-Sn-Ta-Li como de minerales escasos. En el grupo W-Sn-Ta-Li, a veces existe una asociación natural de tipos geológicos y metalogénicos, al menos para aquellos bajo las condiciones geológicas más frecuentes. Estos metales son escasos y con afinidad por el hierro (acero) que produce aleaciones o mejoramiento superficial (estaño en la fabricación de hojalata, tungsteno, niobio), y pertenecen al grupo de metales con valor tecnológico<sup>6</sup>, especialmente el tántalo y el litio, de extraordinario interés.

*Metales preciosos (Au, Ag).* Los metales preciosos se clasifican como tales debido a su elevado precio. Son metales que se encuentran regularmente en la naturaleza en estado libre, es decir, no se combinan con otros elementos químicos. En Iberia solo hay un proyecto productor de oro, aunque las posibilidades de tener una producción apreciable de este metal son razonablemente altas. La plata es un elemento que acompaña inevitablemente a los minerales de cobre y zinc. Por este motivo, y especialmente en la Faja Pirítica Ibérica (IPB), la plata contribuye de forma desigual a la viabilidad económica de la producción de estos dos metales.

<sup>6</sup> WELLMER, F.; BECKER-PLATEN, J. «Sustainable development and the exploitation of mineral and energy resources: a review». *International Journal of Earth Sciences*, vol. 91, 2002, pp. 723-745.

<sup>7</sup> DE LA TORRE, L.; ESPÍ, J. A. «Are investments in priority mineral raw materials attractive?». *Buscando Valor*. <https://rankia.s3.amazonaws.com/promociones/buscando-valor/Revista-05-Buscando-Valor-Julio-2019.pdf>

Los minerales no metálicos con valor estratégico (espato flúor y estroncio)

*Los minerales no metálicos.* El papel de los minerales industriales en la minería española ha ido perdiendo valor en los últimos años hasta llegar, en el año 2017, a 851 millones de euros, o el 24,4% de valor total de la producción de los minerales españoles.

De manera general, los minerales no metálicos se diferencian de los metálicos en que:

- Se suministran en grandes cantidades.
- No suelen requerir procesos de concentración, sino de preparación para su venta.
- Generalmente se venden anhidros y, por lo tanto, es frecuente que precisen evaporar la humedad de proceso.
- Casi siempre se explotan a cielo abierto, con bajas razones de desmonte (producen pocos residuos).
- No son contaminantes, ya que no suelen llevar sulfuros asociados.

De esta manera, son pocos los minerales no metálicos estratégicos para la UE. Sin embargo, la fluorita, el estroncio, el grafito y otros sí se integran en el grupo de los críticos. De ellos, los dos primeros se producen en nuestro país.

### Los proyectos mineros actuales

Asumiendo la agrupación de proyectos según los criterios descritos anteriormente, se presentan sus características de producción más importantes.

### Los metales básicos (Cu-Zn-Pb)

Proyecto	Dimensión (mill. t/año)	Dimensión unidades de producción	Vida (años)	Estatus de desarrollo***
<b>COBRE</b>				
<b>Aguas Teñidas y otros</b>	4 mill. t/a (mill. t) Subterránea	60 000 t Cu; 110 000 t Zn 34 000 t Pb	abierto	5
<b>Cobre Las Cruces</b>	1,4 mill. t/a Cielo abierto	70 000 t Cu	abierto	5 (en transformación)
<b>Riotinto</b>	10,5 to 15,0 mil. t/y <i>Open-pit expansion</i>	44 950 t Cu	open	5
<b>Touro*</b>	7,0 mill. t/a Cielo abierto	30 000 t Cu	13	3-4



Proyecto	Dimensión (mill. t/año)	Dimensión unidades de producción	Vida (años)	Estatus de desarrollo***
<b>ZINC-PLOMO</b>				
<b>Los Frailes*</b>	2,7 mill. t/a Subterránea	133280 t Zn eq/a	20	3-4
<b>Total*</b>	0,45 mill. t/a Subterránea	28760 t Zn eq/y	9	3

(\*) en espera; (\*\*) objetivo; (\*\*\*) (1) El proyecto se encuentra en una fase de evaluación muy preliminar y no tiene un estándar que lo respalde. (2) Proyectos diseñados a partir de recursos que aún no han sido valorados en su totalidad. Se admite un estudio de alcance. (3) Proyecto en fase de evaluación que ya cuenta con un PEA reconocido por un estándar internacional. (4) Proyecto en fase de construcción o que ya cuenta con un informe técnico acreditado que presenta los últimos problemas de aceptación. (5) Proyecto en fase minera.

Tabla 1. Situación de los proyectos de cobre-zinc-plomo españoles.

Cuadro de situación y datos básicos de apoyo a las tablas 1-4
<b>-Referencia y año:</b> se refiere al documento principal donde se ha obtenido la mayor parte de la información. Se mencionan el nombre oficial de la empresa y el año de la información. Además, el estándar en él incluye (JORC, NI 43, PERC u otro).
<b>-Dimensión (t/año):</b> es la dimensión indicada por la capacidad nominal o el promedio anual del proyecto, en millones de toneladas ROM/año.
<b>-Dimensión de la producción en unidades de metal/año:</b> cantidad de metal recuperado y vendido en un año. Es el más utilizado en el comercio de minerales y metales. Por lo tanto, para el cobre, zinc y plomo son las toneladas equivalentes de metal (eq.). Para el estaño, la tonelada de Sn metal. Para tungsteno, mtu o 10 kg WO <sub>3</sub> . Para tántalo, kg de Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . Para el litio, la tonelada de LCE o carbonato de litio equivalente. Para oro y plata, onz Au eq.
<b>-Vida:</b> es la vida del proyecto (años), suministrada por la empresa o calculada a partir de recursos (I + M) y las reservas.
<b>-Estado de desarrollo:</b> en la tabla se ha considerado la siguiente escala: (1) Proyectos en fase de evaluación muy preliminar y que no tienen un estándar que los acredite. (2) Proyectos diseñados a partir de recursos aún no totalmente valorados. Se admite un estudio de alcance. (3) Proyectos en fase de evaluación que ya cuenta con un PEA reconocido por un estándar internacional. (4) Proyectos en fase de construcción o que ya cuentan con un informe técnico acreditado y que presentan los últimos problemas de aceptación. (5) Proyecto en fase de explotación minera.

Tabla 2. Explicación de las columnas de las tablas 1-4.

El diseño minero de los proyectos de IPB se basa en las variadas características morfológicas y geoquímicas de sus depósitos de mineral. En general, los cuerpos de sulfuros masivos ocupan el

núcleo de los principales yacimientos: Aguas Teñidas (Cu, Zn), Sotiel Coronada (Zn, Cu) y Magdalena-MATSA (Cu, Zn) y Cobre Las Cruces (Cu) (tabla 1). Todos estos yacimientos se explotan como «cobrizos» (más o menos ricos en cobre). Sin embargo, Los Frailes contiene cantidades apreciables de zinc y plomo (tabla 1). Además, los *stockworks* de Riotinto-Atalaya Mining (cobre), los sulfuros primarios diseminados y *stockworks* también se explotan en el nuevo proyecto CLC, denominado PMR (Refinería Polimetalúrgica), que reemplazará al proyecto actual, que se encuentra en fase de cierre. Este proyecto ha revelado una cantidad sustancial de sulfuros de cobre y zinc debajo de la masa de sulfuros secundarios ya casi agotada. Estos minerales forman parte de los «alimentadores» del cuerpo principal y, por tanto, sus leyes son notablemente inferiores.

El depósito de Aguas Teñidas también posee un stock deformado adherido a la masa principal. Las leyes también son muy variables. Los sulfuros masivos tienen leyes de cobre explotables superiores al 2% Cu («cobrizos», ricos en cobre) de Aguas Teñidas y Magdalena. Destaca el yacimiento de cobre de Las Cruces, con leyes promedio del orden de 6% Cu (sulfuros secundarios). Los sulfuros masivos que contienen zinc y plomo no suelen superar el 5% de Zn (Aguas Teñidas y Sotiel). Todos estos depósitos se extraen por medio de operaciones mineras subterráneas.

Sin embargo, los *stockworks* actuales no superan el 0,5% Cu en Riotinto-Atalaya Mining, mientras que son algo superiores en Aguas Teñidas. El próximo proyecto Cobre Las Cruces (CLC) explotará un depósito de mineral primario (incluidos los «alimentadores») con solo 1,1% Cu, 2,6% Zn y 1,3% Pb. El proyecto Riotinto está configurado para explotar un «cielo abierto» con una relación de desmonte baja, mientras que el proyecto PMR operará una mina subterránea debido a obligaciones administrativas, mientras que el cielo abierto de CLC recientemente paralizado posee una relación de desmonte muy alta (aproximadamente 14/1, t/t). Las producciones de los proyectos ibéricos actuales son bastante similares (tabla 1). Así, aproximadamente 70000 t Cu al año son producidas por Cobre Las Cruces, Aguas Teñidas (con sus tres depósitos), y, posiblemente, Touro-Atalaya Mining puede entrar en funcionamiento en breve plazo.

En la producción de zinc-plomo, las 130000 toneladas de zinc equivalente en plomo es la capacidad de producción actual de MATSA (Aguas Teñidas-Magdalena-Sotiel), pero esto podría lograrse (o cerca de ello) en poco tiempo en el proyecto CLC-PMR

y Los Frailes. Se han dejado fuera de descripción dos proyectos pendientes: la mina Touro, en la provincia metalogénica de Galicia-Zona Tras-os-Montes, y la mina Toral, en la Zona Oeste Asturiano-Leonesa. La más desarrollada de las dos es la mina Touro, que ya estaría operativa si hubiera obtenido un permiso ambiental de la Administración regional.

Grupo W-Sn-Ta-Li (metales tecnológicos)

Proyecto	Dimensión (t ROM/year)	Dimensión unidades de producción	Vida (años)	Estatus desarrollo
<b>ESTAÑO</b>				
Oropesa*	0,5-1,0 mill. t/a Cielo abierto	2000 t Sn/a	14	4
<b>WOLFRAMIO</b>				
La Parrilla	2,0-3,4 mill. t/a Cielo abierto	178 kmtu/a a 264 kmtu/y	9	5
San Finx	0,07 mill. t/a Subterránea	78 kmtu/a eq.	-	5**
Los Santos	0,45 mill. t/a Cielo abierto y subterránea	80 kmtu/a	3	5**
Barrueco	1,1 mill. t/a Cielo abierto	260 kmtu/a	9	5
Vaitrexal*	0,5 mill. t/a Cielo abierto	100 kmtu/a	13	3
<b>TÁNTALO</b>				
Penota	3 mill. t/a Cielo abierto	231 t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 1400 t Sn	21	5
Alberta II*	-	-	-	2
<b>LITIO</b>				
Valdeflórez*	1,25 mill. t/a Cielo abierto	15000 t HxLi/a 19500 t LCE*** eq	24	3-4
Las Navas*	2,3 mill. t/a Cielo abierto y subterránea	24000 t LCE/y	20	2

(\*) en espera; (\*\*) paralizado; (\*\*\*) carbonato de litio equivalente.

Tabla 3. Situación de los proyectos españoles de estaño, wolframio, tántalo y litio.

En referencia al contexto geológico de las mineralizaciones económicas españolas, existen otras dos zonas estrechamente relacionadas, denominadas Zona Central Ibérica (CIZ) y Zona

Galicia-Tras-Os-Montes (GTMZ). Las dos contienen manifestaciones minerales productivas de metales tecnológicos (Sn, W, Ta, Li) (tabla 3). Las mineralizaciones se ubican principalmente en relación a campos pegmatíticos y cúpulas leucograníticas, además de *stockworks* y vetas en las rocas portadoras.

*Estaño.* El estaño se distribuye ampliamente por toda Iberia, y hay abundantes depósitos mineralizados: plutones, granitos y domos, *stockworks* y placeres. Sin embargo, con los precios del estaño de los últimos años, solo la mina Oropesa posee viabilidad económica. Descubierta a finales del siglo pasado, Oropesa ha sido incluida en varios proyectos diferentes en los últimos tiempos. La versión óptima del proyecto se realiza en minería a cielo abierto y produciría no menos de 2000 t/año de Sn. Su ley de estaño es bastante alta, refiriéndose a una minería a cielo abierto. Actualmente, este proyecto está a la espera del permiso ambiental.

