



**Facultad de Ciencias Económicas y  
Empresariales Universidad de León**

**Grado en Comercio Internacional  
Curso 2022/2023**

**LA IMPORTANCIA DE LAS  
MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS  
PARA LA UNIÓN EUROPEA**

Realizado por el Alumno D<sup>a</sup>. Elvira González Campo

Tutelado por el Profesor D<sup>a</sup>. Nuria González Rabanal

León, septiembre 2023

**MODALIDAD DE DEFERNSA PÚBLICA:**       Tribunal     Póster

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	
<b>ABSTRACT</b> .....	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>4</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES</b> .....	<b>6</b>
4.1 ANTECEDENTES .....	6
4.2 DEFINICIÓN MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS .....	7
4.3 PROPIEDADES Y APLICACIONES INDUSTRIALES .....	8
4.4 CONTEXTO GEOPOLÍTICO MUNDIAL DE LAS MPC .....	9
4.4.1 Tierras raras .....	15
4.4.1.1 El dominio de China .....	15
4.4.1.2 Tierras raras en la UE .....	17
4.4.2.Cobalto.....	18
4.4.2.1 El cobalto en la República Democrática del Congo .....	18
4.4.2.2 China y el mercado del cobalto .....	20
4.4.2.3 Cobalto en la UE.....	20
<b>5. MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS EN LA UE</b> .....	<b>22</b>
5.1 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA SELECCIÓN DE MPC .....	24
5.2 POSICIÓN DE LA UE, DEPENDENCIA EXTERNA .....	25
5.3 FUENTES DE ABASTECIMIENTO Y CIRCULARIDAD .....	27
5.3.1 Principales yacimientos en la UE y países productores .....	27
5.3.2 Factores que afectan a la disponibilidad y la producción.....	30
5.3.3 Impacto ambiental de la extracción .....	31
5.3.4 Economía circular y reciclaje .....	33
5.3.4 TECNOLOGÍAS EMERGENTES .....	35
<b>6. IMPORTANCIA DE LAS MPC PARA LA UE</b> .....	<b>37</b>
6.1 SECTORES Y TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES CLAVE Y SU DEMANDA DE MPC .....	37
6.1.1 Energías renovables.....	39
6.1.2 Vehículos eléctricos.....	41
6.1.3 Defensa .....	43
6.2 INICIATIVAS Y POLÍTICAS EXISTENTES SOBRE LAS MPC .....	44
6.2.1 Etapas futuras en la implementación de la Ley de MPC .....	47

<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>49</b>
<b>11. REFERENCIAS.....</b>	<b>51</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1.- Participación de los tres principales países en la extracción (A) y procesamiento (B) de combustibles fósiles y minerales seleccionados.....	12
Figura 4.2.- Mayores países suministradores de MPC a nivel mundial. ....	14
Figura 5.1.- Principales países proveedores de MPC a la UE en 2023 .....	25
Figura 5.2.- Depósitos de MPC en Europa.....	27
Figura 5.3.- Productores de MPC de la UE.....	29
Figura 5.4.- Indicador EOL-RIR para cada una de las MPC de la lista de 2023.....	34
Figura 6.1.- Representación de los flujos de MPC y su actual riesgo de suministro en relación con nueve tecnologías y tres sectores. ....	38
Figura 6.2.- Fuentes de energía renovable en el consumo eléctrico bruto, UE, 2021 ....	39
Figura 6.3.- Cuota de mercado vehículos eléctricos en la UE.....	41

## **ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

- Estados Unidos (EE.UU.)
- Unión Europea (UE)
- Materias Primas Críticas (MPC)
- Iniciativa del Cinturón y Ruta de la Seda de China (BRI)
- Producto Interior Bruto (PIB)
- Alianza Europea de Materias Primas (ERMA)
- Tierras Raras Ligeras (LREEs)
- Tierras Taras Pesadas (HREEs)
- Rare Earth Recycling for Europe (REE4EU)
- República Democrática del Congo (RDC)
- Índice de Desarrollo Humano (IDH)
- Índice de Percepción de la Corrupción (IPC)
- Minería artesanal o a pequeña escala (ASM)
- Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS )
- Inteligencia Artificial (IA)
- Agencia Internacional de Energía (IEA)
- Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)
- Acuerdo Integral Económico y Comercial entre la UE y Canadá (CETA).

## **RESUMEN**

El presente estudio tiene como objetivo analizar la trascendencia de las materias primas críticas para la Unión Europea, con el propósito de comprender su relevancia en el contexto actual. A lo largo de estas páginas, se investiga la situación geopolítica mundial para arrojar luz sobre la posición de la Unión Europea en la competición global por el acceso a los minerales críticos. Simultáneamente, se seleccionan dos materias primas críticas de vital importancia en sectores estratégicos, como las tierras raras y el cobalto, y se lleva a cabo un análisis de los líderes del mercado junto con la posición de la Unión Europea. Posteriormente, se profundiza en el análisis de la situación de la Unión Europea, donde se examina su preocupante dependencia en este ámbito y se ahonda en el papel de estos recursos en distintos sectores, incluyendo las energías renovables, los vehículos eléctricos y el sector de la defensa. Asimismo, se analizan las políticas vigentes en la Unión Europea, y se exploran los desafíos y oportunidades que afronta la región en este contexto. Finalmente, el estudio culmina con la presentación de las conclusiones clave que emergen de esta investigación, algunas de las cuales se plantean en forma de recomendaciones.

Palabras clave: Materias primas críticas, Unión Europea, geopolítica, dependencia, tierras raras, cobalto, recomendaciones.

**ABSTRACT**

The present study aims to analyze the significance of critical raw materials for the European Union, with the purpose of comprehending their relevance in the current context. Throughout these pages, we delve into the global geopolitical situation to shed light on the European Union's position in the global competition for access to critical minerals. Simultaneously, two crucial critical raw materials, such as rare earth elements and cobalt, are selected, and an analysis of market leaders is conducted in conjunction with the European Union's position. Subsequently, a deeper analysis of the European Union's situation is undertaken, examining its concerning dependence in this sphere and delving into the role of these resources in various sectors, including renewable energies, electric vehicles, and the defense sector. Additionally, current policies in the European Union are analyzed, and the challenges and opportunities facing the region in this context are explored. Finally, the study concludes by presenting the key findings that emerge from this research, some of which are proposed in the form of recommendations.

**Keywords:** Critical raw materials, European Union, geopolitics, dependence, rare earth elements, cobalt, recommendations.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En las últimas décadas, la economía mundial ha experimentado un crecimiento sin precedentes, impulsado por la creciente demanda de productos y tecnologías avanzadas. Este desarrollo vertiginoso ha generado una marcada dependencia de las materias primas críticas (MPC), que desempeñan un papel esencial en diversos sectores, abarcando desde la electrónica hasta la industria de la defensa y la energía renovable.

El acceso ininterrumpido al suministro de estas MPC se presenta como una cuestión de máxima relevancia para la Unión Europea (UE), dado que estas materias primas constituyen pilares fundamentales para el progreso económico y tecnológico del bloque. Sin embargo, a medida que la demanda global sigue en aumento y los países proveedores establecen restricciones, la obtención de estas materias primas se vuelve una empresa cada vez más compleja. La UE se encuentra en una posición de alta dependencia respecto a la importación de estas MPC, un escenario que no solo suscita vulnerabilidades considerables en la economía europea, sino que también plantea riesgos significativos para el desarrollo y la estabilidad económica de la región en su conjunto.

La importancia estratégica de las materias primas críticas se hace especialmente patente en sectores clave como el de las energías renovables, los vehículos eléctricos y el sector de la defensa, donde elementos como las tierras raras, el cobalto desempeñan un papel esencial. En este contexto, destaca el dominio ejercido por China, que no solo lidera la extracción, sino que también ejerce un control significativo sobre el procesamiento de muchas MPC. Este dominio ha reconfigurado la dinámica del mercado mundial, planteando un desafío significativo para la UE y resaltando la necesidad de estrategias de diversificación y seguridad en el suministro.

Frente a este panorama desafiante, se erige como imperativo comprender plenamente la trascendencia estratégica y económica que tienen las MPC para el futuro de la UE. La marcada dependencia a la que se enfrenta conlleva desafíos de magnitud, los cuales demandan una investigación rigurosa y un esfuerzo concertado en busca de soluciones y alternativas viables. Solo a través de un análisis profundo es posible sentar las bases para garantizar un porvenir próspero y sostenible para la UE y su economía en un contexto global en constante cambio.

## **2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

El objetivo principal de esta investigación radica en analizar y comprender la trascendencia de las materias primas críticas (MPC) para la Unión Europea (UE) y su proyección futura. Para lograr este propósito, se establecen los siguientes objetivos secundarios:

1. Comprender el concepto de materias primas críticas para justificar la relevancia del estudio: Se buscará una comprensión integral del término, explorando sus características y su importancia en el mundo actual.
2. Comprender la situación geopolítica mundial con respecto a MPC: Se indagará en análisis de la geopolítica mundial de las MPC, con un énfasis particular en el mercado de las tierras raras y el cobalto. la posición de la UE dentro del panorama global de las MPC. Estos dos elementos se tomarán como casos prácticos para examinar a los líderes de dichos mercados y evaluar la posición de la Unión Europea en el contexto global.
3. Analizar las políticas y estrategias de acceso sostenible<sup>1</sup>: Se examinarán las políticas y estrategias implementadas por la UE con el propósito de asegurar un acceso sostenible a las MPC. Se evaluará la eficacia de estas medidas y su contribución a la disminución de la dependencia externa.
4. Estudiar las políticas existentes en la UE sobre MPC: Se examinarán detenidamente las políticas y enfoques ya implementados por la Unión Europea en relación con las MPC. Esto permitirá evaluar la eficacia de estas medidas y su contribución a la seguridad de abastecimiento. Además, se explorarán las estrategias futuras que la UE planea seguir en consonancia con su marco político actual.
5. Formular recomendaciones para asegurar la prosperidad de la UE: A partir del análisis previo y de la consideración de los desafíos y oportunidades, se elaborarán recomendaciones específicas orientadas a asegurar la prosperidad de la UE en el ámbito de las MPC. Estas recomendaciones se centrarán en la mitigación de riesgos y la promoción de oportunidades económicas.

---

<sup>1</sup> Se entiende por acceso sostenible la capacidad de obtener y utilizar MPC de manera equilibrada y responsable, sin causar daños en el medio ambiente en el proceso.

A través de la consecución de estos objetivos y subobjetivos, se aspira a enriquecer la comprensión sobre el papel crucial de las MPC para la Unión Europea y contribuir a la formulación de estrategias y enfoques que fortalezcan la posición de la región en el ámbito global.

### **3. METODOLOGÍA**

El propósito principal de este trabajo es mostrar una visión completa de la situación actual de la Unión Europea (UE) con respecto a las materias primas críticas (MPC) con el fin de comprender su relevancia en el contexto actual. Para lograr este propósito, se ha optado por emplear una metodología de enfoque analítico.

El método analítico se centra en descomponer el tema principal en sus elementos esenciales, permitiendo un análisis individual de cada parte para luego comprender el conjunto a través de estos componentes clave (Castellanos et al., 2005). En el presente trabajo, se justifica la elección del método seleccionado debido a la necesidad de desglosar y examinar a fondo la situación de la UE en relación con las MPC. Dado que el objetivo es explorar el conocimiento existente y evaluar diversas perspectivas, el enfoque analítico se presenta como la estrategia más apropiada.

La metodología empleada se basa en la recopilación, análisis y síntesis de información relevante proveniente de diversas fuentes indirectas, tales como libros, artículos científicos, informes especializados y otros documentos académicos.

El proceso de investigación realizado comprende varias etapas interconectadas. En primer lugar, se ha llevado a cabo una búsqueda exhaustiva con el propósito de identificar la literatura relevante. En segundo lugar, se ha consultado y evaluado la información recopilada con el fin de analizar y determinar su calidad y validez. En tercer lugar, se ha llevado a cabo la selección, organización y síntesis de la información con el objetivo de contextualizarla en el marco aplicable. Por último, mediante el método analítico, se han identificado desafíos, oportunidades y recomendaciones que atañen a la UE en relación con las materias primas críticas.

La recopilación de información en este estudio se ha centrado principalmente en la utilización de fuentes indirectas, donde se han utilizado los artículos científicos e informes especializados como fuentes primarias. Estas fuentes proporcionan un análisis riguroso y respaldado por evidencia en relación con las materias primas críticas, su impacto económico, su papel en industrias y sectores clave y su influencia en la seguridad económica de la UE.

Adicionalmente, se ha recurrido a fuentes oficiales para obtener datos y estadísticas relevantes. Organismos como la Comisión Europea, la Agencia Internacional de Energía (IEA), la Administración de Información de Energía (EIA) y el Servicio

Geológico de los Estados Unidos (USGS) han proporcionado información esencial para respaldar los argumentos presentados en este trabajo.

Asimismo, se ha recurrido a fuentes oficiales de la UE para comprender las políticas existentes en relación con las materias primas críticas. La información proporcionada por la UE ofrece una perspectiva valiosa sobre las medidas adoptadas para abordar los desafíos relacionados con la dependencia de estas materias y cómo la UE busca promover su acceso sostenible y diversificación de suministro.

La información presentada en este estudio proveniente de los artículos científicos, los informes especializados y las fuentes oficiales ha permitido identificar las oportunidades y desafíos que enfrenta la UE. Además, el análisis de estas fuentes ha servido como base para formular recomendaciones que abordan los posibles cursos de acción que la UE podría considerar.

## 4. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

### 4.1 ANTECEDENTES

A lo largo de la historia, las materias primas han desempeñado un papel crítico y estratégico debido a su impacto significativo en la economía global. Un ejemplo destacado de esta importancia histórica se evidencia en los intentos de apoderarse de Alsacia-Lorena, una región rica en depósitos de carbón en Europa, que desempeñó un papel fundamental en el desencadenamiento de la Primera Guerra Mundial (Çınarlı et al., 2023).

En la década de 1970, ya se realizaban estudios sobre la criticidad de las materias primas, como el informe del Grupo de Estudio de Materiales Importados Críticos en Estados Unidos (EE. UU.), que consideraba que la *bauxita*, el *romo* y el *platino* eran elementos críticos para el país. Además, en 1975, la Comisión Europea identificó el *wolframio*, el *fosfato*, el *platino* y el *romo* como “materias primas de preocupación” en un comunicado sobre la seguridad del suministro de materias primas (Buijs y Sievers, 2011).

Es importante destacar que las preocupaciones fundamentales sobre el riesgo de suministro de materias primas, así como las medidas propuestas en ese entonces, se mantienen notoriamente similares en la actualidad. La Comisión Europea, en el documento de 1975, propuso el almacenamiento de materias primas, los contratos de suministro a largo plazo y la explotación de recursos dentro de Europa. También se enfatizó la importancia del reciclaje, la sustitución de materiales, la eficiencia y la prolongación de la vida útil de los productos, así como la promoción de la investigación en este ámbito (Buijs y Sievers, 2011).

A pesar de que estas preocupaciones existen desde hace décadas, su relevancia actual se debe a varios factores clave. El crecimiento económico, la urbanización, el avance tecnológico y la creciente conciencia ambiental han impulsado la demanda de materias primas críticas en sectores como los vehículos eléctricos, la energía renovable y los dispositivos electrónicos. La transición hacia energías más limpias, como las energías renovables, ha aumentado la importancia de materiales críticos como el *galio*, el *telurio* y el *neodimio*. Además, la preocupación por la sostenibilidad y la responsabilidad ambiental ha elevado la necesidad de un uso responsable de las materias primas en un mundo cada vez más consciente de los problemas ambientales y el cambio climático. En

este contexto, el papel crucial de las materias primas críticas se destaca como esencial para un futuro energético sostenible y respetuoso con el medio ambiente (Hofmann et al., 2018), (Yaser et al., 2020).

#### **4.2 DEFINICIÓN MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS**

Las materias primas críticas<sup>2</sup> (MPC) son recursos naturales de vital importancia para el desarrollo tecnológico y económico de una región o país. Estos recursos poseen unas características físicas y químicas únicas, desempeñando un papel fundamental en industrias estratégicas como la electrónica, la energía renovable, la defensa y la fabricación de equipos avanzados. Aunque el concepto de criticidad es complejo y carece de una definición unívoca, se refiere a materiales esenciales para alcanzar ciertos niveles de rendimiento y funciones en la tecnología o productos (Hofmann et al., 2018). Se engloba como MPC a un conjunto de materias primas que comparten dos características fundamentales: presentan un alto riesgo de interrupción en su suministro y ostentan una elevada importancia económica (Simon et al., 2014). La Unión Europea <sup>3</sup> (UE) define las MPC como aquellos elementos que cumplen con tres criterios fundamentales: una alta importancia económica, un alto riesgo de suministro y una elevada vulnerabilidad debido a su dependencia de un número limitado de países proveedores (Ries, 2021).

