Pedro Antonio Merino García*
José María Martínez Pérez**

ECONOMÍA Y GEOPOLÍTICA DEL SECTOR ENERGÉTICO: DESDE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES A LOS MINERALES DE LA TRANSICIÓN

Este artículo explora cómo, en el complejo tablero geopolítico actual, la seguridad económica y energética se ha vuelto un objetivo prioritario. También muestra cómo la transición energética reduce la dependencia de combustibles fósiles, pero crea nuevas vulnerabilidades al aumentar la demanda de minerales críticos, sobre todo refinados y purificados, reconfigurando actores y dinámicas geopolíticas. El actual dominio de China en estos materiales plantea desafíos cruciales. En respuesta, los países occidentales buscan estrategias para reconfigurar las cadenas de suministro y atraer nueva inversión, pero estos intentos chocan con la dificultad y los costes de reducir la dependencia de China, surgiendo una serie de dilemas, como el que se enfrenta en cuanto al deseo de desacoplamiento con China y la necesidad de avanzar rápidamente en la transición energética.

Economics and Geopolitics of Energy Sector: From Fossil Fuels to Transition Minerals

This article explores how, in the current complex geopolitical landscape, economic and energy security has become a top priority. It also illustrates how the energy transition reduces dependence on fossil fuels but introduces new vulnerabilities by increasing demand for critical minerals —specially in the form of refined and purified products— reshaping geopolitical actors and dynamics. China's current dominance in these materials presents crucial challenges. In response, Western countries seek strategies to reshape supply chains and attract new investment, yet these efforts clash with the difficulty and costs of reducing dependence on China, giving rise to a series of dilemmas regarding the desire for decoupling from China and the need to advance faster in the energy transition.

Palabras clave: *geopolítica, seguridad energética, transición energética, minerales críticos, guerra de Ucrania, cadenas de valor, política industrial.*
Keywords: *geopolitics, energy security, energy transition, critical minerals, Ukraine war, supply chains, industrial policy.*
JEL: *F13, F51, Q42, Q43, Q48.*

---

* Técnico Comercial y Economista del Estado. Director de Estudios de Repsol.
Contacto: amerinog@repsol.com
** Analista de la Dirección de Estudios de Repsol.
Contacto: jm.martinez.p@repsol.com
Versión de abril de 2024.
https://doi.org/10.32796/ice.2024.935.7795

1. Introducción

Desde la Revolución Industrial hasta la era digital actual, la energía ha sido y sigue siendo vital para el desarrollo económico. Y es que, aquellos países que cuentan con fuentes de energía confiables y baratas obtienen una ventaja competitiva que se refleja en un mayor impulso de ciertas industrias, un transporte más eficiente y una mayor capacidad de innovación tecnológica. Esto puede atraer inversiones extranjeras, impulsar las exportaciones y, en última instancia, mejorar la calidad de vida para sus ciudadanos. Sin embargo, la importancia de la energía trasciende su papel en el desarrollo económico, ya que también se posiciona como una pieza clave para la autonomía y la seguridad nacional, así como un instrumento de poder global.

La geopolítica de la energía se centra en el estudio de cómo los recursos energéticos, su distribución geográfica y el control sobre ellos afectan a las relaciones entre los países y las dinámicas geopolíticas a nivel mundial. En este sentido, la geopolítica de la energía se manifiesta en la interacción entre países, marcada por una red compleja de interdependencias que se ha forjado históricamente en torno a la disponibilidad y control de los recursos energéticos, principalmente los combustibles fósiles. El contexto actual, caracterizado por una mayor competencia estratégica entre países y el impulso hacia la transición energética, está redefiniendo el tablero de la geopolítica de la energía.

2. Seguridad energética y elementos de la geopolítica de la energía

La seguridad energética es crucial para la geopolítica de la energía porque garantiza la estabilidad económica, promueve la autonomía y la influencia geopolítica de los países, previene conflictos y aumenta la resiliencia ante crisis energéticas. En cierto sentido, la geopolítica de la energía y la seguridad energética son dos caras de la misma moneda.

Dicho concepto de seguridad energética es complejo y ha sido definido de diferentes maneras en la literatura (Chester, 2010), pero de forma general la Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés) define la seguridad energética como la disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a un precio asequible.

Por eso, desde un punto de vista geopolítico o geoestratégico, un Estado necesita abordar tres elementos fundamentales para asegurar su seguridad energética. En primer lugar, garantizar su acceso a las fuentes energéticas primarias. En segundo lugar, reducir su vulnerabilidad a los riesgos de suministro mediante la diversificación de las fuentes energéticas. Y, en tercer lugar, disponer de inventarios adecuados como red de seguridad para situaciones donde el acceso a las fuentes de energía se vea comprometido, ya sea por interrupciones en el suministro o por cambios en las dinámicas geopolíticas. Estos tres pilares fundamentales, que buscan la garantía de que el suministro de energía sea suficiente, fiable y asequible, impactan de manera dispar en diferentes regiones, evidenciando estrategias y desafíos específicos para cada una.

Por ejemplo, el carbón es una fuente de energía abundante en China e India, dos gigantes demográficos aún en vías de desarrollo, y tienen la intención de seguir utilizándolo de manera masiva —India y China conjuntamente representan alrededor del 80 % de todos los proyectos de carbón activos— para evitar así riesgos de dependencia geoestratégica, interrupciones en el suministro y fluctuaciones en los precios de energía. En el caso de China, un rápido aumento de los precios del carbón en 2021 y 2022 provocó graves cortes de energía y racionamientos debido a que los precios regulados de la electricidad no permitían a las empresas generadoras trasladar los mayores costes a los consumidores. Para resolver esta situación, el Gobierno chino tuvo que relajar algunos controles de precios y, a pesar de que sigue comprometido con alcanzar el pico de emisiones para 2030 y lograr la neutralidad de carbono para 2060, relegar ese objetivo a un segundo plano frente al

de seguridad energética. En septiembre, el ex enviado climático Xie Zhenhua dijo en las conversaciones sobre el clima de la COP28 que sería «poco realista eliminar por completo la energía basada en combustibles fósiles».

Así, aunque la instalación de renovables en China marcha a un ritmo superior al inicialmente previsto en el plan de Pekín, esperándose que China represente casi el 60 % de la nueva capacidad renovable que entre en funcionamiento a nivel mundial para 2028 (IEA, 2023a), esto solo se refiere a capacidad y no a generación. Al mismo tiempo, expertos como DNV en su informe *DNV's Energy Transition Outlook China* y reseñado en Reuters (2024) proyectan que su consumo de carbón caerá solo un tercio para 2040 —y aún aumentará en los próximos años—. Estas estimaciones tienen en cuenta que, desde principios de 2022, se han autorizado 152 GW de nueva capacidad de carbón y han iniciado la construcción de 92 GW, diez veces más que el resto del mundo en el mismo período, pese a que en 2023 la producción de carbón alcanzó 4.660 millones de toneladas, un aumento del 2,9 % interanual. Como es visible, en el dilema entre seguridad energética y transición, China eligió seguridad.

