

LA CADENA DE SUMINISTRO DE TIERRAS RARAS EN LA AGENDA GEOESTRATÉGICA MUNDIAL

Por **SUSANA B. GARCÍA**



Palabras Clave:

- > Cadena de suministro
- > Tecnología
- > Recursos naturales
- > Minerales
- > Energía eólica

Introducción

La pandemia Covid-19 y la Guerra en Ucrania, los dos acontecimientos de mayor impacto mundial en la segunda década del siglo XXI han reinstalado dilemas geoestratégicos de antigua data.

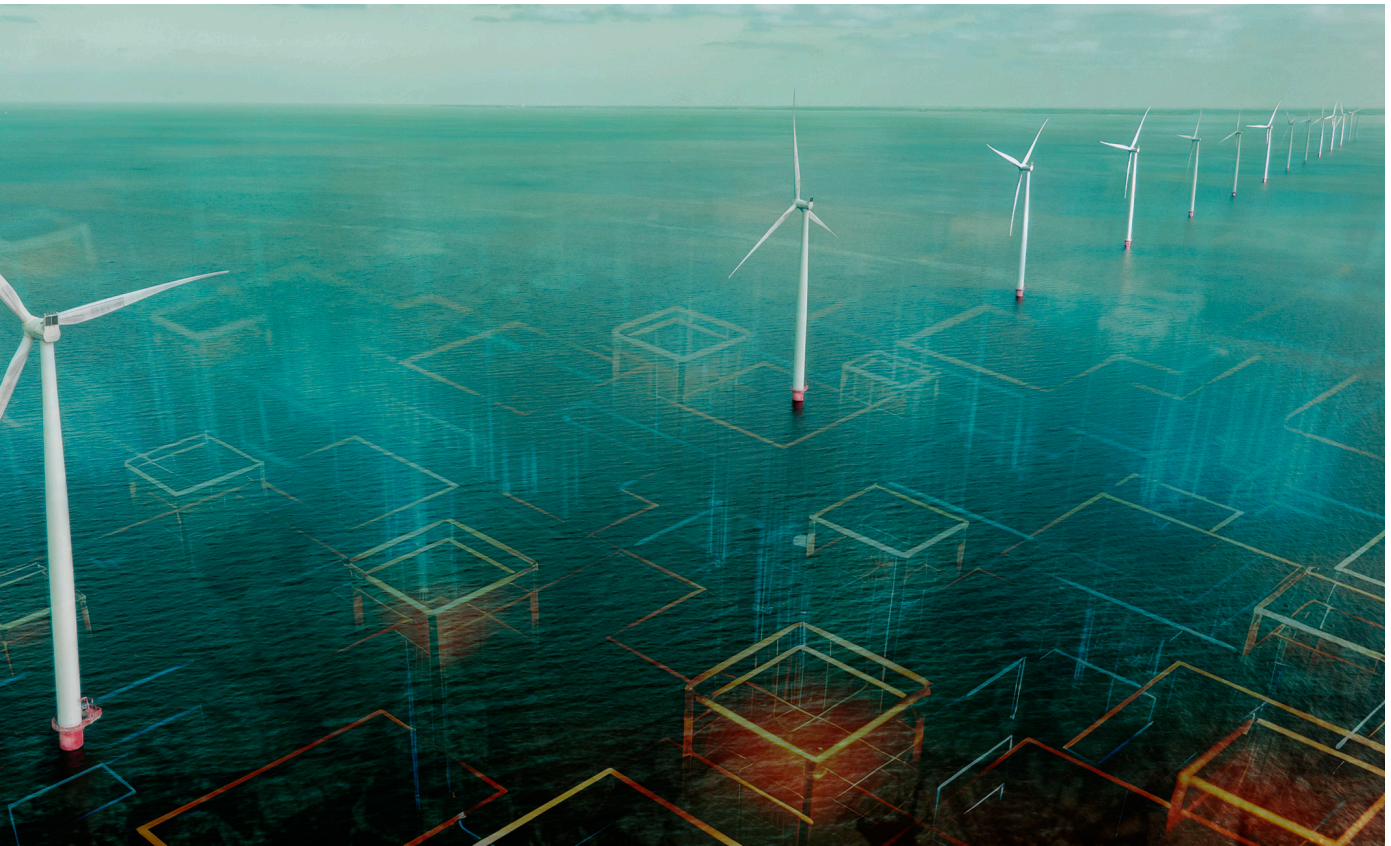
La incertidumbre durante el desarrollo de la pandemia, así como las tensiones internacionales derivadas de la invasión rusa a Ucrania, impactaron en el escenario mundial de diversa manera. Uno de los efectos masivamente percibidos en el sector industrial fue la afectación a la cadena global de suministro de materiales críticos. La producción de elementos biomédicos, de tecnologías de la información, alimentos y energía resultó gravemente perjudicada por interrupciones en

el suministro de materias primas provenientes de los principales actores involucrados.

Sus consecuencias aún no han sido subsanadas, la desconfianza y el temor al desabastecimiento de materiales críticos persisten. El mundo industrializado se encuentra buscando alternativas a las fuentes tradicionales, reforzando alianzas o iniciando acciones unilaterales que aseguren la provisión de insumos que perciben como críticos para sus respectivos objetivos estratégicos de desarrollo tecnológico.

En este sentido, las tecnologías facilitadoras de la transición energética constituyen en la actualidad un área de interés internacional donde se puede observar el impacto de la falta de resiliencia mencionada

✓ ARTÍCULO CON REFERATO



como los intentos de encontrar canales alternativos a los proveedores tradicionales.

En el centro de esta problemática se ubican los Elementos de Tierras Raras (REE, por su sigla en inglés), imprescindibles para mantener y avanzar en los niveles de desarrollo científico y tecnológico alcanzados. Estos minerales han estado presentes en la agenda geoestratégica de Estados Unidos, la Unión Europea (UE) y Japón desde 2010, cuando China frenó las exportaciones de REE a Japón por una disputa territorial. Ese incidente hizo evidente el dominio chino sobre casi toda la cadena de abastecimiento de REE y su relación con sus aspiraciones de competencia tecnológica e industrial.

Los esfuerzos de diversificación

de fuentes de suministro de estos materiales enfrentan diversas dificultades. La producción de REE concentrada en China, fuertemente respaldada por subsidios del gobierno con laxos marcos impositivos y regulatorios medioambientales para las empresas locales son un obstáculo para la competitividad de Occidente. Otras dificultades son la localización de las reservas y la lentitud propia del proceso de exploración y explotación de nuevos sitios de minería que, en Occidente pueden insumir entre una y dos décadas antes de estar operativos¹. Además la cadena de suministro no concluye con la extracción, sino que incluye otras actividades como concentración, separación, aleación, reciclado y procesamiento; cada una con

sus propios desafíos económicos y medioambientales.

Amparados en el Acuerdo de París y ante este panorama de riesgo, EEUU y otros países no sólo intensifican sus acciones o intenciones de asegurar una provisión continua de REE para sus industrias de alta tecnología (defensa, TIC y energías renovables), sino que han derivado también su interés estratégico a la Minería de Fondos Oceánicos.

“Nos preocupa que algunos minerales críticos puedan ser objeto de manipulación como hemos visto en otras áreas, o que incluso lleguen a ser militarizados. Creo que es saludable, desde una perspectiva de seguridad nacional,

1. Umbach 2020

Amparados en el Acuerdo de París y ante este panorama de riesgo, EEUU y otros países no sólo intensifican sus acciones o intenciones de asegurar una provisión continua de Tierras Raras para sus industrias de alta tecnología (defensa, TIC y energías renovables), sino que han derivado también su interés estratégico a la Minería de Fondos Oceánicos.

que nuestras naciones diversifiquen la cadena de suministro para poder asegurar que estos minerales estarán disponibles para alcanzar la ansiada meta de carbono cero". Jennifer Granholm, Secretaria de Energía, EEUU.