Es relevante destacar que los elementos considerados “críticos” varían de un país a otro. Los países elaboran listas de criticidad que van modificando y actualizando con el paso del tiempo. En términos generales, un elemento es considerado crítico a nivel global cuando al menos tres países lo incluyen en sus respectivas listas de MPC. (Serrano y M<sup>a</sup>Hidalgo, 2020).

En este sentido, la identificación y clasificación de las MPC son procedimientos dinámicos que reflejan la importancia estratégica de estos recursos en la economía global y en las necesidades cambiantes de la sociedad. Las listas de MPC varían y evolucionan conforme al desarrollo tecnológico, el crecimiento industrial y la demanda de distintos sectores estratégicos.

Las MPC revisten una importancia trascendental para el desarrollo económico de los países, por lo que asegurar su acceso y suministro se considera una prioridad en aquellos países que aspiran a mantener su competitividad a nivel global. Estas valiosas

---

<sup>2</sup> A partir de ahora, nos referiremos a las Materias Primas Críticas con el acrónimo MPC.

<sup>3</sup> A partir de ahora, nos referiremos a la Unión Europea con el acrónimo UE.

materias primas encuentran aplicación en una amplia diversidad de sectores industriales, tales como la tecnología, la construcción, la automoción y la electrónica. Asimismo, fomentan el avance tecnológico y la innovación al ser componentes fundamentales en la fabricación de productos de alta tecnología. Las MPC desempeñan un rol crucial en garantizar la seguridad y soberanía nacional, y una dependencia excesiva en las importaciones puede conllevar un riesgo significativo para el país. Por consiguiente, es imperativo fortalecer la capacidad de obtención y aprovechamiento de estas materias primas en el territorio nacional. Por último, es importante destacar que las MPC también promueven la sostenibilidad y la economía circular, incentivando prácticas de reciclaje y reutilización de materiales, lo cual contribuye a la conservación de recursos y al fomento de prácticas ambientalmente responsables (Simon et al., 2014).

### **4.3 PROPIEDADES Y APLICACIONES INDUSTRIALES**

La transición hacia una industria basada en tecnologías sostenibles difiere considerablemente de aquella sustentado en recursos convencionales. A pesar de que las instalaciones solares y eólicas no dependen de combustibles para su funcionamiento, su construcción suele requerir más materiales que las alternativas fósiles. Mientras que los combustibles fósiles se consumen de forma generalizada, las MPC se necesitan en pequeñas cantidades, pero son elementos vitales en muchos procesos de fabricación. Por ejemplo, un vehículo eléctrico típico demanda seis veces más minerales que uno convencional, y una planta eólica en tierra consume nueve veces más recursos minerales que una planta de gas de la misma capacidad. Desde 2010, la cantidad promedio de minerales necesarios por unidad de capacidad de generación de energía ha aumentado en un 50%, a medida que las energías renovables incrementan su presencia en las nuevas adiciones de capacidad. Esta transición hacia la energía limpia implica un cambio desde un sistema intensivo en combustibles a uno que depende en mayor medida de materiales (IEA, 2021).

Para analizar las propiedades industriales de las MPC, es necesario examinar las características y usos individuales de cada mineral de manera independiente. Esto nos permitirá comprender en detalle cómo estos minerales desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones industriales y cómo su disponibilidad impacta en sectores estratégicos para la economía y la innovación tecnológica.

Por ejemplo, el *indio* se emplea en paneles solares y pantallas táctiles, mientras que el *cobalto* resulta esencial en superaleaciones y baterías de iones de litio. Además de su utilización en baterías, el *litio* es indispensable en dispositivos electrónicos y tecnologías de almacenamiento energético. Las *tierras raras* son esenciales en la fabricación de imanes utilizados en turbinas eólicas y vehículos eléctricos. La alta conductividad del *cobre* lo convierte en un elemento fundamental en la industria eléctrica y electrónica (European Commission, 2020a).

Cada uno de estos minerales tiene propiedades únicas que los hacen indispensables en la transformación hacia un sistema energético más sostenible y limpio.

#### **4.4 CONTEXTO GEOPOLÍTICO MUNDIAL DE LAS MPC**

El panorama geopolítico mundial en relación con las MPC se caracteriza por ser altamente competitivo y estratégico. Potencias como EE.UU., China, la UE y Japón compiten por asegurar su acceso a MPC fundamentales como el litio, el cobalto y las tierras raras (Andreoni et al., 2019).

China ha emergido como un actor dominante en esta competición. A nivel nacional, ha implementado una estrategia integral basada en la adquisición estratégica de depósitos minerales clave, como los de la República Democrática del Congo (RDC), con el propósito de consolidar su liderazgo en el sector de las MPC. Asimismo, ha fomentado la integración de la cadena de valor de las MPC a través de fusiones y alianzas entre empresas mineras, como la notable fusión entre China Minmetals Rare Earth Co., Chinalco Rare Earth & Metals Co. y China Southern Rare Earth Group Co., fortaleciendo su posición global (Andreoni y Roberts, 2022).

En el ámbito internacional, China ha buscado expandir su influencia en la industria a través de una estrategia de diplomacia económica y comercial, estableciendo acuerdos y relaciones comerciales con naciones productoras de minerales. Además, ha utilizado su posición preponderante en la cadena de suministro como una herramienta estratégica, ajustando el suministro de ciertas materias primas según sus intereses estratégicos (Andreoni y Roberts, 2022).

China goza de una ventaja estratégica fundamental como centro de producción mundial de fundición y refinación de metales críticos esenciales. Esta posición hace que numerosas cadenas de suministro de minerales y metales pasen a través de su territorio. Como consecuencia, China se ha convertido en un aliado comercial clave tanto para las

naciones donde se lleva a cabo la extracción de minerales como para aquellas que requieren minerales procesados para la manufactura industrial (Schüler-Zhou et al., 2020).

La *Iniciativa del Cinturón y Ruta de la Seda de China* (BRI<sup>4</sup>) es un ambicioso proyecto, introducido por el presidente Xi Jinping en 2013, que busca conectar Eurasia y África, y establecer una sinergia comercial, de infraestructura y conectividad digital con América del Sur. Esta iniciativa demanda importantes recursos, inversión de capital y mano de obra, involucrando a regiones ricas en minerales críticos, lo que la convierte en una amenaza para la supremacía de las potencias industriales tradicionales (EE.UU., la UE y Japón) y genera puntos de conflicto en zonas inestables del mundo. Además, la implementación de tecnologías fundamentales como el 5G y la inteligencia artificial (IA) depende en gran medida de minerales críticos (Greenfield y Graedel, 2013). Por lo tanto, la competencia por garantizar un acceso ininterrumpido a estos minerales es un elemento crucial en la geopolítica de la Iniciativa del Cinturón y Ruta de la Seda, y tiene un impacto relevante en la economía global. La falta de una estrategia coordinada para asegurar estos minerales, combinada con cambios en la geopolítica y una transformación económica, podría convertirse en el principal factor de perturbación del status quo (Kalantzakos, 2020).

Como podemos observar, este dominio de China ha generado inquietud en otros actores geopolíticos como la UE y EE.UU., quienes, conscientes de los riesgos y posibles interrupciones en las cadenas de suministro, buscan diversificar sus fuentes y reducir su dependencia de China. Aunque EE.UU. aún alberga algunas de las principales compañías mineras a nivel mundial y ha retomado la inversión en la minería nacional, la UE ha disminuido de manera considerable su producción minera interna en las últimas dos décadas (European Commission et al., 2021).

EE.UU., a través de iniciativas como *Prosper Africa*<sup>5</sup>, procura garantizar el acceso a minerales críticos en el continente africano, como contrapeso al dominio chino en la región (Kalantzakos, 2020). De manera similar, la UE implementa acciones como la Ley de Materias Primas Críticas, buscando asegurar el suministro de MPC, promover el

---

<sup>4</sup> Por sus siglas en inglés Belt and Road Initiative

<sup>5</sup> *Prosper Africa* es una iniciativa de seguridad nacional de los Estados Unidos que busca fortalecer la colaboración económica y estratégica con África mediante la promoción de flujos comerciales e inversiones bidireccionales (Prosper Africa, s. f.).

reciclaje y procesamiento interno, y diversificar sus fuentes de abastecimiento. La UE complementa este enfoque con el fortalecimiento de relaciones comerciales con países de África y Sudamérica (European Commission, 2023a).

Aunque ambos tienen como objetivo reducir su dependencia de China, el enfoque de EE.UU. es más agresivo que el de la UE y se centra en fortalecer la seguridad del suministro en sectores estratégicos como el de las MPC. EE.UU. busca reconstruir su propia política industrial y alcanzar la autosuficiencia en la producción y procesamiento de minerales críticos. Por otro lado, la UE adopta una estrategia más mesurada que se basa en la diversificación de las fuentes de suministro, fortaleciendo la cooperación interregional europea y estableciendo alianzas con naciones extranjeras (Speech by President von der Leyen on EU-China relations to the Mercator Institute for China Studies and the European Policy Centre, 2025).

África, dotada de una abundante riqueza mineral, se encuentra en una posición estratégica a medida que se intensifica la competencia global por los recursos, despertando el interés de actores geopolíticos. Aunque este nuevo escenario puede plantear oportunidades para las economías africanas, también suscita inquietudes sobre la posible exacerbación de desigualdades y dependencias existentes (Ambe-Uva, 2017).

La pandemia de COVID-19 y la crisis en Ucrania han impulsado una reevaluación profunda de las redes de suministro globales y han resaltado las interconexiones económicas y geopolíticas en un mundo globalizado (Maihold, 2022).

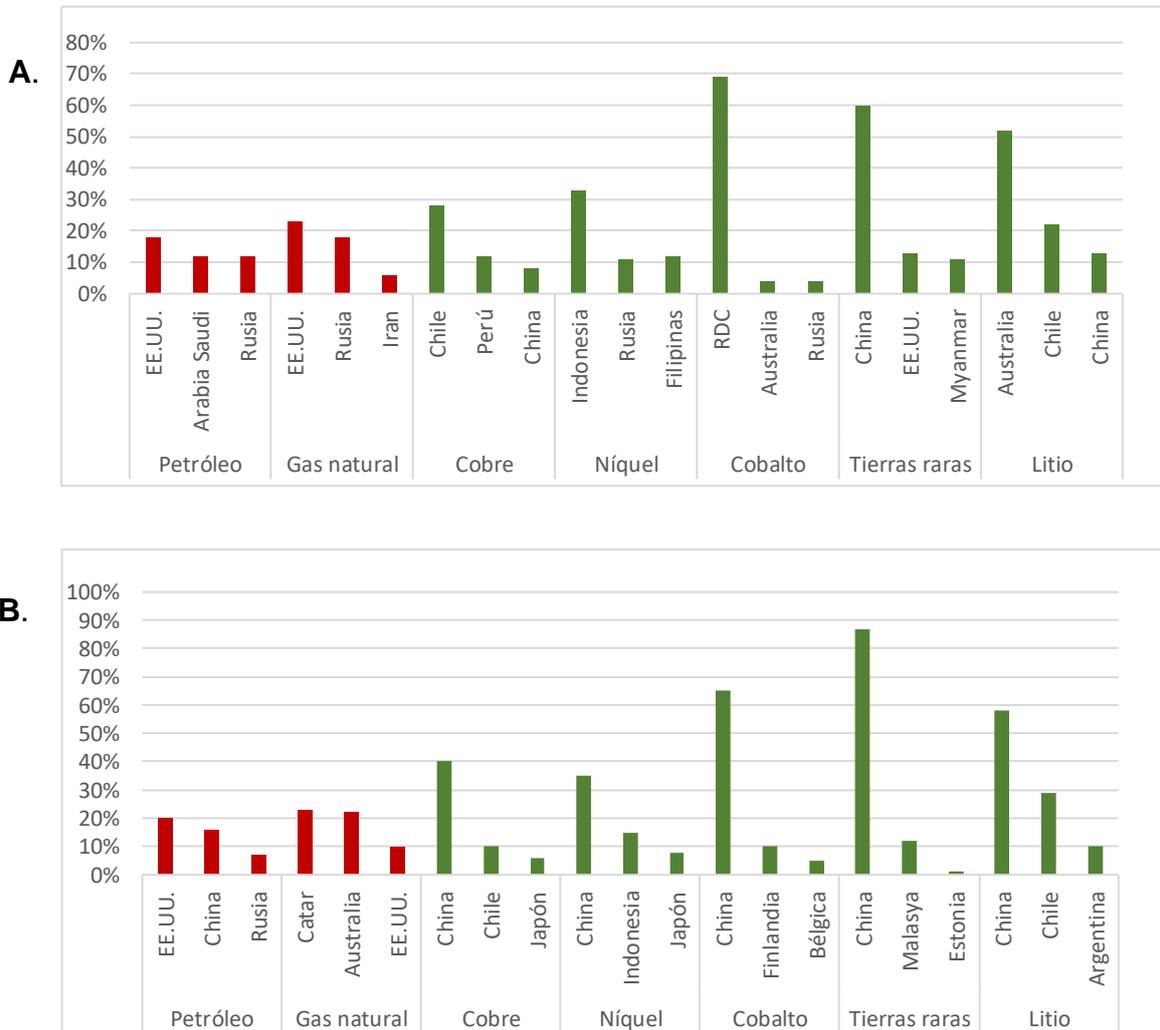
El término "friendshoring" se refiere a la construcción de vínculos económicos con una red de proveedores confiables provenientes de países aliados que ofrecen diversas vías de abastecimiento independientes. Este concepto amalgama la colaboración económica con la ampliación de relaciones políticas entre naciones que comparten normas y valores afines. Su propósito es contrarrestar la dependencia de países considerados riesgosos o poco confiables, así como diversificar las cadenas de suministro mediante nuevas asociaciones (Müller, 2023).

El "friendshoring" ha emergido como una respuesta directa ante la creciente competencia geopolítica entre EE.UU. y la UE, por un lado, y China y Rusia por el otro. En Europa, esta estrategia ha ganado relevancia y los países están adoptando el "friendshoring" como un concepto político tras la crisis en Ucrania, que ha motivado la reconsideración de los riesgos asociados a la dependencia de países como Rusia en su

cadena de suministro (Guhathakurta, 2022). Maihold (2022) describe el concepto como la geopolítica emergente de las cadenas de abastecimiento. En este escenario, las compañías deben considerar objetivos políticos o geopolíticos además de los cálculos económicos.

La estrategia de "friendshoring" adquiere aún más relevancia al analizar la distribución geográfica de la extracción y procesamiento de MPC en comparación con los combustibles fósiles.

**Figura 4.1.- Participación de los tres principales países en la extracción (A) y procesamiento (B) de combustibles fósiles y minerales seleccionados.**



Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por IEA (2021)

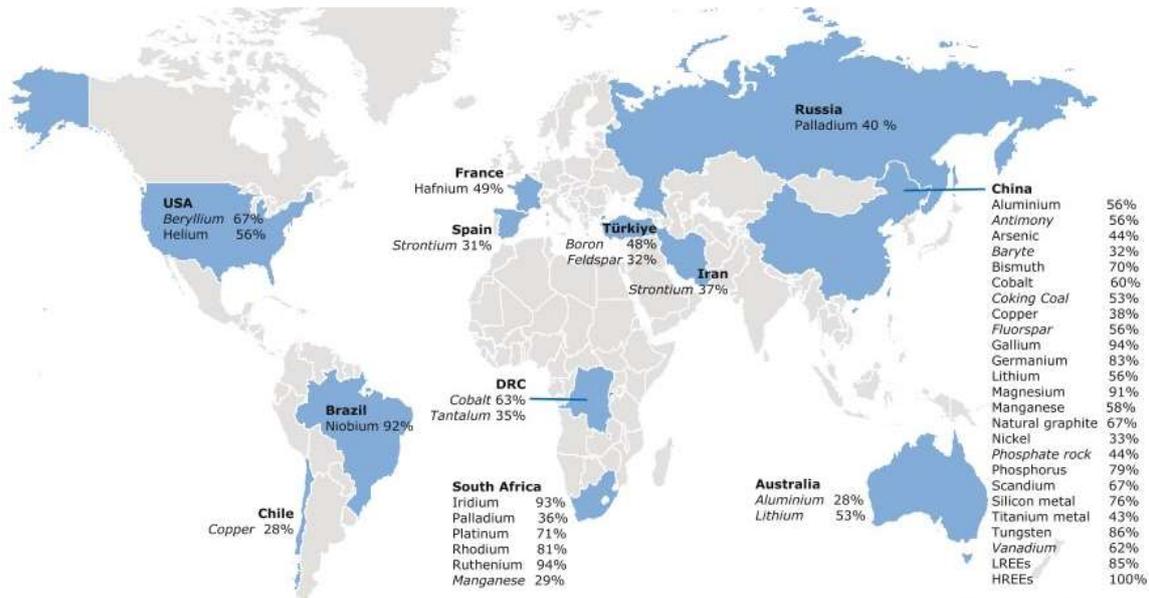
*Nota.* En la Figura 4.1 se han seleccionado el petróleo y el gas como ejemplos de combustibles fósiles (color rojo) y el *cobre*, el *níquel*, el *cobalto*, las *tierras raras* y el *litio* como ejemplos de MPC (color verde).