*Wolframio.* España ha sido un gran productor de wolframio durante el último siglo. En la actualidad, respaldado por precios razonables de los metales, parece que su producción se reanudará nuevamente a niveles incluso superiores a los de antes. Los principales proyectos son los siguientes:

- Los Santos (Salamanca). Los Santos es un depósito skarn. Estos yacimientos que contienen scheelita forman cuerpos depositados por fluidos magmático-hidrotermales asociados con intrusiones granitoides en rocas metasedimentarias carbonatadas. El proyecto de Los Santos acaba de ser detenido, sin llegar a la etapa final de minería subterránea.
- Valtreixal (Zamora). Es un depósito hidrotermal complejo formado por vetas hidrotermales, pero también contiene minerales de skarn relacionados con un horizonte dentro de los esquistos verdes. La mineralización de wolframio, como scheelita, aparece principalmente fuera de las vetas de cuarzo y parece tener un origen estratoligado. Además, existe una mineralización asociada de estaño (casiterita) que se encuentra dentro y alrededor de las vetas de cuarzo. La empresa propietaria, ALMONTY R., también es propietaria del depósito de Los Santos, al que probablemente reemplazará.
- San Finx (La Coruña). El yacimiento de San Finx está formado por vetas de cuarzo hidrotermal, con casiterita y wolframita alojadas en esquistos y ortogneis dentro de una estructura de graben. En las inmediaciones afloran granitos sincinemáticos de dos micas. La principal mineralización

se encuentra en varias vetas de cuarzo de entre 0,5 y 4 m de espesor. El proyecto se ha detenido debido a requisitos medioambientales.

- La Parrilla (Cáceres). La Parrilla es un depósito de estilo veta hidrotermal que consiste en un sistema de vetas de cuarzo con scheelita y casiterita alojadas dentro de una secuencia del Esquisto Grauváquico precámbrico y ubicado sobre una intrusión granitoide enterrada, que se interpreta como la fuente de los fluidos mineralizantes. El proyecto se inició hace dos años con considerables dificultades para lograr la producción esperada.
- Barruecopardo (Salamanca). La mineralización hidrotermal de cuarzo-wolframio en Barruecopardo aparece dentro de las rocas intrusivas ígneas. El sistema de vetas y vetillas subverticales y paralelas de longitud y anchura variable (hasta 15 cm de ancho) está alojado en el leucogranito de Barruecopardo. El proyecto, iniciado recientemente, ha encontrado bastantes problemas para llegar a la producción de diseño.

Hablando sobre su conjunto, las dimensiones de los proyectos de wolframio son relativamente similares. Se pueden establecer dos grupos, proyectos con una «guía de producción» de aproximadamente 100 kmtu (1.000 t WO<sub>3</sub>)/año: Los Santos, Valtreixal, San Finx y los proyectos que superan los 200 kmtu (2000 t WO<sub>3</sub>)/año: La Parrilla y Barruecopardo.

*Tántalo.* España produjo una importante cantidad de tantálita a finales del siglo pasado, con depósitos en producción en Golpejas (Salamanca) y Penouta (Orense). El desarrollo del proyecto Penouta (España) se detuvo a causa de la crisis del estaño de 1985. Su nueva puesta en marcha supone la vuelta a la producción de tántalo y niobio en España. El depósito es parte de una cúpula de granito greinsenzado y albitizado que contiene un cuerpo mineralizado en Sn-Ta-Nb hasta una profundidad de más de 200 m. La mineralización de casiterita y minerales del grupo de las columbitas se encuentra finamente diseminada por todo el granito. El proyecto de Penouta comenzó en 2018 y está pasando por una etapa difícil. Los recursos valorados se aproximan a los 100 millones de toneladas. Tanto el contenido de tántalo (77 g Ta/t) como el contenido de estaño (443 g Sn/t) son esenciales para la economía del proyecto.

*Litio.* Como en otros metales, la capacidad de satisfacer las necesidades de metales europeos siempre es insuficiente; sin embargo, en el litio, parece posible satisfacer estas necesidades a corto plazo. En España, varios proyectos han alcanzado el nivel

señalado por el Estudio de Viabilidad Económica, y algunos se encuentran en el inicio de las inversiones. Todos los depósitos se rigen por un estándar de calidad reconocido que se utiliza para validar sus recursos y reservas.

En España, en este momento existen dos ejemplos de proyectos avanzados: el proyecto Valdeflórez y el proyecto de Las Navas. Estos proyectos se refieren a depósitos mineralizados de roca dura, y tanto sus leyes como sus circunstancias geológicas se parecen a muchos de los proyectos operativos del mundo.

- Valdeflórez (Cáceres). Contiene *stockworks* de vetas Qz-Sn-Li y un depósito de mineral masivo formado por metasomatismo de la roca de caja por micas de litio. Los recursos están valorados en 14,1 millones de toneladas con 1,1% de Li<sub>2</sub>O. Es el proyecto español más avanzado, contando ya con una ingeniería sólida que tiene como objetivo conseguir el mayor valor añadido para obtener hidróxido de litio con calidad de batería. La falta de comprensión por parte de las administraciones locales y regionales ha impedido su continuidad. El proyecto ha sido renovado con un cambio de titularidad.
- Las Navas (Cáceres). En la mina Las Navas se pueden observar diques de pegmatita en los materiales del Esquisto Grauváquico. Este proyecto cuenta con recursos suficientes para operar y producir más de 20 000 toneladas de CLE (carbonato de litio equivalente) por año. Está pendiente de las autorizaciones ambientales.

#### Metales preciosos (Au, Ag)

Proyecto	Dimensión (t ROM/year)	Dimensión unidades de producción	Vida años	Estatus desarrollo
<b>Orovalle</b>	0,6 mill. t/a Subterránea	64000 onz Au: 200000 onz Ag 3000 t Cu	6	5
<b>Salave**</b>	0,65 mill. t/a Subterránea	79200 onz Au	14	3-4
<b>Corcoesto**</b>	1,8 mill. t/a Cielo abierto	106000 onz Au	10	3

(\*) ROM (*run-of-mine*); (\*\*) en espera.

**Tabla 4. Situación de los proyectos de oro-plata españoles.**

En España solo hay un proyecto productor de oro, aunque las posibilidades de tener producciones importantes de este metal son bastante altas (tabla 4). La plata es un elemento que acompaña inevitablemente a los minerales de cobre y zinc (tabla 3).

Por esta razón, especialmente en la Faja Ibérica de Pirita (IPB), la plata contribuye a la economía del proyecto.

- *Orovalle*. El depósito de oro de la mina El Valle-Boinás-Carlés es parte de un skarn en el Cinturón de Oro del Río Narcea. Está asociado con el stock de Boinás, que encaja parcialmente en una serie carbonatada de edad cámbrica. El complejo se ve afectado por episodios hidrotermales que removilizan algunos elementos, brechifican y enriquecen con oro la zona mineralizada. Orovalle es la continuación de las explotaciones de oro de Río Narcea, que inició su actividad a principios de este siglo. En total, la extracción de metales en esta zona alcanza el millón de onzas de oro. Ahora todavía le quedan 9 millones de toneladas de reservas y recursos, con aproximadamente 4.0 g Au/t. La producción real es de aproximadamente 50 000 onzas de oro al año. Orovalle ha iniciado amplias actividades de exploración para mantener su presencia en otros cinturones auríferos asturianos.
- *Salave*. El depósito de oro y plata de Salave incluye un grupo de cuerpos mineralizados poco profundos y casi horizontales asociados con zonas de fractura alteradas en la granodiorita de Salave. Según un informe técnico elaborado por la propiedad, la empresa indicó que, con base en la norma NI 43-101, los recursos medidos e indicados de Salave alcanzan los 6,5 millones de toneladas, con una ley de 4,5 g Au/t, es decir, 0,95 millones de onzas de oro. El proyecto Exploraciones Mineras del Cantábrico se ha adaptado a los requerimientos ambientales marcados por la Administración regional (minería subterránea, distancias de la planta de procesamiento, venta del oro contenido en un concentrado de flotación y otros) para obtener permisos definitivos.
- *Corcoesto*. El yacimiento de oro de Corcoesto está ubicado en una banda de aproximadamente 2 km de ancho en la parte noroeste del dominio de lutitas de Galicia-Tras-Os-Montes (SDGTM). La mineralización de mayor ley está relacionada con las vetas de cuarzo que contienen arsenopirita. Edgewater Exploration ha valorado unos recursos (medidos e indicados) para llegar a 5,8 millones de toneladas, con una ley de 1,74 g Au/t y 350 000 onzas de oro. Actualmente, el proyecto ha sido detenido por la Administración regional y está siendo apelado por la empresa afectada.

#### Los minerales industriales de interés estratégico

Este trabajo tan solo se referirá a los minerales no metálicos de carácter industrial y que se encuentren en la lista de las sustan-

cias críticas para Europa (tabla 5), además de que posean una producción estable en España. Tomados de esta manera, tan solo existen dos tipos de minerales: la celestina (estroncio) y la fluorita o espato flúor (flúor).

#### Espato flúor o fluorita

En este mineral, España ocupa una buena posición mundial, aunque no pase del 2,5% de su producción total. La fluorita cada vez es más escasa y sus propiedades la hacen imprescindible en varios sectores industriales. Además, España posee una baza importante al contar con Minersa, que es una importante pieza en el mercado internacional del flúor.

*Minersa.* Esta empresa es una verdadera multinacional. Posee depósitos minerales de fluorita en el norte de España y también en Sudáfrica. Además, es propietaria de Derivados del Flúor, único fabricante español de productos fluorados, con fábrica en Ontón (Cantabria), con una capacidad de producción de 60 kt/año de ácido fluorhídrico y de 50 kt/año de otros productos inorgánicos fluorados, exportando más del 75% de su producción, permitiéndole estar presente en todo el mundo<sup>8</sup>.

Sus proyectos en actividad se sitúan en Asturias: Cucona, Emilio y Ana, sobre todo. La planta de tratamiento por flotación se encuentra en Berbes, donde produce fluorita de calidad «ácida» (superior al 97% F<sub>2</sub>Ca).

Proyecto	Dimensión (miles t/año)	Dimensión unidades de producción	Vida (años)	Estatus de desarrollo***
<b>Fluorita</b>				
<b>MINERSA. Minas Cucona, Muscona, Emilia</b>	414 000 t/a Subterránea	150 000 F <sub>2</sub> Ca	10	5
<b>Minas de Lújar y minas de Gádor</b>	29 000 t/a Subterránea	19 000 F <sub>2</sub> Ca	10	5
<b>Celestina</b>				
<b>Montevives</b>	50 000 t/a Cielo abierto	30 000 t SO <sub>4</sub> Sr	8	5
<b>Escúzar</b>	200 000 t/a Cielo abierto	80 000 t SO <sub>4</sub> Sr	6	5

Tabla 5. Situación de los proyectos de minerales críticos industriales.

<sup>8</sup> IGME. *Panorama Minero 2017*, 2018. <http://www.igme.es/PanoramaMinero/PMLin.htm>



## Estroncio-celestina

La explotación de este mineral sitúa a la producción española como la más importante del mundo. Además, sus recursos también parecen muy importantes, quizás superiores a los 10 millones de toneladas. Los depósitos en explotación, todos en la provincia de Granada, son los siguientes:

- *Escúzar*. El yacimiento corresponde a rellenos de celestina mezclada con yesos en los huecos de karstificación formados en series calizas y margoso-calizas, de edad Tortonense-Messiniense (Mioceno superior). La explotación minera consta de una planta de trituración, preconcentración por medios densos, molienda y flotación. La explotación minera produce un mineral del 35%-50% de sulfato de estroncio que, tras su paso por el proceso de concentración, supera el 90%<sup>8</sup>. Su propiedad pertenece a Solvay Minerales, que la explota desde 1990.
- *Montevives*. El depósito mineral se encuentra en una estructura de tipo horst en la zona central de la Depresión de Granada. Su formación se debe al reemplazamiento diagenético de calcita y dolomita por celestina. La roca encajante es caliza con textura algal laminiítica y, a veces, con estromatolitos. Su edad es del Tortonense-Messiniense (Mioceno superior). La firma Canteras Industriales S.L., tras tres años de inactividad en el yacimiento de Montevives, desde 2012 recupera las antiguas escombreras<sup>8</sup>. Desde el año 2000, la empresa española QUÍMICA DEL ESTRONCIO, S.A. produce carbonato de estroncio a partir de celestina. Sus instalaciones están ubicadas en el valle de Escombreras (Cartagena, Murcia).