En contraste, la Unión Europea ha mantenido una dependencia histórica de la importación de combustibles fósiles, que constituyen alrededor del 80 % de su matriz energética. Esto pone de manifiesto la complejidad y los desafíos en la gestión de la seguridad energética europea. De hecho, hoy en día el mundo de la energía experimenta una convulsión tras la invasión rusa de Ucrania y el uso por parte de Moscú del aumento de la interdependencia energética con la Unión Europea como arma para ejercer su influencia.

El corte del suministro de gas natural ruso a Alemania tras la voladura del gaseoducto Nord Stream y las sanciones impuestas a Rusia a raíz de su invasión de Ucrania han desencadenado una revisión de las estrategias de seguridad energética y reconfigurado los flujos energéticos; antes del conflicto, cerca de un 25 % del petróleo importado por la Unión Europea provenía de Rusia, y las importaciones de diésel ruso representaban una proporción similar. Actualmente, estos pesos se han reducido a casi cero. Y aunque no hay sanciones vigentes para el gas natural ruso, la determinación de la Unión Europea de diversificar sus fuentes de energía la ha llevado a poner el foco en el gas natural licuado estadounidense, especialmente a Alemania por su dependencia del gas ruso.

Simultáneamente, se mantienen otros focos de tensiones e inestabilidad energética, como los conflictos en Oriente Medio o el anuncio del presidente de Venezuela de anexionarse una parte de Guyana, cuyas aguas jurisdiccionales son cruciales debido a los aumentos de producción de petróleo en las mismas y los recursos existentes que están aún por explotar. Todo esto destaca la constante inestabilidad en la intersección de geopolítica y recursos energéticos.

3. La importancia de la gestión de recursos estratégicos. Ampliando la perspectiva más allá de los combustibles

La génesis de la geopolítica de los combustibles fósiles se manifiesta claramente en las guerras mundiales (Yergin, 2006) subrayando la esencial necesidad de controlar un recurso estratégico como el petróleo. Así, durante la Primera Guerra Mundial la decisión estratégica del Almirantazgo inglés, liderado por Winston Churchill, de cambiar de combustible —de carbón a petróleo— para su flota naval le otorgó una ventaja táctica inmediata, no solo optimizando la eficiencia operativa de la flota, sino también asegurando una posición dominante mediante el control de los pozos de petróleo iraníes. Posteriormente, durante la Segunda Guerra Mundial, la dimensión geopolítica del petróleo resurgió, destacando su papel estratégico en el curso de la guerra. Las naciones con acceso a reservas significativas o rutas seguras para el transporte de petróleo obtuvieron una ventaja crucial. Mientras, la carencia de este recurso comprometió la superioridad táctica de Alemania, afectando a sus tanques y a la Luftwaffe, así como a otras potencias como Japón, dependiente del petróleo para su expansión en el Pacífico.

En este trasfondo, queda claro que la gestión de recursos críticos es una fuerza determinante que ha influido significativamente en el curso de eventos cruciales en la historia moderna, modelando el equilibrio de poder entre las naciones. Y en el escenario geopolítico contemporáneo este enfoque de gestionar los recursos críticos en base a su acceso, diversificación y disponibilidad, o usarlos como arma para influenciar o castigar a otros países, no se aplica en exclusiva a los combustibles, sino que involucra también ciertas tecnologías críticas y los insumos necesarios para ellas, delineando conjuntamente las complejidades de la seguridad nacional.

De hecho, el panorama económico mundial ha experimentado profundas transformaciones a medida que Estados Unidos y, en menor grado de confrontación, la Unión Europea han establecido claramente un contexto de rivalidad tecnológica con China por motivos de seguridad nacional. Esta contienda tecnológica tiene como principales protagonistas a los semiconductores avanzados y a la energía limpia, como señaló en un discurso de septiembre de 2022 el asesor de Seguridad Nacional de la Casa Blanca de Estados Unidos, Jake Sullivan (2022).

En el caso de los semiconductores avanzados, estos son vitales no solo para la electrónica de consumo, sino también para el funcionamiento de las infraestructuras críticas y el ámbito de la defensa, desde los sistemas de radar y navegación, hasta los sistemas de guiado de misiles o los sistemas de comunicaciones militares. Además, la inteligencia artificial (IA) está revolucionando el ámbito militar, y aunque la IA suene a algo etéreo, se basa en inmensos centros de datos que devoran energía y en semiconductores avanzados para procesar grandes volúmenes de datos en tiempo real.

En 2022, respaldado por argumentos de seguridad nacional, Sullivan anunció un cambio en la estrategia de Estados Unidos en cuanto a los semiconductores. En lugar de mantener una ventaja de una o dos generaciones sobre sus competidores, se enfocaría en mantener la mayor distancia posible. Esto motivó la prohibición de Estados Unidos de vender a China determinados chips, así como cierta tecnología clave para su fabricación. Como resultado, el progreso tecnológico chino, caracterizado en las últimas décadas por una rápida asimilación de conocimientos y tecnologías disponibles gracias a la globalización, deberá depender en mayor medida de su capacidad de innovación propia en el futuro.

Para que dichas restricciones sean verdaderamente efectivas, Washington necesita la colaboración de otros actores relevantes en la cadena de valor global de chips. Y es que diseñar y fabricar un chip es probablemente el proceso más complicado en el que el ser humano se ha embarcado jamás, e involucra complejas cadenas productivas altamente especializadas en las que diferentes países del mundo se han especializado por tipo específico de chip, fases del proceso o componentes para su fabricación. Sin embargo, por su complejidad y las economías de escala, algunos nodos de su cadena global presentan una elevada concentración, y en ellos la tecnología de Estados Unidos sigue siendo clave y difícilmente reemplazable. Aprovechando este dominio, Estados Unidos puede influir e incluso imponer políticas a países como Japón y Países Bajos, líderes en la fabricación de equipos y materiales para la producción de semiconductores.

Aunque Estados Unidos y sus aliados están bien posicionados en la guerra de los semiconductores, el panorama es diferente cuando se trata de la otra gran guerra tecnológica actual: las tecnologías de la energía limpia, en las que China ha logrado construir una posición muy fuerte. Además, es relevante considerar que Estados Unidos ha alcanzado una importante autosuficiencia energética en los últimos años, gracias al desarrollo de sus propios recursos de petróleo y gas; sin embargo, la transición hacia fuentes de energía más limpias amenaza con alterar esta situación.