Dos tecnologías claves para la transición energética

En 2050 las energías renovables experimentarán un aumento del 86% en la matriz global para satisfacer las demandas del Acuerdo de París. Nuevas políticas y marcos regulatorios facilitadores han surgido en diferentes regiones del planeta como respuesta a los compromisos de descarbonización. La transición destinada a dar respuesta en términos energéticos al impacto negativo del

cambio climático se concretará en base a dos tecnologías: los Vehículos Eléctricos y los Aerogeneradores Eólicos.²

En marzo 2023 el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) presentó su VI Informe, donde consta que los esfuerzos para reducir los gases de efecto invernadero (GEI) aún no son suficientes para alcanzar la ambiciosa meta del Acuerdo de París. La ventana de oportunidad se está cerrando, pero destacan el potencial de mitigación de las tecnologías mencionadas.

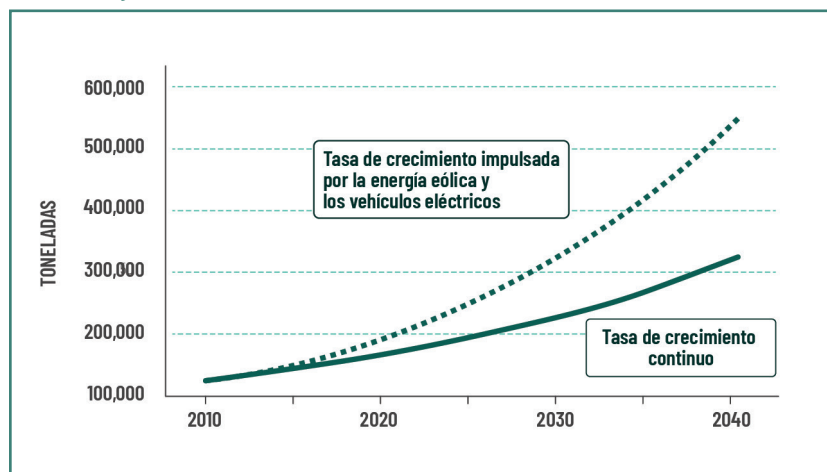
Sin embargo su producción, enlazada a la dependencia de China y a una cadena no resiliente de suministro de REE esenciales, está generando una creciente preo-

cupación internacional. En 2017 China produjo el 81% de REE que consumieron estas tecnologías. La provisión de este recurso puede estar en riesgo, a medida que aumentan las tensiones geopolíticas con el país asiático, afectando un total de productos valuados en 1 billón de dólares. El apetito internacional por los REE augura proyecciones de aumento en la demanda, impulsado por el interés económico de ambos sectores industriales. (Fig. 1)

Ambas tecnologías emplean imanes permanentes (IP) para la generación de energía. Históricamente su fabricación recurrió a minerales como la Magnetita y aleaciones industriales de cerámica (Alnico y Ferrita)³ hasta que se incorporaron los REE en los años. El desarrollo tecnológico alcanzado ha permitido reducir costos y aumentar la performance de estos dispositivos, convirtiendo a los imanes permanentes de REE (IP REE) en el núcleo de las industrias automotriz y eólica, entre otras⁴.

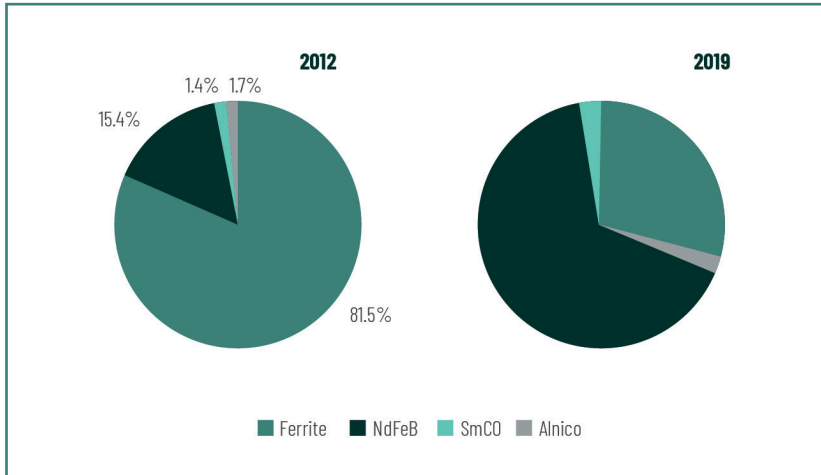
En 2018 los sistemas Imanes Permanentes REE (con el compuesto NdFeB⁵) desplazaron a los compuestos de cerámica, (Fig. 2) fortaleciendo la posición de China en el mercado. China dominaba el 70% de la producción de IP REE a nivel global⁶. En 2022, estos sistemas cubrían el 80 % de la demanda y se invirtieron 3.800 millones de dólares en óxidos NdFeB para su fabricación⁷. En 2035

FIGURA 1. Proyección de la Demanda Global de Elementos de Tierras Raras



Fuente: Geopolitical Intelligence Service (GIS), 2018

FIGURA 2. Mercado de Sistemas IP según su composición entre 2012 y 2019



Fuente: Transparency Market Research (2012) y Grandview Research (2019)

esta cifra ascenderá a 35 mil millones de dólares.

China es el mayor productor, pero su disponibilidad a exportar el compuesto NdFeB puede reducirse o interrumpirse por completo para atender su demanda interna, que hoy absorbe el 70% de la producción. Esto podría generar un estado de escasez de este compuesto en 2035.

A pesar de estos pronósticos, los sectores tecnológicos involucrados no están respondiendo de la misma manera. Mientras las automotrices intensifican sus esfuerzos por reducir y/o eliminar la dependencia con los REE de China, la industria de

energía eólica se apoya en la disponibilidad tecnológica de los sistemas IP REE para proyectar más aerogeneradores eólicos.

En 2018 Toyota desarrolló un nuevo IP con 50% menos de REE (Terbio o Disprobio). Volvo Car AB y Nixon Magnetics Inc. participan en un proyecto financiado por el Departamento de Energía de EEUU, para desarrollar IP libres de REE con tecnología basada en Nitruro de Hierro. En 2023 Tesla anunció una nueva línea de motores sin IP REE.

En el sector de la energía eólica, en cambio, el escenario presenta nuevos conglomerados corporativos invirtiendo en proyectos *onshore* y

offshore, cifra que podrá llegar a 13 billones de dólares en 2030, según Bloomberg. Otras consultoras⁸ pronosticaron una tasa de crecimiento del mercado global de energía eólica del 10% entre el 2020 y 2027. Con una valorización de 62 mil millones de dólares en 2019, en 2021 ese valor se duplicó y en 2027 podrían alcanzar los 180 mil millones de dólares.

Las instalaciones *offshore* se encuentran en amplia expansión en relación con sus pares en tierra (*onshore*), dada la mayor eficiencia y disponibilidad que ofrecen para su ubicación geográfica. Nuevos avances tecnológicos en la estructura, como la base “*Twisted Jacket*” del consorcio británico *Smart Wind* y rotores de mayor potencia en las turbinas eólicas facilitan esta expansión⁹. (Fig. 3)

Según *Polaris Market Research*, en 2021 el mercado global *offshore* alcanzó los 33 mil millones de dólares y crecerá al 12% hasta 2030. La

2. IRENA 2023

3. La Magnetita es un mineral del grupo de los óxidos (Óxido de Hierro), el Alnico es una aleación a base de Hierro, Aluminio, Niquel y Cobre y la Ferrite es un material cerámico compuesto por Hierro, Boro y Bario, Estroncio o Molibdeno.