## El valor y la importancia de la producción minera española

### El PIB minero español y otros índices

Vista en su conjunto, la producción de la minería metálica española sigue diferenciándose del resto de sustancias minerales, suponiendo en el año 2018 el 35% del total (1218 millones de euros)<sup>9</sup>. Esto supone alrededor del 0,1% del PIB nacional

<sup>9</sup> MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO. *Estadística Minera Anual 2018*. <https://energia.gob.es/mineria/Estadistica/Paginas/Consulta.aspx>

(tabla 6), mientras que todo del valor de la minería española representa el 0,3% del PIB. Además de esta situación, los proyectos vigentes, y algunos que se incorporarán en breve, sobresalen por la magnitud de su facturación individual, el nivel tecnológico desplegado y, algunas veces, por su posición en los indicadores de sostenibilidad y circularidad de sus economías, como veremos más adelante.

Valor de la producción española de metales sobre el PIB nacional			
Año	2018	2019	2020
Valor de la producción minera de España***	3485 mill. €	3470 <sup>p</sup> mill. €	3053 <sup>p</sup> mill. €
Valor de la producción de metales	1218 mill. €	1173 mill. €	1070 <sup>p</sup> mill. €
PIB nacional	1 202 193 mill. €	1 244 757 mill. €	1 136 463* mill. €
% del PIB	0,29%	0,27%	0,27%
% del PI**	1,8%	1,7%	1,6%

(\*) estimado al 3.º trimestre de 2020; (\*\*) producto industrial, considerando el valor industrial igual al 16,1% de la economía nacional (2018); (p) años 2019 y 2020, previsiones basadas en las variaciones de la minería metálica; (P) Previsión.

**Tabla 6. Valor de la producción de los metales sobre el PIB nacional.**

En el año 2018, la contribución al empleo nacional del sector minero en España ha sido de 29 890 empleos directos, de los cuales, 22 869 puestos de trabajo correspondieron a la extracción de rocas y minerales no metálicos, 1 897 a minerales energéticos y 5 124 a minerales metálicos<sup>9</sup>.

### Niveles estratégicos de la producción minera española

Si aceptamos el significado de lo estratégico como imprescindible o al menos necesario para la existencia o producción de una parte de la actividad industrial, para las materias primas minerales (MPM), nos podemos encontrar en las siguientes cuatro situaciones:

1. *Las MPM verdaderamente estratégicas.* Es decir, aquella producción mineral sin la cual peligraría la existencia de una parte de la actividad económica española. Es decir, no

podrían sustituirse por su importación sin poner en grave riesgo el sistema productivo. Tal es el caso de las materias primas relacionadas con la construcción (gravas y áridos en general), pero también las MPM que entran a formar parte de la fabricación de los cementos, cales y yesos. También es el caso de las canteras de rocas ornamentales, sin las cuales dejarían de existir gran parte de la actividad de los telares y fábricas dedicados a la producción de tableros para el revestimiento de edificios.

El escaso valor unitario de los productos generados limita en muchos casos la máxima distancia entre productor y consumidor y, salvo ejemplos muy específicos, el suministro está garantizado por la abundancia en la naturaleza. La variedad de situaciones geológicas que ofrece España ayuda al aseguramiento de este suministro. Aproximadamente, su valor integral fue de 1262 millones de euros en el año 2018<sup>9</sup>.

2. *El sentido económico de los metales básicos en España.* Un metal básico es un metal común y económico. No existe ninguna definición rigurosa acerca de este grupo de metales. Generalmente, se consideran de carácter básico el aluminio, cobre, zinc, plomo y níquel. Para el caso español, solo se pueden considerar, en razón de su importancia económica, el cobre, zinc y plomo, ya que el níquel ha dejado de extraerse hace muy pocos años, y el aluminio no posee yacimientos de importancia.

De manera muy notable, existe una concentración de la producción de los metales básicos españoles en el suroeste peninsular, en la denominada Faja Pirítica (IPB). Fuera de ella tan solo existen dos proyectos de importancia todavía sin desarrollar: Touro (cobre), en Galicia, y Toral (zinc-plomo), en León.

El valor (tomado en el año 2019) de la producción de metales básicos es de 1230 millones de euros, es decir, aproximadamente un tercio del valor minero total de España<sup>10</sup>. Es decir, el valor de la producción en los tres proyectos vigentes en la IPB es más que notable, sobre todo en relación del entorno en que se mueven. En definitiva, son proyectos de

---

<sup>10</sup> ESPÍ, J. A.; DE LA TORRE, L.; ROMERO, P. «La minería metálica española del año 2020 y la definición económica, tecnológica y sostenible de sus proyectos». *Industria y Minería*, n.º 410, 2020.

elevado valor estratégico a nivel regional. Hay que tener en cuenta que su pueblo minero puede superar las 4000 personas como empleo directo.

3. *Los metales tecnológicos (escasos y especiales)*. En el sector de las materias primas de origen en principio natural, la irrupción de una nueva tecnología desata una amplia fantasía respecto al suministro procedente de los recursos de la Tierra. No hay más que fijarse en la importancia que está cobrando la acción climática a nivel político y de economía global. La posesión y control de las tecnologías que transformarán en más verdes la energía y la industria, así como de sus cadenas de suministro y recursos minerales asociados, resultarán clave en la década actual.

La UE hace años que se ha planteado el problema del suministro seguro de las materias primas necesarias para su industria, en especial para aquellos sectores que utilizan metales no muy abundantes y muchas veces ligados a las nuevas tecnologías, o bien de la producción con altos índices de sostenibilidad. De ahí nace la línea Raw Materials como política para lograr un acceso fiable y sin obstáculos a las materias primas en la UE, así como las acciones que su aplicación ha conllevado en Europa. Entre dichas acciones se encuentra la Raw Materials Initiative, que fija en 2008 una estrategia para tratar el asunto de las materias primas en la industria en la UE, con publicaciones regulares conteniendo un listado de materias primas críticas; y el European Innovation Partnership on Raw Materials, como plataforma de grupos de interés para la promoción de la innovación en el sector de las materias primas.

Una forma de racionalizar estos conceptos consiste en agrupar las sustancias naturales en conjuntos que intervienen en las tecnologías de manera más o menos permanente o bien ligadas a cambios relacionados con la innovación. Tomando el planteamiento de J. A. Espí, L. de la Torre y P. Romero (2021)<sup>11</sup>, las tecnologías nuevas y emergentes, en particular las vinculadas a las energías

---

<sup>11</sup> ESPÍ, J. A.; DE LA TORRE, L.; ROMERO, P. *La minería metálica española del año 2020 y la definición económica, tecnológica y sostenible de sus proyectos*. IMEB-Consejo de Colegios de Ingenieros de Minas de España, 2021. <https://ingenierosdeminas.org/noticia.php?id=491>

renovables, el transporte y las TIC (tecnologías de la información y la comunicación), ha provocado una demanda de metales tales como el litio, el wolframio, el cobalto, las tierras raras y otros. En Europa existe una fuerte llamada al abastecimiento responsable de minerales para tecnologías verdes y, hasta cierto punto, la minería de España puede contribuir de manera notable a la producción que necesita. De la Torre y Espí (2018-2020), en sus artículos sobre el tema, se refirieron a ellos denominándolos *escasos*.

La aparición de la idea de los minerales o metales de extraordinario interés coincide con las recientes denominaciones de *estratégicos*, *críticos* o *supercríticos*. Esto se relaciona con el hecho de que, para el normal desarrollo de industrias de carácter estratégico por su elevada tecnología o incluso por su ayuda ambiental, se debe contar con suministros fáciles o asegurados de productos minerales que, muchas veces, no cumplen esas dos condiciones. Sin embargo, esta escasez es siempre relativa o temporal. Las razones de ello hay que buscarlas en las coyunturas del momento o fallos puntuales de la relación oferta/demanda debida a diversas causas.

Así, y a pesar de las notables diferencias que existen entre ellos en cuanto a sus propiedades y, en ocasiones, en sus formas de aparición en la corteza terrestre, sí presentan similitudes:

- Generalmente, estos metales no son críticos en el sentido definido en la línea de materias primas de la UE, sino más bien escasos, al apartarse notablemente de su abundancia en la naturaleza. Aparecen en la vida industrial debido a las necesidades tecnológicas actuales, pero ya eran antes demandados (litio, cobalto, tierras raras).
- Su producción todavía es limitada. Casi todos se mueven alrededor de 100 000 toneladas (o menos) por año.
- Poseen un valor limitado. El valor de su producción mundial, generalmente, es inferior a los 10 000 millones de dólares al año, frente al valor de mercado de otros metales, como el cobre, que es de 140 000 mill. \$/año.
- En la naturaleza aparecen en forma de pequeños depósitos minerales, o que aún no son bien conocidos y suelen encontrarse acompañando a otros metales de mayor importancia económica.

- Para ellos existe la posibilidad de sustituciones y reciclaje, y, también, de cartelización, cuando no de monopolio. Sin embargo, el grupo Sn-W-Ta-Li (que son los de producción actual española) aparece una asociación natural de tipo geológico, al menos, para las condiciones más frecuentes.



Figura 1. Minerales críticos para la UE y países que los producen.

La UE, en 2020<sup>12</sup>, emite un informe en donde amplía hasta veinte el número de sustancias minerales de carácter crítico según su criterio valor-riesgo: *Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Final Report*.

<sup>12</sup> EU. *Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Final Report*, 2020. [https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en)

Materias primas críticas para Europa* (2020)		
Antimonio	Hafnio	Fósforo
Barita	Tierras raras pesadas	Escandio
Berilio	Tierras raras ligeras	Silicio
Bismuto	Indio	Tántalo
Boro	Magnesio	Wolframio
Cobalto	Grafito natural	Vanadio
Carbón doméstico	Caucho natural	Bauxita
Fluorita	Niobio	Litio
Galio	Platínidos	Titanio
Germanio	Roca fosfática	Estroncio

(\*) La carga de color corresponde a los metales que actualmente produce (o está próxima a producir) España.

Tabla 7. Listado de las materias primas críticas de Europa.

Vista en su conjunto (tabla 7), se comprende como la apreciación europea dista de la visión española actual, ya que nuestro país todavía no produce componentes industriales de estas sustancias, a excepción de la fluorita y, quizás, del wolframio. Nuestro país, generalmente, se abastece de componentes y productos químicos elaborados adquiridos en el exterior. Sin embargo, no se puede descartar que, en plazo breve, algunos componentes industriales pudieran ser fabricados en España. Tal es el caso de las posibilidades que se manifiestan en el litio y que pueden derivar en verdaderos clústeres de desarrollo.

Posición de la minería española ante los elementos críticos de la UE					
Elemento crítico	Producción nacional	Reservas y recursos indicados	Recursos inferidos	G <sub>c</sub> : Grado de importancia %	Previsiones < 5 años: % de la prod. mundial
<b>Litio</b>	60 t Li <sub>2</sub> O/año	370 X 10 <sup>3</sup> t Li <sub>2</sub> O	677 x 10 <sup>3</sup> t Li <sub>2</sub> O	1050% - 10 años	15000 t Li <sub>2</sub> O - 18% (en 2018)
<b>Wolframio</b>	1079 t WO <sub>3</sub> /año	104 X 10 <sup>3</sup> t WO <sub>3</sub>	53 x 10 <sup>3</sup> t WO <sub>3</sub>	103% - 1 año	5000 t WO <sub>3</sub> - 5%
<b>Tántalo</b>	10 t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /año	7550 t Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		397% - 4 años	
<b>Tierras raras</b>	-	22 x 10 <sup>3</sup> t REO*	4 x 10 <sup>3</sup> t REO*	13% < 1 año	2000 t REO - 1%
<b>Fluorita</b>	145 x 10 <sup>3</sup> t F <sub>2</sub> Ca/año		10000 x 10 <sup>3</sup> t F <sub>2</sub> Ca	2% - 1 año	150000 t F <sub>2</sub> Ca - 2%
<b>Estroncio</b>	85 x 10 <sup>3</sup> t SO <sub>4</sub> Sr/año		8400 x 10 <sup>3</sup> t SO <sub>4</sub> Sr	3800% - 38 años	85000 t SO <sub>4</sub> Sr - 39%

(\*) REO, conjunto de tierras raras.