Ambas guerras tecnológicas en curso se entrelazan con el acceso a los metales críticos, componentes clave de las cadenas de valor correspondientes. De hecho, la respuesta del gigante asiático a las restricciones que enfrenta en semiconductores ha sido establecer licencias de exportación de algunos materiales

críticos. Así, en agosto de 2023 China introdujo restricciones de exportación para el galio y germanio, materiales utilizados en la fabricación de chips, y a partir del 1 de diciembre pasado implementó requisitos similares para algunos productos de grafito (el grafito sintético de alta pureza y el grafito natural en escamas, incluidas las formas esféricas), el componente de mayor peso de una batería de vehículo eléctrico y, quizás el más difícil de sustituir. Recientemente China también anunció la prohibición de la exportación de tecnología para fabricar imanes de tierras raras (samario-cobalto, imanes de neodimio-hierro-boro e imanes de cerio), sumándola a una prohibición ya existente sobre la tecnología para extraer y separar esas tierras raras. El Fondo Monetario Internacional (FMI, 2023) señala que la fragmentación geoeconómica está llevando a un fuerte aumento en la dispersión de los precios de las materias primas energéticas entre las regiones, incluidos los minerales críticos.

Estos ejemplos ilustran que la intervención de flujos tecnológicos y el control de materiales críticos, al convertirse en recursos estratégicos, actúan como extensiones naturales e interconectadas de la geopolítica energética. En este sentido, las sanciones impuestas por Occidente a Rusia van más allá de simples restricciones financieras o energéticas, ya que aprovechan esta interconexión. Así, las sanciones han buscado también limitar el acceso ruso a ciertas tecnologías de vanguardia esenciales para el funcionamiento de equipos utilizados en la perforación, monitoreo y gestión de yacimientos de petróleo y gas. La imposibilidad de acceder a dicha tecnología especializada o los chips necesarios para ella disminuiría significativamente la capacidad de Rusia para realizar nuevas prospecciones de manera eficiente y segura, obstaculizando así su capacidad para mantener e incrementar su producción.

Por otro lado, las sanciones energéticas a Rusia tienen implicaciones más amplias que solo reconfigurar los flujos energéticos. Por un lado, países como India y China están pudiendo comprar crudo —y minerales— rusos a costes más bajos, al hacerlo con descuento. En 2023, cuando los volúmenes de importaciones totales de petróleo crudo de China aumentaron un 11 %, las importaciones de Rusia crecieron mucho más, el 24 %, y esto permitió que, a pesar del incremento en el volumen total de importaciones, el gasto total en ellas disminuyera un 7,7 % según datos aduaneros chinos. Esto ayuda a Rusia a mitigar el impacto de las sanciones y a China a internacionalizar el yuan. Y es que, como medida para reducir la exposición a sanciones financieras occidentales, se ha observado un aumento en el uso del yuan en lugar del dólar en las transacciones bilaterales con China, elevando la proporción de liquidaciones comerciales en yuanes del 15 % a finales de 2021 al 27 % en septiembre de 2023.

4. Seguridad y transición energéticas

La guerra de Ucrania y la pandemia convencieron a los líderes de todo el mundo de la necesidad de diversificar sus fuentes de suministro de algunos productos clave, poniendo sobre la mesa la importancia de la seguridad nacional y, dentro de ella, la seguridad energética. En consecuencia, los factores geopolíticos están determinando los flujos energéticos y las expectativas de inversión más directamente de lo que lo habían hecho en mucho tiempo. Estos problemas de suministro aparecen en un momento histórico en el que el mundo y, en especial, la Unión Europea están embarcados en el reto de la transición energética, que busca el cambio desde fuentes energéticas fósiles a renovables para enfrentar el reto del cambio climático.

Uno de los argumentos que se utilizan para respaldar la expansión de las energías renovables en muchos países es la reducción de forma sustancial de la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles de países políticamente inestables. Además, dado que la seguridad energética sugiere diversificar la matriz energética y lograr una mayor autosuficiencia, cabe pensar que una manera efectiva de conseguirlo es a través de la adopción de energías renovables como la solar, eólica e hidroeléctrica, ya que en mayor o menor medida la

radiación solar, el viento y el agua están disponibles localmente en cada región.

Sin embargo, la consecuencia directa de la expansión global de las renovables, junto con la electrificación del transporte, es un aumento sustancial de la demanda mundial de muchos de los conocidos como minerales críticos, aunque los recursos minerales utilizados varían según la tecnología y aplicaciones específicas. Así, el litio, níquel, cobalto, manganeso y grafito son fundamentales para el rendimiento, la longevidad y la densidad de energía de las baterías. Mientras, los elementos de las tierras raras, un conjunto de 17 elementos metálicos, son esenciales para los imanes permanentes usados en turbinas eólicas y motores de vehículos eléctricos. Y las redes eléctricas necesitan una gran cantidad de cobre y aluminio, siendo el cobre la piedra angular de todas las tecnologías relacionadas con la electricidad.

Por tanto, el cambio a un sistema de energía limpia está impulsando un enorme aumento en los requisitos de estos minerales para generar la misma cantidad de electricidad que la tecnología de combustibles fósiles. Por ejemplo, la electricidad eólica marina, que creció un 14 % en 2023, requiere según la IEA (2021) nueve veces más insumos minerales por cada megavatio generado que una planta de energía de gas típica. Igualmente, una planta solar fotovoltaica de 1 megavatio (MW) requiere aproximadamente 2,5 toneladas de cobre, mientras que una turbina de gas de ciclo combinado de 1 MW requiere solo 0,3 toneladas de cobre. Adicionalmente, con las energías renovables, de naturaleza intermitente, surge una mayor necesidad de almacenar energía durante los períodos de menor actividad para garantizar la estabilidad de la red, con lo que la IEA estima que la capacidad de almacenamiento de baterías en todo el mundo tendría que dispararse a aproximadamente 970 gigavatios para 2030 en un escenario de cero emisiones netas.

A esto hay que añadir el cambio al vehículo eléctrico, que es un impulsor aun mayor de la demanda de minerales críticos. El vehículo eléctrico promedio requiere seis veces más insumos minerales que un automóvil convencional a gasolina; hoy en día una batería tipo para vehículos eléctricos necesita alrededor de 8 kilogramos de litio, 35 kilogramos de níquel, 14 kilogramos de cobalto y 60 kilos de grafito (IEA, 2023b). Además, las estaciones de carga requieren cantidades sustanciales de cobre.

Una primera implicación de todo esto es que, en realidad la descarbonización, aunque esencial para abordar los desafíos climáticos, no erradica las vulnerabilidades energéticas, sino que las sustituye por otro conjunto de desafíos. Además, el trilema de la energía —equilibrar la sostenibilidad ambiental, la seguridad energética y la equidad en el acceso a la energía— se vuelve un desafío central a medida que el mundo avanza hacia la transición energética.