Como se puede apreciar en la Figura 4.1, la extracción (producción de minerales) y procesamiento (separación, refinación, modificación de minerales) de muchas MPC muestran una concentración geográfica más marcada que la del petróleo o el gas natural en la actualidad. En el ámbito del petróleo y el gas, EE.UU. lidera como el principal país extractor, seguido por Arabia Saudita y Rusia en el caso del petróleo, y Rusia e Irán en el caso del gas natural. Sin embargo, en ambos casos, EE.UU. es responsable de aproximadamente el 20% de la extracción.

Por otro lado, al analizar la extracción de las cinco MPC seleccionadas, se puede observar que el caso del *cobre* es el que presenta una menor concentración, donde Chile lidera con un control de más del 20%. Sin embargo, en el caso del *cobalto*, por ejemplo, la RDC es responsable de aproximadamente el 70% de la extracción de este mineral.

La situación se acentúa aún más al considerar el procesamiento de MPC. Mientras que en los combustibles fósiles la distribución está más o menos repartida equitativamente entre EE.UU., China y Rusia en el caso del petróleo y Qatar, Australia y EE.UU. en el del gas natural, en el ámbito de las MPC China muestra un dominio innegable. China lidera el procesamiento de todas las MPC seleccionadas, destacando el caso de las Tierras Raras, donde el control del país asiático supera el 80%.

Estos patrones geográficos y de concentración ponen de manifiesto la importancia de analizar detenidamente los mayores países suministradores de MPC a nivel mundial, lo cual se refleja en la siguiente figura.

**Figura 4.2.- Mayores países suministradores de MPC a nivel mundial.**

*Fuente: European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship y SMEs, Grohol, M., Veeh, C. (2023).*

*Nota.* Los países proveedores de MPC a nivel mundial están destacados en la figura en color azul, junto con el nombre del mineral que exportan y el porcentaje con respecto al total de la producción mundial del mineral. Los nombres que aparecen en cursiva hacen referencia a la etapa de extracción y los que aparecen sin ella al periodo de procesamiento.

En la Figura 4.2 se representa de manera visual la distribución global del suministro de MPC en el año 2023. En esta figura, China se destaca al proveer veinticinco de los minerales críticos a nivel global. Entre estos minerales, China es responsable de la producción total de las *tierras raras pesadas* y de más del 70% de las *tierras raras ligeras*, así como de minerales como el *bismuto*, *galio*, *germanio*, *magnesio*, *fósforo*, *silicio metálico* y *wolframio*. En otras partes del mundo, destacan los depósitos de MPC en África, especialmente en Sudáfrica y la RDC. Además, se evidencia que tanto Europa como EE.UU. desempeñan un papel secundario en el panorama global.

La actual concentración geográfica actual en la extracción y procesamiento de las MPC, especialmente con el liderazgo de China en el procesamiento, plantea importantes consideraciones sobre la dependencia y la seguridad en el suministro de estos minerales esenciales para la transición energética. En este contexto, la diversificación de las fuentes de suministro y el fortalecimiento de la capacidad de procesamiento en otras regiones

adquieren una importancia vital para mitigar riesgos en la cadena de suministro de materiales críticos.

Dentro del contexto geopolítico global que está siendo examinado, es esencial profundizar en la situación de minerales que desempeñan un papel fundamental en diversas industrias clave. En este sentido, se han seleccionado específicamente las *tierras raras* y el *cobalto* debido a su importancia crítica en las tecnologías avanzadas y sectores estratégicos.

#### 4.4.1 Tierras raras

Las tierras raras constituyen un grupo de 17 elementos que incluye el *escandio*, el *itrio* y los 15 elementos del grupo de los lantánidos. Cada uno de estos elementos posee una configuración electrónica distintiva que les confiere propiedades únicas en términos de magnetismo, luminiscencia y fuerza. El grupo de las tierras raras se divide en dos subgrupos dependiendo de su número atómico: tierras raras ligeras (LREEs<sup>6</sup>) y el de las tierras raras pesadas (HREEs<sup>7</sup>) (Castor y Hedrick, 2006).

Estos elementos desempeñan un papel esencial en una amplia gama de productos de consumo, desde vehículos eléctricos hasta televisiones, teléfonos móviles, turbinas eólicas, tecnología militar, y se utilizan incluso como catalizadores en la refinación del petróleo. Las tierras raras son esenciales para el avance tecnológico y la innovación de muchos sectores clave (Morrison, 2019).

De entre todos los elementos críticos, los metales de las tierras raras son probablemente los más vulnerables a riesgos geopolíticos. Su mercado es uno de los menos transparentes, debido en gran parte al reducido número de participantes y al comercio basado en contratos bilaterales a largo plazo con precios preestablecidos (Mar y García, 2012).

##### 4.4.1.1 El dominio de China

Con una participación de mercado superior al 80%, China es el líder indiscutible en la producción y distribución de estos elementos. Antes de la creciente influencia de China, EE.UU. dominaba el mercado, pero en las últimas décadas ha cedido su liderazgo (Fan et al., 2023).

---

<sup>6</sup> LREEs por sus siglas en inglés Light Rare Earth Elements

<sup>7</sup> HREEs por sus siglas en inglés Heavy Rare Earth Elements

China desempeña un papel dominante como el principal productor, consumidor y exportador de tierras raras a nivel mundial. En 1992, Deng Xiaoping, el impulsor de la revolución económica china declaró: "Oriente Próximo tiene petróleo, pero China tiene tierras raras" (Bermúdez, 2012).

Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS<sup>8</sup>), en 2018, China representó el 71% de la cantidad total de tierras raras producida a nivel global, además de controlar el 90% del procesamiento global de este grupo de minerales. Los principales destinos de exportación en términos de valor fueron Japón, EE.UU. y los Países Bajos (Morrison, 2019).

La considerable influencia de China en el mercado de las tierras raras le ha otorgado la capacidad de emplear este recurso como una herramienta en sus estrategias de guerra comercial durante las últimas décadas. Un caso paradigmático se evidenció en 2010, cuando un conflicto marítimo entre China y Japón condujo a una respuesta inmediata por parte de China, que redujo drásticamente las exportaciones de tierras raras hacia el país del sol naciente. Durante ese mismo año, China anunció una reducción del 72% en sus cuotas de exportación de tierras raras para el segundo semestre. La escalada en los precios dejó al descubierto la vulnerabilidad de las principales economías globales frente a perturbaciones en la cadena de suministro, intensificando las preocupaciones acerca de la dependencia de China en el abastecimiento de tierras raras (Ferreira y Critelli, 2022).

La supremacía de China en la producción y distribución de metales de tierras raras ha suscitado inquietudes tanto en EE.UU. como en la UE en relación con su dependencia en el suministro de estos metales fundamentales. En caso de que China optara por utilizar estos elementos como herramienta diplomática, podría restringir su suministro, tal como ocurrió en Japón en 2010. Esto podría acarrear consecuencias graves para las economías de dichos países, dado que estos metales desempeñan un papel esencial en industrias como la electrónica, la fabricación de vehículos eléctricos y otros sectores de alta tecnología. La restricción por parte de China podría tener un impacto adverso en la producción y el progreso de estas industrias. Por tanto, resulta imperativo para regiones como la UE desarrollar cadenas de suministro alternativas y reducir la dependencia de un

---

<sup>8</sup> USGS por sus siglas en inglés United States Geological Survey

solo proveedor con el fin de mitigar los riesgos vinculados a la dependencia de las tierras raras de China (Fan et al., 2023).

#### 4.4.1.2 Tierras raras en la UE

En la actualidad, la producción de tierras raras en la UE es insignificante. Sin embargo, el proyecto EURARE, respaldado por financiamiento de la Comisión Europea y dedicado a analizar las perspectivas de desarrollo de la minería de tierras raras en la UE, argumenta que Europa cuenta con el potencial necesario para asegurar su propio suministro interno de estos elementos. No obstante, este potencial requiere una exploración geológica más extensa y la implementación de un esquema de explotación viable para convertirse en una realidad efectiva (Goodenough, 2016).

En el contexto de la UE, destaca el proyecto Rare Earth Recycling for Europe (REE4EU), respaldado por la Comisión Europea y financiado a través de Horizonte 2020. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un método eficiente y rentable para reciclar elementos de tierras raras destinados a la producción de imanes (REE4EU, s. f.).

La Alianza Europea de Materias Primas (ERMA<sup>9</sup>), surge como una iniciativa derivada de la Cumbre de Materias Primas de 2020, con la meta de fortalecer la cadena de valor de las materias primas en Europa, desde la minería hasta la recuperación de residuos. En un informe del Clúster de Motores e Imanes de Tierras Raras de la ERMA publicado en 2021, se establecieron cuatro recomendaciones para garantizar el acceso a tierras raras producidas de manera sostenible y a precios competitivos (ERMA, 2021):

- Los políticos europeos deberían crear un entorno equitativo para la producción europea de tierras raras que haga frente a las subvenciones y subsidios chinos.
- Los fabricantes de equipos originales europeos deberán considerar comprar un porcentaje significativo de materiales de tierras raras a productores europeos.
- La UE debe asegurarse de que los productos en desuso que contienen tierras raras permanezcan en Europa para poder facilitar la reprocesamiento y el reciclaje
- Se debe aprovechar la oportunidad de impulsar las inversiones privadas en la cadena de valor de las tierras raras mediante la financiación conjunta de la UE y sus Estados Miembros.

---

<sup>9</sup> Por sus siglas en inglés European Raw Materials Alliance

Además de los esfuerzos en investigación y desarrollo para fomentar la explotación y reciclaje de tierras raras en la UE, es importante resaltar que la seguridad del suministro de estos elementos también implica la diversificación de fuentes. La dependencia de un solo país, como China, para la mayoría de las tierras raras, ha generado preocupaciones sobre la estabilidad y disponibilidad a largo plazo. Por lo tanto, la promoción de colaboraciones internacionales y el establecimiento de relaciones comerciales equilibradas podrían contribuir a mitigar los riesgos asociados a la dependencia de una sola fuente de suministro.

#### **4.4.2. Cobalto**

El cobalto es un metal de transición caracterizado por su dureza, tonalidad grisácea, propiedad magnética y capacidad para soportar altas temperaturas. Su versatilidad lo hace indispensable en diversas aplicaciones industriales. El metal desempeña un papel crucial en la fabricación de aleaciones, baterías recargables de ion-litio, paneles solares, imanes y componentes de turbinas eólicas, e incluso tiene aplicaciones médicas. Además, se trata de un elemento esencial para los animales y los seres humanos, ya que está involucrado en una función biológica. Sin embargo, el principal mercado de crecimiento del cobalto es el de los vehículos eléctricos (Baran, 2018).

En cuanto a la extracción de cobalto, es importante destacar que su disponibilidad es limitada en comparación con otros metales, y su producción se concentra en algunas regiones específicas del mundo. Además, la extracción y manipulación del cobalto a menudo dependen de la extracción de otros metales, como el *níquel* y el *cobre*, de los cuales el cobalto es un subproducto. Esto lo convierte en una de las MPC más importantes, como se mencionó anteriormente (Baran, 2018).

La mayor concentración de reservas de cobalto se encuentra en la RDC, aunque también existen depósitos importantes en Australia, Rusia, Cuba, Nueva Caledonia y Canadá. Esta concentración de reservas en la RDC le otorga a este país una influencia significativa en el mercado mundial de cobalto

##### *4.4.2.1 El cobalto en la República Democrática del Congo*

La RDC se extiende como el país más grande de África subsahariana en términos de superficie y comparte fronteras con nueve naciones vecinas. Entre estas, la República Centroafricana y Sudán del Sur, situados al norte, han sido clasificados como estados

colapsados, caracterizados por un control gubernamental limitado sobre sus territorios, lo que da lugar a inestabilidad política y social (Rupiya, 2018).

Es importante comprender el contexto en el que se encuentra la RDC. A pesar de ser rica en recursos naturales, la RDC enfrenta desafíos significativos en términos de desarrollo humano y económico. El índice de desarrollo humano (IDH), que es un importante indicador del desarrollo humano elaborado anualmente por Naciones Unidas, ubicó a la RDC en el puesto 179 de 191 países en 2021 (Human Development Index and Components, 2021). El PIB per cápita del país es uno de los más bajos del mundo (PIB De República Democrática Del Congo, 2021). Según el Índice de Percepción de la Corrupción (IPC), la RDC ocupa el puesto 170 de 180 países en 2021, lo que convierte al país en uno de los más corruptos del mundo (Transparency International, 2022). Estas estadísticas revelan un panorama desafiante para la RDC en términos de desarrollo humano, económico y lucha contra la corrupción.

A pesar de estos desafíos, la RDC desempeña un papel central en la producción mundial de cobalto. Según los datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), del total de la producción mundial de cobalto en 2019, más del 70% provino de un solo país, la RDC (USGS, 2020). Esta notable participación en la producción de cobalto le otorga a la RDC una influencia significativa en el mercado mundial de este metal esencial para diversas industrias. Esta concentración de producción en un solo país conlleva riesgos significativos para la estabilidad del suministro global de cobalto, especialmente en un contexto de inestabilidad política y problemas geopolíticos persistentes en la región.

Además, la producción de cobalto con frecuencia conlleva desafíos éticos y sociales, ya que una parte considerable de la producción en la RDC proviene de la minería artesanal o a pequeña escala (ASM<sup>10</sup>). En el año 2020, aproximadamente el 10% de la producción de cobalto en la RDC se originó en la ASM, brindando empleo a alrededor de cien mil trabajadores. A pesar de que la ASM genera empleo para un gran número de personas, también se ha relacionado con problemáticas como el trabajo infantil, condiciones laborales peligrosas y una remuneración injusta (Frankel et al., 2016).

En respuesta a estas preocupaciones éticas, muchas empresas occidentales han buscado garantizar que el cobalto utilizado en sus productos provenga de fuentes responsables. Más de 380 empresas son signatarias de la "Iniciativa de Minerales

---

<sup>10</sup> Por sus siglas en inglés Artisan and Small-Scale Mining

Responsables," comprometiéndose a garantizar que el cobalto utilizado en sus productos se obtenga de manera ética y sostenible (Harper, 2021).

#### *4.4.2.2 China y el mercado del cobalto*

En 2007, el gobierno de la RDC suscribió un acuerdo con un grupo de bancos estatales chinos que se comprometieron a otorgar préstamos por aproximadamente seis mil millones de dólares. A cambio, el consorcio estatal chino obtuvo considerables concesiones mineras que abarcaban alrededor de 600.000 toneladas de cobalto (Gulley et al., 2019). Esta transacción marcó el inicio de la presencia significativa de China como uno de los principales inversores en el sector minero de la RDC.

Paralelamente, China ejerce control sobre más de la mitad de la capacidad mundial de refinación de cobalto, lo que ha generado crecientes preocupaciones a nivel geopolítico.

La BRI de China, que tiene como objetivo financiar, desarrollar y construir nueva infraestructura en todo el mundo, opera mediante el acceso a los recursos nacionales como moneda de intercambio. De esta manera, China ha construido más de una docena de puertos en África con el fin de brindar acceso sin restricciones a la riqueza mineral del continente. Además, una vez que el cobalto llega a China, es infrecuente que se destine a la fabricación de baterías en otros lugares del mundo. En cambio, se emplea en la producción de vehículos eléctricos económicos que posteriormente se exportan a diversas regiones del mundo (Harper, 2021).

Al igual que ocurre en el mercado de las tierras raras, el control que ejerce China sobre la producción y el procesamiento de cobalto puede ser utilizado como una forma de presión política o económica en disputas diplomática, lo que genera preocupación en potencias como la UE y EE.UU.

#### *4.4.2.3 Cobalto en la UE*

En la actualidad, la UE importa la mayor parte del cobalto refinado, utilizado en las baterías, procedente de terceros países como China y la RDC. En términos de producción interna, Europa extrae una cantidad relativamente limitada de cobalto, cubriendo únicamente el 10% de la demanda interna. No obstante, existen algunos proyectos en desarrollo en Finlandia y España que podrían contribuir a aumentar este porcentaje (Leuven, 2022).