Tabla 8. Indicadores de los metales y minerales críticos que se producen en España. Elaboración propia.

En la tabla 8, para los metales críticos de la UE que se producen en España, se han creado dos indicadores acerca de la magnitud que significa esta producción sobre el total mundial producido. Gc es la proporción en % o en años de abastecimiento hipotético de las necesidades mundiales a partir de los recursos españoles valorados. Es decir, la respuesta a la pregunta de cuántos años de abastecimiento (o proporción en %) de la demanda mundial de una sustancia crítica significarían el total de los recursos (al menos indicados) de los yacimientos españoles preparados para producirlos en condiciones económicas. La última columna de la tabla indica cuánto supone en toneladas de producto acabado la producción prevista a no más de cinco años de una sustancia crítica. Además, informa sobre el porcentaje que ello significa.

La tabla muestra cómo la producción española es fundamental para el abastecimiento mundial de estroncio. Sin embargo, la importancia del suministro de litio en realidad es menor de lo que aparenta, ya que la geografía de este metal variará enormemente en los próximos años, a medida que la demanda se multiplique para abastecer las baterías de los vehículos eléctricos. En cambio, la relativa buena posición en el abastecimiento de wolframio puede consolidarse con el transcurso del tiempo y el agotamiento próximo de varios depósitos mundiales.

Una importante observación es acerca de las dificultades de llevar a cabo la preparación y el desarrollo de los nuevos proyectos a causa de la aceptación social y, a veces, de la falta de comprensión de las administraciones públicas. De manera bastante generalizada, este tipo de proyectos no presentan daños irreparables al medio ambiente si se establecen medidas de control suficientemente rigurosas.

También, hablando de manera general, las empresas que pretenden acometer el aprovechamiento de estos recursos ya cuentan con que deben ser cuidadosas en ese aspecto. Además, la propia UE avisa a los Estados miembros que existe un verdadero problema de seguridad de abastecimiento y que, dentro del respeto al principio de la conservación ambiental, se deben arbitrar soluciones para ayudar al aprovechamiento de sus recursos.

De esta manera, dentro de la política europea de asegurar el suministro de materias primas, el desarrollo de sus propias potencialidades ha sido objeto de especial atención. Además, la atención a las condiciones de este desarrollo ha originado una variedad



significativa de proyectos. Un ejemplo de ello es SUPRIM<sup>13</sup>, que utiliza el análisis de ciclo de vida (LCA) como su principal herramienta, modificándolo a una «evaluación de impacto del ciclo de vida» (LCIA), tratando de evaluar el impacto ambiental y el progreso de producción primaria sostenible.

SUPRIM podría ser parte de una nueva herramienta de evaluación para complementar las herramientas existentes vinculadas a la minería de conflictos, las emisiones de CO<sub>2</sub>, las listas de materias primas críticas, las huellas ambientales de los productos y los esquemas de abastecimiento responsable. En EIT RawMaterials Project<sup>14</sup>, iTarg3T (Innovative, Targeting and Processing of Tin-Tungsten-Tantalum) analiza las condiciones de los proyectos minerales europeos de carácter tecnológico y proporciona una visión integral de las condiciones geológicas, económicas y ambientales, pronosticando la situación de su propio suministro a corto plazo. Además, dentro de Horizonte 2020 hay otros proyectos que contribuyen de forma más indirecta a definir la situación de los metales estratégicos para Europa y su próximo futuro.

Tal como se verá al final del capítulo, se propone una nueva visión de análisis sobre la posible formación de «clúster de desarrollo» como concepto y herramienta para el aprovechamiento seguro y responsable de los recursos nacionales.

4. *Más allá de la producción nacional.* El sentido estratégico de la producción de las materias primas minerales está marcado por el aseguramiento de su suministro a las fuentes de producción industrial de carácter nacional. Por ello, la visión de su producción segura puede implicar también a la extensión de la cadena de valor de la minería y, también, a la relación con fuentes de producción más allá de las fronteras nacionales.

#### El sentido europeo de la producción minera

La política de materias primas de la UE esbozada por la Iniciativa de Materias Primas (RMI) se estableció en 2008, en gran parte

<sup>13</sup> DRIELSMA, J.; SOCHOROVÁ, V. «Sustainable management of primary raw materials through a better approach in Life Cycle Sustainability Assessment (SUPRIM)». *Newsletter*, May 2019. [http://www.euromines.org/files/suprim-newsletter\\_210x-297mm\\_e\\_final\\_0.pdf](http://www.euromines.org/files/suprim-newsletter_210x-297mm_e_final_0.pdf)

<sup>14</sup> iTarg3T GROUP. *EIT Raw Materials*, 2019. [https://www.itarg3t.eu/Networks\\_and\\_project/networks\\_and\\_project.html](https://www.itarg3t.eu/Networks_and_project/networks_and_project.html)

como respuesta al aumento extraordinario de las cotizaciones mundiales de los metales en el periodo 2003-2008. La iniciativa se centró en tres pilares para asegurar el suministro de materias primas:

- (i) El suministro justo y sostenible de materias primas de los mercados globales.
- (ii) Suministro sostenible de materias primas desde dentro de la UE.
- (iii) Eficiencia de recursos y suministro de materias primas secundarias a través del reciclaje.

La UE, a través de sus diversos instrumentos y agencias, ha apoyado al sector minero y a sus partes interesadas. La Comisión Europea, a través de la convocatoria Horizonte 2020 y del Séptimo Programa Marco, ha financiado proyectos centrados en aspectos técnicos, sociales, políticos y de gobernanza en materias primas.

Si bien el empleo generado directamente por el sector minero de la UE puede ser relativamente bajo en relación con otras industrias, sin embargo, también da lugar a empleos secundarios en industrias auxiliares (como equipos y servicios) y puede crear oportunidades de inversión. El plan estratégico de ejecución establece unos objetivos claros para la estrategia de materias primas de la UE:

- Reducir la dependencia de las importaciones y promover la producción y las exportaciones mejorando las condiciones de suministro de la UE, diversificando el abastecimiento de materias primas, mejorando la eficiencia de los recursos (incluido el reciclaje) y encontrando materias primas alternativas.
- Poner a Europa a la vanguardia en los sectores de materias primas y mitigar los impactos ambientales, sociales y sanitarios negativos relacionados.

#### La sostenibilidad ambiental y social

En términos generales, los temas de sostenibilidad ambiental y social abarcan todos los aspectos no técnicos de la actividad minera, desde la participación de la comunidad local y el respeto de los derechos humanos hasta la mitigación y protección de la biodiversidad y los hábitats. Estos han sido codificados bajo

una serie de estándares de mejores prácticas. En general, la UE espera que las materias primas que consume se extraigan bajo los estándares de mejores prácticas, ya sea que provengan de proveedores nacionales o internacionales. Los códigos de conducta establecidos bajo las directrices de la OCDE para multinacionales y para cadenas de suministro responsables de minerales, las recientes regulaciones de la UE sobre minerales de conflicto son algunos de los ejemplos de la perspectiva de la UE sobre la sostenibilidad ambiental y social de su consumo de minerales.

Además de las contribuciones económicas positivas para los países de acogida que resultan de la importación de materias primas por parte de la UE (ingresos fiscales y de exportación, inversión extranjera directa, transferencia de habilidades y tecnología y mejores prácticas, etc.), también hay impactos negativos.

La importación de minerales permite a la UE transferir la carga de los impactos ambientales y sociales de la producción de minerales al país anfitrión. En algunos países, las regulaciones nacionales y los estándares de mejores prácticas tienen como objetivo que la empresa minera gestione/internalice en gran medida dichos costos. En otros países, las regulaciones y/o su implementación aún están rezagadas y las empresas mineras continúan operando con prácticas mineras menos responsables. Cuando las regulaciones y la gobernanza son débiles, la carga de la sostenibilidad se transfiere a las comunidades locales y los Gobiernos, que a menudo están mal equipados para lidiar con ellos.

### Los impulsores clave del sector minero internacional

El sector minero global ha cambiado significativamente en los últimos años como resultado de la creciente globalización y el surgimiento de China. Al mismo tiempo, muchos desafíos han permanecido iguales o se han intensificado. También son importantes los aspectos siguientes.

#### La demanda global

La demanda mundial de minerales sigue aumentando y, aunque la UE es uno de los mayores usuarios mundiales, el mayor crecimiento de la demanda de metales primarios está surgiendo en otras regiones. China sigue siendo el principal impulsor de la demanda mundial de minerales en este momento. A medida que

aumentan los niveles de ingresos en otros países de Asia, África y América Latina, la demanda de los consumidores y los gastos en infraestructuras también impulsarán el aumento de la demanda de minerales.

#### Los minerales de tecnología verde

Las tecnologías nuevas y emergentes, en particular las vinculadas a las energías renovables, el transporte y las TIC, han dado lugar a una demanda de minerales no tradicionales como el litio, el cobalto, las tierras raras y otros. A medida que más países adopten estas tecnologías, tanto en Occidente como en Oriente, se espera que la demanda de estos minerales en particular sea mayor en el futuro. En Europa, en particular, existe una fuerte llamada al abastecimiento responsable de minerales para tecnologías verdes, ya que la promoción de tecnologías amigables con el medio ambiente no es creíble si se asocia con violaciones de derechos humanos y contaminación ambiental.

#### Oferta y competencia global

Para satisfacer esta creciente demanda de minerales tradicionales y no tradicionales será necesario aumentar la inversión en proyectos de exploración y minerales. La inversión impulsada por los recursos se considera clave para el desarrollo económico en una variedad de países. Sin embargo, el número de inversores mundiales en minería sigue siendo limitado. Por lo tanto, los países compiten entre sí para atraer a las mejores empresas de exploración y minería, en quienes se puede confiar para que se desempeñen de acuerdo con los más altos estándares internacionales de mejores prácticas.

#### China como actor clave

China es un destino importante de las exportaciones de materias primas en todo el mundo:

- Destaca por tener una gran capacidad de fundición y refinación;
- por ser exportadora de productos terminados y semiacabados;
- por ser una inversora emergente en operaciones mineras internacionales; y

- un importante socio político y económico para varios países en desarrollo y emergentes.

Las asociaciones emergentes China-América Latina y China-África basadas en materias primas tienen implicaciones para las relaciones más tradicionales que existían entre la UE y estas regiones<sup>15</sup>.

#### Consideraciones de STRADE (2017<sup>16</sup>)

La combinación del potencial geológico y el entorno operativo determina la competitividad de la inversión minera de un país. Los inversores utilizan una serie de índices de atractivo minero basados en la percepción, siendo la encuesta anual de empresas mineras del Fraser Institute la más utilizada. Estas clasificaciones basadas en encuestas a menudo reflejan la «reputación» de un país en términos de sus políticas y posibles inversiones en su sector de recursos naturales.

El potencial mineral está limitado por la dotación geológica de un país. Aparte de garantizar que se dispone de buenos datos geológicos en el dominio público, un país no puede aumentar su dotación. Sin embargo, puede trabajar para aumentar el atractivo de su entorno político. El Índice de Percepción de Políticas del Instituto Fraser clasifica los países en función de factores tales como la administración de las regulaciones vigentes, las regulaciones ambientales, el sistema legal y el régimen tributario, la resolución de disputas, las condiciones socioeconómicas y de desarrollo comunitario, entre una serie de otros factores.

Los cinco principales países dentro de esta categoría incluyen tres Estados miembros: Irlanda, Suecia y Finlandia. Portugal, España y Polonia se encuentran entre los treinta primeros, mientras que otros Estados miembros se ubican mucho más abajo.