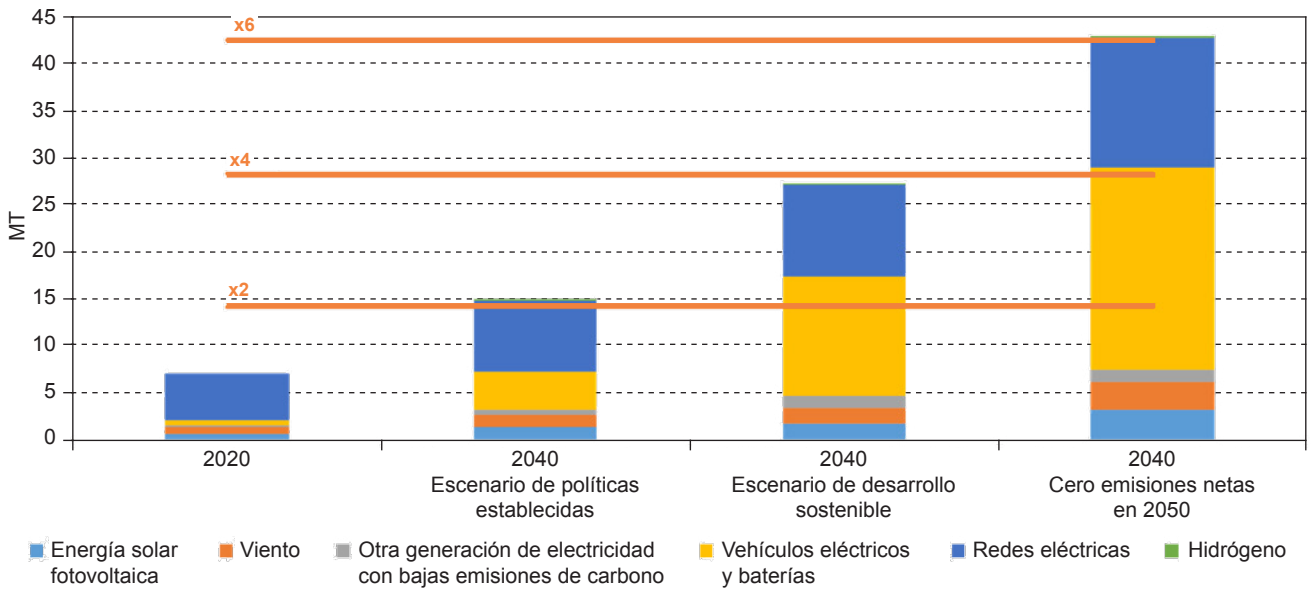
Así, las preocupaciones sobre la volatilidad de precios y la seguridad del suministro persisten en un sistema electrificado y rico en energías renovables, ya que se necesitarán suministros significativos de minerales críticos. Según la IEA, bajo un escenario de emisiones netas cero para 2050, se espera un aumento de más de seis veces en los requisitos de minerales para tecnologías de energía limpia para 2040, como se observa en la Figura 1. Pero también en los escenarios climáticos menos ambiciosos la necesidad de materiales críticos supondrá un gran reto para la oferta.

El incremento de la demanda sería especialmente notable para los materiales vinculados a los vehículos eléctricos. Según la IEA, se proyecta que el litio experimente el crecimiento más rápido, con una demanda que se incrementará más de 40 veces en el escenario de desarrollo sostenible para 2040 (Figura 2). Le siguen el grafito, el cobalto y el níquel, con aumentos de alrededor de 20-25 veces. Es relevante destacar que, más allá de las proyecciones, entre 2017 y 2022, la demanda global de litio se ha triplicado, la de cobalto ha aumentado un 70 %, y la de níquel un 40 %.

Este crecimiento exponencial en la demanda, combinado con la oferta que es relativamente inelástica a corto plazo (se necesitan en promedio unos veinte

FIGURA 1

DEMANDA TOTAL DE MINERALES PARA TECNOLOGÍA DE ENERGÍA LIMPIA POR ESCENARIO 2040 EN COMPARACIÓN CON 2020
(En millones de toneladas)



FUENTE: IEA y Servicio de Estudios de Repsol.

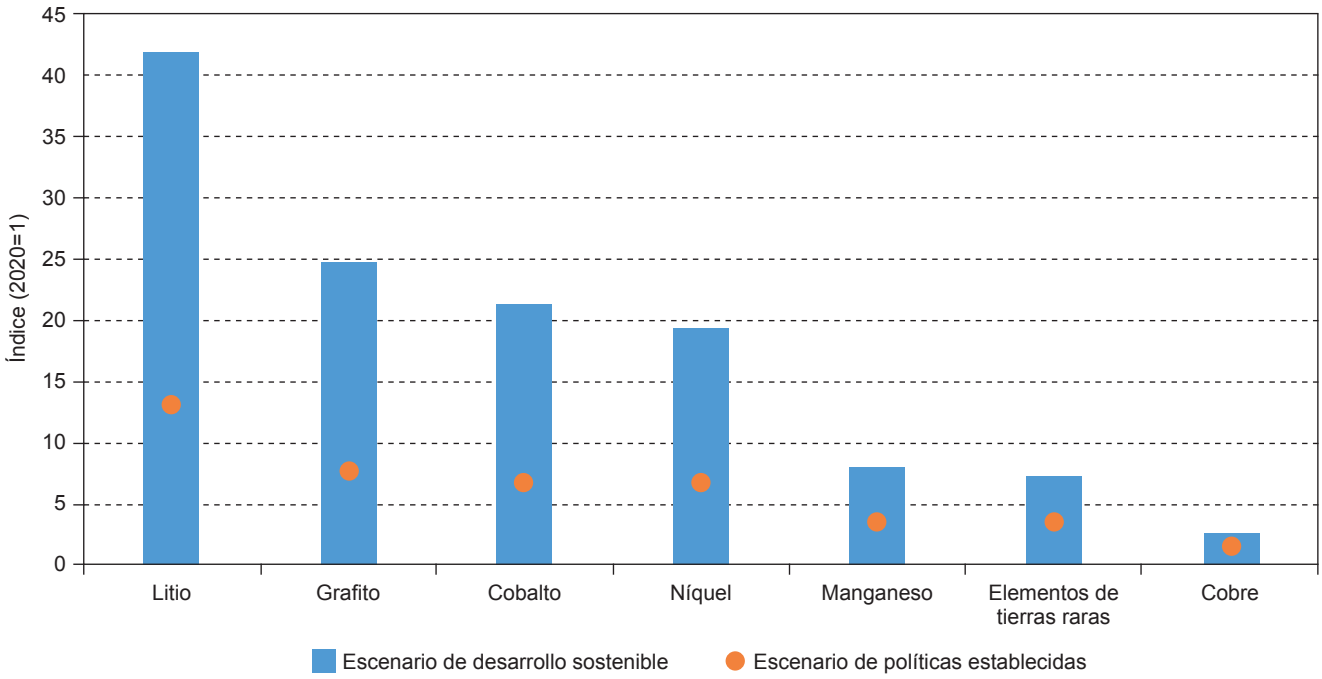
años hasta que una nueva mina pueda estar operativa), plantea una amenaza significativa para los precios de estos minerales y para el avance de la transición energética mundial. Y es que un aumento de los costes de los materiales puede detener e incluso invertir la tendencia a la baja de los costes de la energía renovable, afectando a la rentabilidad de la industria.