En cuanto al refinamiento, existen operaciones significativas en Finlandia y Bélgica, que suministran aproximadamente el 70% de la demanda europea. Cabe destacar que el cobalto es un metal altamente reciclable. De hecho, el suministro secundario de cobalto podría llegar a satisfacer el 67% de la demanda de cobalto en la UE para 2050. (Leuven, 2022).

La nueva Regulación de Baterías de la UE de 2023 establece niveles mínimos obligatorios de contenido de cobalto reciclado en las baterías industriales con capacidad superior a 2 kWh. Concretamente, se determina que 96 meses después de que entre en vigor el Reglamento, las baterías deben contener al menos un 16% de cobalto recuperado de los residuos de fabricación de baterías o de residuos posconsumo. A partir de los 156 meses desde que entre en vigor, el porcentaje mínimo de cobalto reciclado exigido aumentará al 26%. Además, se establece que, para diciembre de 2027, el porcentaje de reciclaje de cobalto deberá ser superior al 90% (Comisión Europea, 2023).

Es crucial subrayar la importancia estratégica para la UE de no depender de las importaciones de cobalto. La creciente demanda de este mineral, especialmente en el contexto de la transición hacia la movilidad eléctrica y las tecnologías verdes, resalta la necesidad de garantizar un suministro estable y seguro para los proyectos de energía sostenible y la industria automotriz. En este sentido, los esfuerzos de la UE para fomentar la producción interna y el reciclaje de cobalto son pasos clave hacia la diversificación de la cadena de suministro y la consecución de su objetivo de autonomía estratégica.

## 5. MATERIAS PRIMAS CRÍTICAS EN LA UE

El acceso a las MPC es un asunto crucial para la economía europea. La Comisión Europea ha creado una lista de MPC para la UE con el objetivo lograr un acceso fiable e ininterrumpido a estos minerales. La lista de MPC debe incluir aquellos elementos que alcancen o superen los umbrales de importancia económica y riesgo de suministro. La evaluación requerida debe considerar el promedio de datos recientes de un período de cinco años (Comisión Europea, 2023).

La UE publicó su primera lista de MPC en 2011, y desde entonces ha ido revisando esta lista y realizando nuevas versiones cada tres años (2011, 2014, 2017, 2020, 2023) (Comisión Europea, 2020). Cada una de estas listas refleja los minerales considerados esenciales para la economía, la industria, la seguridad y la competitividad de la UE durante los años correspondientes. Mientras que la lista inaugural constaba de 14 minerales, la última edición de 2023 ha ampliado la selección a 34 minerales fundamentales (European Commission, 2023d).

LISTA MPC 2011	LISTA MPC 2023
Antimonio	Antimonio
Berilio	Arsénico
Cobalto	Bauxita
Fluorita	Barita
Galio	Berilio
Germanio	Bismuto
Grafito natural	Boro
Indio	Cobalto
Magnesio	Carbón de coque
Metales del grupo del platino	Cobre
Niobio (Columbio)	Escandio
Tántalo	Estroncio
Tierras raras pesadas	Feldespato
Tierras raras ligeras	Fluorita
Wolframio	Fosforita
	Fósforo
	Galio

Germanio  
Grafito natural  
Hafnio  
Helio  
Litio  
Magnesio  
Manganeso  
Metales del grupo del platino  
Metal de titanio  
Níquel  
Niobio  
Silicio metálico  
Tántalo  
Tierras raras pesadas  
Tierras raras ligeras  
Vanadio  
Wolframio

Fuente: (Comisión Europea, 2023).

La comparación entre la lista de MPC de la UE del año 2011 y la actualización de 2023 revela cambios sustanciales que denotan una clara adaptación a las necesidades tecnológicas, de innovación y sostenibilidad en la región.

En primer lugar, en la lista de 2011 se destacaban ciertos elementos que en 2023 han perdido su relevancia crítica, como el *indio* y el *tántalo*. Estos materiales, que alguna vez fueron de alta importancia en la fabricación de dispositivos electrónicos y equipos de comunicación, han experimentado una evolución en términos de oferta y demanda. La eliminación de estos elementos de la lista refleja un cambio en la percepción de su escasez y su papel crucial en las tecnologías actuales.

Por otro lado, la inclusión de veinte nuevos minerales en la lista de 2023 resalta la rápida evolución del panorama tecnológico. La introducción de elementos como el *litio* subraya la creciente importancia de las baterías recargables y los sistemas de almacenamiento de energía para impulsar la transición hacia fuentes de energía renovable

y la movilidad eléctrica. Estos elementos se han vuelto esenciales en la fabricación de vehículos eléctricos y sistemas de almacenamiento de energía, lo que refleja la apuesta de la UE por la sostenibilidad y la reducción de emisiones.

La lista de MPC es una herramienta esencial para la UE, ya que fortalece la competitividad industrial, impulsa la producción de MPC, promueve la economía circular y conciencia sobre los riesgos en el suministro de materias primas. También apoya la negociación de acuerdos comerciales, la contraposición a medidas de distorsión comercial, la investigación e innovación, y la implementación de la "Agenda 2030 para el desarrollo sostenible" (European Commission, 2023d).

### **5.1 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA SELECCIÓN DE MPC**

Los dos parámetros por los que la UE determina la criticidad de una materia prima son el riesgo de suministro y la importancia económica. En consecuencia, todas las MPC incluidas en la lista más reciente de criticidad, la de 2023, han sido reconocidas como elementos de relevancia para la economía de la UE y presentan un riesgo de suministro significativo.

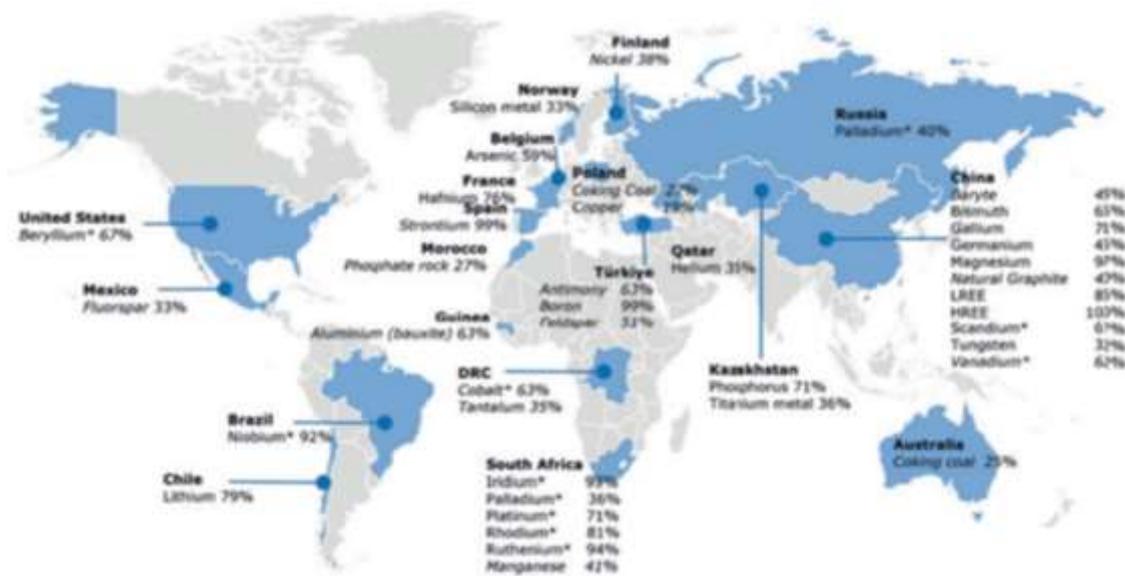
Medir la importancia económica de un mineral es una tarea compleja. La metodología empleada comienza determinando los usos finales del mineral estudiado. Después se analiza la proporción de cada uso final del material asociado con sectores industriales a nivel de la UE. Luego se combina la proporción obtenida con el valor agregado bruto del sector industrial al Producto Interior Bruto (PIB) de la UE. Finalmente, se escala el total obtenido de acuerdo con el PIB total de la UE para evaluar la importancia económica general del mineral (European Commission, 2014).

En cuanto a la evaluación del riesgo de suministro de un material, se sigue un enfoque similar. En primer lugar, se analiza la calidad de la gobernanza en el país proveedor, ya que una mala gobernanza podría resultar en interrupciones en el suministro. Después, se analiza la presencia de alternativas potenciales al material y se examina la factibilidad de su reciclaje. Tanto la disponibilidad de sustitutos como la posibilidad de reciclaje desempeñan un papel crucial en la significativa reducción del riesgo de suministro (European Commission, 2014).

## 5.2 POSICIÓN DE LA UE, DEPENDENCIA EXTERNA

La UE depende de las importaciones de terceros países para acceder a muchas MPC, ya que prácticamente la totalidad de los minerales críticos son producidos y suministrados por terceros países. Aunque existe producción doméstica de algunas MPC, como el estroncio y el hafnio, en la mayoría de los casos, la UE se ve obligada a recurrir a las importaciones (European Commission, s. f.). Como hemos observado anteriormente, la extracción y el procesamiento de muchas MPC está fuertemente concentrado a nivel mundial, lo que supone un importante riesgo para la UE. Ante este contexto de dependencia por parte de la UE, resulta esencial analizar sus principales países proveedores de MPC.

**Figura 5.1.- Principales países proveedores de MPC a la UE en 2023**



*Fuente: European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship y SMEs, Grohol, M., Veeh, C. (2023).*

*Nota.* Los países proveedores de MPC de la UE están destacados en la figura en color azul, junto con el nombre del mineral que exportan y el porcentaje con respecto al total de la producción mundial del mineral. Los nombres que aparecen en cursiva hacen referencia al periodo de extracción y los que aparecen sin ella al periodo de procesamiento.

En la Figura 5.1 se pone de manifiesto contundentemente el elevado grado de dependencia de la UE en cuanto a las importaciones de MPC. Un caso especialmente

inquietante es el de las *tierras raras*, de las cuales la totalidad de las tierras raras pesadas importadas por la UE son procesadas en China. Del mismo modo, el 97% del *magnesio* que obtiene la UE es producido en China. Chile, por su parte, emerge como un actor preponderante al procesar más de tres cuartos del *litio* importado por la UE, mientras que la RDC contribuye significativamente al suministro de *cobalto*, siendo responsable del 63% de las importaciones totales de este mineral en la UE. Turquía también juega un papel de notable relevancia como suministrador de MPC para la UE, al procesar prácticamente la totalidad del *boro*.

Al analizar los minerales importados por cada país, nuevamente se destaca el papel crucial de China, que exporta a la UE once de las materias primas consideradas críticas por la UE en 2023. Estos datos resaltan la necesidad de la UE de diversificar sus fuentes de suministro y de establecer estrategias de seguridad y resiliencia en la cadena de suministro de MPC, a fin de reducir los riesgos inherentes a su alta dependencia de terceros países.

En cuanto a la producción y al procesamiento interno, resulta notable que casi la totalidad del *estroncio* consumido en la UE provenga de España, mientras que una parte significativa del *hafnio* se procesa en Francia. Asimismo, el 59% del *arsénico* se procesa en Bélgica y parte del *cobre* y del *carbón* se produce en Polonia. Analizando la Figura 5.1 se observa que, de todos los minerales clasificados como críticos por la UE en 2023, tan solo cinco tuvieron origen total o parcial en lo que respecta a la producción y al procesamiento dentro de la propia UE.

En términos generales, el nivel de dependencia de la UE con respecto a las MPC es tan alto como el de los combustibles fósiles. En el año 2019, la UE confió en las importaciones para el 97% de su consumo de petróleo crudo, el 90% de su consumo de gas, y el 69% de su consumo de carbón. En el caso de las MPC, las tasas de dependencia son superiores al 70% en la mayoría de los minerales (Leuven, 2022).

En lo que respecta a la oferta interna, se observa que el incremento en la producción local de MPC parece encontrar obstáculos similares a los que enfrentan los combustibles fósiles (Nelskamp et al., 2017). Además, los procedimientos nacionales de concesión de permisos, los modelos normativos, las diferencias entre las preferencias de los Estados Miembros y la falta de aceptación pública de las actividades mineras representan barreras considerables.

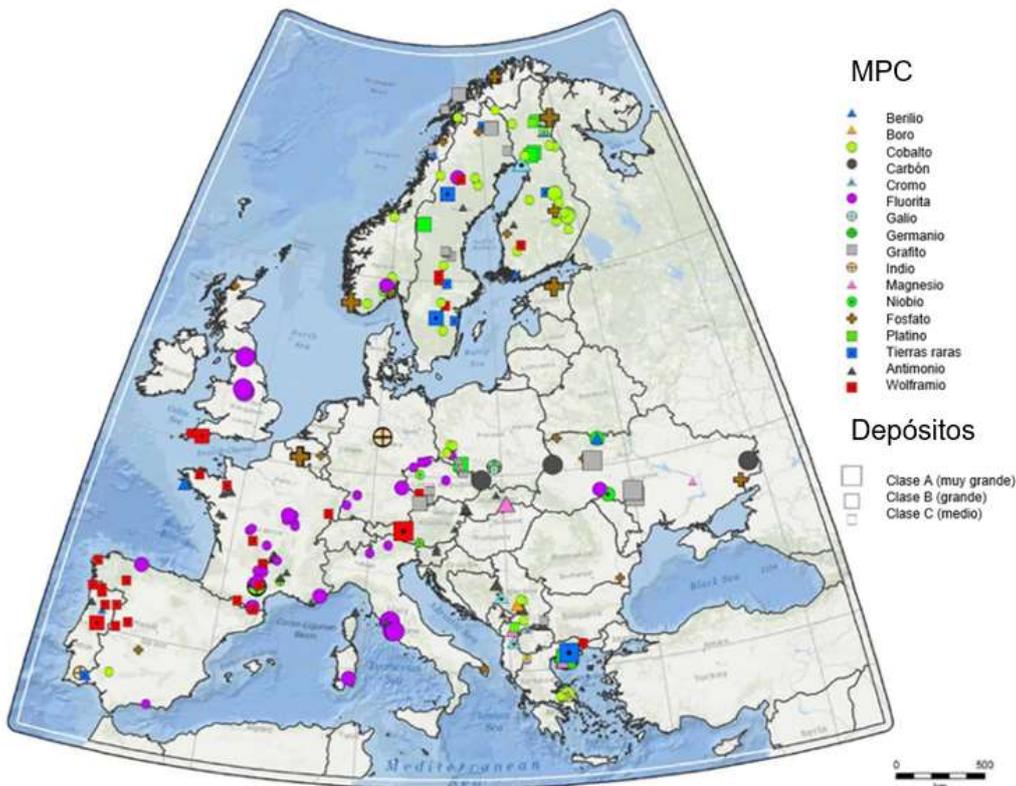
### 5.3 FUENTES DE ABASTECIMIENTO Y CIRCULARIDAD

Los datos presentados subrayan la urgente necesidad de que la UE diversifique sus fuentes de suministro de MPC y busque activamente formas de fortalecer su capacidad interna de producción y procesamiento. Para abordar esta creciente dependencia de importaciones de MPC, es esencial examinar de manera más detallada las fuentes de abastecimiento internas en la UE y evaluar cómo pueden desempeñar un papel fundamental en la estrategia de seguridad y resiliencia de la UE en este ámbito.

Para lograr reducir la dependencia de la UE de las importaciones de MPC, es esencial fomentar la eficiencia en el uso de los recursos, lo cual incluye el reciclaje, así como la adopción de alternativas mediante la sustitución de materiales. Asimismo, la UE busca posicionar a Europa en la vanguardia de la innovación en el ámbito de las materias primas y al mismo tiempo mitigar los efectos negativos en el medio ambiente y en la sociedad.

#### 5.3.1 Principales yacimientos en la UE y países productores

Figura 5.2.- Depósitos de MPC en Europa



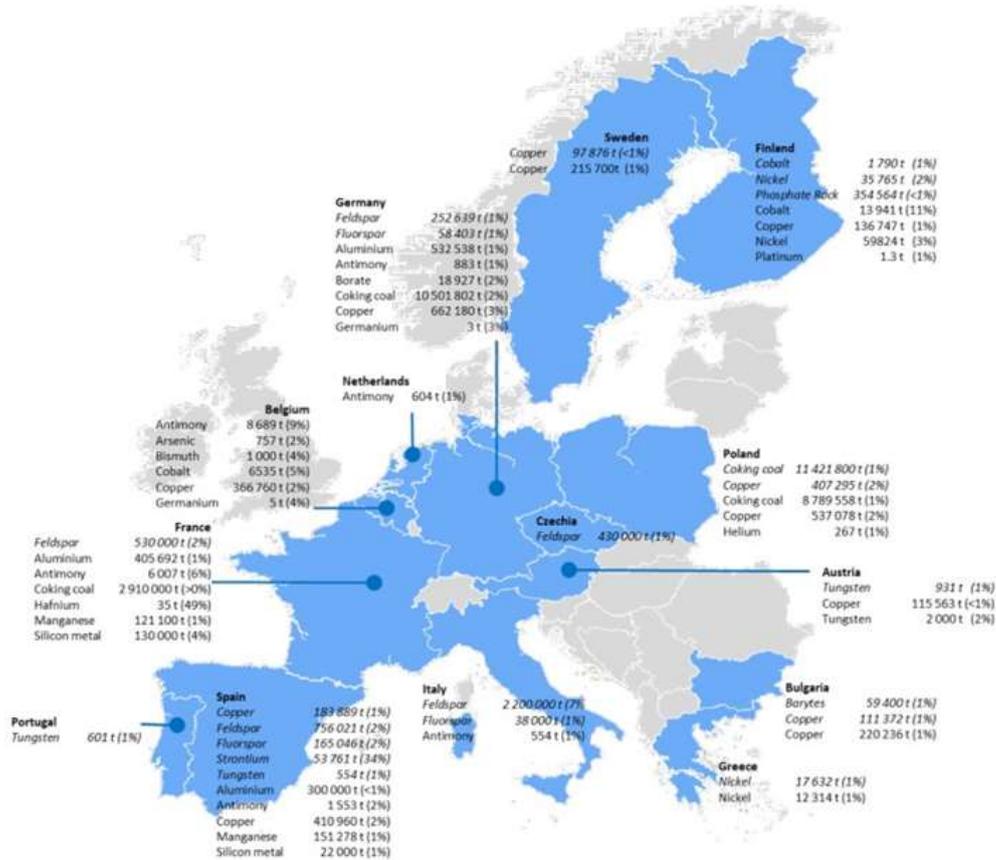
Fuente: EuroGeoSurveys. (2016).

*Nota:* En el mapa se representan los depósitos de MPC en el año 2016. Las MPC, que aparecen de diferentes colores, son las de la lista de 2014. Asimismo, aparecen representados tres tamaños de depósitos, desde la Clase A (muy grande) hasta la Clase C (medio).

En la Figura 5.2, se destacan los depósitos de *wolframio* en la zona norte de Portugal, mientras que se encuentran depósitos de *fluorita* en Francia, Italia y Alemania principalmente. En España existen depósitos de Clase C de *cobalto*, *fosfato* y *fluorita*. En los países escandinavos podemos observar la presencia de depósitos de *cobalto*, *grafito*, *fosfato*, *wolframio* y *tierras raras*, aunque también existen depósitos de *platino* y *romo* en Finlandia. En el este de Europa encontramos depósitos de Clase A de *carbón* y *grafito*. En la península de los Balcanes existen depósitos de Clase C de *romo*, *platino*, *cobalto* y *wolframio*, además de un depósito de Clase A de *tierras raras*.

Es importante destacar que la presencia de depósitos de MPC en la UE no siempre se corresponde con la capacidad de los países para ser productores significativos de dichos recursos. Aunque algunos países de la UE albergan depósitos de estas materias primas, no todos poseen la infraestructura ni las capacidades de extracción y procesamiento para convertirse en productores de gran escala. A pesar de que la UE alberga algunos yacimientos de MPC, su producción de estas materias primas no destaca a nivel global. Por lo tanto, es esencial que, además de estudiar la existencia de depósitos de MPC, analicemos a los productores de MPC dentro de la UE, tanto en términos de extracción como de procesamiento.

Figura 5.3.- Productores de MPC de la UE.



Fuente: European Commission. (2020a).

*Nota:* En el mapa se representan los productores de MPC de la UE en el periodo 2016-2020. En paréntesis aparecen los porcentajes en relación con la oferta mundial total. Los nombres que aparecen en cursiva hacen referencia al periodo de extracción y los que aparecen sin ella al periodo de procesamiento.

En el mapa de productores de MPC en la UE, destaca España como un importante productor de MPC debido a su contribución del 34% en la oferta global de *estroncio*. Asimismo, Italia también juega un papel relevante al producir el 7% del *feldespato* a nivel mundial. En términos de procesamiento, sobresale Francia, responsable del procesamiento del 49% del *hafnio*, seguida de Finlandia, con el 11% del *cobalto* procesado, y Bélgica, con el procesamiento del 9% del *antimonio*.

Sin embargo, el resto de los países, tanto en términos de producción como de procesamiento, contribuyen a la oferta mundial de MPC con porcentajes muy bajos, a menudo del 1% o incluso menos.

### **5.3.2 Factores que afectan a la disponibilidad y la producción**

Como se ha observado, la presencia de diversos depósitos de MPC en la UE, no garantiza necesariamente su viabilidad para la explotación. La posibilidad y el éxito de la explotación de un depósito están determinados por una serie de factores técnicos, geológicos, ambientales y financieros. Además, resulta fundamental evaluar los riesgos asociados tanto al medio ambiente como a las personas para poder llevar a cabo una extracción responsable y sostenible. Las estrategias para gestionar estos riesgos varían en función del tamaño de la operación y la solidez financiera de la empresa extractora (Price y Espi, 2014).

En primer lugar, la geología del yacimiento se refiere a la naturaleza de las rocas y los minerales, así como su disposición. La mineralogía, por su parte, hace referencia a la composición química del elemento y la estructura de los minerales del yacimiento. Estos aspectos determinan la facilidad de la extracción y del proceso de separación de los minerales de interés.

El diseño de la mina es otro factor crucial a considerar. La topografía del terreno, la profundidad del yacimiento y la distribución de los minerales críticos de interés afectan son aspectos determinantes de la planificación de la explotación y la elección de los métodos de extracción y el proceso técnico adecuado. Una alta concentración de MPC puede facilitar tanto la planificación de la extracción como el posterior procesamiento (Recalde y Morante, 2009).

Por último, es necesario evaluar los riesgos ambientales y humanos antes de comenzar el proceso de extracción. Identificar posibles impactos negativos en el entorno, como la degradación del suelo, la alteración del ecosistema local y la contaminación del agua, resulta crucial. Además, se deben implementar medidas de seguridad para proteger a los trabajadores, tanto en la fase de explotación como en el periodo de procesamiento (Recalde y Morante, 2009).

### 5.3.3 Impacto ambiental de la extracción

La minería, el procesamiento y el transporte de MPC no solo tiene implicaciones económicas y sociales, sino que también conlleva un importante impacto ambiental que debe considerarse antes de emprender cualquier proceso extractivo.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el proceso productivo de materias primas suele involucrar una gran cantidad de flujos o corrientes de subproductos, residuos y entradas de energía. Esto hace que evaluar el impacto ambiental de estos procesos se vuelva todo un desafío, ya que hay muchos sistemas involucrados (Norgate et al., 2007).

A continuación, se exponen los principales impactos derivados de la actividad extractiva de las MPC (Leitner et al., 2020):

- Drenaje Ácido de Minas: el ácido sulfúrico formado disuelve metales pesados, acidificando y contaminando tanto el agua como el suelo si no se controla de manera efectiva.
- Contaminación del Agua: La minería puede afectar las aguas subterráneas al penetrar en capas profundas que llegan a los acuíferos. Esto permite que el agua subterránea fluya hacia la mina, potencialmente contaminando las fuentes locales de agua.
- Posibilidad de Rupturas de Presas e Inundaciones: Condiciones como fuertes lluvias, actividad tectónica y factores geográficos pueden dañar o incluso romper las instalaciones de almacenamiento, liberando residuos y provocando inundaciones.
- La Contaminación del Aire: La actividad minera genera partículas finas, polvo y reactivos volátiles que pueden degradar la calidad del aire, teniendo efectos en la salud humana y el medio ambiente circundante.
- La Erosión y Contaminación del Suelo: La alteración del terreno debido a la actividad minera y sus infraestructuras puede contaminar y degradar la capa superficial del suelo, contribuyendo a la pérdida del potencial agrícola a largo plazo.
- La Disponibilidad de Agua: en regiones donde la disponibilidad de agua es escasa, la alta demanda hídrica de la industria minera puede generar riesgos significativos para la disponibilidad del recurso, afectando a otras actividades y comunidades locales.

- La Destrucción de Ecosistemas: la minería a gran escala, especialmente la de cielo abierto, puede provocar la pérdida total o parcial de los ecosistemas y zonas agrícolas, impactando negativamente la biodiversidad y el equilibrio ecológico.
- La Producción de Residuos: La generación de residuos es uno de los impactos más críticos de la minería, siendo esta una de las principales fuentes de desechos en la Comunidad Europea (Comisión Europea, 2007). Es esencial considerar tanto la cantidad de residuos en relación con los metales extraídos como la producción de desechos peligrosos en los procesos de fundición.

La consideración de estos impactos es fundamental en la Responsabilidad Social y Corporativa de las empresas mineras, ya que no solo se trata de asegurar la eficiencia económica, sino también de minimizar los efectos negativos en el medio ambiente y en las comunidades locales. Una gestión responsable debe incorporar medidas de mitigación y prácticas sostenibles que promuevan la coexistencia armónica entre la actividad minera y el entorno en el que se desarrolla.

Por lo general, la elección del método para manejar los residuos extractivos está influenciada por factores como el método de extracción empleado, el proceso de tratamiento mineral, las propiedades de los desechos, las especificaciones técnicas de la instalación de gestión de residuos extractivos, la ubicación geográfica y las condiciones ambientales locales. Aunque en ocasiones, el operador podría ajustar el método de extracción y el tratamiento de minerales según sus objetivos de gestión de residuos (Leitner et al., 2020).

Los colapsos de las presas de las presas de Aznalcóllar en España y Baia Mare en Rumanía en los años 1988 y 2000, hicieron que el impacto ambiental de la minería ganase atención en la política ambiental de la UE, lo que dio lugar a la Directiva de Residuos de Minería que regula las nuevas minas desde 2006. Además, los proyectos de industrias extractivas deben someterse obligatoriamente a una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) según la Directiva EIA de la UE de 2013. Sin embargo, estas directivas no se aplican a las minas que se encontraban en operación antes de la promulgación de la ley. De hecho, desde 2006, se han registrado otros dos colapsos de presas en Europa (Dolega et al., 2016).

Además de las minas nuevas y las minas activas, Europa tiene un importante legado de minas abandonadas. Estas minas representan una amenaza constante para el

medio ambiente y la salud humana debido a que, aunque no siguen activas, la filtración de ácidos provenientes de las minas sigue acidificando el suelo y el agua (Wolkersdorfer y Howell, 2004).

### **5.3.4 Economía circular y reciclaje**

La economía de la UE se fundamenta en un flujo ininterrumpido de recursos y materiales, entre los que se encuentran las MPC. Como hemos observado, la dependencia de la UE en la importación de MPC presenta una marcada vulnerabilidad a medida que la competencia global por el acceso a estos recursos minerales se intensifica.

En los últimos años, ha surgido el concepto de economía circular, cuyo propósito es preservar el valor de los productos materiales a lo largo del tiempo, reducir la generación de residuos y mantener los recursos en la economía incluso después de su ciclo de vida, permitiendo su reutilización en múltiples ocasiones. La economía circular genera beneficios para el medio ambiente y para la economía, impulsando la generación de empleo y la innovación (Comisión Europea, 2015).

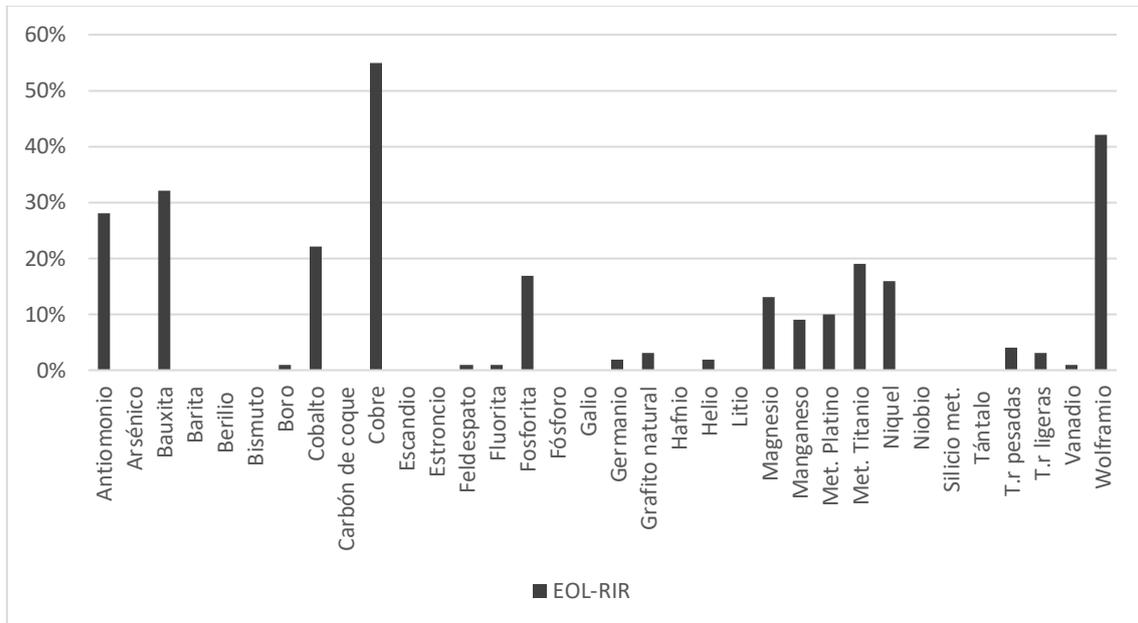
Dentro del contexto de las MPC, el proceso de reciclaje puede conducir a la obtención de MPC secundarias. Estas, alineadas con los principios de la economía circular, no solo contribuyen a la disminución de los desechos generados, sino que también dan lugar a la creación de una nueva materia prima con potencial comercial.

Tanto el reciclaje como la sustitución se consideran estrategias de reducción del riesgo de suministro de las MPC. Además, las MPC secundarias tienden a tener un menor consumo de energía y agua en comparación con las primarias, y su impacto en la biosfera y la generación de residuos por tonelada de material extraído es significativamente menor (Gislev et al., 2018).

El Consejo Europeo ha establecido un objetivo mínimo del 20% de consumo anual de MPC proveniente del reciclaje. Sin embargo, las tasas actuales de reciclaje para la mayoría de las MPC son notablemente bajas. De hecho, una gran parte de las baterías, vehículos eléctricos, semiconductores y equipos electrónicos que llegan al final de su vida útil son exportados fuera de la UE para su posterior reciclaje y recuperación de materias primas. (European Commission, 2023a).

El indicador EOL-RIR<sup>11</sup> tiene la finalidad de medir la proporción de una determinada materia prima que proviene del reciclaje al final de su ciclo de vida. En otras palabras, determina qué porcentaje de su ingreso al sistema de producción proviene de procesos de reciclaje (Data.europa.eu., s. f.).

**Figura 5.4.- Indicador EOL-RIR para cada una de las MPC de la lista de 2023**



*Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship y SMEs, Grohol, M., Veeh, C. (2023)*

*Nota:* En el gráfico se presentan los porcentajes de contribución del reciclaje al final de la vida útil de cada MPC.

Al analizar la Figura 5.4, se observa que muchas de las MPC presentan un EOL-RIR de 0% o 1%, lo que implica que el reciclaje no juega un papel significativo en la generación de MPC secundarias. Sin embargo, hay algunas MPC que destacan por tener un EOL-RIR más alto, como el *cobre*, el *wolframio*, la *bauxita*, el *antimonio* y el *cobalto*, todas con una tasa de entrada de reciclaje al final de su ciclo de vida que supera el 20%. En promedio, los valores de EOL-RIR para las MPC se sitúan en un 9.06%, casi un 11% por debajo del objetivo de reciclaje propuesto por el Consejo.

Para lograr la meta propuesta por el Consejo, será imprescindible establecer un mercado secundario sólido y eficiente para las MPC. Por ejemplo, aunque el reciclaje de

<sup>11</sup> Por sus siglas en inglés End of life recycling input rates.

imanes permanentes es técnicamente posible, en la UE actualmente se lleva a cabo en una escala limitada. Dada la creciente importancia de estos imanes y la perspectiva de un aumento en la demanda en el futuro, la creación de un mercado secundario eficiente para los imanes permanentes podría resultar altamente beneficioso para la UE, incluso podría otorgándole una ventaja competitiva.

Con el propósito de alcanzar el umbral mínimo de reciclaje, los Estados Miembros de la UE deberán ejecutar acciones a nivel nacional que impulsen la mejora en la captación de desechos que contengan MPC, asegurando así su adecuado reciclaje. Además, los Estados Miembros estarán en la obligación de analizar el potencial de recuperación de estas MPC a partir de los residuos generados en actividades mineras tanto actuales como pasadas (European Commission, 2023b).

A nivel de la UE, se están llevando a cabo iniciativas como REE4EU, enfocada en una MPC determinada. El propósito del proyecto es establecer un enfoque circular para la recuperación y reciclaje de tierras raras. Mediante la implementación de procesos innovadores, este proyecto busca asegurar la estabilidad del suministro, disminuir la dependencia de importaciones y fomentar prácticas de economía circular en la región europea (REE4EU, s. f.).

### **5.3.4 TECNOLOGÍAS EMERGENTES**

En busca de soluciones para mitigar el impacto ambiental de la minería, se están explorando enfoques innovadores que van más allá de las prácticas tradicionales. La innovación tecnológica está revolucionando la forma en que la industria minera opera. Cada vez más, las empresas mineras están adoptando tecnologías como el uso de datos espaciales, la automatización y la inteligencia artificial (Mason et al., 2013).

Los datos espaciales consisten en información que representa la ubicación, el tamaño y la forma de un objeto. Al aprovechar eficazmente estos datos y visualizarlos de manera gráfica, las compañías mineras pueden obtener un mayor entendimiento de los procesos y el entorno que están siendo representados. Estas empresas utilizan datos espaciales en conjunto con software de visualización para simular decisiones empresariales en entornos virtuales. Mediante esta comprensión más profunda de su entorno operativo, pueden prever los posibles impactos ambientales de sus acciones y desarrollar estrategias que ayuden a mitigar estos impactos (Mason et al., 2013).

La automatización u operación remota permite ejecutar las operaciones mineras con mayor precisión y control, disminuyendo la probabilidad de cometer errores que podrían afectar tanto a las personas como al ecosistema circundante. Las empresas están adoptando robots y tecnología con el fin de automatizar las tareas en la mineralurgia (ICMM, 2021). Al reducir la necesidad de intervención humana en áreas peligrosas, se reducen los riesgos de accidentes y derrames que podrían causar daños ambientales.

La IA se está empleando en la industria minera para optimizar procesos, reducir costos y aumentar la productividad y la seguridad en las minas. Estas tecnologías contribuyen a minimizar riesgos relacionados con la salud y la seguridad de los trabajadores. La IA puede analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real y realizar ajustes para mejorar la eficiencia operativa y reducir la generación de residuos, lo que se traduce en un menor impacto ambiental (ICMM, 2021).

Otros enfoques innovadores como la evaluación del ciclo de vida y la geometalurgia brindan una perspectiva más completa y precisa para atenuar el impacto ambiental de la minería. La evaluación del ciclo de vida considera los impactos ambientales y sociales de un proceso o materia prima en todas sus etapas, desde la extracción hasta la distribución. En el contexto minero, este enfoque analiza cada paso del proceso, lo que resulta en la reducción de residuos, emisiones y otros impactos ambientales. Por su parte, la geometalurgia es una técnica que toma en cuenta las propiedades físicas y químicas de las materias primas para optimizar su extracción y procesamiento (Pell et al., 2021).

Al combinar estos enfoques y tecnologías innovadoras, se logra una minería más eficiente y sostenible, lo que permite a las empresas tomar decisiones más informadas para mitigar el impacto ambiental en todas las etapas del proceso.

## **6. IMPORTANCIA DE LAS MPC PARA LA UE**

Las MPC son imprescindibles para la economía europea y son esenciales para mantener y mejorar nuestra calidad de vida. Como ya hemos visto, la seguridad en el acceso confiable, sostenible y no distorsionado ha sido motivo de preocupación en las grandes potencias a nivel mundial (Hollins y Fraunhofer, 2013).

Durante el año 2018, el sector de materias primas minerales en Europa estaba compuesto, en su aspecto extractivo, por alrededor de 18.300 empresas involucradas en la extracción de recursos minerales, distribuidas en más de 32.000 yacimientos mineros, lo cual contribuyó a la creación de casi 400.000 empleos directos. Las cifras estimadas indican que el volumen de negocios anual superó los 100.000 millones de euros, con un Valor Añadido de aproximadamente 35.000 millones de euros. Al considerar las etapas de primera y segunda transformación, el Valor Añadido se eleva a más de 125.000 millones de euros anuales (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

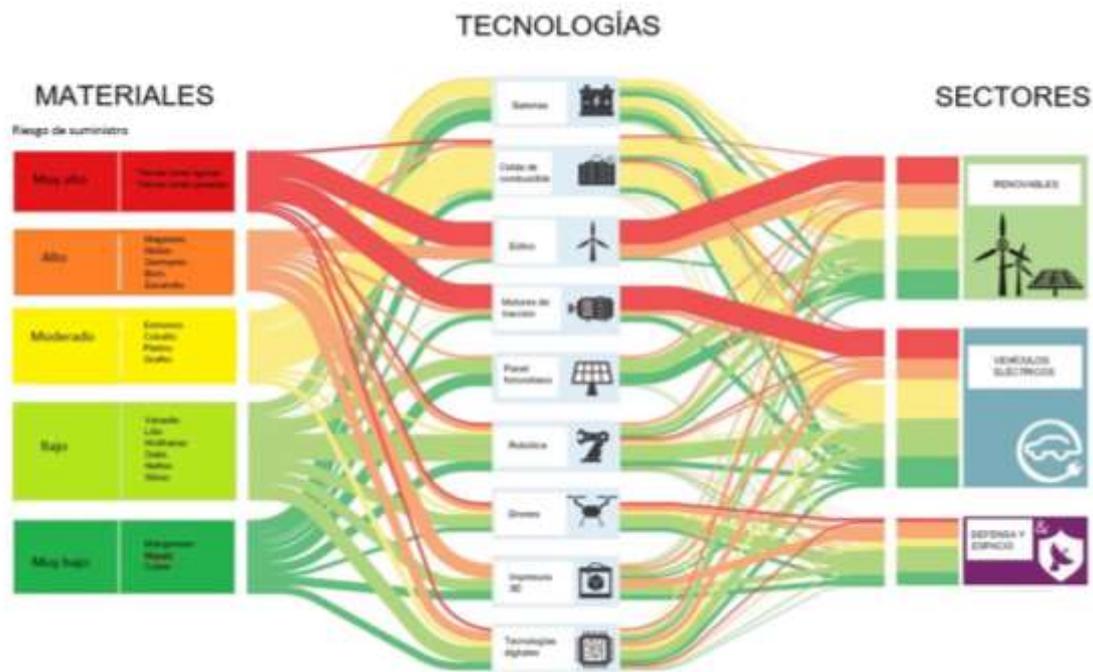
Sin embargo, es crucial reconocer que el valor de la industria de las materias primas minerales, especialmente en lo que respecta a las MPC, trasciende su valor económico vinculado únicamente a las actividades de extracción y transformación. Esta industria ejerce un impacto significativo en prácticamente todos los sectores e industrias, extendiendo su influencia en toda la economía.

### **6.1 SECTORES Y TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES CLAVE Y SU DEMANDA DE MPC**

Las materias primas están presentes en todas las industrias en cada una de las fases de la cadena de suministro. Las MPC, en particular, son indispensables para el desarrollo de sectores estratégicos, como el sector de la energía renovable, el de los vehículos eléctricos, el de defensa y espacio y el de la tecnología digital.

La transición global hacia una energía más limpia tendrá un impacto significativo en el aumento del consumo de materias primas esenciales para la fabricación de paneles solares, baterías, turbinas eólicas y la producción de hidrógeno. Además, la demanda creciente de vehículos eléctricos conllevará la necesidad de baterías, celdas de combustible y motores de tracción. Por último, los sectores estratégicos de defensa y espacio requerirán tecnologías avanzadas para mantenerse a la vanguardia de los desarrollos tecnológicos (Comisión Europea, 2020b).

**Figura 6.1.- Representación de los flujos de MPC y su actual riesgo de suministro en relación con nueve tecnologías y tres sectores.**



*Fuente: European Commission. (2020b).*

Nota. A la izquierda aparecen las MPC seleccionadas ordenadas de mayor a menor riesgo de suministro. En el centro las nueve tecnologías y a la derecha los tres sectores seleccionados. Los colores representan los flujos.

En la Figura 6.1, se visualiza la interrelación entre las MPC seleccionadas, las nueve tecnologías y los tres sectores representados. Dentro del conjunto de las MPC, las tierras raras sobresalen como las que presentan el mayor riesgo en términos de suministro. Aunque están involucradas en prácticamente todas las tecnologías y sectores, su aplicación es particularmente notable en la tecnología eólica y en los motores de tracción, así como en los ámbitos de las energías renovables y los vehículos eléctricos.

El siguiente grupo, que abarca las MPC con alto riesgo de suministro (como el magnesio, niobio, germanio, boro y escandio), encuentra su mayor utilización en la tecnología de impresión 3D, las tecnologías digitales, la tecnología eólica y en los tres sectores mencionados. En color amarillo se identifican las MPC con un riesgo moderado de suministro (estroncio, cobalto, platino y grafito), las cuales desempeñan un papel

crucial en las tecnologías de celdas de combustible y baterías, así como en los tres sectores considerados.

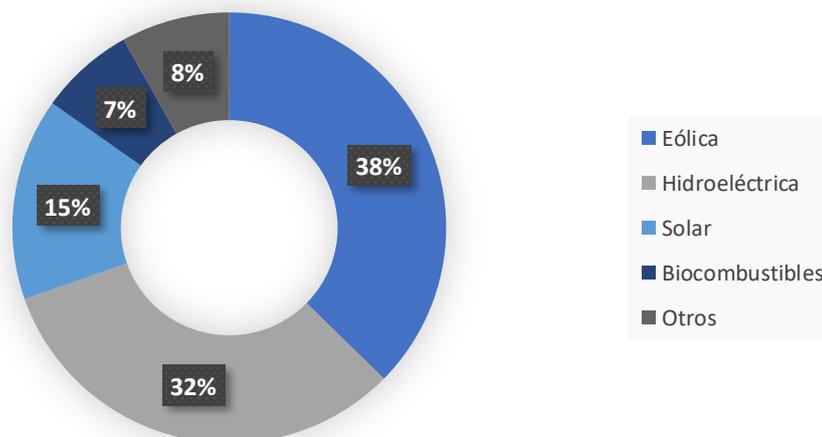
En términos generales, se puede observar que, en mayor o en menor medida, los cinco grupos de MPC representados están presentes en prácticamente la totalidad de las tecnologías y en los sectores de energías renovables, vehículos eléctricos, espacial y de defensa. A continuación, analizaremos con más detalle el papel de las MPC en cada uno de los tres sectores.

### 6.1.1 Energías renovables

El sector de las energías renovables se ha convertido en la esperanza de una sociedad que lucha contra el cambio climático. En el año 2020, se produjo un hecho histórico en la UE: las fuentes de energía renovable (38%) superaron por primera vez a la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles (37%). Durante ese mismo año, la generación de energía solar experimentó un notable incremento del 15%, mientras que la energía eólica también creció un 9% (Redl et al., 2021).

Se proyecta que para el año 2050, el 80% de la energía generada en la UE provendrá de fuentes renovables, lo que anticipa un marcado aumento en la demanda dentro del sector de las energías renovables en los próximos años (European Commission, 2020b).

**Figura 6.2.- Fuentes de energía renovable en el consumo eléctrico bruto, UE, 2021**



*Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Eurostat (2023).*

Como se aprecia en la Figura 6.2, en el año 2021, la energía eólica y la hidroeléctrica fueron responsables de generar casi el 70% de la electricidad total generada a partir de fuentes renovables. El tercio restante se dividió entre la energía solar, que representó un 15%, los biocombustibles con un 7% y otras fuentes renovables que contribuyeron un 8%.

Para convertir los recursos renovables en electricidad, se utilizan diversas fuentes de energía, como los paneles solares en el caso de la energía solar y los aerogeneradores en la energía eólica. En este último ámbito, la energía eólica marina destaca como una de las tecnologías de energía renovable con mayor potencial de expansión en la UE (Bernabé, 2022).

No obstante, tanto la energía solar como la eólica presentan notables limitaciones en cuanto a su capacidad para generar y suministrar energía de manera constante y predecible. Por esta razón, la Comisión Europea ha propuesto diversas soluciones, entre ellas, la implementación del almacenamiento de energía para conservar el excedente energético producido y utilizarlo en momentos de baja generación. Además, se propone la integración de las energías renovables en la red eléctrica y la combinación de diversas tecnologías de energía renovable para superar las limitaciones de cada una. Asimismo, se enfatiza la importancia de la investigación para mejorar la eficiencia y reducir costos (European Commission, 2020d).

En la optimización de los procesos de fabricación, la robótica y la impresión 3D desempeñan un papel esencial. Simultáneamente, las tecnologías digitales se emplean para mejorar la transmisión de electricidad y lograr una gestión más eficiente.

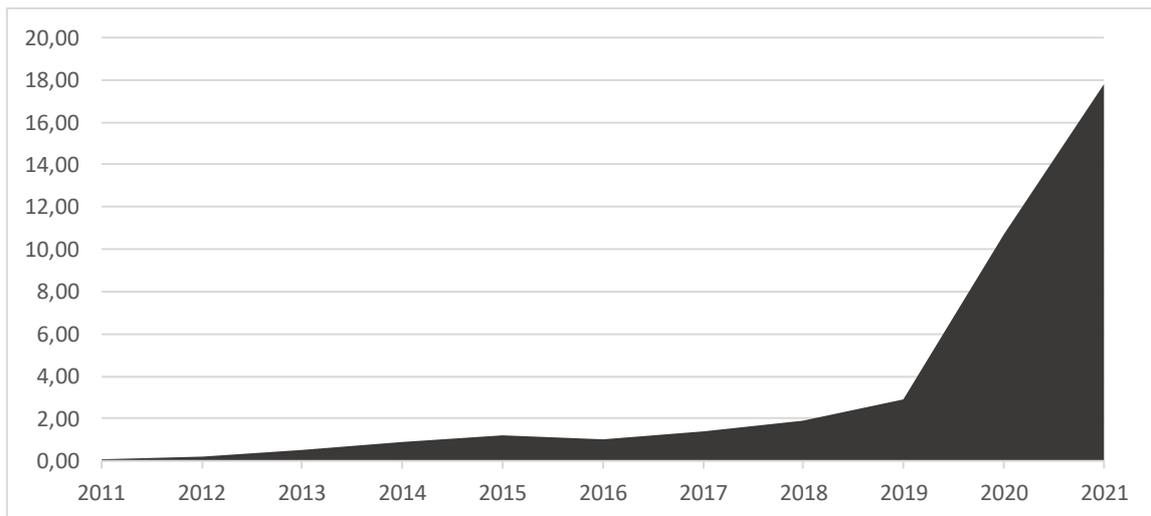
Cabe destacar que las tecnologías de energía renovable mencionadas dependen en gran medida de una variedad de MPC para su funcionamiento. Por ejemplo, ciertas *tierras raras* y elementos como el *niobio*, *boratos*, *cobalto*, *manganeso*, *romo* y *cobre* son componentes esenciales en los imanes permanentes empleados en las turbinas eólicas de alto rendimiento. Otras materias primas, como el *germanio*, *boratos*, *indio*, *galio*, *silicio*, *plata*, *telurio*, *níquel* y *cobre*, se utilizan en la fabricación de paneles solares. Asimismo, para el funcionamiento de las baterías de almacenamiento de energía se requieren materias primas como el *cobalto*, *nique*, *manganeso*, *niobio*, *grafito*, *litio* y otros elementos. Es importante tener en cuenta que la cantidad y el tipo de materiales y

minerales utilizados varían según la tecnología y el fabricante específicos (European Commission, 2020b).

### 6.1.2 Vehículos eléctricos

El sector de los vehículos eléctricos desempeña un papel fundamental en la respuesta al desafío global de mitigar el cambio climático. En un contexto en el que el transporte por carretera contribuía en un 14% a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero en 2014 (IPCC, 2014), la electrificación de este sector se presenta como una valiosa oportunidad. La adopción de vehículos eléctricos ha experimentado un aumento significativo en los últimos años, impulsada por incentivos políticos, el crecimiento económico y avances tecnológicos. Según las estimaciones, se espera que los vehículos eléctricos representen el 14% del mercado global en 2025 y alcancen el 28% para el año 2030 (Jones et al., 2020).

**Figura 6.3.- Cuota de mercado vehículos eléctricos en la UE**



*Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por EEA (2022).*

*Nota:* La figura ilustra la cuota de mercado total de los vehículos eléctricos en la UE-27, abarcando los coches eléctricos a batería y los coches eléctricos enchufables.

En la Figura 7.3 se presenta la notable evolución de la cuota de mercado de los vehículos eléctricos en la UE en el periodo comprendido entre los años 2011 y 2021. En el año 2011, la cuota de mercado de los vehículos eléctricos apenas representaba el 0,1%, lo que refleja una presencia modesta en comparación con los vehículos tradicionales de combustión interna. Sin embargo, a medida que avanzan los años, se observa un ascenso

notorio en la cuota de mercado de estos vehículos, alcanzando un destacado 17,80% en el año 2021.