La clasificación del Índice de Percepción de Políticas para las jurisdicciones de la EU28 es mucho más alta, en relación con su clasificación en el Índice de Atractivo de Inversión, y también con el Índice de Potencial Mineral de Mejores Prácticas del Instituto Fraser (BPMPI). España posee 24 y 38; Francia tiene 62 y 79

<sup>15</sup> STRADE (2018). *Strategic Dialogue on Sustainable Raw Materials for Europe (STRADE). Supporting the EU Mineral Sector Capitalising on EU strengths through an investment promotion strategy.* Masuma Farooki, Chris Hinde and Anton Lof.

<sup>16</sup> STRADE (2017). *The Competitiveness of the European Union's Mining Sector.* Masuma Farooki, Adam Webb and Chris Hinde. SNL Financial Ltd.London, 2017.

en percepción de políticas y atractivo de inversión, respectivamente. Esto se debe, al menos en parte, a la percepción relativamente baja del potencial mineral en los países de la UE, y solo Finlandia (12), Suecia (18) e Irlanda (30) figuran en la clasificación de los treinta primeros países.

### Compromisos actuales de Europa en materia de materias primas de origen responsable

La UE se comprometió a contribuir activamente a un abastecimiento más sostenible de materias primas de otras regiones del mundo. Además, la Unión Europea está ampliamente comprometida con la obtención de materias primas de países no pertenecientes a la UE de manera compatible con sus valores en materia de derechos humanos y desarrollo sostenible. Si bien estos compromisos están arraigados en varios documentos políticos y en un cambio de valor continuo entre una gran parte de la población europea, también se reconoce que la cuestión de la seguridad del suministro está profundamente entrelazada con la forma en que se producen los minerales en otras regiones del mundo. La distribución de papeles y responsabilidades para lograr un abastecimiento más responsable de materias primas de fuentes fuera de la UE requiere diferenciar entre:

1. Actividades destinadas a mitigar los peores tipos de impactos, como abusos de derechos humanos y formas extremas de impactos ambientales.
2. Actividades que buscan abordar otros tipos de impactos, incluida la mejora continua de los procesos relacionados con la minería y el aumento de los beneficios netos de la minería. El primer tipo de actividades requiere una fuerte participación empresarial, incluidas empresas no mineras de la UE<sup>16</sup>.

### Mirando al futuro: visión bajo el modelo de un clúster de desarrollo sostenible

#### Búsqueda de un modelo de desarrollo en la actividad minera

De toda la complejidad esbozada hasta ahora nace la necesidad de establecer un modelo tanto de comprensión y análisis como de guía de aplicación práctica. De la Torre, Espí y Romero, en su trabajo «Economic, technological and sustainable qualification

with reference to Europe: Iberia's new metal mining projects»<sup>17</sup>, proponen y aplican un nuevo modelo de «clúster» minero de desarrollo sostenible para comprender y calificar un clúster de desarrollo minero para la minería española.

Hoy, la garantía de una actividad minera en sus facetas de sostenibilidad resulta una de las mayores garantías de la continuidad de la operación extractiva sin serias interrupciones. Sin embargo, la amplitud y heterogeneidad de la información hace que sea algo menos práctico evaluar conjuntamente estas tres áreas para los proyectos mineros, dada la casuística necesariamente individualizada por la particularidad de cada explotación y el momento en que se encuentra. Recopilar los indicadores enfocados individualmente para calificar una dimensión es una tarea difícil.

Fundamentalmente, los problemas se derivan del hecho de que los datos utilizados no siempre son suficientemente homogéneos. No siempre poseen la misma edad y, en general, son difíciles de obtener. Cualquier variación en cuestiones tales como los precios de los metales, los TC/RC (cargas del fundidor al final del proceso), los precios de la energía, el gasto en insumos y otros factores, afecta a casi todos los proyectos de manera diferente. Además, las condiciones de frontera, como las regulaciones administrativas, las oposiciones locales diferenciales a la minería, las estrategias de gestión de empresas o proyectos, las condiciones naturales, incluidas las meteorológicas y los desastres naturales, todas, afectan a los proyectos de diferentes maneras.

Sin embargo, la agrupación de provincias metalogénicas, además de la homogeneidad de las condiciones geológicas (no siempre es muy evidente), presenta características de negocio muy similares. En España, las provincias metalogénicas coinciden con las agrupaciones de metales establecidas, es decir, el Distrito IPB de metales básicos (Cu, Zn y Pb); el distrito de la Península Occidental, o de sus metales tecnológicos (Sn, W, Ta-Nb, Li); y el distrito Norte, o de metales preciosos (Au-Ag).

Esta agrupación puede facilitar la comprensión de los procesos y ayudar a la calificación de proyectos bajo cuatro criterios de sostenibilidad diferentes. Incluso cuando se han realizado varios enfoques para la sostenibilidad de la minería en los últimos años

---

<sup>17</sup> DE LA TORRE, L.; ESPÍ, J. A.; ROMERO, P., *op. cit.*

con un enfoque en la dimensión ambiental<sup>18,19,20</sup>, un método de puntuación sostenible más holístico, que incluye las tres dimensiones de sostenibilidad, sería deseable como una solución más completa en contraposición a un tema complejo.

Según M. Porter<sup>21</sup>, en una economía globalizada, aunque parezca una paradoja, muchas de las ventajas competitivas duraderas residen en ciertos factores locales, como el conocimiento, el contacto y la motivación que rivales lejanos no pueden alcanzar. Los clústeres se definen como las masas críticas de empresas que operan en industrias relacionadas, basadas en una región, con un éxito competitivo inusual en ciertos campos. Si atendemos a las tres dimensiones de la sostenibilidad, partiendo del aspecto económico, se encuentra que el desarrollo de este tipo de iniciativas es muy positivo para las empresas involucradas, ya que los clústeres surgen porque elevan la productividad de una empresa<sup>22</sup>.

Esta concepción también refuerza la dimensión social a medida que se originan más empleos e impuestos en el área local debido a la creación de nuevas empresas (*upstream* y *downstream*). Al mismo tiempo, los temas ambientales son mejor abordados, ya que las empresas con un volumen mayor normalmente tienen mejores prácticas ambientales por unidad que las empresas con menor volumen de minería, más aún si se considera el concepto amplio de economía circular.

### Qué es y cuándo nace el «clúster de distrito y de desarrollo»

*El Distrito industrial marshalliano*. La noción de «distrito industrial» ocupa hoy un lugar destacado entre las herramientas más utilizadas en el análisis económico y en la política industrial. Su

<sup>18</sup> NAVARRO, V.; DINIS DA GAMA, C. «Quantifying the Environmental Sustainability in Underground Mining». Geotechnical Center of Lisbon, XV International Symposium on Mine Planning & Equipment Selection (MPES 2006), 20-22 September 2006, Torino (Italia).

<sup>19</sup> DIALGA I. «A Sustainability Index of Mining Countries». *Journal of Cleaner Production*, vol. 179, 1 April 2018, pp. 278-291.

<sup>20</sup> DE LA TORRE, L. «Natural Resources Sustainability: Iron Ore Mining». *Dyna*, vol. 78, n.º 170, diciembre 2011, pp. 227-234.

<sup>21</sup> PORTER, M. «Location, Competition, and Economic Development: Local Clusters in a Global Economy». *Economic Development Quarterly*, vol. 14, n.º 1, 2000. <https://doi.org/10.1177/089124240001400105>

<sup>22</sup> HARVARD BUSINESS SCHOOL, Institute for Strategy & Competitiveness. <https://www.isc.hbs.edu/competitiveness-economic-development/frameworks-and-key-concepts/Pages/clusters.aspx>



introducción se debe a uno de los científicos sociales europeos más influyentes, Giacomo Becattini. En su trabajo «Del sector industrial al distrito industrial», en *L'industria. Rivista di economia e politica industriale*, y referido por Trullén i Thomas<sup>23</sup>, Becattini planteó la oportunidad de abordar en clave de «distrito» una parte importante de los procesos de industrialización, sustituyendo así el tradicional enfoque «sectorial». La razón del crecimiento de la productividad estaría en la existencia de economías externas a la empresa, pero internas al área en la que produce la empresa, desde la existencia de un mercado de trabajo local muy bien preparado hasta la disponibilidad de una particular «atmósfera industrial». El gran mérito de Becattini ha consistido en adoptar y adaptar el concepto marshalliano de distrito industrial para el análisis de los procesos industriales contemporáneos, retomando de paso la visión marshalliana de la economía como una ciencia social, dinámica y situada en su contexto histórico.

*El efecto distrito*<sup>24</sup>. Es el conjunto de ventajas competitivas derivadas de un conjunto fuertemente interconectado de economías externas a las empresas singulares, pero internas al distrito. Estas economías no solo dependen de la concentración territorial de las actividades productivas (economías de aglomeración), sino también (y esta es la característica distintiva del distrito industrial) del ambiente social en el que dichas actividades se integran. Se trata, por lo tanto, de ventajas derivadas tanto de la dimensión global de la economía local como de las características de la organización social del lugar, que precisamente gracias a estas características, aún más que por las infraestructuras materiales, se convierte en un factor de producción añadido.

Si buscamos definiciones, la primera, la más aceptada, ha sido la de Porter<sup>21</sup>: «Los clústers son concentraciones geográficas de empresas interconectadas, proveedores de bienes y servicios especializados, empresas en industrias relacionadas e instituciones asociadas (por ejemplo, universidades, agencias de estandarización o asociaciones de comercio) en un campo determinado que compiten, pero también cooperan».

<sup>23</sup> TRULLÉN, I.; THOMAS, J. «El análisis de los procesos industriales en clave "distrito"». *Economía Industrial*, n.º 359, 2006 (ejemplar dedicado a: «El distrito industrial Marshalliano»), pp. 17-20.

<sup>24</sup> LAZZERETTI, L. «Distritos Industriales Clusters y otros: un análisis trespassing entre la economía industrial y la gestión estratégica». *Economía Industrial*, 2006, p. 59.

Porter propone que los clústeres representan una nueva forma de organización de la cadena de valor que se encuentra situada entre la mano del mercado, por un lado, y jerarquías organizacionales o integración vertical, por el otro. La proximidad local de compañías e instituciones, y el establecimiento de relaciones entre ellas, procura una mayor coordinación y confianza que la simple interacción de mercado entre actores dispersos geográficamente. Esta coordinación y confianza entre organizaciones es mucho más flexible que las que proveen las integraciones verticales o las relaciones formales entre empresas como redes, alianzas o colaboraciones.

Los clústeres geográficos o de distrito han sido vistos como la configuración territorial con más probabilidades de aumentar los procesos de aprendizaje, especialmente aquellos que influyen la difusión de un conocimiento determinado como lo es la innovación. Las empresas que poseen una cierta proximidad geográfica se pueden beneficiar de efectos de aglomeración desarrollando una infraestructura común. La infraestructura que afecta a los clústeres geográficos incluye las instituciones regionales. McEvily y Zaheer<sup>25</sup> encontraron relación entre el desarrollo de capacidades competitivas y la intensidad de la ligazón de las empresas a las instituciones regionales, entendiéndolo por estas, «organizaciones con orientación local que sirven de soporte colectivo a las empresas de la región». Una de las principales causas a las que se atribuye el éxito de los clústeres se debe a que las empresas que desarrollan actividades similares y que están emplazadas en un mismo entorno geográfico, se encuentran en una situación en la que cada una de las acciones que toman, aunque sean pequeñas, pueden ser observadas y comparadas por el resto de las empresas del clúster<sup>26</sup>.

Las instituciones regionales (universidades, institutos de investigación tecnológica, centros de asistencia técnica, incluso de servicio y otros más) facilitan el desarrollo de capacidades competitivas entre las empresas locales actuando de intermediarios para el intercambio de información entre ellas. En lugar de mantener numerosos contactos con varias partes de la red, una empresa puede mantener una única conexión con las instituciones regionales que actúan de intermediarios y que se han

<sup>25</sup> MCEVILY, B.; ZAHEER, A. «Bridging ties: A source of firm heterogeneity in competitive capabilities». *Strategic Management Journal*, vol. 20, n.º 12, 1999, pp. 1133-1156.