Al respecto, a pesar de que, por ejemplo, los costes de producción de baterías de litio han experimentado una reducción del 90 % en la última década, la mejora de los costes se vuelve cada vez más desafiante a medida que la tecnología alcanza una relativa madurez. Esta dinámica previa implica también que las materias primas, en lugar de la tecnología, constituyen una parte creciente del coste total, representando ya entre el 50 % y el 70 %. Por tanto, en el futuro, el aumento continuo de la demanda de estos metales podría llevar a un alza en sus precios. Esto podría superar los ahorros logrados en los costes de las energías renovables gracias a las mejoras tecnológicas, lo que a su vez podría revertir la tendencia a la baja de los precios de los sistemas de energía limpia y afectar la rentabilidad de esta industria. Además, un posible aumento de precios no se tendría que deber exclusivamente a la escasez, sino también al gradual descenso en el grado o calidad de los metales extraídos; por ejemplo, la calidad media del mineral de cobre en Chile ha disminuido en un 30 % en los últimos 15 años, lo que implica la necesidad de extraer una mayor cantidad de mineral para obtener la misma cantidad de metal (Calvo *et al*., 2016).

Una segunda implicación es que, dado que la extracción y, especialmente, el procesamiento de estos minerales críticos es altamente intensivo en energía, la transición energética, por ahora, necesita de energía barata

FIGURA 2

CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE DETERMINADOS MINERALES A PARTIR DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA LIMPIA POR HIPÓTESIS, 2040 EN RELACIÓN CON 2020



FUENTE: IEA y Servicio de Estudios de Repsol.

para avanzar. Y, si bien es necesario que existan incentivos para invertir en energías renovables y en la electrificación, y estos pueden ser mayores en un entorno de mayores precios de los combustibles fósiles, también hay que considerar que decisiones políticas o de inversión que resulten en una mayor escasez de los combustibles fósiles, al reducir su oferta en un momento en que su demanda es aún clave, provocará una ralentización y encarecimiento de la transición energética. Por lo tanto, es crucial abordar la cuestión de la seguridad energética de manera integral, reconociendo la interconexión entre la disponibilidad de combustibles fósiles y el éxito de la transición hacia una economía baja en carbono.

5. Desentrañando los riesgos asociados a la dependencia de minerales críticos

La criticidad de un material se evalúa según la vulnerabilidad de su cadena de suministro a la interrupción y las posibles repercusiones para la economía o la seguridad nacional en caso de escasez. Por lo tanto, los materiales considerados críticos pueden variar entre países; por ejemplo, la Comisión Europea incluyó 30 materiales en su última actualización en 2020, mientras que el Departamento de Interior de Estados Unidos amplió su lista a 50 en 2022. Sin embargo, ambos listados incluyen los minerales que hemos discutido anteriormente, y no sin justificación.

En términos de las repercusiones para la economía y la seguridad nacional, la importancia de estos minerales se deriva de su papel crucial tanto para la autonomía tecnológica de un país, como para su capacidad de defensa. Y es que, estos insumos son vitales para abordar la transición energética, para la producción de semiconductores avanzados —necesarios no solo para la electrónica de consumo, sino también para infraestructuras críticas— y directamente para la fabricación de algunos componentes militares avanzados. Por ejemplo, cada submarino de propulsión nuclear de la clase Virginia necesita alrededor de 4.200 toneladas métricas de materiales de tierras raras para producirse, y cada avión de combate F-35 más de 400 toneladas métricas (Grasso, 2013). Por tanto, la escasez de estos minerales podría comprometer la capacidad de un país para mantener una infraestructura tecnológica y militar robusta, afectando a su posición estratégica en el escenario global.

Y en términos de la vulnerabilidad de su cadena de suministro, y desde una perspectiva de seguridad nacional, la criticidad de estos minerales radica en la alta concentración de su producción, mucho más pronunciada que la de los recursos convencionales de petróleo y gas. En cuanto a la extracción, mientras que los tres principales países productores de petróleo y gas representan el 43 % y 46 % del suministro global de petróleo y gas, respectivamente, en el caso del litio, cobalto y elementos de tierras raras, las tres principales naciones productoras controlan más del 75 % de la producción mundial y, además, la mayoría son países con elevados riesgos de instabilidad política.

Pero, más importante, mientras que la refinación y el procesamiento de los combustibles fósiles está relativamente diversificada, la refinación y el procesamiento de minerales críticos está casi monopolizada por China, como se puede ver en la Tabla 1. Así, en la actualidad China proporciona el 98 % del suministro de elementos de tierras raras a la Unión Europea y aproximadamente el 62 % de la totalidad de las 30 materias primas esenciales. Eso refleja cuán estratégico ha sido el Gobierno chino, y también cómo la producción de estos minerales se ve influenciada por las políticas ambientales laxas de China, unido a su abundancia en carbón y subvenciones para la energía térmica y eléctrica necesaria en el refino y procesamiento de estos minerales. También significa que gran parte de la experiencia actual en el procesamiento de estos minerales se concentra allí.

Y si el limitado acceso a estos minerales para los países occidentales ya representa de por sí una vulnerabilidad en tiempos normales, exponiéndolos a volatilidades de precios, esto se ve amplificado por el actual clima de crecientes tensiones geopolíticas y el uso estratégico de las dependencias como arma.

Además, el dominio de China no se limita a estos insumos, sino que también se ha consolidado como líder en muchas de las tecnologías que los necesitan, y en las que controlar los minerales críticos les da una ventaja competitiva. Por ejemplo, según BloombergNEF (2024), en 2023 controla el 83,6 % de la producción mundial de placas solares y entre el 85 % y el 97 % de sus componentes y posee más del 85 % de la capacidad mundial para baterías de iones de litio, ganando terreno en la vanguardia a competidores en Japón y Corea del Sur.