4. Pérez Alcázar 2016

5. El compuesto NdFeB es un óxido que contiene REE Neodimio, Hierro y Boro

6. Edmonson, Gear 2020

7. Grandview Research y Adams Intelligence.

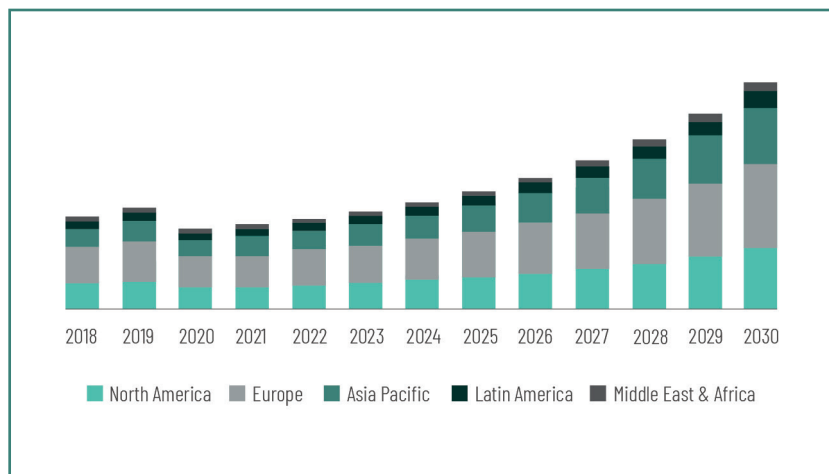
8. Global Market Insights, y Allied Market Research

9. Desai 2018

FIGURA 3. Nuevos avances en Aerogeneradores



FIGURA 4. Mercado de Energía Eólica 2018-2030 en miles de millones de dólares



Fuente: Polaris Market Research Analysis

tendencia futura estará liderada por las instalaciones flotantes *offshore* en el mercado de Asia-Pacífico, de la mano de China, India y Japón. China es el líder indiscutido en el sector, aportando más del 40% de la capacidad de energía eólica *offshore* (Fig. 4). Estas proyecciones dependerán de la disponibilidad que el sector industrial tenga de Imanes de REE.

Europa: retrato de una cadena de suministro no resiliente

Desde principios del siglo XXI, la Unión Europea (UE) aspira a convertirse en líder mundial en energías renovables con una economía libre

de emisiones GEI en 2050 y dominar el mercado de tecnologías aplicadas a este sector, posición que había alcanzado en 2016 y que explica el crecimiento del sector (Fig. 5A y 5B).

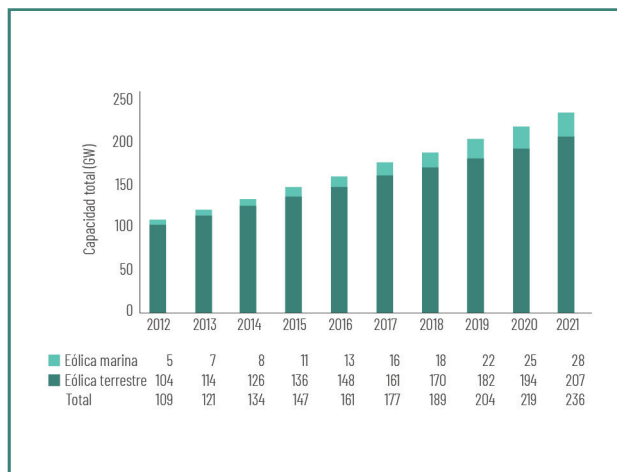
El uso y producción de energía generan el 75% de las emisiones GEI en Europa, por lo que el objetivo intermedio era que en 2030 las renovables representen el 40 % de la energía consumida. Para ello, cada uno de los países miembros debería instalar 32 GW/año de energía eólica. Desde 2010 la producción europea registró un aumento del 35% por año, alcanzando 437 TWh en 2021, equivalente al 15% de su

demanda energética. El 13% de la misma fue aportada por la eólica *offshore* del Reino Unido, Suecia, Alemania, Turquía y Países Bajos. En 2022-2026 la UE preveía registrar un crecimiento promedio del 17,6%, manteniendo Alemania, España y Reino Unido su posición de principales aportantes¹⁰.

En cuanto a la producción de componentes para sistemas eólicos, la UE en 2021 tenía una posición dominante (41%), seguida por China (23%) y Estados Unidos (12%) (Fig. 6). Casi 4000 empresas europeas daban sostén a la cadena de abastecimiento. España, Alemania y Dinamarca aglutinaban los principales núcleos productivos de componentes. Sin embargo casi todos los fabricantes europeos debían recurrir a la tercerización para los generadores con IP REE¹¹.

El conflicto de Ucrania aceleró los esfuerzos de energía eólica, particularmente después que Rusia interrumpiera el suministro de gas natural. En 2023 la reducción en la provisión de gas ruso podría superar los 25 mil millones de metros cúbicos (equivalentes al 7% de su consumo total¹²). En 2021 el 98% de las importaciones de REE en la Unión Europea provenían de China. El *Bank of America* había anticipado que los riesgos asociados al suministro de

FIGURA 5A. Crecimiento de Energía Eólica en UE 2012-2021



Fuente: Iberdrola en base a datos de WindEurope

FIGURA 5B. Nuevas Instalaciones Eólicas en UE 2012-2021



El uso y producción de energía generan el 75% de las emisiones de gases de efecto invernaderos en Europa, por lo que el objetivo intermedio era que en 2030 las renovables representen el 40 % de la energía consumida.

materias primas continuarían durante el 2023, impactándola gravemente en el margen de beneficios de este sector industrial. Este año UE anuncia 15 nuevos GW de potencia eólica, pero esta meta se encuentra en riesgo dada la delicada situación de los principales actores industriales frente al alza del precio de las materias primas y los cuellos de botella en la cadena de suministro.

La danesa *Vestas Wind Systems*, principal fabricante mundial de aerogeneradores acumuló pérdidas por 1.500 millones de dólares en 2022, por primera vez en una década. En igual situación se encuentra su subsidiaria *MHI Vestas*, que ocupa el segundo lugar en UE (30% del mercado). Las pérdidas de *General Electric Renewable Energy*, uno de los más importantes fabricantes de turbinas en EEUU y UE, superaron los 2.000 millones de dólares.

La empresa española *Siemens Gamesa Renewable Energy*, el segundo fabricante eólico del mundo y líder del mercado europeo, acumulaba el 68% de la producción de estas turbinas¹³ en 2020. Sin embargo, la falta de suministros y materias primas están haciendo tambalear al gigante europeo de la industria eólica. En 2022 sus pérdidas llegaron a 1.000 millones de dólares y en el primer trimestre 2023 a 800 millones de dólares, prácticamente el doble que el mismo período en 2022. La crisis que atraviesa el conglomerado germano español impacta directamente

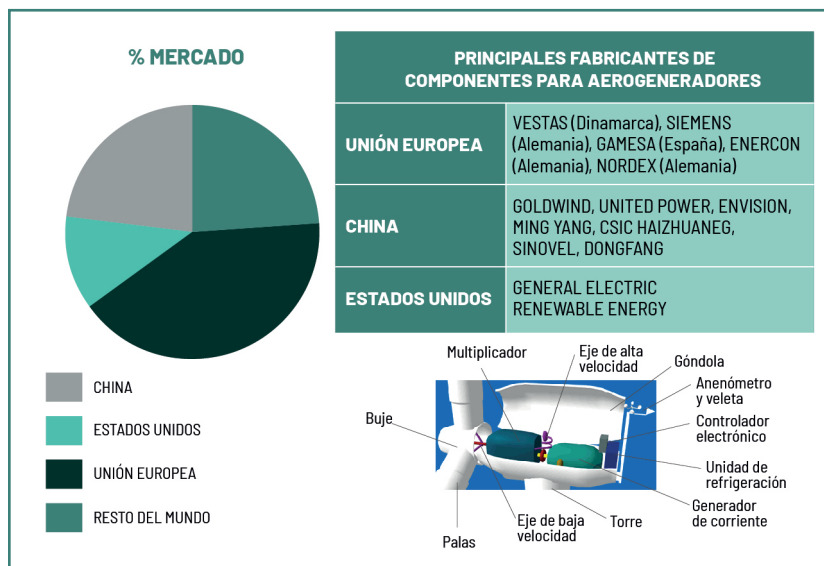
en las ambiciones españolas. La energía eólica representa el 23% de toda la generación eléctrica que se produce en ese país (1.260 parques eólicos con 2.800W de potencia instalada). Con un nivel de madurez aceptable en potencia instalada, ocupa la quinta posición a nivel mundial detrás de China, EEUU, Alemania e India. En los últimos años el sector dirigió sus esfuerzos a la energía eólica marina flotante. De las 27 soluciones flotantes que existen a escala global, 7 corresponden a patentes españolas y 11 de los 13 parques flotantes que operan en el mundo son de manufactura española. El gobierno espera instalar

hasta 3GW de energía eólica marina flotante antes de 2030.

En 2022 el gobierno británico anunció también su pretensión de alcanzar 50GW de potencia eólica *offshore* en 2030. Este país ya posee 13 GW en sitios *offshore*, una capacidad que casi duplica la de Alemania (8GW) y representa la mitad que toda Europa (30 GW). Algunos expertos señalan que los británicos necesitarán fabricar 2.600 turbinas para

- 10. WindEurope 2021
- 11. Magagna et al 2017
- 12. IRENA 2022
- 13. Statista - Market Share of leading Offshore wind turbine manufacturers in Europe 2020.

FIGURA 6. Mercado de la Oferta Global de Sistemas de Energía Eólica



Fuente: Elaboración Propia con datos de la Comisión Europea 2017 y Thales España

El conflicto de Ucrania aceleró los esfuerzos de energía eólica, particularmente después de que Rusia interrumpiera el suministro de gas natural. En 2023 la reducción en la provisión de gas ruso podría superar los 25 mil millones de metros cúbicos (equivalentes al 7% de su consumo total).

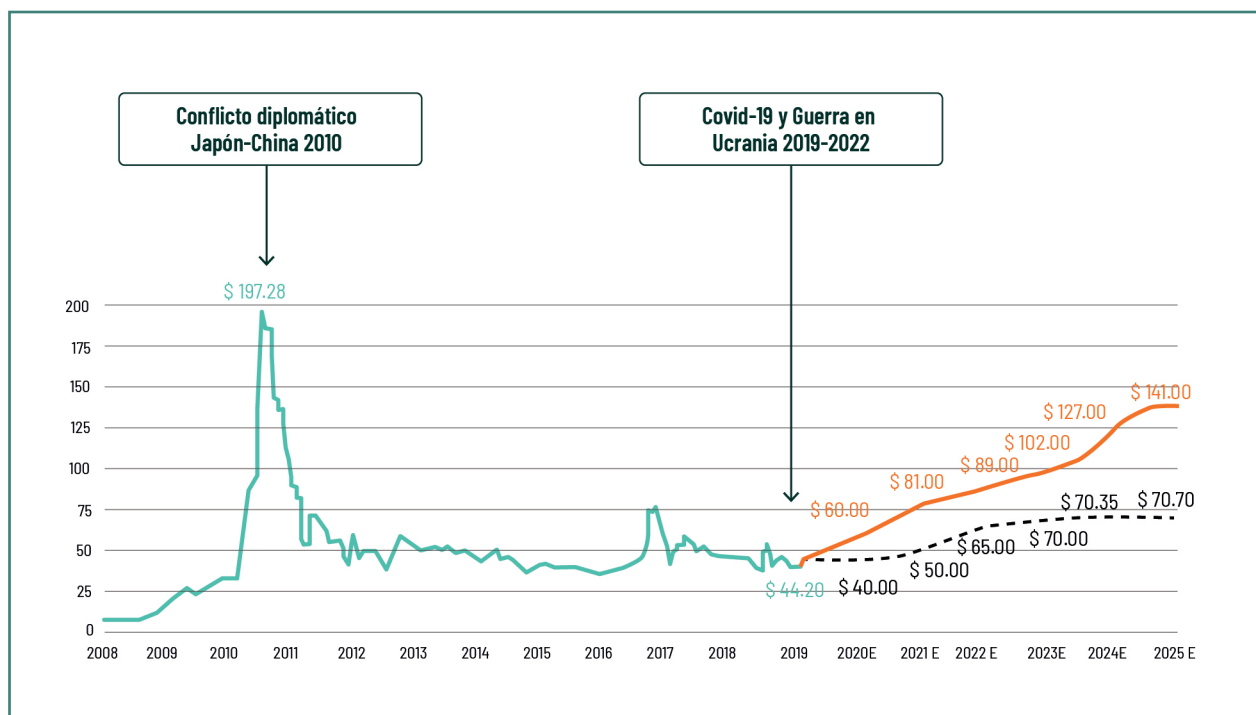
cumplir la meta de 2030. Estos planes también se verán afectados por la vulnerabilidad e inestabilidad de la cadena de suministro, ya que el 80% de la capacidad instalada en el Reino Unido es propiedad de empresas extranjeras, principalmente *Siemens Gamesa*, la danesa *Orsted* y la noruega *Equinor*. El gobierno pretende que en 2030 el 60% del valor de las inversiones requeridas recaigan en futuros proveedores británicos.

Los elementos de tierras raras (REE) esenciales para la energía eólica
 Los elementos de tierras raras (REE) se han ganado el mote de “vitaminas de la Industria” debido a su relevancia para sectores industriales críticos. Se encuentran de manera abundante en la corteza terrestre, salvo el Prometio que no supera el kilogramo, y hoy sólo puede obtenerse artificialmente en reactores nucleares, como resultante de la fusión de Uranio,

Torio y Plutonio¹⁴. Los restantes 16 REE son tan abundantes como el Cromo, Níquel, Cobre o Zinc y superan la concentración de otros metales como el Oro y el Platino. (Haxel 2002)

“La manera rápida de comprender su importancia es que si nuestra sociedad de alta tecnología no tuviera los elementos de las tierras raras, no sería de alta tecnología”. Ricardo Prego Reboredo, Investigador

FIGURA 7. Precio/Kilogramo Histórico de NdPr y pronósticos al 2025. (Euros)



Fuente: Elaboración Propia en base a Bloomberg Management CRU

Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España.

La industria internacional de alta tecnología es abastecida de REE a partir de dos fuentes principales: los depósitos minerales REE (REM) y los depósitos de un tipo de arcilla denominada “*Ionic Adsorption Clay*” (IAC). Los depósitos REM con elevados contenidos de REE como Bastnásita, Monacita y Xenotima están distribuidos alrededor del mundo, pero requieren procesos hidrometalúrgicos costosos y agresivos al medioambiente. Los depósitos IAC presentan una menor concentración de REE (entre 0.05 – 0,3% de óxidos REE) pero su proceso de extracción no es muy complejo, por lo que impacta favorablemente en el costo. Además, contienen una variedad mayor de REE, particularmente en REE pesados (40%), pero la mayoría de ellos están ubicados en el sur de China y concentran el 80% de REE pesados. Esto coloca a China en una situación de privilegio, pues satisface más del 60% de la demanda internacional de REE¹⁵.

En 2030 las tecnologías verdes necesitarán una producción de 150 mil toneladas de IP, cuya tercera parte está constituida por REE para abastecer la demanda global. Los imanes de NdFeB son los más disponibles en términos de costo

beneficio, siempre que la actividad minera mantenga flujos continuos de producción. Según Bloomberg, el irregular abastecimiento a la industria como el aumento de la demanda provocarán incrementos de su valor en el mercado en los próximos años (Fig. 7). Existe un segundo tipo de IP REE con una aleación de Samario y Cobalto (SmCo) pero sus específicas aplicaciones como satélites, sensores magnéticos y propulsión aeroespacial hacen que su costo sea más elevado. Todos los IP REE tienen también una fuerte demanda en aplicaciones avanzadas de uso militar, lo que eleva la importancia geopolítica de esta cadena de suministro¹⁶.

Su fabricación depende principalmente de dos REE livianos, Neodimio (Nd) y Praseodimio (Pr) y su obtención impulsa la mayoría de los proyectos de extracción de REE en desarrollo. La mina *Baiyun Ebo* concentra casi la mitad de la producción global en REE con reservas estimadas en 40 MT. También requieren dos REE pesados, Disprosio (Dy) y Terbio (Tb). China domina el 100% de la provisión refinada de DyTb, conocidos como “imanes de uso militar” debido a su inclusión en sistemas de armas sofisticados (misiles, aviones de combate y drones)¹⁷. Estos son los cuatro elementos que busca el mundo industrializado.

El empleo de IP REE en aerogeneradores offshore se generalizó a partir de 2005, por su densidad de alta potencia, tamaño reducido y elevada eficiencia. A fines de la década pasada equipaban el 95% de estos sistemas en Europa y el 80% a nivel mundial¹⁸. Esta situación no es tan crítica para sus contrapartes *onshore*, donde se evalúan opciones como motores sincrónicos multipolo o generadores basados en superconductores.¹⁹

China controla casi todos los nodos de la cadena de abastecimiento de IP REE: 85% de la producción global de REE refinados a partir de la minería de concentrados en su territorio y de importaciones; 87% del mercado de IP de óxido NdFeB y tiene el control total de la fabricación de IP NdFeB sinterizados que se emplean para las tecnologías verdes. (Fig. 8).

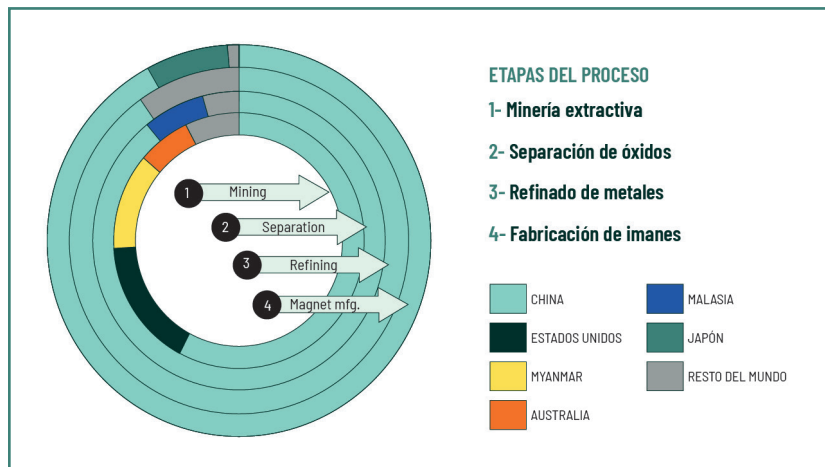
El dilema de Occidente: neutralizar la dependencia china

“China no se siente obligado a ser el proveedor de tierras raras para el mundo” (Lin Boqiang, Director del Centro de Economía de la Energía, China.)

Si los REE constituyen una parte esencial en la producción de tecnologías de carbono neutro, los países que desean avanzar en la meta del Acuerdo de París y ubicarse entre los principales actores de las energías renovables, principalmente la eólica, deberán asegurar su cadena de abastecimiento.

Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por su sigla en inglés), existen 130 millones de toneladas (MT) de reservas concentradas sobre los territorios de los principales productores como China (44 MT) y Rusia (22 MT). Vietnam y Brasil concentran otras 22 MT cada uno, pero su producción es menor a 500 MT. Australia ocupa el quinto

FIGURA 8. Cadena Global de Suministro de IP REE.



Fuente: Departamento de Energía de EEUU

14. Xu Feng 2020
 15. Ibidem
 16. Gielen 2022
 17. Alves Dias et al 2020
 18. Carrara 2020
 19. (X. Song et al, 2020).

lugar en reservas (4,2 MT) y es el tercer país con mayor actividad de minería (18.000 MT en 2022). **En ese universo 32 MT REE son esenciales para las tecnologías verdes, pero sólo 1,6% se encuentran fuera de China.** (EEUU, Australia, Tanzania y Groenlandia.)

Para EEUU esta situación es una cuestión de seguridad nacional. En materia de minerales críticos, aquellos que sostienen su potencial económico, tecnológico y militar, EEUU ejercerá la opción de reducir al máximo posible la dependencia de sus adversarios. Así surge de las Ordenes Ejecutivas 13953/20 y 14017/21 de los presidentes D. Trump y J. Biden respectivamente, quienes coincidieron en definir su postura frente a sus dos principales contendientes: Rusia y China. Biden, además, autorizó a expandir la extracción de REE en su territorio en junio 2022.

La producción local de concen-

trados de minerales, compuestos y metales mantiene una tendencia en alza desde 2018, alcanzando las 43.000 toneladas de concentrados en 2022, principalmente de la mina *Mountain Pass*. Ese mismo año EEUU importó REE por 200 millones de dólares (25% más que en 2021). Las importaciones de concentrados y minerales provienen de China (74%), Malasia (8%), Estonia (5%) y Japón (5%). Pero estos dos últimos producen óxidos de REE también provenientes de China.

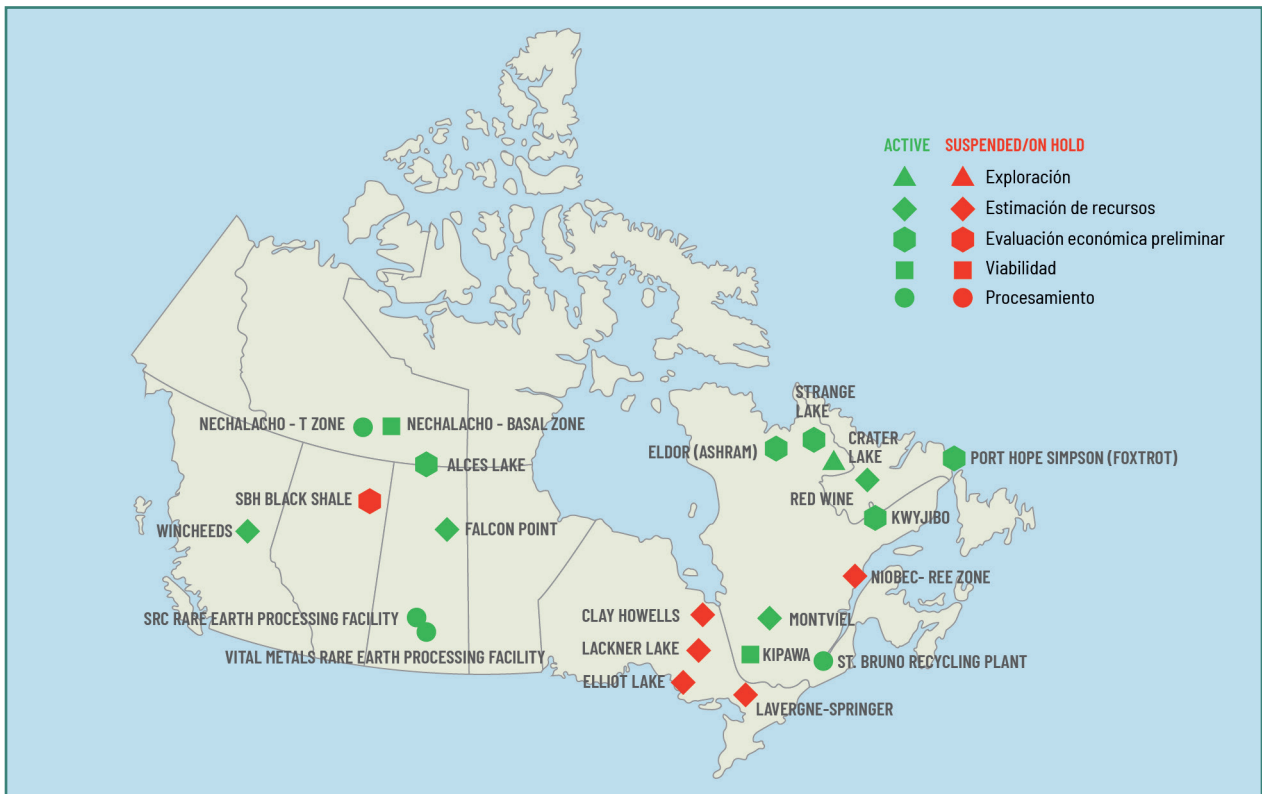
Dos empresas estadounidenses intentan restaurar la cadena de abastecimiento local. *MP Materials* construye la primera planta de IP REE en Texas, que estará operativa en 2025 con material de *Mountain Pass*. En 2021 *Energy Fuels* se convirtió en la primera empresa de Estados Unidos proveedora de carbonato de mezcla de REE a partir de Monacita extraída en Georgia, pero la fase de separación aún se

realiza en Estonia. En 2023 adquirió 17 concesiones mineras en Bahía, Brasil para extraer REE. Finalmente, el Departamento de Defensa de EEUU acordó con la australiana *Lynas*, principal productor de óxido fuera de China, la construcción de un sitio de separación de REE pesados y livianos en Texas que estará operativo en 2025.

Canadá es el principal candidato para responder a la demanda de EEUU y Australia. Aún no produce REE, pero inició varios proyectos de exploración, especulando en llegar a producir 15 MT de óxido REE (Fig. 9). El gobierno de EEUU ofrece financiamiento a empresas mineras para participar en proyectos en Canadá mientras estrecha lazos con México.

Australia busca inversiones de aliados geopolíticos. En 2022 celebró un acuerdo con Corea del Sur (*Australian Strategic Minerals* y *Hyundai Eng*) para el Proyecto Extractivo Dubbo en *New South Wales*, donde

FIGURA 9. Proyectos Canadienses de Exploración Minera de REE



Si los Elementos de Tierras Raras constituyen una parte esencial en la producción de tecnologías de carbono neutro, los países que desean avanzar en la meta del Acuerdo de París y ubicarse entre los principales actores de las energías renovables, principalmente la eólica, deberán asegurar su cadena de abastecimiento.

existe un depósito polimetálico (REE livianos y pesados, Zirconio, Niobio y Hafnio) cuyo producido se refinará en Corea (*Korean Metals Plant*). Otras empresas (*Hastings Tech. Metals* y *Northern Australian Infrastructure Facility*) recibieron fondos estatales destinados a minería y nuevas plantas de separación y procesamiento. Ionic RE, con una participación del 60%, construye en Uganda el Proyecto *Makuutu*, destinado a convertirse en productor global de óxidos de REE pesados. Este es uno de los dos depósitos IAC que acumulan el 98% de DyTb fuera de China. El otro es el Proyecto *Cachoeirinha* en Brasil, cuyo 70% de depósitos ricos

en Niobio y DyTb intenta adquirir la canadiense *Appia RE & Uranium Corp.*

Australia también redujo en 2020 un 70% las inversiones chinas en el sector minero. En febrero 2023 el gobierno negó al productor australiano *Northern Minerals* de REE pesados, autorización para que *Yuxiao Fund* de China aumentara su participación accionaria “por razones de interés nacional”.

“...la mayoría de los países no cuenta con una cadena de abastecimiento de REE sobre su territorio porque nadie quiere tener estas minas en su patio trasero...”

Lewis Black, CEO de *Almonty Ind.*, empresa minera de Canadá.

CV

SUSANA B. GARCÍA

Traductora Pública. Se desempeñó como Asesora en Ciencia y Tecnología en la Armada Argentina y el Ministerio de Defensa. Es Profesora en la Maestría de Inteligencia (UNLP) y en el Posgrado de Inteligencia Estratégica (UCA). Actualmente se desempeña como Consultora Independiente sobre Riesgos derivados de la Tecnología.

FIGURA 10. Minerales en Fondos Oceánicos



El interés estratégico del mundo industrializado está ahora en aguas internacionales. Durante una década grupos ambientalistas, el propio Parlamento Europeo, naciones del Pacífico (Papua Nueva Guinea y Fiji) y cientos de científicos solicitaron una moratoria hasta que exista conocimiento suficiente del impacto de la minería en el ecosistema de los fondos oceánicos.

El Reino Unido también se prepara. La empresa *Pensana* construye una planta de separación de REE para abastecer a la industria de energías renovables, que estará operativa en 2024 con una producción de 12 mil toneladas de Neodimio y Praseodimio. También incursiona en I+D (investigación y desarrollo) sobre alternativas a estos minerales críticos, en Cambridge trabajan en un nuevo material similar a la Tetraetita fabricado a partir del fósforo mún que permitirá su producción a escala sin técnicas costosas.

En resumen, la tendencia general del mercado occidental es incrementar su diversificación, pero quienes opten por dominar la fase de extracción y procesamiento en forma local deberán lidiar con los problemas medioambientales asociados a estas prácticas. En EEUU, la propia Secretaria de Interior, Deb Haaland, retiró en enero 2023 unas 100 mil hectáreas en Minnesota del Programa de Licitación de Minería y Leasing Geotérmico que impulsa Biden. La región, rica en Cobre y Níquel no podrá licitarse en los próximos 20 años por su impacto al ecosistema y en los derechos de los pueblos originarios.

La minería oceánica en una convulsionada agenda internacional

La complejidad geográfica y sociopolítica, las dificultades propias del proceso de extracción y separación de minerales, así como las exigencias

y contralor que existe sobre la actividad minera en Occidente pueden operar como incentivos para que diferentes actores ejerzan la opción de incursionar en la Minería Oceánica. Décadas de exploración demostraron la riqueza escondida en los fondos oceánicos de las Zonas Económicas Exclusivas (ZEE) y en aguas internacionales²⁰ (Fig. 10).

En ZEE, *Nautilus Minerals* fue el primer operador comercial que inició la exploración de REE, imitada luego por Alemania, Australia, Canadá, EEUU, Francia, Reino Unido y Rusia. En 2017 Japón extrajo DyTb o en su ZEE a una profundidad de 1.600 m y en 2020, la estatal *JOG&MN* extrajo 700 Kg de costras de ferromanganeso ricas en cobalto. En 2023 iniciará la exploración de REE a 6.000m en las Islas Ogasawara, previendo convocar a empresas privadas en 2028.

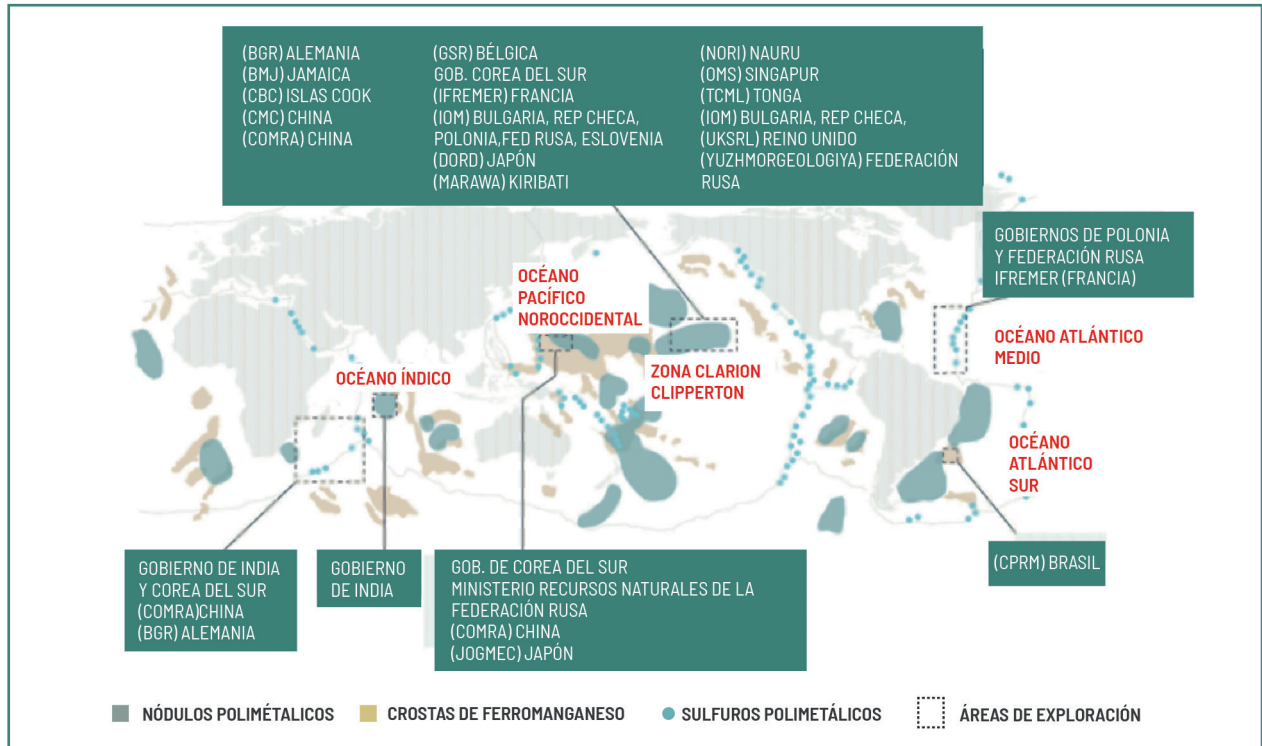
El interés estratégico del mundo industrializado está ahora en aguas internacionales. Durante una década grupos ambientalistas, el propio Parlamento Europeo, naciones del Pacífico (Papua Nueva Guinea y Fiji) y cientos de científicos solicitaron una moratoria hasta que exista conocimiento suficiente del impacto de la minería en el ecosistema de los fondos oceánicos. China misma abogaba entonces por un código internacional “preventivo”. A fines de 2022, el presidente de Francia solicitó que se prohibiera la minería oceánica. En 2023 Alemania, Costa Rica, Chile,

Nueva Zelanda, España y Países Bajos también se manifestaron en favor de una moratoria. Greenpeace aumenta la presión sobre los países que realizan tareas de exploración. Recientemente sus activistas protestaron frente al buque británico *James Cook* que ejecutaba tareas de exploración frente a Costa Rica.

Sin embargo, la Autoridad Internacional de Fondos Marinos (ISA) se prepara para otorgar permisos de minería sin todavía haber emitido las normas ni los estándares que garanticen la protección del ecosistema oceánico. En marzo 2023 emitió un borrador donde establece que, a partir del próximo 9 de julio, las empresas privadas podrán solicitar autorización para realizar actividades de minería en fondos oceánicos. En los días previos, circularon versiones de una lucha de poder al interior del organismo, entre su secretario general, el británico Michael Lodge y algunos miembros del Consejo Directivo. Diplomáticos de Alemania y Costa Rica declararon que Lodge ejerció presión sobre ellos para acelerar el inicio de la minería a escala industrial de los fondos oceánicos²¹. Cabe señalar que el actual secretario ejerce su cargo desde 2016 pero trabaja en ISA desde su creación hace 30 años.

“Los ambientalistas ven una oportunidad para ejercer presión sobre los gobiernos y potencialmente cerrar una nueva actividad en los océanos, antes de

FIGURA 11. Contratos adjudicados por ISA



Fuente: ISA

que se inicie...”, M. Lodge, Secretario General de la Autoridad internacional de Fondos Marinos, ISA. 2021.

En junio 2023 vence el plazo de ISA para regular la actividad minera, iniciado en junio 2021, cuando el gobierno de Nauru informó que *Nauru Resources* deseaba iniciar actividades de extracción en la zona Clarion-Clipperton en el Pacífico Norte. Ese mismo año surge *The Metals Company* (TMC) tras la fusión entre la canadiense *DeepGreen* y una empresa norteamericana de inversiones, *Sustainable Opportunities Acquisition Corp*, con especial interés en los sectores de energía y materias primas. La empresa de Nauru, subsidiaria entonces de *Deep Green*, especializada en la extracción de nódulos polimetálicos de los fondos marinos, fue entonces absorbida por TMC, quien se convirtió a partir de entonces en un actor determinante en el escenario de la Minería Oceánica.

“Creemos que el Secretario General está trabajando para asegurar que tanto ISA como sus estados miembros cumplan con sus responsabilidades legales... para aprobar todas las normas, reglamentos y procedimientos que permitan pasar a la fase de extracción” The Metals Company, 2021.

Desde su creación ISA ha otorgado 31 contratos de exploración en los océanos Pacífico, Atlántico e Índico a entes estatales y, desde 2010, a conglomerados de empresas interesadas en la minería de REE de los fondos oceánicos (Fig. 11). China, con cinco contratos, es quien lidera la *pole position*²².

La empresa TMC, con tres contratos de exploración, será la primera empresa autorizada para extraer minerales a escala industrial. En 2022 *The New York Times* informó que ISA compartió información interna privilegiada con TMC, facilitando la elección de una de las áreas más valiosas en el Pacífico para su explo-

tación. Con el respaldo del gobierno de Nauru, TMC prevé extraer 240 MT de material oceánico en las próximas dos décadas a partir del cuarto trimestre del 2024. La japonesa PAMCO se hará cargo de la fase de separación de los minerales.

Cabe señalar que el 80% de los océanos aún no han sido explorados, por lo que la obtención de ese conocimiento también será en una nueva arena de competencia internacional. (Fig. 12). La Carta Batimétrica Global de los Océanos (GEBCO) data

20. Cuyvers et al. 2018

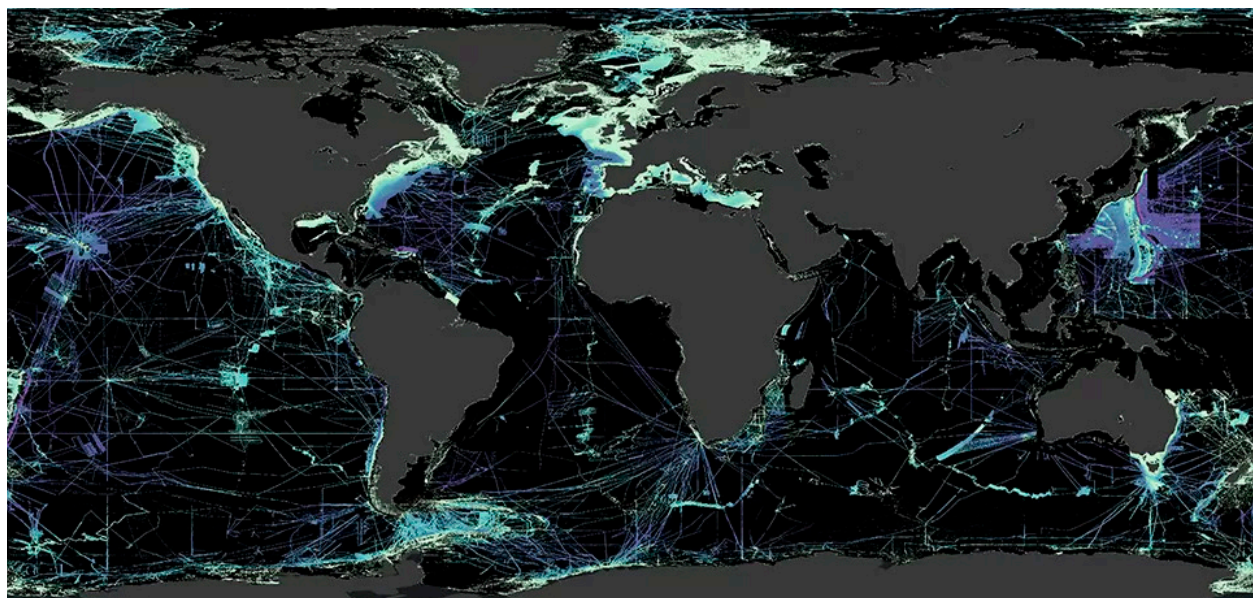
21. <https://www.nytimes.com/2023/03/19/us/politics/seabed-mining-metals-united-nations.html>

22. García 2021

23. La tecnología sonar es un sistema que utiliza ondas acústicas para detectar y localizar objetos bajo el agua. El término “sonar” es una abreviatura de “sound navigation and ranging” (navegación y medición por sonido). Esta tecnología se basa en la emisión de pulsos de sonido desde un transductor y la detección de los ecos que rebotan en los objetos en el agua.

24. ONG creada en 1962 para reconstruir la industria marítima de Japón después de la Segunda Guerra Mundial, hoy dedicada a financiar causas de “interés público”.

FIGURA 12. Proyecto Seabed 2030



de 1903. Hasta 2015 sólo se logró mapear 6% de la superficie oceánica con tecnología sonar²³. En 2017 se incorpora la japonesa *Nippon Foundation*²⁴ y surge el *Proyecto Seabed 2030 (Fondos Marinos 2030)* con el propósito de contar con un mapa batimétrico global de los océanos en 2030, cuyos datos se concentran en un único Centro Global con sede en el Reino Unido.

Esta dinámica incorporará nuevos actores, como la empresa estadounidense *Terradepth* y el consorcio angloamericano *Ocean Infinity*. La primera aspira a crear un mellizo digital de la superficie oceánica a partir de los datos obtenidos por sus vehículos submarinos autónomos (AUV) "Abraham". La segunda, con centros de control en EEUU, Reino Unido y Australia, desplegará buques robóticos que fabrica su subsidiaria *Armada* con el mismo fin, además de los AUV que recabaron datos geofísicos, geotécnicos y sísmicos frente a las costas de Angola en 2020.

Reflexiones finales

La vulnerabilidad de la cadena de suministro de REE para satisfacer la demanda de descarbonización

energética es sólo una arista del poliedro tecno-geo-económico que está impactando en la dinámica del sistema internacional. Una comprensión acabada exige recorrer todos y cada uno de los nodos de la actividad industrial de alta tecnología y conocer de manera fehaciente la disponibilidad de los recursos invo-

lucrados para poder determinar el grado de dependencia y la afectación que tendrán sobre las aspiraciones de desarrollo científico-tecnológico de cada uno de los actores.

Los recursos naturales han estado siempre presentes en las discusiones estratégicas de poder y desarrollo, así como el impacto negativo al



medioambiente que generan las actividades de extracción y procesamiento. Sin embargo, no todas las regiones del planeta han logrado priorizar la protección del ecosistema con un marco regulatorio eficaz en los ambientes marinos jurisdiccionales, que no superan el 40 % de la superficie total de los océanos. Por lo tanto, en aguas internacionales, no sería dable esperar que la gestión de ISA logre algún avance ni que otras iniciativas como Tratado de Alta Mar puedan frenar esta dinámica voraz por los REE.

El dominio que ejerce China no es un escollo que podrá salvarse en el corto plazo en el controvertido escenario de confrontación que ya existe con EEUU. En su rol de líder techno-

lógico, económico y militar, EEUU cierra filas con sus tradicionales aliados. Canadá y Australia refuerzan sus políticas con acciones concretas dentro y fuera de sus territorios mientras que el Reino Unido opera en la concentración de información sobre la riqueza oceánica y en el interior de la Autoridad Regulatoria Internacional.

El 2023 marcará un nuevo punto de inflexión en el controvertido tema de la extracción de minerales de los fondos oceánicos. La apetencia internacional, alimentada por la competencia tecnológica entre EEUU y China, por asegurar la cadena de abastecimiento de minerales críticos se traducirá en mayores presiones por parte de los países industrializa-

dos. Resulta innegable a esta altura la relevancia de los fondos marinos como fuentes alternativas de recursos críticos, especialmente de REE.

El mundo industrializado de alta tecnología parece haber encontrado en las tecnologías verdes un argumento viable para avanzar en otras áreas del planeta, donde se destacarán África y Latinoamérica por su vulnerabilidad estratégica. La transición a energías renovables está en evolución en todo el mundo y los defensores del medioambiente encontrarán serias dificultades para frenar la voracidad de Occidente por recursos críticos, que no se limitan al sector energético, sino que impactan en la esencia misma del poder tecnológico y militar. ■

BIBLIOGRAFÍA

Alves Dias, Patricia; "The Role of REE in Wind Energy & Electric Mobility: An Analysis of Future Supply/Demand Balances"; Cfr: EUR 30488 EN; Luxemburgo, 2020.

Carrara, Samuel; "Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system". Cfr: EUR 30095 EN; Luxemburgo, 2020

Cuyvers, L.; "Deep seabed mining: a rising environmental challenge"; IUCN-2018-029 EN; Gland, 2018

Desai Ravindra; "Efficacy of Twisted Jacket for Offshore Wind Turbine Foundation"; Makwana Krishna Arvind Journal; Issue 5; mayo 2018; 67-72

Edmonson J., Gear L.; "Electric Motors for Electric Vehicles 2022-2032"; IDTechEx Research; Cambridge; 2022

García, Susana; "Los Fondos Marinos y las Ambiciones tecnológicas de China en materia energética removable"; Cfr: Anuario 2021: Observatorio Estratégico de los mares de China, Escuela de Guerra Conjunta de las Fuerzas Armadas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires; pp. 88-96.

- Gielen, Dolf; "Critical Materials for Energy Transition: Rare Earth Elements"; Cfr: IRENA Technical Paper 2; 2022 *de batalla del futuro*. Retrieved

- GWEC; "Global Wind Report 2019"; Bruselas; 2020;

- Haxel, Gordon; "Rare Earth Elements. Critical Resources for High Technology"; Cfr: USGS Fact Sheet 087-02; 2002

- Intergovernmental Panel on Climate Change; "AR6 Synthesis Report of the IPCC VI Assessment Report". <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>; Acceso: 26 marzo 2023

- IRENA; "World Energy Transition Outlook 2023: 1.5°C Pathway", *International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi*; 2023

- Magagna, Davide; "Supply chain of renewable energy technologies in Europe - An analysis for wind, geothermal and ocean energy"; Cfr: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, EUR 28831 EN; Luxemburgo; 2017

- Perez Alcazar, Germán.A.; "Imanes Permanentes: Características,

aplicaciones y future". *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*: vol. 40(155), abril-junio 2016; 221-233

- Umbach, Frank; "The New "Rare Metal Age": New Challenges and Implications of Critical Raw Materials Supply Security in the 21ST Century"; *Rajaratnam School of International Studies*; Singapur; 2020. -

- Xiaowei Song; "Ground Testing of the World's First MW-Class Direct-Drive Superconducting Wind Turbine Generator"; Cfr: *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.35/2; junio 2020; pp 757-764

- Xu Feng; "A study of rare earth ion-adsorption clays: The speciation of rare earth elements on kaolinite at basic pH"; Cfr: *Applied Clay Science*, Vol 201; 2021-Poo, M.-m. (2016, November 2). *China Brain Project: Basic Neuroscience, Brain Diseases, and Brain-Inspired Computing. NeuroView*.

- WindEurope. "Wind energy in Europe: 2021 Statistics and the Outlook for 2022-2026; 2021