<sup>26</sup> MASKELL, P. *Industrial and Corporate Change*, vol. 10, n.º 4, 2001.

especializado en proveer acceso a la información relativa a las capacidades competitivas<sup>27</sup>.

Las razones por las cuales la eficiencia de un conjunto de empresas es mayor a la de cada empresa aisladamente se basan en las externalidades que genera cada empresa para las demás, y las cuales se reflejan en los siguientes puntos<sup>28</sup>:

1. La concentración de empresas genera una fuerte competencia entre ellas, lo que induce a una mayor especialización, división del trabajo, y finalmente se obtiene como consecuencia una mayor productividad.
2. La fuerte interacción entre productores, proveedores y usuarios facilita e induce un mayor aprendizaje productivo, tecnológico y de comercialización.
3. Debido a que se generan un mayor número de transacciones en proximidad con los mismos agentes económicos, se genera una mayor confianza y reputación, lo que lleva a menores costos de transacción.
4. La existencia de un clúster, con el apoyo y conciencia de todos los involucrados, facilita la acción conjunta en pos de metas comunes.

Además, un factor importante para potenciar e intensificar los encadenamientos en casi todos los complejos con éxito ha sido una complementación institucional idónea, a veces de origen público (regional o estatal), siempre con la inclusión de asociaciones de los propios productores del complejo.

Cuáles son las diferencias de los posibles clústeres españoles sobre el modelo más común

Un clúster puede ser definido como la existencia de un vigoroso régimen competitivo y/o la acción conjunta de agentes para diversos fines, tales como solucionar problemas comunes, innovar o ingresar a nuevos mercados. Además, se necesita la existencia de una demanda sofisticada como catalizador para su continua innovación<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> MARTÍNEZ DEL RÍO, J.; CÉSPEDES-LORENTE, J. *Revista madri+d. Monografía: revista de investigación en gestión de la innovación y tecnología*, n.º 16, 2006.

<sup>28</sup> BUSTAMANTE, R. *Cluster Minero, Macro Zona Central de Chile*. Trabajo de título, agosto de 2005. Universidad de Chile.

### Los principales componentes de un clúster minero

- *La actividad minera* en sí, que se encuentra conformada por las empresas de la gran, mediana y pequeña minería que operan en el país.
- *Los encadenamientos productivos hacia atrás*, formados por las empresas proveedoras de: insumos especializados (combustibles, productos químicos, energía eléctrica, gas, explosivos, agua, repuestos, neumáticos, etc.), equipo y maquinarias.
- *Los encadenamientos productivos hacia los lados* están compuestos por las empresas relacionadas con la minería pero que se relacionan también con otros sectores productivos. Son las empresas de servicios financieros, servicios de comercialización, generación y distribución de energía eléctrica, y otras muchas más.
- *Los encadenamientos productivos hacia adelante* se componen de empresas manufactureras de los metales y minerales y de empresas de otros sectores productivos que utilizan los productos de la minería como materias primas para la producción de sus propios productos.
- *Las empresas líderes del clúster*. El alto poder de negociación que poseen estas empresas líderes las hace presentarse como ejemplos de desarrollo para las empresas más pequeñas. A su vez, estas son vistas como empresas muy atractivas desde el punto de vista de proveedores que buscan vender sus servicios<sup>27</sup>.

La concentración territorial de las empresas especializadas en una industria hace que en el distrito se concentre también un gran número de personas que, desarrollando actividades en parte parecidas y en parte complementarias, comparten una misma base de conocimiento codificado y, lo que es más importante, de conocimiento práctico relativo a esa industria<sup>23</sup>. Es característica:

- La «atmósfera industrial», favoreciendo la circulación de los conocimientos y el aprendizaje recíproco, que hace que el ambiente del distrito sea especialmente apto para estimular la creatividad industrial de quien allí trabaja.
- La creatividad, además de por el elevado número de sujetos altamente cualificados que interactúan entre sí, está favorecida por el hecho de que las habilidades existentes en el distrito son variadas pero conexas.

Adelantándonos al punto siguiente, en la industria minera española, la asociación que presenta más características con las agrupaciones empresariales en el sentido de Becattini es la de los metales básicos (Cu-Zn-Pb) de la IPB en el sur de España. Además, a gran distancia, el conjunto de productores de metales de tipo tecnológico (Sn-W-Ta-Li). Sin embargo, las características generales difieren en los siguientes importantes aspectos:

- Fundamentalmente, la asociación se refiere a los aspectos tecnológicos y de conocimiento del entorno físico de sus recursos, sobre todo el geológico.
- La competitividad no siempre es clara. Las tres compañías de éxito que explotan los recursos de la IPB son de elevado tamaño y multinacionales. Las dos que comenzarán próximamente también lo son. Sin lugar a dudas, existe una competencia en lograr permisos de investigación geológicamente atractivos o la adquisición de antiguos proyectos ya olvidados.
- De momento no existen instituciones que catalicen esfuerzos empresariales, aunque la propia Junta de Andalucía parece implicarse en ello. Y también existe una gran fundición, Atlantic Copper, que puede apoyar esfuerzos tecnológicos innovadores.

Para los minerales tecnológicos sí parece que puede haber importantes oportunidades, no solamente en el aspecto de la producción primaria, sino en el aumento de la calidad del producto final y de las primeras transformaciones. Tal es el caso del mundo del wolframio y, sobre todo, del litio. Para este último, la generación de un clúster del litio hasta alcanzar las calidades de grado batería e incluso más allá es una magnífica oportunidad de desarrollo, de momento deshecha por la actitud de la Administración regional.

#### Aplicación del concepto de clúster de desarrollo sostenible a la minería española

En un bien conocido «clúster minero canadiense», la fortaleza de la aglomeración productiva en torno a la minería en Canadá se basa, en última instancia, en su generosa dotación de recursos minerales, la evolución de la extracción de los mismos y todas las actividades vinculadas a ella, sobre un periodo de quince años. Un conjunto de factores es de relevancia para explicar el éxito de la aglomeración en Canadá. Algunos de los más importantes son el tamaño y la diversidad de los recursos minerales, la existencia

de un marco legal estable, la proximidad a los principales mercados, la estrecha vinculación con algunos centros de innovación tecnológica y el desarrollo de un sector de productores de maquinaria y equipo especializado en comunicación con las empresas mineras<sup>27</sup>.

La literatura sobre ventajas competitivas y aglomeraciones (clústers) sugiere que en lugares donde hay una masa crítica de empresas en torno a una actividad económica determinada se produce un proceso de mejoramiento de ventajas competitivas a partir de la interacción entre empresas o entre estas, instituciones especializadas y consumidores exigentes. Este proceso puede tomar distintas formas: cambio o mayor diferenciación de productos para insertarse en mercados más dinámicos; incorporación de eslabones de mayor valor en la cadena; innovaciones para mejorar la eficiencia y productividad; o incluso cambios hacia actividades económicas distintas que tengan mayores perspectivas de desarrollo<sup>29</sup>.

Resumen del clúster canadiense	
Ítem	Canadá
<b>Origen de la aglomeración minera</b>	Gran cantidad de proyectos
	Gran número de plantas de tratamiento fundiciones y refinerías
	Tradición y cultura de clúster
	Existencia de un marco legal estable
<b>Vínculo empresas mineras con empresas nacionales proveedoras</b>	Alto
<b>Aportes empresas mineras al conglomerado</b>	Educación (alto)
	C&T (alto)
<b>Tecnología</b>	Alta, media y baja
<b>Papel del Estado</b>	Importante
<b>Especialización</b>	Explotación de minerales
	Servicios de exploración




Tabla 9. Clúster de éxito canadiense, según R. Bustamante.

La descripción de la aglomeración en torno a la minería en Canadá (tabla 9) incluye una cantidad y diversidad extraordinaria de actores especializados, contando con las empresas mineras

<sup>29</sup> BUITELAAR, R. M. *Agglomeraciones mineras y desarrollo local en América Latina*. CEPAL, 2011. CEPAL.org

y sus proveedores, consultores y otros servicios profesionales. Distintas instancias públicas impulsan iniciativas para dotar al sector con la infraestructura y conocimientos básicos, una visión estratégica común y proyectos de envergadura. La interacción entre todos los actores ha producido conocimientos y capacidades propias que distinguen a las empresas mineras canadienses en la competencia mundial.

Además, el potencial de la aglomeración para desarrollar ventajas competitivas nuevas estaría, sobre todo, fuera de la cadena productiva central, en el ámbito de la aplicación del conocimiento acumulado sobre el manejo del medio ambiente. Referidas solamente a las empresas de la Faja Piritica Ibérica (IPB), estas presentan una gran diversidad de motivos e intensidades. Además, se han clasificado en seis categorías, explicadas brevemente en la tabla 10 y desarrolladas en la figura 2.

Relaciones tecnológicas, ambientales y de gestión entre empresas IPB	
	<p><i>Hidrometalurgia.</i> CLC es una de las primeras empresas del mundo en aplicar la hidroquímica a presión ambiental directamente sobre los minerales de cobre. Tras el agotamiento de los sulfuros secundarios, CLC ha desarrollado el proyecto PMR (con el apoyo de la UE) sobre sulfuros primarios: primera concentración mediante flotación e hidrometalurgia de los concentrados de cobre y zinc previamente producidos. La lixiviación de los concentrados se puede aplicar a la mayoría de los proyectos de IPB, mejorando así, en muchos casos, el valor añadido de los productos finales.</p>
	<p><i>Metodología minera.</i> En la IPB destaca la empresa MATSA, que cuenta con proyectos subterráneos en los que ha aplicado alta tecnología en la extracción de minerales. Estas aplicaciones hacen referencia tanto al diseño, muy adaptado tanto a la geometría del depósito (en realidad son tres) como a los sistemas de carga remota, controles de vacío y otros. Las lecciones obtenidas pueden servir para un mayor ajuste metodológico en otros proyectos de minería subterránea, es decir, Los Frailes y otros que ya están en el horizonte.</p>
	<p><i>Exploración minera.</i> Recientemente se ha avanzado mucho en la detección de depósitos ocultos. La FPI ofrece muy buenas condiciones para muchos de los sistemas de detección. Fundamentalmente, sus depósitos de interés son los sulfuros masivos de alta densidad, buena conductividad eléctrica y una buena respuesta magnética en muchos casos. MATSA descubriendo el yacimiento de Magdalena (completamente escondido) es un caso muy representativo. La experiencia en estos depósitos y en otros implica configurar un modelo de alta productividad en la exploración de la IPB en zonas hasta ahora desconocidas.</p>































Relaciones tecnológicas, ambientales y de gestión entre empresas IPB	
	<p><i>Problema medioambiental.</i> Estos problemas juegan un papel importante en la minería de la IPB. Actualmente, los puntos de conflicto son la acumulación de residuos en áreas intensamente explotadas en la antigüedad (Riotinto), la lucha contra las emisiones de agua ácida en todos los proyectos y la estabilidad de los materiales, tanto interna como externamente (Cobre Las Cruces, en su día Aznalcóllar y otros). Además, los últimos accidentes mineros llaman atención al hecho de que las condiciones ideales de seguridad aún están lejos de lograrse. Por esta razón, la comunicación entre todos los actores de la FPI debe ser un elemento importante de un clúster minero.</p>
	<p><i>Fundición de cobre.</i> La región cuenta con una fundición de cobre, Atlantic Copper, que, además de ser uno de los mayores productores de cobre del mundo, ha jugado un papel importante en el proceso de producción de la IPB. Sin asignarle ninguna situación en la figura1, si se forma algún tipo de agrupación, creemos que esta empresa puede tienen un papel importante como catalizador tecnológico y estratégico.</p>
	<p><i>Fusiones o adquisiciones.</i> Algunos de los proyectos actuales, especialmente los que se están incorporando al complejo productivo de la IPB, pueden incorporarse a la producción de los mayores o los más agresivos. Esto se asume más o menos. Por ejemplo, Lagoa Salgada en la región portuguesa) no oculta esa posibilidad. Esto forma parte de una gestión dinámica que, respaldada por los buenos resultados de los últimos años, pertenece a la cultura de las empresas más poderosas de la IPB.</p>
	<p><i>Desarrollo descentralizado.</i> Son clave los modelos tecnológicos de desarrollo descentralizado que fomentan la colaboración abierta, como los modelos de código abierto. Un principio fundamental del desarrollo de código abierto es la producción entre pares, con productos como el código fuente, los planos y la documentación a disposición del público de forma gratuita. Esto sería especialmente útil para los proyectos de IPB.</p>

Tabla 10. Soporte de la figura 2: relaciones entre las empresas de la IPB (De la Torre, Espí y Romero, 2021).