Esta ventaja se está extendiendo al sector de vehículos eléctricos, donde la proximidad física entre los fabricantes de baterías y automóviles genera ventajas conjuntas. Los productores chinos de baterías se beneficiaron de la explosión en la producción y ventas de autos eléctricos en China, cuyo consumo local fue subsidiado por el Gobierno. Y los productores chinos de vehículos eléctricos, como BYD, además de los enormes subsidios recibidos, obtienen ventajas de costes significativas gracias a controlar su propia cadena de suministro totalmente integrada (el 75 % de los componentes de su modelo Seal fueron fabricados internamente, el doble del promedio mundial, pues BYD fabrica sus propias baterías y semiconductores). Esta estrategia ha llevado a que China capture ya la mitad de la producción mundial de vehículos eléctricos, y que recientemente BYD haya superado a Tesla como la marca de vehículos eléctricos más vendida del mundo. Además, tras abastecer principalmente al mercado doméstico, recientemente

TABLA 1

CONCENTRACIÓN DE CHINA EN DIFERENTES MINERALES CRÍTICOS, 2022

	Tecnología	Reservas	Producción minera	Refino y procesamiento	Intereses en el extranjero
Tierras raras	Eólica,VE	34%	70%	90%	–
Molibdeno	Eólica	31%	40%	–	–
Silicio	Solar	–	68%	69%	–
Grafito	VE	16%	65%	100%	–
Zinc	Eólica	15%	32%	36%	Australia
Manganeso	Eólica,VE	16%	5%	95%	Gabón
Cobalto	VE	2%	1%	73%	Congo, Zambia
Litio	VE	7%	15%	55%	Australia, LATAM
Telurio	Solar	9%	–	53%	–
Cobre	VE, solar, eólica, comunicaciones	3%	8%	42%	Congo, Zambia
Níquel	VE, hidrógeno, geotérmica	2%	3%	35%	Indonesia
Cromo	Solar concentrada, geotérmica	–	–	50%	Zimbawe
Germanio	–	–	60%	68%	–
Galio	–	–	98%	99%	–

FUENTE: United States Geological Survey (USGS) y Dirección de Estudios de Repsol.

las exportaciones chinas de vehículos eléctricos están creciendo con fuerza, ayudando a que en 2022 China superara a Alemania como el mayor exportador mundial de automóviles y en 2023 a Japón. Este ascenso en las exportaciones de vehículos eléctricos, respaldado por la sobrecapacidad de las empresas chinas y sus considerables subsidios, suscita preocupaciones sobre la posibilidad de que desplacen a otras empresas a nivel global, una situación análoga a la observada en sectores como el acero y los paneles solares.

6. La geopolítica de la transición y las políticas industriales: los límites que impone la dependencia de China

En un escenario sin consideraciones geopolíticas, si China quisiera producir muchos de estos insumos a bajo coste para el resto del mundo, esa podría ser una forma barata y rápida para que el mundo realice la transición energética. Pero, por supuesto, no vivimos en ese mundo; el panorama económico mundial ha

experimentado profundas transformaciones a medida que Estados Unidos, y en menor grado de confrontación, la Unión Europea, han establecido un contexto de rivalidad económica y tecnológica con China, principalmente por motivos de seguridad nacional.

En este contexto, el actual dominio de China en minerales críticos, y especialmente en su proceso de refino y purificación, implica para Estados Unidos y la Unión Europea una disyuntiva entre sus objetivos de garantizar la seguridad energética y avanzar en la transición energética.

En respuesta, los países están creando estrategias nacionales para tratar de asegurar sus cadenas de suministro. Y las políticas industriales de China, destinadas a fomentar la creación de cadenas de suministro en el país, son ahora una plantilla utilizada por Occidente para competir con ella. Un nuevo conjunto de datos, recopilados por el Nuevo Observatorio de Política Industrial (Evenett *et al*., 2024), rastrea las intervenciones de políticas industriales y documenta un aumento reciente muy significativo en su uso, especialmente en los países desarrollados, así como que estas acciones conducen a tomar medidas similares en otros países, aplicando el ojo por ojo.

Así, si en décadas previas el uso de las políticas industriales estaba más centrado en los países emergentes y era justificada por fallos de mercado, ahora las nuevas políticas industriales están enfocadas en reconfigurar las cadenas de suministro y traer de vuelta la producción de bienes claves para estos sectores, basándose en consideraciones de seguridad nacional. Pero estas intervenciones industriales son caras.

En concreto, para ponerse al día en proyectos relacionados con la energía renovable, Estados Unidos cuenta con la Ley de Reducción de la Inflación (IRA, por sus siglas en inglés) de la Administración Joe Biden, aprobada por el Congreso en 2022. El enfoque de Estados Unidos con el IRA es claro y sencillo: conceder subsidios, que proporcionan financiación directa e inmediata a inversores y hogares, y créditos fiscales para que los costes de la producción baja en carbono se abaraten temporalmente a lo largo de toda la cadena de valor. El importe oficial de la financiación de la ley IRA asciende a 370.000 millones de dólares; sin embargo, si se incluyen las desgravaciones fiscales, cuyo límite es en principio ilimitado, se estima que el respaldo financiero podría superar el billón de dólares en la próxima década. Entre esas ayudas, se incluye un crédito fiscal del 10 % del coste de producción para componentes críticos. Adicionalmente, el presidente tiene la facultad de dirigir hasta 500 millones de dólares en incentivos hacia materiales críticos, como lo hizo Biden al designar los materiales de batería como una prioridad para la fabricación nacional bajo la Ley de Producción de Defensa.

Dado el énfasis en reducir la dependencia, los nuevos subsidios están destinados no solo a la instalación, sino también a la fabricación al contener un gran número de «requisitos de contenido nacional». Por ejemplo, para que un comprador estadounidense reciba el crédito completo de 7.500 dólares por un vehículo eléctrico, gran parte del automóvil debe haber sido fabricado en América del Norte. No solo esto, sino que a partir de 2024 al menos el 50 % de los minerales considerados críticos en sus baterías deben ser extraídos o procesados en los Estados Unidos o en un país que tenga un Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos, así como un 60 % de los componentes totales de la batería. Las condiciones para los minerales críticos «nacionales» aumentan al 80 % hasta 2027, y para los componentes de la batería al 100 % hasta 2029.

A esto hay que añadir que Washington ha aprobado legislación que prohíbe expresamente a los inversores beneficiarse de ayudas gubernamentales si sus cadenas de suministro incluyen una «Entidad Extranjera de Preocupación», aplicándose este término a países como China, Rusia, Corea del Norte e Irán (establece un umbral de propiedad del 25 % para que una empresa o grupo se clasifique como miembro de una Entidad Extranjera de Preocupación). Estas normativas entrarán en vigor en 2024 para las baterías terminadas y en 2025 para los minerales críticos.

Tras la implementación de la ley IRA, políticas industriales de naturaleza similar están ganando terreno

entre otras potencias. Ahora bien, promover la inversión en energías limpias en el país, como lo hace la IRA, requiere de voluntad para gestionar las consecuencias ambientales, sanitarias y sociales (Arezki y Van der Ploeg, 2023) y, sobre todo, de suficiente espacio fiscal.