Esta transformación observada en el mercado es altamente significativa, ya que marca un cambio sustancial en la industria automotriz de la UE hacia la movilidad sostenible. Como se puede apreciar a través de los datos presentados en la Figura 7.2, la cuota de mercado de los vehículos eléctricos ha aumentado más de un 15.000% en tan solo una década. Esto refleja una transición hacia vehículos más limpios y eficientes, impulsada por la creciente conciencia ambiental y las políticas gubernamentales. Esta evolución fomenta la innovación en tecnologías de electrificación, reduce la dependencia de los combustibles fósiles y tiene un impacto directo en la economía y la seguridad energética, encaminando la industria automotriz de la UE hacia un futuro más sostenible y resiliente.

La transición hacia esta nueva movilidad requiere la aplicación de diversas tecnologías: desde baterías y celdas de combustible hasta motores de tracción y soluciones digitales. Además, el progreso en la impresión 3D y la robótica también contribuyen al florecimiento del sector de vehículos eléctricos.

En este proceso tecnológico, las materias primas juegan un papel esencial. Particularmente, las tierras raras y el boro son indispensables en la mayoría de los motores de vehículos eléctricos. Para el almacenamiento móvil de energía, se precisan minerales como el litio, el cobalto y el grafito en las baterías de iones de litio. Además, en la construcción de vehículos, la utilización de elementos como el magnesio, el silicio, el titanio y el niobio resulta fundamental para crear estructuras ligeras y eficientes (European Commission, 2020b).

En relación con las MPC presentes en los vehículos eléctricos, las principales concentraciones se encuentran en dos componentes fundamentales: los motores eléctricos y las baterías.

Los motores eléctricos se dividen principalmente en dos tecnologías extendidas: los motores síncronos de imanes permanentes y los motores de inducción asincrónica. Aproximadamente el 90% de los vehículos eléctricos utilizan motores de imanes permanentes, que, aunque son más eficientes, enfrentan el desafío de depender en gran medida de tierras raras, lo que resulta en costos más elevados en comparación con alternativas diferentes. Por otro lado, los motores de inducción, a pesar de tener una

eficiencia ligeramente inferior, se destacan por su menor costo al no requerir tierras raras en su construcción (Ballinger et al., 2019).

En el ámbito de las baterías, las de ion litio que se utilizan en los vehículos eléctricos están compuestas por celdas que contienen minerales como litio, níquel, cobalto, manganeso, grafito y cobre. Estos elementos desempeñan un papel esencial en la eficiencia y capacidad de las baterías, contribuyendo al funcionamiento y rendimiento óptimo de los vehículos eléctricos (Argonne National Laboratory, 2020).

En cuanto a las baterías, las de ion litio utilizadas en vehículos eléctricos están compuestas por celdas que contienen minerales como litio, níquel, cobalto, manganeso, grafito y cobre. Estos minerales son esenciales para la eficiencia y capacidad de las baterías, lo que contribuye al funcionamiento óptimo de los vehículos eléctricos.

### 6.1.3 Defensa

Con una facturación de 119.000 millones de euros en 2020, así como la creación de casi medio millón de empleos directos y más de 2.500 pequeñas y medianas empresas, la industria europea de defensa es un sector industrial de gran relevancia. Esta industria se caracteriza por aspectos económicos y tecnológicos que desempeñan un papel crucial en la competitividad industrial europea (Parlamento Europeo, s.f.).

Dentro del sector de la defensa se encuentran los subsectores aéreo, naval, terrestre, espacial, electrónico y de misiles. Al igual que en los otros dos sectores mencionados anteriormente, este sector también requiere una amplia variedad de materias primas para garantizar el correcto funcionamiento de las tecnologías requeridas (Comisión Europea, 2020b). Sin embargo, es el subsector aéreo el que enfrenta los desafíos más significativos, ya que necesita adquirir cantidades sustanciales de materiales altamente específicos, como aleaciones de aluminio, acero, titanio, magnesio, fibras de vidrio y carbono, así como plásticos y otras aleaciones especiales. (Comisión Europea, 2020b).

Las baterías de iones de litio están adquiriendo una importancia fundamental en una amplia variedad de aplicaciones en el ámbito de la defensa. En consecuencia, se requieren MPC como el *litio, cobalto, manganeso, níquel, grafito* y el *cobre*. Además, se anticipa un crecimiento en el uso de la tecnología de impresión 3D (que emplea imanes permanentes) especialmente en la industria aeroespacial. En este contexto, se vuelven esenciales MPC como las *tierras raras, barita, berilio, cobalto, galio, germanio, hafnio,*

*magnesio, niobio, platino, tántalo, wolframio y el vanadio* en el sector de la defensa (Lewicka et al., 2021).

Cabe destacar que la UE es dependiente en más del 50% de más de dos tercios de las materias primas necesarias para el sector de la defensa (Lewicka et al., 2021). Por lo tanto, se vuelve crucial la necesidad de diversificar las fuentes de suministro y fomentar la investigación con el fin de reducir la dependencia de las importaciones en un ámbito tan estratégico como es la defensa.

## **6.2 INICIATIVAS Y POLÍTICAS EXISTENTES SOBRE LAS MPC**

Entendiendo la importancia crítica que desempeñan las MPC en la economía, así como en los sectores y tecnologías clave de la UE, resulta fundamental adentrarnos en las iniciativas y las políticas existentes dentro del territorio de la UE. Estas políticas no solo responden a la necesidad de garantizar un suministro estable y sostenible de MPC, sino que también buscan fortalecer la resiliencia de la UE ante posibles perturbaciones en la cadena de suministro global. Además, estas iniciativas promueven la investigación y el desarrollo de tecnologías alternativas, así como la mejora de prácticas de reciclaje y economía circular, con el objetivo de reducir la dependencia de las MPC.

Las últimas décadas han sido testigos de un aumento global en la demanda de los minerales necesarios para la transición hacia una economía verde. La UE, consciente de la importancia de asegurar un acceso adecuado a materias primas a precios equitativos, dio un paso inicial al lanzar la Iniciativa de las Materias Primas en 2008 (Küblböck, 2013).

Dentro de la Iniciativa de Materias Primas, se subraya la significativa dependencia de la UE en las importaciones de metales de "alta tecnología", que actualmente conocemos como MPC. Se destaca su importancia económica, el riesgo elevado de suministro y la carencia de alternativas viables para estos metales. Además, se señala que China, África, Sudamérica, Rusia y Australia son los principales proveedores de estas materias primas a Europa. Desde esta iniciativa, se enfatiza la necesidad de que la UE fomente su capacidad interna, desarrolle sustitutos y mejore la eficiencia en el uso de recursos mediante el reciclaje y la reutilización. Entre las medidas propuestas se incluyen el diálogo con países asociados, la promoción de un ambiente favorable para la inversión, la garantía de condiciones equitativas para el acceso a recursos en terceros países, la optimización del marco regulatorio para la extracción de materias primas en la UE, la

reducción del consumo de recursos a través de una mayor eficiencia, y el fortalecimiento de las capacidades nacionales para gestionar la volatilidad en los precios de las materias primas (Comisión de las comunidades europeas, 2008).

En 2010, la Comisión Europea fundó la Asociación Europea para la Innovación en Materias Primas, que es una plataforma que reúne a representantes de la industria, instituciones, organizaciones no gubernamentales y servicios públicos con el fin de orientar a la Comisión Europea y a los Estados miembros en los desafíos relacionados con el uso de las materias primas. La plataforma ha reforzado la Iniciativa de Materias Primas, traduciendo las estrategias en acciones concretas y movilizándolo a las partes necesarias. Además, ha sido fundamental para garantizar la financiación de investigación e innovación. La plataforma se fundamenta en tres pilares principales: el fomento de la eficiencia de recursos y el abastecimiento de materias primas secundarias mediante el reciclaje, la consecución del suministro sostenible de materias primas en la UE, y la búsqueda de un aprovisionamiento justo y sostenible de materias primas provenientes de los mercados globales. (European Commission, s. f.-b).

En el año 2011, la Comisión Europea identificó catorce MPC para la UE, dando lugar a la primera lista de MPC y explicando la metodología empleada para determinar si un mineral es considerado crítico para la UE. A través del comunicado, la Comisión se comprometió a supervisar los asuntos relacionados con las MPC, actualizando la lista de MPC cada tres años. Además, se estableció la adopción de una "diplomacia de materias primas" por parte de la UE con el fin de asegurar un suministro equitativo y sostenible de materias primas a nivel global. Asimismo, se hizo hincapié en la promoción del suministro sostenible dentro de la UE, la promoción de la eficiencia en el uso de recursos, la incentivación del reciclaje y la importancia de fomentar la innovación (Comisión Europea, 2011).

Horizon 2020 desempeñó un papel fundamental en la implementación de la Iniciativa de Materias Primas en la UE. Con un presupuesto aproximado de 80 mil millones de euros disponibles entre 2014 y 2020, Horizon 2020 se estableció como el programa de investigación e innovación más extenso en la UE. Uno de sus objetivos principales, abordado a través del Desafío Social 5, se enfocaba en avanzar hacia un mundo más sostenible y una economía más eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Por medio de esta iniciativa, la Comisión financió más de 26 proyectos de investigación

relacionados con las MPC. Un ejemplo de estos proyectos se enfocaba en desarrollar acciones piloto innovadoras para alcanzar un entorno limpio y una producción sostenible de MPC en la UE a partir de materias primas secundarias (Gislev et al., 2018), (European Commission, 2020c).

En 2020, se anunció el lanzamiento de la ERMA. Esta alianza industrial, que reúne a todas las partes interesadas de la cadena de valor, se creó con el objetivo de asegurar un suministro sostenible de materias primas en Europa. Para ello, se propone reforzar la infraestructura ambiental, implementar una economía circular para productos como los vehículos eléctricos, apoyar la industria europea de materias primas y promover la innovación y la inversión estratégica (ERMA, s. f.). La importancia de la alianza ERMA reside en su enfoque de abordar los desafíos presentes y futuros relacionados con las materias primas reuniendo a todas las partes interesadas. Su énfasis en la sostenibilidad y la innovación añade un valor crucial a su misión.

En 2022, Ursula von der Leyen anunció la creación de la Ley de Materias Primas Críticas, la cual se ha promulgado como Reglamento en 2023. La introducción de esta normativa marca un hito significativo al superar la barrera legislativa previamente considerada insuperable para las MPC. El propósito de esta ley es fortalecer las cadenas de valor de las MPC en la UE, diversificar las importaciones para reducir la dependencia, mejorar la capacidad de la UE para mitigar los riesgos de interrupción del suministro y asegurar la libre circulación de las MPC en el interior de la UE, con la consideración de proteger también el medio ambiente. Los Estados miembros de la UE tendrán la responsabilidad de incorporar estrategias de desarrollo de MPC en su territorio, impulsando la inclusión y el aumento del reciclaje y la reutilización de productos que contengan estas MPC. Además, se plantea la creación de la Junta de Materias Primas Críticas, que asesorará a la Comisión en la consecución de los objetivos propuestos en la legislación. Esta entidad estará encargada de analizar y respaldar los proyectos mineros, así como de solicitar a los países miembros que designen una autoridad nacional para agilizar la concesión de permisos, fomentando la colaboración entre los Estados miembros (European Commission, 2023a).

A nivel interno, la normativa plantea cuatro metas que la UE debe alcanzar para 2030: el 10% del consumo anual de MPC debe ser de origen local; la UE debe llevar a cabo el procesamiento de al menos el 40% de las MPC consumidas; el 15% de las MPC

consumidas deben ser recicladas; y la dependencia de la UE en cualquier país debe de ser inferior al 65% para cualquier MPC. Además, se destinarán recursos a la investigación e innovación, se fomentará la circularidad en toda la cadena de valor y se prestará especial atención a la gestión del riesgo de suministro. En cuanto a las relaciones exteriores, el enfoque estará en reducir la dependencia. Para lograrlo, se diversificarán las importaciones, se establecerá un Club de Materias Primas Críticas con países afines que busquen fortalecer las cadenas de suministro a nivel global, y se forjarán alianzas estratégicas (Comisión Europea, 2023c). Un ejemplo concreto de estas alianzas es la Alianza de Seguridad de Minerales, impulsada por EE.UU. con la intención de asegurar el acceso a las MPC. En esta alianza, la Comisión Europea trabaja en conjunto con países como Australia, Canadá, Japón y Corea del Sur (United States Department of State, 2022).

Centrándonos en la inversión, en la actualidad encontramos la iniciativa InvestEU, que tiene como propósito impulsar la inversión, la innovación y el empleo en Europa durante el período de 2021 a 2027. El objetivo principal es estimular las inversiones privadas en áreas consideradas prioritarias mediante el uso de los fondos de la UE. Hasta la fecha, la Comisión ha invertido, a través de InvestEU, 21 mil millones. Algunos de los proyectos relacionados con las MPC que interesan al proyecto InvestEU incluyen las tecnologías relacionadas con baterías, el reciclaje de MPC y la creación de instalaciones de producción de materiales destinados a la fabricación de vehículos eléctricos (InvestEU, s.f.)

### **6.2.1 Etapas futuras en la implementación de la Ley de MPC**

La reciente Ley de Materias Primas Críticas establece una hoja de ruta para garantizar un acceso seguro de la UE a las materias primas críticas, al mismo tiempo que promueve fuentes de suministro sostenible. Con el fin de alcanzar este objetivo central, la ley plantea en cuatro subobjetivos fundamentales (European Commission, 2023a):

- Fortalecimiento de la cadena de valor: En esta línea de acción, se promoverá la creación de mapas detallados y bases de datos que faciliten la exploración y el desarrollo de recursos en la UE. El objetivo es identificar oportunidades para mejorar la extracción, procesamiento y reciclaje de materias primas críticas.

- Diversificación de fuentes de importación: Con el propósito de diversificar las fuentes de importación de materias primas críticas, se llevarán a cabo iniciativas para

identificar posibles proveedores en países extranjeros. Además, se promoverán “alianzas estratégicas” con países que son líderes en la producción de MPC, estableciendo acuerdos que fomenten la cooperación y el acceso a estos recursos. Un ejemplo de esta iniciativa es la creación de la primera “alianza estratégica” en 2021 en el marco del Acuerdo Económico y Comercial entre la UE y Canadá (CETA) (European Commission, 2023c).

- Mejora de capacidades internas: La ley se enfocará en supervisar y mitigar los riesgos relacionados con posibles interrupciones en el suministro de estas materias primas. Esto incluirá el desarrollo de capacidades de seguimiento y evaluación de riesgos para anticipar y gestionar posibles crisis en el suministro.

- Libre circulación y eficiencia en el mercado de la UE: Se establecerán mecanismos para garantizar que las materias primas críticas que ingresen al mercado de la UE circulen de manera libre y eficiente. El objetivo es evitar obstáculos innecesarios y fomentar un mercado competitivo.

Un elemento clave en la implementación de esta ley es la identificación y ejecución de "proyectos estratégicos" en las etapas de extracción, procesamiento y reciclaje. Estos proyectos se caracterizan por simplificar los procesos de autorización y facilitar el acceso a la financiación, con el objetivo de acelerar su ejecución. Es fundamental que estos proyectos se desarrollen de manera sostenible, tanto desde una perspectiva ambiental como en términos de derechos humanos.

Además de impulsar estos proyectos a nivel europeo, la UE también se centrará en identificar "proyectos estratégicos" en países extranjeros para fortalecer la cadena de suministro de materias primas críticas. Se desarrollarán capacidades de seguimiento y evaluación de riesgos con el propósito de anticipar y gestionar posibles crisis en el suministro.

## **10. CONCLUSIONES**

En el curso del presente trabajo, se ha realizado un análisis sobre la trascendencia de las MPC para la UE. La información presentada revela aspectos fundamentales que delimitan la relación entre las MPC y el desarrollo económico de Europa.

En primer lugar, la investigación ha permitido obtener una comprensión sólida del concepto de MPC y su vital importancia para la UE. Estas materias primas desempeñan un papel insustituible debido a su relevancia económica y al alto riesgo de suministro asociado. Su creciente demanda, esencial en la fabricación de tecnologías avanzadas y productos indispensables en la actualidad, como dispositivos electrónicos, subraya su importancia incontestable.

Al examinar la situación geopolítica global de las MPC, se ha identificado el dominio incontestable de China tanto en la producción como en el procesamiento de estos recursos. En contraste, la UE se encuentra en una posición secundaria, careciendo de relevancia tanto como productora como procesadora de MPC. Esta dependencia exterior de las materias primas plantea desafíos significativos para la UE, especialmente en sectores clave como las energías renovables, la defensa y los vehículos eléctricos, donde estos minerales desempeñan un papel esencial.

Si bien la promulgación de la Ley de Materias Primas Críticas representa un avance importante en la trayectoria de la UE, persisten diversos desafíos en este ámbito. Para abordarlos, es esencial que la UE dirija sus esfuerzos en disminuir su dependencia de fuentes externas para el suministro de MPC, promoviendo la producción interna a través de la inversión en nuevos proyectos mineros y fomentando la exploración de enfoques innovadores en extracción y procesamiento.

La promoción de una economía circular en torno a las MPC también demanda una atención significativa. Esta estrategia no solo implica una gestión más eficiente de los residuos y la recuperación de MPC desde productos desechados, sino que también puede impulsar la creación de MPC secundarias a partir del reciclaje.

En paralelo con la promoción de la economía circular, es necesario emprender campañas de sensibilización social para concienciar a la población sobre la importancia de contar con un suministro seguro de MPC, esencial para el desarrollo de nuevas tecnologías y el crecimiento económico en Europa.

Para enfrentar estos desafíos, es imperativo invertir en la educación y formación de profesionales específicos para la industria de MPC, lo que asegurará un flujo constante de expertos y fomentar la innovación. Al nutrir el talento humano necesario, se estarán sentando las bases para la implementación de soluciones novedosas.

La colaboración entre el sector privado y los gobiernos de los Estados Miembros se erige como un pilar esencial para afrontar estos desafíos de manera efectiva. Al establecer objetivos comunes en toda la UE y trazar estrategias concertadas, se impulsa la innovación y se maximiza el impacto de las iniciativas propuestas.

Para contrarrestar la influencia predominante de China, resulta crucial establecer alianzas estratégicas con naciones fuera de la UE.

Es fundamental que la Unión Europea asuma un enfoque decididamente proactivo que trascienda la mera superación de los desafíos actuales en relación con la dependencia de MPC. Si bien abordar los obstáculos es crucial, es igualmente imperativo que la UE adopte una perspectiva a largo plazo, orientada hacia el futuro y la consolidación de su posición como líder influyente en el mercado global de MPC. Para lograrlo, la UE debe trazar una estrategia audaz que no solo garantice la seguridad de suministro a corto plazo, sino que también promueva la inversión en la investigación y desarrollo de tecnologías alternativas, el fomento de la producción interna y la colaboración internacional. Este enfoque agresivo permitirá que la UE no solo afronte los retos presentes, sino que también se erija como un pionero en la industria de MPC, impulsando la innovación, la sostenibilidad y la autonomía estratégica en un escenario global en constante evolución.

En conclusión, las MPC plantean un reto impostergable para la UE. Su adecuada gestión y la implementación de las estrategias propuestas en el presente estudio pueden ayudar a convertir el desafío expuesto en una oportunidad para garantizar un futuro más próspero para la UE.

## 11. REFERENCIAS

- Ambe-Uva, T. (2017). Whither the state? Mining codes and mineral resource governance in Africa. *Canadian Journal of African Studies*.  
<https://doi.org/10.1080/00083968.2016.1277148>
- Andreoni, A., Chang, H. J., y Estevez, I. (2019). New global rules, policy space, and quality of growth in Africa. In *The Quality of Growth in Africa* (pp. 111-145). Columbia University Press.
- Andreoni, A., y Roberts, S. (2022). Geopolitics of critical minerals in renewable energy supply chains: assessing conditionalities on the use of technology, market capture and the implications for Africa.
- Argonne National Laboratory. (2020). BATPAC Model Software.  
<https://www.anl.gov/cse/batpac-model-software>
- Ballinger, B., Stringer, M., Schmeda-Lopez, D. R., Kefford, B., Parkinson, B., Greig, C., y Smart, S. (2019). The vulnerability of electric vehicle deployment to critical mineral supply. *Applied Energy*, 255, 113844.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113844>
- Baran, E. J. (2018). Cobalto: un elemento crítico y estratégico. *An. Acad. Nac. Cienc. Exactas Físicas Nat*, 70, 77-106.
- Bermúdez, Q. (2012). Las leyes anti-inmigratorias y la inmigración china en Costa Rica. *Acta Académica* (50), 69-92. [http://www.uaca.ac.cr/sites/default/files/acta\\_50.pdf#page=69](http://www.uaca.ac.cr/sites/default/files/acta_50.pdf#page=69)
- Bernabé, M. E. (2022). La geopolítica de la energía renovable y de las materias primas críticas: El caso de la Unión Europea: liderazgo global y nuevas dependencias. *bie3: Boletín IEEE*, (26), 1069-1082.

- castorBuijs, B., y Sievers, H. (2011). Critical thinking about critical minerals: Assessing risks related to resource security. Polinares EU Policy on Natural Resources. The Hague: Clingendael International Energy Programme.
- Castellanos, A. R., Merino, J. G., y Cerezo, M. P. (2005). La metodología científica en economía de la empresa en la actualidad. *Investigaciones europeas de dirección y economía de la empresa*, 11(2), 143-162.
- Castor, S. B., y Hedrick, J. B. (2006). Rare earth elements. *Industrial minerals and rocks*, 7, 769-792.
- Comisión de las comunidades europeas. (2008). La Iniciativa de las Materias Primas: Cubrir las necesidades fundamentales en Europa para generar crecimiento y empleo. Comisión de las comunidades europeas. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0699:FIN:es:PDF>
- Comisión Europea. (2007). Promover el desarrollo sostenible en la industria extractiva no energética. <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/promoting-sustainable-development-in-the-non-energy-extractive-industry.html>
- Comisión Europea. (2015). Cerrar el círculo: la Comisión adopta un ambicioso paquete de nuevas medidas sobre la economía circular para impulsar la competitividad, crear empleo y generar crecimiento sostenible. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP\\_15\\_6203](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_15_6203)
- Comisión Europea. (2020). Comunicación de la comisión al parlamento europeo, al consejo, al comité económico y social europeo y al comité de las regiones. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474>
- Comisión Europea. (2023). Propuesta de REGLAMENTO DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO por el que se establece un marco para garantizar el suministro seguro y sostenible de materias primas fundamentales y se modifican

- los Reglamentos (UE) 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 y (UE) 2019/1020. [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13597-Ley-Europea-de-Materias-Primas-Fundamentales\\_es](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13597-Ley-Europea-de-Materias-Primas-Fundamentales_es)
- Çınarlı, U., Car, E., Turan, A., y Yucel, O. (2023). A Review on the EU's Critical Raw Materials (CRMs) Concept: History, Development and Future Prospective. Sustainable Process Metallurgy (SPM).
- Dolega, P., Degreif, S., Buchert, M., y Schüler, D. (2016). Outlining environmental challenges in the non-fuel mining sector. *Strateg. Dialogue Sustain. Raw Mater. Eur.*, 1-11.
- EEA. (2022). New registrations of electric vehicles in Europe. European Environmental Agency. <https://www.eea.europa.eu/ims/new-registrations-of-electric-vehicles>
- ERMA. (s. f.). European Raw Materials Alliance. <https://erma.eu/>
- ERMA. (2021). Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action. <https://eitrawmaterials.eu/wp-content/uploads/2021/09/ERMA-Action-Plan-2021-A-European-Call-for-Action.pdf>
- EuroGeoSurveys. (2016). New map of critical Raw Materials in Europe. <https://eurogeosurveys.org/new-map-of-critical-raw-materials-in-europe/>
- European Commission. (s. f.). Critical raw materials. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en)
- European Commission. (s. f.-b). The European innovation partnership (EIP) on raw materials. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/eip\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/eip_en)

European Commission. (2011). COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52011DC0025>

European Commission. (2014). Report on critical raw materials for the EU: Report of the Ad hoc Working Group on defining critical raw materials.

European Commission. (2020a). Study on the EU's list of critical raw materials (2020). Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/c0d5292a-ee54-11ea-991b-01aa75ed71a1/language-en>

European Commission. (2020b). Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study. [https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs\\_for\\_Strategic\\_Technologies\\_and\\_Sectors\\_in\\_the\\_EU\\_2020.pdf](https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf)

European Commission. (2020c). Horizon 2020. Work Programme 2018-2020: Climate action, environment, resource efficiency and raw materials.

European Commission (2020d). An EU Strategy to harness the potential of offshore renewable energy for a climate neutral future. URL: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/offshore\\_renewable\\_energy\\_strategy.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/offshore_renewable_energy_strategy.pdf)

European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship y SMEs, (2021). 3rd Raw Materials

European Commission. (2023a). Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials and amending

Regulations (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724 and (EU) 2019/1020.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023PC0160>

European Commission. (2023b). Critical Raw Materials: ensuring secure and sustainable supply chains for EU's green and digital future. European Commission.

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_23\\_1661](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_23_1661)

European Commission. (2023c). Questions and Answers on the European Critical Raw Materials. Press corner. Act. European Commission.

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda\\_23\\_1662](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_23_1662)

European Commission. (2023d). Critical raw materials. [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en)

European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship y SMEs, Grohol, M., Veeh, C. (2023). Study on the critical raw materials for the EU 2023: final report, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2873/725585>

Eurostat. (2023). Share of energy from renewable sources. [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG\\_IND\\_REN\\_custom\\_7393\\_671/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_IND_REN_custom_7393_671/default/table?lang=en)

Fan, J. H., Omura, A., y Roca, E. (2023). Geopolitics and rare earth metals. *European Journal of Political Economy*, 78, 102356.

Ferreira, G., y Critelli, J. (2022). China's global monopoly on rare-earth elements. *The US Army War College Quarterly: Parameters*, 52(1), 57-72.

- Frankel, T. C., Chavez, M. R., y Ribas, J. (2016). The cobalt pipeline. *The Washington Post*, 30.
- Gislev, M., Grohol, M., Mathieux, F., Ardente, F., Bobba, S., y Nuss, P. (2018). Report on critical raw materials and the circular economy. European Commission: Brussels, Belgium.
- Greenfield, A., y Graedel, T. E. (2013). The omnivorous diet of modern technology. *Resources, Conservation and Recycling*, 74, 1-7.
- Guhathakurta, R. (2022). Friendshoring: Logic, Focused Sectors and Skepticism.
- Gulley, A. L., McCullough, E. A., y Shedd, K. B. (2019). China's domestic and foreign influence in the global cobalt supply chain. *Resources Policy*, 62, 317-323.
- Harper, G. (2021). The Geopolitics of Cobalt. *American Affairs*, (4).
- Hollins, O., y Fraunhofer, I. S. I. (2013). Study on critical raw materials at EU level: Final report. Buckinghamshire, UK.
- Human Development Index and components. (2021). Human Development Reports, United Nations. [https://hdr.undp.org/sites/default/files/2021-22\\_HDR/HDR21-22\\_Statistical\\_Annex\\_HDI\\_Table.xlsx](https://hdr.undp.org/sites/default/files/2021-22_HDR/HDR21-22_Statistical_Annex_HDI_Table.xlsx)
- ICMM. (2021). Future of jobs in mining regions. Open graph. <https://www.icmm.com/en-gb/research/social-performance/2021/future-of-jobs-in-mining-regions>
- IEA (2021). The role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – Analysis – International Energy Agency. IEA. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>
- InvestEU. (s. f.). InvestEU. [https://investeu.europa.eu/index\\_en](https://investeu.europa.eu/index_en)
- IPCC. (2014). Summary for Policymakers. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/summary-for-policymakers/>

- Jones, B., Elliott, R. J., y Nguyen-Tien, V. (2020). The EV Revolution: the road ahead for critical raw materials demand. *Applied Energy*, 280, 115072. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115072>
- Kalantzakos, S. (2020). The Race for Critical Minerals in an Era of Geopolitical Realignments. *International Spectator*, 55(3), 1-16. <https://doi.org/10.1080/03932729.2020.1786926>
- Küblböck, K. (2013). The EU Raw Materials Initiative: Scope and critical assessment (No. 8). ÖFSE Briefing Paper.
- Leitner, M., Mäkinen, K., Vanneuville, W., Mysiak, J., Deacon, A., Torresan, S., y Prutsch, A. (2020). Monitoring and evaluation of national adaptation policies throughout the policy cycle. Publications Office of the European Union.
- Leuven, K. U. (2022). Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge. Report for Eurometaux.
- Lewicka, E., Guzik, K., y Galos, K. (2021). On the possibilities of critical raw materials production from the EU's primary sources. *Resources*, 10(5), 50.
- Maihold, G. (2022). A new geopolitics of supply chains: the rise of friend-shoring.
- Mason, L. M., Unger, C., Lederwasch, A. J., Razian, H., Wynne, L. E., y Giurco, D. (2013). Adapting to climate risks and extreme weather: A guide for mining and minerals industry professionals. National Climate Change Adaptation Research Facility.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2022). HOJA DE RUTA PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LAS MATERIAS PRIMAS MINERALES.
- Morrison, W. M. (2019). Trade Dispute with China and Rare Earth Elements. Congressional Research Service in Focus.

- Müller, M. (2023). The 'new geopolitics' of mineral supply chains: A window of opportunity for African countries. *South African Journal of International Affairs*, 1-27.
- Nelskamp, S., Zijp, M., Doornenbal, H., Schovsbo, N. H., y Bocin-Dumitriu, A. (2017). European Unconventional Oil and Gas Assessment (EUOGA) - development and application of a unified methodology. *Proceedings*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201700654>
- Norgate, T. E., Jahanshahi, S., y Rankin, W. J. (2007). Assessing the environmental impact of metal production processes. *Journal of cleaner production*, 15(8-9), 838-848.
- Parlamento Europeo. (s. f.). La industria de defensa. Fichas temáticas sobre la Unión Europea. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/65/la-industria-de-defensa>
- Pell, R., Tijsseling, L., Goodenough, K., Wall, F., Dehaine, Q., Grant, A. y Whattoff, P. (2021). Towards sustainable extraction of technology materials through integrated approaches. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(10), 665-679.
- PIB de República Democrática del Congo. (2021). *Datosmacro.com*. <https://datosmacro.expansion.com/pib/republica-democratica-congo#:~:text=Si%20ordenamos%20los%20pa%C3%ADses%20que,los%20que%20publicamos%20este%20dato>
- Price, J. G., y Espi, J. A. (2014). Disponibilidad y retos actuales de los recursos minerales para la sociedad. *Boletín Geológico y Minero*, 125(1), 3-29.
- Prosper Africa. (s. f.). About Prosper Africa. Prosper Africa. A U.S Trade and investment initiative. <https://www.prosperafrica.gov/about/>

- Recalde, E., y Morante, F. (2009). Metodología de Planificación Minera a corto plazo y diseño minero a mediano plazo en la Cantera Pifo.
- Redl, C., Hein, F., Buck, M., Graichen, P., y Jones, D. (2021). The European power sector in 2020: up-to-date analysis on the electricity transition. Agora Energiewende.
- REE4EU. (s. f.). REE4EU PROJECT. <https://ree4eu.eu/>
- Ries, I. (2021). *Las materias primas fundamentales y su importancia para el futuro de Europa*. Committee of the Regions. <https://cor.europa.eu/es/news/Pages/critical-raw-materials-role-future-of-europe.aspx>
- Rupiya, M. (2018). What Explains President Joseph Kabila's Quest for a Third Term until Pressured to Reluctantly Relinquish Power, late in 2018? *International Journal of African Renaissance Studies*, 13(2), 42–58. <https://doi.org/10.1080/18186874.2018.1522932>
- Schüler-Zhou, Y., Felizeter, B., & Ottsen, A. K. (2020). Einblicke in die chinesische Rohstoffwirtschaft.
- Serrano, J., y M<sup>a</sup>Hidalgo, A. (2020). Materías primas críticas. Los límites del desarrollo.
- Simon, B., Ziemann, S., y Weil, M. (2014). Criticality of metals for electrochemical energy storage systems – Development towards a technology specific indicator. *Metallurgical Research & Technology*, 111(3), 191-200. <https://doi.org/10.1051/metal/2014010>
- Speech by President von der Leyen on EU-China relations to the Mercator Institute for China Studies and the European Policy Centre. (2023). European Commission. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech\\_23\\_2063](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/speech_23_2063)
- Transparency International. (2022, February 4). 2021 Corruption Perceptions Index - Explore the results. Transparency.org. <https://www.transparency.org/en/cpi/2021>

United States Department of State. (2022). Minerals Security Partnership. United States

Department of State. <https://www.state.gov/minerals-security-partnership/>

USGS. (2020). Cobalt. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-cobalt.pdf>

Wolkersdorfer, C., y Bowell, R. (2004). Contemporary reviews of mine water studies in Europe. *Mine Water and the Environment*, 23(4), 161.

Yaser, A. Z., Khullar, P., y Haghi, A. K. (Eds.). (2020). *Green materials and environmental chemistry: new production technologies, unique properties, and applications*. Apple Academic Press.