	Cobre Las Cruces (CLC)	MATSA Aguas Teñidas (AT)	ATALAYA Riotinto (RT)	NEVES CO RVO Lundin (NC)	LAGOA SALGADA* (LS)	LOSFRAILES* (LF)
CLC		 				
MATSA				 		
RT		  				
NC						
LS						
LF		 		 		

(\*) En desarrollo. Las empresas que inician o actúan como pioneras en innovaciones tecnológicas o de gestión se colocan de forma horizontal. Las viñetas enmarcadas en líneas gruesas corresponden a contactos existentes.

Figura 2. Relaciones entre empresas de la IPB\* (ref. tabla 10).

De los indicadores de sostenibilidad a un clúster de desarrollo.  
Aplicación de clústeres como idea de evolución

Para ver los proyectos de minería española en términos de sostenibilidad ambiental y economía circular, De la Torre, Espí y Romero<sup>17</sup> utilizaron una simplificación de los indicadores de eficiencia económica, tecnológica, de sostenibilidad ambiental y de economía circular, a fin de compararlos con indicadores globales en todo el mundo. Como ya se ha dicho anteriormente, fundamentalmente en España se establecen dos grupos de proyectos mineros y, de ellos, el de los metales básicos en la PIB en el sur de España es el que progresa hacia un clúster especial de desarrollo sostenible. De alcanzarse, este sería el caso más proba-

ble y facilitaría el avance hacia una industria minera mucho más profunda, más segura y más aceptada. El valor del concepto de «clúster éxito» aplicado a la explotación de recursos no renovables es que, una vez logrado, la comunidad ya no dependerá del bien ya agotado. Desde el punto de vista de la sostenibilidad, el cambio se traduce en el logro de la sostenibilidad con un significado «débil». En otras palabras, el cambio de uso del territorio y entorno asociado podría aceptarse debido a la permanencia del desarrollo económico (y social). Para ello, se debe enfatizar que, además, el emprendimiento que busque este objetivo debe enmarcarse dentro de las reglas de las tres del desarrollo sostenible. Por lo tanto, los proyectos deben valorarse en función de su camino de sostenibilidad hacia el clúster con éxito.

## Conclusiones

Para Europa, la aportación de los metales producidos en la península ibérica y, sobre todo, en España, es una pieza indispensable en la política de aseguramiento del suministro de parte de las materias primas que necesita. Esto se refiere tanto a los proyectos de calidad (cobre, zinc, plomo) de la IPB como a metales con valor tecnológico (ahora estaño, wolframio, tántalo y litio). En España, como se deriva de este trabajo, los verdaderos impulsores de una minería sana y arriesgada proceden de la mayoría de los metales básicos. Estas empresas (ahora multinacionales) agregan valor en tecnología, control ambiental y espíritu emprendedor. Esto conduce a la creación de verdaderos clústeres internos, e incluso transnacionales. Además, pueden generar cadenas industriales y tecnológicas que aseguren la sostenibilidad económica de las regiones donde se desarrollan.

Se ha considerado que el nivel alcanzado por una agrupación de proyectos hacia un «clúster distrital» de éxito puede cumplir el objetivo de permanencia duradera, o sostenibilidad, de la actividad económica, aun cuando parte de los recursos minerales ya no existan. Desde el punto de vista de la estrategia de abastecimiento seguro, un clúster disminuye el riesgo de un corte de suministro, aprovecha mejor los recursos existentes y colabora a su mantenimiento a través de nuevos descubrimientos. Además, en su visión transnacional puede alargar sus redes hacia el exterior, aumentando la fortaleza de los agrupamientos creados.

Para lograrlo, los estándares de eficiencia económica, tecnológica y ambiental deben ser adecuados y, además, la agrupación debe

ser efectiva. Para ello, es necesario demostrar la existencia de relaciones entre la conveniencia tecnológica, ambiental y económica. Los resultados apuntan a la posibilidad de un «clúster de éxito» en la IPB, aunque sea de índole particular en relación a la alta capacidad tecnológica de los participantes. En el grupo de los metales tecnológicos, aún queda un largo camino por recorrer. Sin embargo, en proyectos con metales vinculados a la transición energética, es posible suponer que podrían ser núcleos de «clústeres tecnológicos» si contienen catalizadores de desarrollo, es decir, la Administración regional, los centros de investigación o la universidad.



## Composición del grupo de trabajo

### *Coordinadores*

#### **D. José Antonio Espí**

*Catedrático del Dpto. de Ingeniería Geológica (retirado). E.T.S. Ingenieros de Minas y Energía (ETSIME). Universidad Politécnica de Madrid*

#### **D. Carlos López Jimeno**

*Dr. Ingeniero de minas  
Catedrático. E.T.S. Ingenieros de Minas y Energía (ETSIME). Universidad Politécnica de Madrid*

### *Coordinador y vocal*

#### **D.ª M.ª del Mar Hidalgo García**

*Analista del Instituto Español de Estudios Estratégicos (IEEE)*

### *Vocales*

#### **D. José Luis Parra y Alfaro**

*Profesor titular del Dpto. de Ingeniería Geológica. ETSIME.  
Director de la ETSIME (2012-2021)*

#### **D.ª Carmen Mataix González**

*Dra. en Biología  
Dirección Técnica. Estudio Profesional Minería y Medio Ambiente, S. L.*

#### **D. Luis de la Torre Palacios**

*ETSIME. Universidad Politécnica de Madrid*

**D.<sup>a</sup> Paula Adánez Sanjuán**

*Dra. Ingeniera Geóloga*

*Técnico superior especializado de OPIs en  
IGME-CSIC*

## Cuadernos de Estrategia

---

- 01 La industria alimentaria civil como administradora de las FAS y su capacidad de defensa estratégica
- 02 La ingeniería militar de España ante el reto de la investigación y el desarrollo en la defensa nacional
- 03 La industria española de interés para la defensa ante la entrada en vigor del Acta Única
- 04 Túnez: su realidad y su influencia en el entorno internacional
- 05 La Unión Europea Occidental (UEO) (1955-1988)
- 06 Estrategia regional en el Mediterráneo Occidental
- 07 Los transportes en la raya de Portugal
- 08 Estado actual y evaluación económica del triángulo España-Portugal-Marruecos
- 09 Perestroika y nacionalismos periféricos en la Unión Soviética
- 10 El escenario espacial en la batalla del año 2000 (I)
- 11 La gestión de los programas de tecnologías avanzadas
- 12 El escenario espacial en la batalla del año 2000 (II)
- 13 Cobertura de la demanda tecnológica derivada de las necesidades de la defensa nacional
- 14 Ideas y tendencias en la economía internacional y española

- 15 Identidad y solidaridad nacional
- 16 Implicaciones económicas del Acta Única 1992
- 17 Investigación de fenómenos belígenos: método analítico factorial
- 18 Las telecomunicaciones en Europa, en la década de los años 90
- 19 La profesión militar desde la perspectiva social y ética
- 20 El equilibrio de fuerzas en el espacio sur europeo y mediterráneo
- 21 Efectos económicos de la unificación alemana y sus implicaciones estratégicas
- 22 La política española de armamento ante la nueva situación internacional
- 23 Estrategia finisecular española: México y Centroamérica
- 24 La Ley Reguladora del Régimen del Personal Militar Profesional (cuatro cuestiones concretas)
- 25 Consecuencias de la reducción de los arsenales militares negociados en Viena, 1989. Amenaza no compartida
- 26 Estrategia en el área iberoamericana del Atlántico Sur
- 27 El Espacio Económico Europeo. Fin de la Guerra Fría
- 28 Sistemas ofensivos y defensivos del espacio (I)
- 29 Sugerencias a la Ley de Ordenación de las Telecomunicaciones (LOT)
- 30 La configuración de Europa en el umbral del siglo XXI
- 31 Estudio de «inteligencia operacional»
- 32 Cambios y evolución de los hábitos alimenticios de la población española
- 33 Repercusiones en la estrategia naval española de aceptarse las propuestas del Este en la CSBM, dentro del proceso de la CSCE
- 34 La energía y el medio ambiente
- 35 Influencia de las economías de los países mediterráneos del norte de África en sus respectivas políticas defensa
- 36 La evolución de la seguridad europea en la década de los 90
- 37 Análisis crítico de una bibliografía básica de sociología militar en España. 1980-1990
- 38 Recensiones de diversos libros de autores españoles, editados entre 1980-1990, relacionados con temas de las Fuerzas Armadas
- 39 Las fronteras del mundo hispánico
- 40 Los transportes y la barrera pirenaica
- 41 Estructura tecnológica e industrial de defensa, ante la evolución estratégica del fin del siglo XX



- 42 Las expectativas de la I+D de defensa en el nuevo marco estratégico
- 43 Costes de un ejército profesional de reclutamiento voluntario. Estudio sobre el Ejército profesional del Reino Unido y (III)
- 44 Sistemas ofensivos y defensivos del espacio (II)
- 45 Desequilibrios militares en el Mediterráneo Occidental
- 46 Seguimiento comparativo del presupuesto de gastos en la década 1982-1991 y su relación con el de Defensa
- 47 Factores de riesgo en el área mediterránea
- 48 Las Fuerzas Armadas en los procesos iberoamericanos de cambio democrático (1980-1990)
- 49 Factores de la estructura de seguridad europea
- 50 Algunos aspectos del régimen jurídico-económico de las FAS
- 51 Los transportes combinados
- 52 Presente y futuro de la conciencia nacional
- 53 Las corrientes fundamentalistas en el Magreb y su influencia en la política de defensa
- 54 Evolución y cambio del este europeo
- 55 Iberoamérica desde su propio sur. (La extensión del Acuerdo de Libre Comercio a Sudamérica)
- 56 La función de las Fuerzas Armadas ante el panorama internacional de conflictos
- 57 Simulación en las Fuerzas Armadas españolas, presente y futuro
- 58 La sociedad y la defensa civil
- 59 Aportación de España en las cumbres iberoamericanas: Guadalajara 1991-Madrid 1992
- 60 Presente y futuro de la política de armamentos y la I+D en España
- 61 El Consejo de Seguridad y la crisis de los países del Este
- 62 La economía de la defensa ante las vicisitudes actuales de las economías autonómicas
- 63 Los grandes maestros de la estrategia nuclear y espacial
- 64 Gasto militar y crecimiento económico. Aproximación al caso español
- 65 El futuro de la Comunidad Iberoamericana después del V Centenario
- 66 Los estudios estratégicos en España
- 67 Tecnologías de doble uso en la industria de la defensa
- 68 Aportación sociológica de la sociedad española a la defensa nacional

- 69 Análisis factorial de las causas que originan conflictos bélicos
- 70 Las conversaciones internacionales Norte-Sur sobre los problemas del Mediterráneo Occidental
- 71 Integración de la red ferroviaria de la península ibérica en el resto de la red europea
- 72 El equilibrio aeronaval en el área mediterránea. Zonas de irradiación de poder
- 73 Evolución del conflicto de Bosnia (1992-1993)
- 74 El entorno internacional de la Comunidad Iberoamericana
- 75 Gasto militar e industrialización
- 76 Obtención de los medios de defensa ante el entorno cambiante
- 77 La Política Exterior y de Seguridad Común (PESC) de la Unión Europea (UE)
- 78 La red de carreteras en la península ibérica, conexión con el resto de Europa mediante un sistema integrado de transportes
- 79 El derecho de intervención en los conflictos
- 80 Dependencias y vulnerabilidades de la economía española: su relación con la defensa nacional
- 81 La cooperación europea en las empresas de interés de la defensa
- 82 Los cascos azules en el conflicto de la ex-Yugoslavia
- 83 El sistema nacional de transportes en el escenario europeo al inicio del siglo XXI
- 84 El embargo y el bloqueo como formas de actuación de la comunidad internacional en los conflictos
- 85 La Política Exterior y de Seguridad Común (PESC) para Europa en el marco del Tratado de no Proliferación de Armas Nucleares (TNP)
- 86 Estrategia y futuro: la paz y seguridad en la Comunidad Iberoamericana
- 87 Sistema de información para la gestión de los transportes
- 88 El mar en la defensa económica de España
- 89 Fuerzas Armadas y sociedad civil. Conflicto de valores
- 90 Participación española en las fuerzas multinacionales
- 91 Ceuta y Melilla en las relaciones de España y Marruecos
- 92 Balance de las primeras cumbres iberoamericanas
- 93 La cooperación hispano-franco-italiana en el marco de la PESC
- 94 Consideraciones sobre los estatutos de las Fuerzas Armadas en actividades internacionales
- 95 La unión económica y monetaria: sus implicaciones