Esto conduce a una importante disyuntiva, y es que los países no podrán conseguir simultáneamente completar con éxito sus objetivos de la transición verde, lograr la seguridad económica y aspirar a la disciplina fiscal. Por ahora con la ley IRA parece que Washington está más decidido a seguir los dos primeros objetivos del trilema, mientras abandona la disciplina fiscal. Pero en el caso de la Unión Europea su elección parece menos clara dada la reintroducción de las reglas fiscales.

Además, aunque en respuesta la Unión Europea presentó en 2023 tanto su Ley de Industria Neta Cero (NZIA, por sus siglas en inglés), aspirando a que la fabricación de tecnologías con emisiones netas cero satisfaga al menos el 40 % de las necesidades de despliegue para el año 2030, como su Ley de Materias Primas Críticas, que fija unos objetivos del 10 %, 40 % y 15 %, respectivamente, para la cantidad de extracción, procesamiento y reciclaje de minerales que deberían tener lugar en la UE para 2030, estos programas de financiación presentan desafíos significativos. Estos incluyen limitaciones políticas y de capacidad económica, así como plazos y objetivos climáticos diferentes entre los Estados miembros. Esta fragmentación plantea el riesgo de generar competencia interna y distorsiones en el mercado, lo que podría obstaculizar el logro de los objetivos ambientales e industriales planteados.

Por otro lado, una lucha de potencias competidoras para asegurar el suministro de minerales críticos y mover la producción de energías renovables a países que enfrentan mayores costes de producción podría aumentar las presiones sobre los precios, lo que aumentaría los costes asociados con la transición energética. Además, aunque la actual posición dominante de China en las cadenas de suministro de minerales críticos y sus tecnologías asociadas no se debe tanto a factores geológicos, sino principalmente a una combinación de factores geopolíticos y medioambientales, cambiar eso requiere de bastante tiempo; como resultado, tiene sentido distinguir entre elasticidades de suministro a corto y largo plazo (Boer *et al*., 2021). Y algunas de las medidas implementadas podrían limitar la difusión de la nueva tecnología. Por todo esto, es evidente que los enfoques de nuevas políticas industriales, como el implementado en el IRA, dan prioridad a la construcción de industrias nacionales en lugar de una descarbonización más acelerada. Así, se presenta otro importante dilema entre el anhelo de desacoplamiento y la urgencia de avanzar en la transición energética, ya que ambos imponen límites mutuos.

7. Reflexiones finales

Desde la perspectiva de la geopolítica y la seguridad energética, aunque la transición energética reduce la dependencia de combustibles fósiles, crea nuevos desafíos ligados a su dependencia de minerales críticos. Así, en realidad para Estados Unidos, la transición podría poner en riesgo la autosuficiencia energética alcanzada en los últimos años gracias al desarrollo de sus propios recursos de petróleo y gas. Esto es así no solo porque no haya estos materiales, cuestión más preocupante en la Unión Europea que en Estados Unidos, sino porque tanto la extracción como el proceso y refino de muchos de estos materiales es altamente contaminante y con las protecciones ambientales vigentes tanto en Estados Unidos como en la Unión Europea es prácticamente imposible considerar que se establezcan suficientes plantas de refino de cobalto o de polisilicio como para considerar que se tiene seguridad energética.

Además, esto ha puesto de manifiesto la naturaleza omnipresente de la presencia de China en la cadena de suministro de los cada vez más importantes minerales críticos. De hecho, los minerales críticos se encuentran en la parte superior de prácticamente todos los sectores que impulsarán el crecimiento, la innovación y la seguridad nacional en el siglo XXI, desde la energía limpia hasta la informática avanzada, y la defensa.

En un mundo multipolar y de cooperación decreciente como el actual, concentrar el suministro de bienes estratégicos en países no aliados es un riesgo considerable. El control ejercido por China en el refinamiento y procesamiento de minerales críticos le confiere un poder compuesto. Tanto los productores de las materias primas como los consumidores de su producción refinada dependen de China para llevar los minerales al mercado, brindándole la capacidad de influir políticamente al manipular el suministro y los precios. Esta situación podría desencadenar presiones políticas y tensiones comerciales a nivel internacional. Además, ese control ofrece una ventaja de costes a sus empresas al tiempo que disminuye la competitividad de los países dependientes.

La actual dependencia de Occidente de minerales críticos y tecnologías de la transición supone una gran vulnerabilidad, y en respuesta está impulsando a los países a diversificar sus fuentes de suministro y desarrollar sus propias capacidades de producción, buscando un reordenamiento de las cadenas de suministro. Esto es una oportunidad para las empresas occidentales dada la creciente demanda de estos insumos, especialmente si esta puede ser satisfecha de forma más «respetuosa con el medioambiente». Sin embargo, reducir la dependencia no será rápido ni sencillo, pues implica asumir importantes *trade-offs*.

Para empezar, una posible diversificación de las cadenas de suministro requerirá voluntad de gestionar y aceptar las consecuencias ambientales adversas, pues algunos procesos seguirán siendo altamente contaminantes. Además, fomentar la producción nacional a través de políticas industriales será costoso e implica inevitablemente comprometer la disciplina fiscal. Y, desde luego, las normas sobre requisitos de contenido nacional y la competencia entre potencias por asegurar minerales estratégicos y trasladar la producción de tecnologías asociadas podrían incrementar los costes asociados a la transición energética, surgiendo un dilema entre la aspiración de desacoplamiento y la urgencia de progresar en la transición energética.

Por eso, los países occidentales deberían complementar su lucha por atraer inversiones en el sector y limitar el papel de China en las cadenas de producción globales, con otras medidas, como la promoción de la innovación. Aunque algunos materiales como el grafito usado en el ánodo de las baterías son difícilmente sustituibles, la capacidad de innovación puede proporcionar aún mayor flexibilidad; por ejemplo, mejoras en la carga rápida, combinadas con una infraestructura de carga más extensa, podrían reducir la necesidad de baterías cada vez más grandes y ricas en minerales para lograr una mayor autonomía. Y la innovación tecnológica, a través de cambios en la química de las baterías, también puede diversificar o reducir tanto la cantidad como los tipos de ciertos metales utilizados en las baterías.

También los esfuerzos de reciclaje podrían contribuir a aliviar la presión sobre el suministro primario; sin embargo, es plausible anticipar que la cantidad de baterías de vehículos eléctricos alcanzando el final de su primera vida útil no experimentará un aumento significativo antes de 2030, y precisamente la incertidumbre sobre qué células alimentarán las baterías del mañana es uno de los factores que complican los esfuerzos para reutilizar las materias primas.

Finalmente, el esfuerzo por reducir la dependencia de China requerirá de una diplomacia inteligente. A medida que Estados Unidos y la Unión Europea buscan asegurar el suministro de minerales, varios Gobiernos de naciones productoras, especialmente en países emergentes, están imponiendo restricciones crecientes a la exportación de estos recursos; las naciones que poseen depósitos de estas materias primas perciben una oportunidad única para capitalizar su posición en las cadenas de suministro globales. Ven la posibilidad de atraer inversiones, generar empleo, retener beneficios, avanzar en la cadena de valor y ejercer influencia en la política exterior. Occidente debe crear complementariedades y sinergias con estas economías que tienen un potencial significativo para ser proveedores de energía limpia y que quieren participar también en las etapas de refinación y procesamiento de minerales.

Pero, de nuevo, bien sea domésticamente —para lo que será necesario complementar las medidas mencionadas con la reforma de las leyes de permisos y la agilización de los trámites para expandir la minería y el procesamiento nacionales de minerales— o vía alianzas con terceros países, se requerirá de tiempo para que los nuevos actores se establezcan y ganen la suficiente escala para ser competitivos. Desarrollar capacidad de procesamiento, capital humano y propiedad intelectual tampoco ocurre de la noche a la mañana.

Como resultado, la escasez de estos minerales aumentará al menos hasta la próxima década, y nueva oferta no dominada por China, innovaciones o reciclaje podrán ser una solución solo a largo plazo, tal vez después de un período de precios altos, y recordemos precios altos equivalen a retrasar la transición porque se convierte en muy cara. Y relacionado, dado que a corto plazo los costes de eliminar la dependencia de China son inasumibles, y que hoy en día algunas de sus empresas se han convertido en las líderes tecnológicas del sector, será necesario evaluar qué grado de dependencia de China es aceptable y qué actividades son asumibles. Por ejemplo, la construcción de una planta de baterías en la Unión Europea por parte de una empresa china, ¿se considera una reducción de riesgos o sigue siendo una dependencia? ¿Sería más prudente favorecer la creación de empresas conjuntas con contrapartes chinas para importar sus habilidades, o es preferible comenzar desde cero? Además, es importante tener en cuenta que disminuir la dependencia de China no implica únicamente la construcción de plantas para la producción de ciertos componentes; requiere la creación de cadenas de suministro completas fuera de China, desde la extracción en la mina hasta el producto final. De lo contrario, los productos finales podrían seguir necesitando de minerales procesados en China o, en su defecto, los minerales procesados fuera de China podrían seguir necesitándose enviar al país para su transformación en productos terminados.

Referencias bibliográficas

Arezki, R., & Van der Ploeg, F. (2023). On the new geopolitics of critical materials and the green transition. In C. Gollier & D. Rohner (Eds.), *Peace not Pollution: How Going Green Can Tackle Climate Change and Toxic Politics* (pp. 199-211). CEPR Press. https://cepr.org/publications/books-and-reports/peace-not-pollution-how-going-green-can-tackle-climate-change-and

Bistline, J., Blanford, G., Brown, M., Burtraw, D., Domeshek, M., Jamil Farbes, J., Fawcett, A., Hamilton, A., Jenkins, J., Jones, R., King, B., Kolus, H., Larsen, J., Levin, A., Mahajan, M., Marcy, C., Mayfield, E., Mcfarland, J., Mcjeon, H., Orvis, R., Patankar, N., Rennert, K., Roney, C., Roy, N., Schivley, G., Steinberg, D., Victor, N., Wenzel, S., Weyant, J., Wiser, R., Yuan, M., & Zhao, A. (2023). Emissions and energy impacts of the Inflation Reduction Act. *Science*, *380*(6652), 1324-1327.

BloombergNEF. (2024). China's Clean-Tech Dominance Grows Despite Onshoring Push. *Bloomberg*.

Boer, L., Pescatori, A., & Stuermer, M. (2021). *Energy Transition Metals* (IMF Working Papers No. 21/243). International Monetary Fund.

Bogmans, C., Pescatori, A., & Prifti, E. (2023). *The Impact of Climate Policy on Oil and Gas Investment: Evidence from Firm-Level Data* (IMF Working Paper No. 23/140). International Monetary Fund.

Calvo, G., Mudd, G., Valero, A., & Valero, A. (2016). Decreasing ore grades in global metallic mining: a theoretical issue or a global reality? *Resources*, *5*(4), 1-14.

Chester, L. (2010). Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature. *Energy Policy*, *38*(2), 887-895.

Evenett, S., Jakubik, A., Martín, F., & Ruta, M. (2024). *The Return of Industrial Policy in Data* (IMF Working Paper No. 2024/001). International Monetary Fund.

FMI. (2023). Geopolitics and Financial Fragmentation: Implications for Macro Financial Stability. In *Global Financial Stability Report: Safeguarding Financial Stability amid High Inflation and Geopolitical Risks* (pp. 81-101). International Monetary Fund.

Galbraith, J. K. (2023). *The Gift of Sanctions: An Analysis of Assessments of the Russian Economy, 2022 – 2023* (Institute for New Economic Thinking Working Paper Series No. 204).

Grasso, V. B. (2013). *Rare Earth Elements in National Defense: Background, Oversight Issues, and Options for Congress*. CRS Report, R41744. Congressional Research Service.

IEA. (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. International Energy Agency.

IEA. (2023a). *Renewables 2023*. International Energy Agency.

IEA. (2023b). *Total Demand for Selected Minerals by End Use in the Net Zero Scenario, 2021-2050*. International Energy Agency.

IRENA. (2023). *World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5 ºC Pathway*, *1*. International Renewable Energy Agency.

Javorcik, B., Kitzmüller, L., Mathew, S., Schweiger, H., & Wang, X. (2023). *The green transition and geopolitical tensions*. CEPR. https://cepr.org/voxeu/columns/green-transition-and-geopolitical-tensions

Kim, J., Panton, A., & Schwerhoff, G. (2024). *Energy security and the green transition* (IMF Working Paper No. 2024/006). International Monetary Fund.

McKinsey & Company. (2022). *The raw-materials challenge: How the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition*.

Reuters. (2024, April 23). *China can't quit coal by 2040, researchers say, despite global climate goals*. https://www.reuters.com/world/china/china-cant-quit-coal-by-2040-researchers-say-despite-global-climate-goals-2024-04-23/

Schmidt, T. S., Steffen, B., Egli, F., Pahle, M., Tietjen, O., & Edenhofer, O. (2019). Adverse Effects of Rising Interest Rates on Sustainable Energy Transitions. *Nature Sustainability*, *2*(9), 879-885. https://doi.org/10.1038/s41893-019-0375-2

Sullivan, J. (16 de septiembre de 2022). *Palabras del Asesor de Seguridad Nacional Jake Sullivan en la Cumbre Global de Tecnologías Emergentes del Proyecto Especial de Estudios Competitivos*. https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2022/09/16/remarks-by-national-security-advisor-jake-sullivan-at-the-special-competitive-studies-project-global-emerging-technologies-summit/

The Economist. (2023, September 11). How to avoid a green-metals crunch. *The Economist*.

Yergin, D. (2006). *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power*. Free Press.