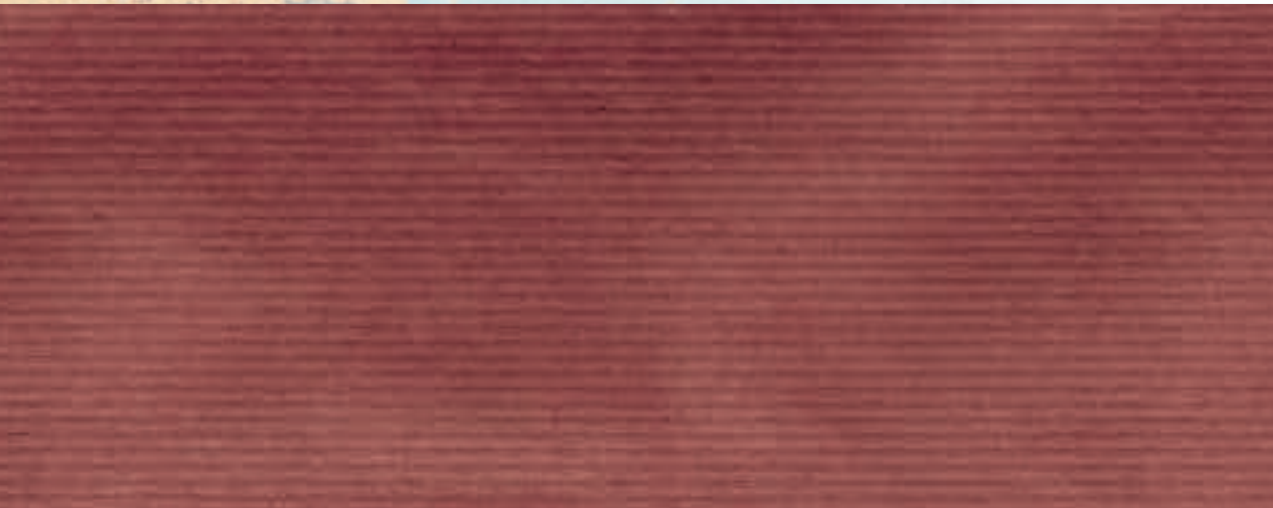
- 96 Panorama estratégico 1997/98
- 97 Las nuevas Españas del 98
- 98 Profesionalización de las Fuerzas Armadas: los problemas sociales
- 99 Las ideas estratégicas para el inicio del tercer milenio
- 100 Panorama estratégico 1998/99
- 100-B 1998/99 Strategic Panorama
- 101 La seguridad europea y Rusia
- 102 La recuperación de la memoria histórica: el nuevo modelo de democracia en Iberoamérica y España al cabo del siglo XX
- 103 La economía de los países del norte de África: potencialidades y debilidades en el momento actual
- 104 La profesionalización de las Fuerzas Armadas
- 105 Claves del pensamiento para la construcción de Europa
- 106 Magreb: percepción española de la estabilidad en el Mediterráneo, prospectiva hacia el 2010
- 106-B Maghreb: perception espagnole de la stabilité en Méditerranée, prospective en vue de L'année 2010
- 107 Panorama estratégico 1999/2000
- 107-B 1999/2000 Strategic Panorama
- 108 Hacia un nuevo orden de seguridad en Europa
- 109 Iberoamérica, análisis prospectivo de las políticas de defensa en curso
- 110 El concepto estratégico de la OTAN: un punto de vista español
- 111 Ideas sobre prevención de conflictos
- 112 Panorama Estratégico 2000/2001
- 112-B Strategic Panorama 2000/2001
- 113 Diálogo mediterráneo. Percepción española
- 113-B Le dialogue Méditerranéen. Une perception espagnole
- 114 Aportaciones a la relación sociedad - Fuerzas Armadas en Iberoamérica
- 115 La paz, un orden de seguridad, de libertad y de justicia
- 116 El marco jurídico de las misiones de las Fuerzas Armadas en tiempo de paz
- 117 Panorama Estratégico 2001/2002
- 117-B 2001/2002 Strategic Panorama
- 118 Análisis, estrategia y prospectiva de la Comunidad Iberoamericana
- 119 Seguridad y defensa en los medios de comunicación social

- 120 Nuevos riesgos para la sociedad del futuro
- 121 La industria europea de defensa: presente y futuro
- 122 La energía en el espacio euromediterráneo
- 122-B L'énergie sur la scène euroméditerranéenne
- 123 Presente y futuro de las relaciones cívico-militares en Hispanoamérica
- 124 Nihilismo y terrorismo
- 125 El Mediterráneo en el nuevo entorno estratégico
- 125-B The Mediterranean in the New Strategic Environment
- 126 Valores, principios y seguridad en la comunidad iberoamericana de naciones
- 127 Estudios sobre inteligencia: fundamentos para la seguridad internacional
- 128 Comentarios de estrategia y política militar
- 129 La seguridad y la defensa de la Unión Europea: retos y oportunidades
- 130 El papel de la inteligencia ante los retos de la seguridad y defensa internacional
- 131 Crisis locales y seguridad internacional: El caso haitiano
- 132 Turquía a las puertas de Europa
- 133 Lucha contra el terrorismo y derecho internacional
- 134 Seguridad y defensa en Europa. Implicaciones estratégicas
- 135 La seguridad de la Unión Europea: nuevos factores de crisis
- 136 Iberoamérica: nuevas coordenadas, nuevas oportunidades, grandes desafíos
- 137 Irán, potencia emergente en Oriente Medio. Implicaciones en la estabilidad del Mediterráneo
- 138 La reforma del sector de seguridad: el nexo entre la seguridad, el desarrollo y el buen gobierno
- 139 Security Sector Reform: the Connection between Security, Development and Good Governance
- 140 Impacto de los riesgos emergentes en la seguridad marítima
- 141 La inteligencia, factor clave frente al terrorismo internacional
- 142 Del desencuentro entre culturas a la Alianza de Civilizaciones. Nuevas aportaciones para la seguridad en el Mediterráneo
- 143 El auge de Asia: implicaciones estratégicas
- 144 La cooperación multilateral en el Mediterráneo: un enfoque integral de la seguridad
- 145 La Política Europea de Seguridad y Defensa (PESD) tras la entrada en vigor del Tratado de Lisboa

- 145-B The European Security and Defense Policy (ESDP) after the entry into Force of the Lisbon Treaty
- 146 Respuesta europea y africana a los problemas de seguridad en África
- 146-B European and African Response to Security Problems in Africa
- 147 Los actores no estatales y la seguridad internacional: su papel en la resolución de conflictos y crisis
- 148 Conflictos, opinión pública y medios de comunicación. Análisis de una compleja interacción
- 149 Ciberseguridad. Retos y amenazas a la seguridad nacional en el ciberespacio
- 150 Seguridad, modelo energético y cambio climático
- 151 Las potencias emergentes hoy: hacia un nuevo orden mundial
- 152 Actores armados no estables: retos a la seguridad
- 153 Proliferación de ADM y de tecnología avanzada
- 154 La defensa del futuro: innovación, tecnología e industria
- 154-B The Defence of the Future: Innovation, Technology and Industry
- 155 La Cultura de Seguridad y Defensa. Un proyecto en marcha
- 156 El gran Cáucaso
- 157 El papel de la mujer y el género en los conflictos
- 157-B The role of woman and gender in conflicts
- 158 Los desafíos de la seguridad en Iberoamérica
- 159 Los potenciadores del riesgo
- 160 La respuesta del derecho internacional a los problemas actuales de la seguridad global
- 161 Seguridad alimentaria y seguridad global
- 161-B Food security and global security
- 162 La inteligencia económica en un mundo globalizado
- 162-B Economic intelligence in global world
- 163 Islamismo en (r)evolución: movilización social y cambio político
- 164 Afganistán después de la ISAF
- 165 España ante las emergencias y catástrofes. Las Fuerzas Armadas en colaboración con las autoridades civiles
- 166 Energía y Geoestrategia 2014
- 166-B Energy and Geostrategy 2014
- 167 Perspectivas de evolución futura de la política de seguridad y defensa de la UE. Escenarios de crisis
- 167-B Prospects for the future evolution of the EU's security and defence policy. Crisis scenarios

- 168 Evolución del mundo árabe: tendencias
- 169 Desarme y control de armamento en el siglo XXI: limitaciones al comercio y a las transferencias de tecnología
- 170 El sector espacial en España. Evolución y perspectivas
- 171 Cooperación con Iberoamérica en materia de defensa
- 172 Cuadernos de Estrategia 172 Cultura de Seguridad y Defensa: fundamentos y perspectivas de mejora
- 173 La internacional yihadista
- 174 Economía y geopolítica en un mundo globalizado
- 175 Industria Española de Defensa. Riqueza, tecnología y seguridad
- 176 Shael 2015, origen de desafíos y oportunidades
- 177 UE-EE.UU.: Una relación indispensable para la paz y la estabilidad mundiales
- 178 Rusia bajo el liderazgo de Putin. La nueva estrategia rusa a la búsqueda de su liderazgo regional y el reforzamiento como actor global.
- 179 Análisis comparativo de las capacidades militares españolas con las de los países de su entorno
- 180 Estrategias para derrotar al DAESH y la reestabilización regional
- 181 América Latina: nuevos retos en seguridad y defensa
- 182 La colaboración tecnológica entre la universidad y las Fuerzas Armadas
- 183 Política y violencia: comprensión teórica y desarrollo en la acción colectiva
- 184 Una estrategia global de la Unión Europea para tiempos difíciles
- 185 Ciberseguridad: la cooperación público-privada
- 186 El agua: ¿fuente de conflicto o cooperación?
- 187 Geoeconomías del siglo XXI
- 188 Seguridad global y derechos fundamentales
- 189 El posconflicto colombiano: una perspectiva transversal
- 190 La evolución de la demografía y su incidencia en la defensa y seguridad nacional
- 190-B The evolution of demography and its impact on defense and national security
- 191 OTAN: presente y futuro
- 192 Hacia una estrategia de seguridad aeroespacial
- 193 El cambio climático y su repercusión en la Defensa
- 194 La gestión del conocimiento en la gestión de programas de defensa

- 195 El rol de las Fuerzas Armadas en operaciones posconflicto
- 196 Oriente medio tras el califato
- 197 La posverdad. Seguridad y defensa
- 198 Retos diversos a la seguridad. Una visión desde España
- 199 Gobernanza futura: hiperglobalización, mundo multipolar y Estados menguantes
- 200 Globalización e identidades. Dilemas del siglo XXI.
- 201 Límites jurídicos de las operaciones actuales: nuevos desafíos.
- 202 El SAHEL y G5: desafíos y oportunidades.
- 203 Emergencias pandémicas en un mundo globalizado: amenazas a la seguridad.
- 204 La dualidad económica Estados Unidos-China en el siglo XXI
- 205 La no proliferación y el control de armamentos nucleares en la encrucijada
- 206 Las ciudades: agentes críticos para una transformación sostenible del mundo
- 207 Repercusiones estratégicas del desarrollo tecnológico. Impacto de las tecnologías emergentes en el posicionamiento estratégico de los países
- 208 Los retos del espacio exterior: ciencia, industria, seguridad y aspectos legales



	GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE DEFENSA	SUBSECRETARÍA DE DEFENSA
			SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
			SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL