

INFORME DEL CONSEJO ASESOR CIENTÍFICO SOBRE MINERÍA DE FONDOS MARINOS



¿QUÉ ES LA MINERÍA DE FONDOS MARINOS?

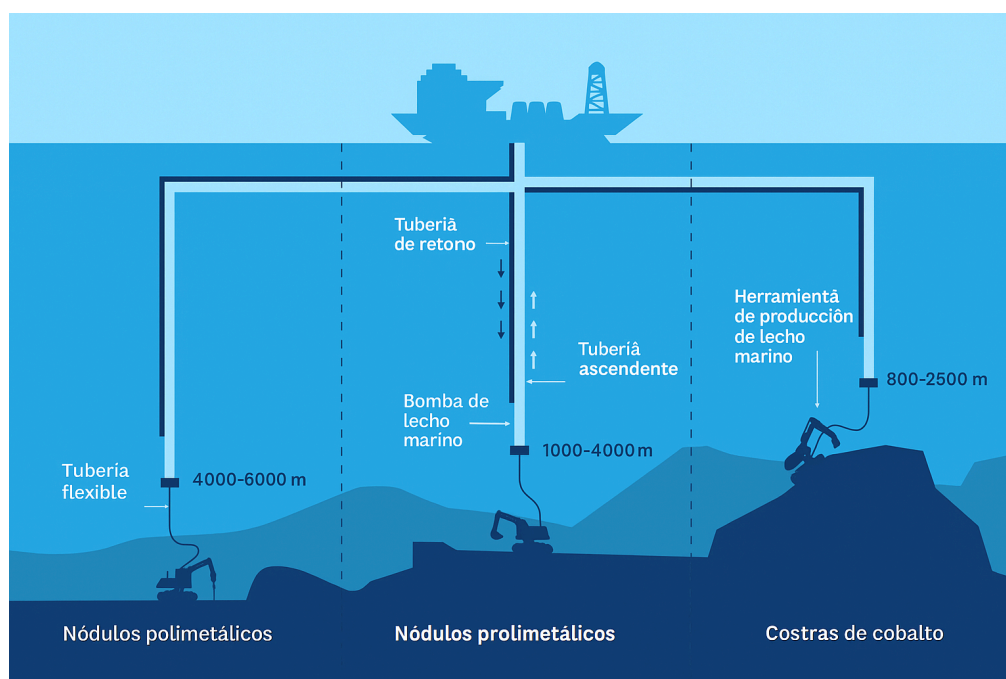
La Minería de Fondos Marinos (MFM)¹ se refiere a la práctica de explotación de depósitos minerales del lecho marino profundo (de 400 metros a 6,5 kilómetros por debajo del nivel del mar). Esta actividad se orienta principalmente hacia tres tipos de recursos: **(1) Nódulos polimetálicos**, que contienen manganeso, níquel, cobre, cobalto y pequeñas cantidades de minerales raros; **(2) Costras ricas en cobalto**, que contienen cobalto, manganeso, níquel, litio y minerales de tierras raras; y **(3) Sulfuros polimetálicos** que contienen cobre, zinc, plata y oro.² Si bien las tecnologías empleadas y los impactos ambientales varían entre cada tipo de recurso, todas las modalidades implican alguna forma de destrucción del lecho marino y descargas en las aguas circundantes.

Muchas tecnologías de energía con bajas emisiones de carbono dependen actualmente en gran medida del tipo de minerales que se encuentran en altas concentraciones en el lecho marino profundo. Así, la transición hacia energías renovables está impulsando una demanda creciente de estos recursos y podría acelerar los esfuerzos por expandir la MFM.³

Sin embargo, un creciente cuerpo de evidencia científica advierte que la MFM plantea riesgos significativos, tanto directos e indirectos, para los frágiles ecosistemas submarinos, con posibles impactos en la biodiversidad, la pesca, la calidad del agua y otros sistemas ecológicos conectados.⁴ Este informe proporciona una actualización sobre los desarrollos recientes, una evaluación de riesgos y una serie de consideraciones para el sistema de las Naciones Unidas en este ámbito.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE?

La minería de fondos marinos podría tener efectos de gran alcance, duraderos e irreversibles en los ecosistemas marinos, con implicaciones globales. Si la demanda de minerales críticos crece, es probable que aumenten las presiones para la MFM a gran escala.



¿CUÁLES SON LOS ÚLTIMOS DESARROLLOS?

Aunque la minería comercial en aguas profundas aún no ha comenzado, varios países han tomado medidas para regular la exploración y/o explotación en aguas nacionales.⁵ En 2022, las Islas Cook aprobaron tres permisos de exploración en su zona económica exclusiva, mientras que Japón comenzó a probar la extracción de tierras raras frente a sus costas en 2023 después de que se descubriera un yacimiento significativo.⁶ En enero de 2024, el Parlamento de Noruega aprobó una ley que permite la exploración de las profundidades marinas dentro de la zona económica exclusiva del país, pero el gobierno detuvo el proceso en noviembre de 2024 después de una fuerte presión pública y advertencias de algunos científicos.⁷ En los Estados Unidos de América, se presentó recientemente una legislación para apoyar las actividades de minería de fondos marinos, enfatizando la importancia estratégica de asegurar los minerales críticos necesarios para la transición energética.⁸ En contraste, en 2022 el Parlamento Europeo se comprometió a prohibir la MFM hasta que "se subsanen adecuadamente las lagunas científicas" y se garantice una protección efectiva del medio marino.⁹

También se están explorando operaciones de minería en la Zona, el lecho marino y el subsuelo más allá de la jurisdicción nacional, regulados por la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS) y bajo la autoridad de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA). A diciembre de 2024, la ISA ha emitido 31 contratos para la exploración de los fondos marinos.¹⁰ En 2021, el Gobierno de Nauru, en asociación con The Metals Company, solicitó la aprobación de la ISA para la exploración de los fondos marinos, con el objetivo de ser la primera empresa en comenzar operaciones en la Zona.¹¹ Esto activó la llamada "regla de los dos años", que permitiría a Nauru solicitar una licencia de explotación en cualquier momento a partir de 2023. En el verano de 2024, The Metals Company anunció que solicitaría dicha licencia en junio de 2025.¹²

Aunque la ISA ya ha designado algunas zonas de exclusión minera conocidas como "Áreas de Particular Interés Ambiental", hasta ahora no se han aprobado regulaciones internacionales para regular la explotación de los recursos minerales en la Zona.¹³ En 2024, la ISA organizó deliberaciones de los Estados Miembros sobre posibles regulaciones para la exploración y explotación de los fondos marinos, con el objetivo de llegar a un acuerdo y adoptarlas para finales de 2025.¹⁴

¿CUÁLES SON LOS RIESGOS?

Persiste una incertidumbre significativa sobre la gama completa de posibles impactos ambientales de la MFM. Según algunas estimaciones, hasta ahora solo se ha cartografiado adecuadamente aproximadamente una cuarta parte del lecho marino profundo, aunque los estudios científicos sobre los posibles impactos ambientales de la MFM están aumentando rápidamente.¹⁵ Investigaciones recientes destacan que cada área del lecho marino profundo posee características ecológicas únicas, que las distintas técnicas de MFM pueden afectar a los ecosistemas de maneras muy diferentes, y que la minería no constituye el único factor de presión sobre estos entornos.¹⁶

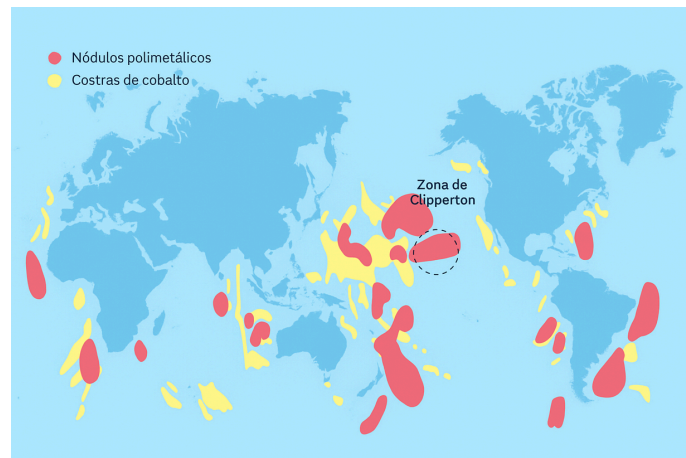
Lo que sí se conoce es que los ecosistemas de aguas profundas albergan una biodiversidad excepcional, que muchos de ellos están fuertemente interconectados con sistemas oceánicos más amplio, como la pesca, y que muchos de ellos son altamente susceptibles a perturbaciones externas.¹⁷ Con base en la investigación científica disponible, es probable que la minería del lecho marino profundo genere los siguientes **impactos directos**:

- Una amplia diversidad de organismos, incluidos algunos que representan ramas únicas del árbol evolutivo de la vida y muchos aún no descubiertos, podrían perecer debido a la destrucción de sus hábitats.¹⁸ Es muy probable una pérdida de biodiversidad potencialmente irreversible en las áreas que rodean los sitios mineros.¹⁹
- Dependiendo de la escala y tecnología, las plumas de sedimentos producidas por algunas formas de minería podrían impactar a muchos organismos en las inmediaciones de la minería, con posibles impactos directos de largo alcance en la biodiversidad, la calidad del agua y la pesca a cientos de kilómetros en todas direcciones.²⁰
- Las toxinas liberadas por la minería podrían ingresar a la columna de agua, matando parte de la vida marina en las inmediaciones.²¹

La Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar y la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos

UNCLOS es un tratado internacional que proporciona un marco legal para las actividades en los océanos y mares. Define zonas de jurisdicción marítima y afirma que el lecho marino y el fondo oceánico más allá de la jurisdicción nacional (conocidos como la Zona) son "patrimonio común de la humanidad". El tratado tiene como objetivo garantizar un reparto equitativo de los recursos, el uso sostenible de los recursos marinos, y la protección el medio ambiente marino.

La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) es la organización a través de la cual los Estados Partes de la UNCLOS organizan, llevan a cabo y controlan las actividades en la Zona. La Autoridad tiene el mandato de adoptar reglas, regulaciones y procedimientos pertinentes para garantizar la protección efectiva del medio ambiente marino contra los efectos nocivos que puedan surgir de las actividades en la Zona, y para promover la investigación científica marina. Este mandato incluye la autoridad para ofrecer licencias de exploración y explotación para la minería de fondos marinos, así como elaborar regulaciones que prevengan el daño al medio ambiente.



Mapa de zonas de alta concentración mineral (George Shouha)

ha encontrado más de 5.000 taxones de animales y estimó su riqueza total de especies en el orden de 6.000 a 8.000 solo en la Zona Clarion Clipperton.²⁶

De ser dañados, muchos ecosistemas y depósitos minerales en el lecho marino profundo probablemente se **recuperarían muy lentamente, si es que lo hacen**. Las mismas características biológicas que permiten a los organismos hacer frente a condiciones extremadamente duras, como bajas tasas de crecimiento y reproducción, también los hacen intolerantes a las perturbaciones y lentos para recuperarse.²⁷ Los nódulos, por ejemplo, se forman a lo largo de millones de años. La vida marina que depende de los nódulos como hábitat podría presentar daños graves e irreversibles si estos se destruyen o dañan. De igual forma, los corales que viven en costras de cobalto, los cuales tardan miles de años en formarse, podrían ser destruidos inmediatamente por muchas técnicas de MFM.²⁸ Por otro lado, los campos hidrotermales de aguas profundas, los cuales albergan una de las biodiversidades más singulares del planeta, también podrían verse afectados.²⁹ La escala completa de los impactos de su destrucción es difícil de determinar con certeza, dadas las limitaciones de conocimiento científico actual.³⁰

Gran parte de la vida marina en estas áreas es única y ha servido de base para desarrollar **soluciones esenciales para el bienestar humano, incluidos tratamientos contra el cáncer y vacunas**.³¹ La destrucción de un número desconocido de formas de vida, muchas aún no descubiertas o estudiadas, podría cerrar una de las fuentes más importantes de innovación médica conocidas. No obstante, la utilidad de estos organismos para el bienestar humano representa solo una parte de la historia, ya que estos también son componentes clave de ecosistemas marinos complejos,

Los impactos indirectos sobre el medio ambiente podrían ser aún más amplios de lo que se ha estudiado. La creación de plumas de sedimentos podría propagar sustancias nocivas y alterar ecosistemas marinos interconectados mucho más allá de los sitios de extracción.²² El ruido, la iluminación artificial y la vibración producida por algunas técnicas de minería pueden impactar a cientos de millas más allá del sitio de explotación, alterando los hábitats marinos y afectando los patrones de migración de peces y mamíferos marinos.²³ El daño a los ecosistemas de aguas medias, ubicados por encima de los sitios de minería de fondos marinos, también podría ser considerable.²⁴ La bioacumulación de sustancias tóxicas en especies pesqueras aún no ha sido estudiada en profundidad, pero podría tener repercusiones en la salud y el bienestar humanos.²⁵

Algunas de las áreas con alta concentración mineral también albergan una diversidad de especies desproporcionadamente alta, única y poco comprendida en comparación con otras áreas del lecho marino. Estas zonas constituyen recursos clave de alimento y descanso para peces pelágicos, tortugas y mamíferos. Un estudio reciente

cuya alteración podría tener repercusiones que se extiendan mucho más allá de las áreas mineras locales.

Evidencias emergentes sugieren que la MFM podría **alterar el proceso de captura de carbono** de los océanos, contribuyendo potencialmente al calentamiento global.³² Los sedimentos marinos almacenan más del doble de carbono que los suelos terrestres, y se ha demostrado que la perturbación del fondo marino profundo reduce sus capacidades de captura de carbono y absorción de metano. Si bien parece poco probable que se produzca una "remineralización" masiva del carbono hacia la atmósfera, los efectos sobre la función de secuestro de carbono de los océanos son inciertos.³³ Asimismo, existe alguna evidencia reciente, aún no verificada, de la producción de "oxígeno oscuro", es decir, oxígeno generado en las profundidades del océano sin la mediación de la luz solar. Este hallazgo desafía supuestos de larga data sobre los mecanismos de producción de oxígeno en la Tierra y sugiere que los nódulos polimetálicos podrían albergar procesos biogeoquímicos únicos y poco comprendidos.³⁴

Con base en esto, **es probable que estemos subestimando los impactos más amplios de la MFM**. Las percepciones de impactos localizados o limitados, junto con la aparente vastedad de áreas inexploradas del lecho marino, pueden ocultar los efectos en "cascada" que las alteraciones locales tienen sobre ecosistemas interconectados.³⁵ Algunos riesgos pueden mitigarse mediante innovaciones tecnológicas como herramientas de minería menos disruptivas, la filtración de sedimentos para sustancias tóxicas o la reducción del ruido y la luz generados durante la exploración y explotación.³⁶ La designación de áreas protegidas (como las Áreas de Particular Interés Ambiental) o el establecimiento de monitoreo independiente o zonas de "referencia" o "línea base" bien diseñadas para evaluar los impactos de la minería, también podrían jugar un papel importante en la mitigación de los riesgos que plantea la minería. Las medidas de restauración para áreas afectadas por la minería, ya sean activas o naturales, podrían contribuir a limitar los impactos ambientales aunque su viabilidad técnica y económica sigue siendo incierta.³⁷

Sin embargo, dada la evidencia científica disponible, parece que la explotación de los fondos marinos presenta riesgos considerables en múltiples dimensiones, con implicaciones profundas para la sostenibilidad ambiental, la biodiversidad, los ecosistemas saludables y el bienestar humano. En este contexto, la característica dominante de la MFM es la incertidumbre: existen suficientes indicios para anticipar im-

pactos ecológicos severos, pero desconocemos la magnitud real de su destructividad. Tampoco contamos con pruebas concluyentes de que las medidas de mitigación actuales sean capaces de evitar los daños más graves, algunos de los cuales podrían ser duraderos o incluso irreversibles.³⁸

REGULACIONES EXISTENTES

El Artículo 145 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar exige a los Estados Parte proteger el medio ambiente marino de cualquier efecto nocivo derivado de sus actividades, en beneficio de la humanidad en su conjunto.³⁹ Otros acuerdos internacionales también establecen compromisos claros para proteger y preservar la biodiversidad marina.⁴⁰ Sin embargo, el proceso intergubernamental de la ISA aún no ha acordado objetivos claros de preservación ambiental, ni ha definido los niveles de daño que se considerarían lo suficientemente graves como para prohibir o limitar la MFM, ni ha llevado a cabo una evaluación global de la gama completa de sus posibles efectos.⁴¹ Hasta la fecha, no existen términos ni parámetros globalmente acordados que definan qué implica la "protección del medio ambiente marino" o qué umbrales de daño deben aplicarse para guiar la regulación, pese a que ya se han otorgado permisos de exploración. Aunque la sesión más reciente de la ISA abordó la posibilidad de acordar futuras regulaciones y definiciones sobre daño ambiental, es improbable que se adopten o ratifiquen antes de finales de 2025. Además, incluso las regulaciones finalmente aprobadas por la ISA solo se aplicarían a la Zona más allá de la jurisdicción nacional, sin restringir la capacidad de los Estados para realizar actividades de MFM dentro de sus zonas económicas exclusivas.⁴² En este contexto, el impulso para emprender operaciones mineras para responder a la creciente demanda de minerales críticos podría conducir a un escenario en el que la minería antes de contar con definiciones científicamente fundamentadas sobre daño ambiental grave y/o antes de la adopción de regulaciones pertinentes.

CONSIDERACIONES

Basándose en los conocimientos científicos actuales sobre los posibles efectos de la minería en los fondos marinos (DSM), el Consejo Asesor Científico señala las siguientes consideraciones.

1. Aplicación del principio de precaución: El principio o enfoque de precaución, consagrado en numerosos instrumentos internacionales, sostiene que cuando existen amenazas de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica plena no debe utilizarse como motivo para posponer medidas eficaces y rentables destinadas a prevenir la degradación ambiental.⁴³ A la luz de la evidencia científica disponible, la MFM representa un caso de alto riesgo y elevada incertidumbre. Debido a la posible irreversibilidad de algunos impactos y al creciente interés de las empresas mineras por iniciar operaciones a corto plazo, un número creciente de científicos, organizaciones ambientales, gobiernos y empresas han solicitado algún tipo de “pausa” o moratoria sobre la MFM, hasta que exista mayor claridad científica sobre los riesgos y se demuestre que no se producirá un daño ambiental grave. Cabe señalar que no existe consenso en la comunidad científica al respecto.⁴⁴

2. Evaluación integral de los impactos de la MFM: Uno de los principales desafíos radica en la incertidumbre sobre los impactos potenciales de la MFM. Para afrontarlo, un informe reciente del PNUMA recomendó realizar una evaluación integral e independiente de las actividades y posibles efectos de la MFM.⁴⁶ Desde un punto de vista científico, dicha evaluación desempeñaría un papel importante en el establecimiento de una comprensión de referencia sobre los impactos directos de la minería, y también de los efectos indirectos a través de la alteración de los ecosistemas interconectados. Esto facilitaría la comparación, con base científica, de los impactos ambientales de la MFM con las prácticas de minería terrestre, y podría generar recomendaciones prácticas para limitar el daño ambiental, incluidas recomendaciones específicas para medidas específicas de mitigación.⁴⁸

3. Objetivos y definiciones ambientales. Desde un punto de vista científico, evitar y reducir los riesgos asociados a la MFM en la Zona requeriría definir, de forma globalmente acordada y basada en la ciencia, los conceptos de “daño ambiental” y los objetivos de preservación ambiental pertinentes al Artículo 145 de la UNCLOS.⁵⁰ Una evaluación científica independiente del lecho marino y su vulnerabilidad a la MFM sería esencial para fundamentar tales definiciones y objetivos, dado el alto grado de interconexión ecológica y la multiplicidad de impactos indirectos. Para garantizar una base sólida de evidencia, diversos expertos han subrayado la importancia de ampliar los actores involucrados en el proceso, incluyendo a científicos independientes, comunidades indígenas, pescadores costeros y otros grupos relevantes.⁵¹

4. La necesidad de la MFM: No existe consenso científico sobre la necesidad de la MFM para satisfacer la demanda de minerales críticos. Algunas estimaciones sugieren estas podrían suplirse mediante la extracción terrestre y/o un uso más eficiente de las capacidades existentes, reconociendo todas las formas de extracción mineral conlleva impactos ambientales.⁵² Una evaluación basada en la mejor evidencia científica independiente disponible podría apoyar decisiones más informadas sobre las compensaciones entre la extracción de recursos terrestres y marinos, así como sobre otras vías para reducir las contribuciones humanas al cambio climático.⁵³

5. Reciclaje de minerales críticos. Desde un punto de vista técnico, el desabastecimiento de minerales para satisfacer la demanda podría mitigarse mediante un uso más eficiente, la reutilización y el reciclaje de los recursos existentes.⁵⁴ El Consejo toma nota de las propuestas para desarrollar un marco regulatorio global que incentive el reciclaje de minerales críticos para ayudar a reducir la demanda comercial de MFM y otras prácticas mineras.⁵⁵ Dichas propuestas destacan las ineficiencias actuales en el uso y reutilización de minerales, así como la necesidad de promover tecnologías que reduzcan la dependencia de estos materiales.⁵⁶

REFERENCIAS

1 This brief represents the views of the independent scientists on the Scientific Advisory Board. It does not necessarily reflect the UN's position or those of network institutions. The UN Office of Legal Affairs was consulted on the legal aspects of this brief, and the ISA was consulted on institutional matters, though any views here represent only those of the Scientific Advisory Board. Mention of a commercial company or product in this document does not imply endorsement by the UN or the authors. The use of information from this document for publicity or advertising is not permitted. Trademark names and symbols are used in an editorial fashion with no intention on infringement of trademark or copyright laws. We regret any errors or omissions that may have been unwittingly made.

2 Hein, J. et al., "Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high- and green-technology applications: comparison with land-based resources," *Ore Geology Reviews* 51 (2013): 1–14; European Science Academies Science Advisory Council, "Deep-Sea Mining: assessing evidence on future needs and environmental impacts," June 2023, available at: https://easac.eu/fileadmin/user_upload/EASAC_Deep_Sea_Mining_Web_publication_.pdf; Cunningham, A., "Assessing the feasibility of deep-seabed mining of polymetallic nodules in the Area of seabed and ocean floor beyond the limits of national jurisdiction, as a method of alleviating supply-side issues for cobalt to US markets," *Mineral Economics* (2022): 1-20.

3 Lundaev, Vitalii, et al. "Review of critical materials for the energy transition, an analysis of global resources and production databases and the state of material circularity." *Minerals Engineering* 203 (2023): 108282; Calderon, J. L., et al. "Critical mineral demand estimates for low-carbon technologies: What do they tell us and how can they evolve?" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 189 (2024): 113938. International Seabed Authority, "Technical Study 32. Study of the potential impact of polymetallic nodules production in the Area on the economies of developing land-based producers of those metals which are likely to be most seriously affected," (2022), available at <https://www.isa.org.jm/publications/21773/>.

4 Spoorthy Raman, Mining the sea floor: Implications for biodiversity, *BioScience*, Volume 73, Issue 5, May 2023, Pages 324–330, <https://doi.org/10.1093/biosci/biad020>; Niner, Holly J., et al. "Deep-sea mining with no net loss of biodiversity—an impossible aim." *Frontiers in Marine Science* 5 (2018): 53; Smith, Craig R., et al. "Deep-sea misconceptions cause underestimation of seabed-mining impacts." *Trends in Ecology & Evolution* 35.10 (2020): 853-857; Drazen, Jeffrey C., et al. "Midwater ecosystems must be considered when evaluating environmental risks of deep-sea mining." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117.30 (2020): 17455-17460; Amon, Diva J., et al. "Assessment of scientific gaps related to the effective environmental management of deep-seabed mining." *Marine Policy* 138 (2022): 105006. See also, Díaz, S., & Malhi, Y. (2022). Biodiversity: Concepts, patterns, trends, and perspectives. *Annual Review of Environment and Resources*, 47, 31-63; Díaz, S., Settele, et al., "Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change," *Science*, 366 (2019): 6471.

5 UNEP Issues Note, "Deep-Sea Mining: The environmental implications of deep-sea mining need to be comprehensively assessed," 6 May 2024.

6 E. Silva, "Deep sea mining initiatives expanding to reach national waters," S&P Market Intelligence Report, January 2024, available at: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/deep-sea-mining-initiatives-expanding-reach-to-national-waters-80049135>.

7 See, Norwegian Offshore Directorate, "Environmental Impact Assessment," available at: <https://www.sodir.no/en/facts/seabed-minerals/environmental-impact-assessment/>; Earth.org, "Norway opens door to deep-sea mining exploration in the Arctic, but at what cost?" January 2024, available at: <https://earth.org/norway-deep-sea-mining-exploration-environmental-cost/#:~:text=This%20proposal%20was%20finally%20approved,door%20to%20deep%2Dsea%20mining.>; see also, <https://www.bbc.com/news/articles/c9wlj8l8kr7o>.

8 See, Pew Trusts, "Enforcement of Deep-Sea Mining Regulations: Unpacking the Tangle of Overlapping Jurisdictions in International Waters," February 2024, available at: <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/white-papers/2024/02/enforcement-of-deep-sea-mining-regulations-unpacking-the-tangle-of-overlapping-jurisdictions>; Herbert Smith Freehills report, available at: <https://www.herbertsmithfreehills.com/insights/2024-04/navigating-the-depths-regulating-and-funding-deep-sea-mining>.

9 European Commission Communiqué, "Setting the course for a sustainable blue planet," June 2022, available at https://oceans-and-fisheries.ec.europa.eu/publications/setting-course-sustainable-blue-planet-joint-communication-eus-international-ocean-governance-agenda_en.

10 See International Seabed Authority, <https://www.isa.org.jm/exploration-contracts/>; see also, Williams, R., et al., "Noise from deep-sea mining may span vast ocean areas," *Science*, 377 (2022), 157-158.

11 A. Kozul-Wright, "Nauru prepares to mine deep seas in big climate controversy," *Al Jazeera*, 9 July 2023.

12 <https://investors.metals.co/news-releases/news-release-details/tmc-announces-june-27-2025-submission-date-subsiary-noris-isa>

13 International Seabed Authority, "Decision of the Council of the International Seabed Authority relating to the review of the environmental management plan for the Clarion-Clipperton Zone," ISBA 26/C/58. See also, Kaker, S. et al, "Biodiversity of the Clarion Clipperton Fracture Zone. *Marine Biodiversity* 47 (2017): 259–264.

14 E. Alberts, "Deep-sea mining's future still murky as negotiations end on mixed note," *Mongabay*, April 2024, available at: <https://news.mongabay.com/2024/04/deep-sea-minings-future-still-murky-as-negotiations-end-on-mixed-note/>; E. Alberts, "Deep-sea mining rules delayed two more years; future remains unclear," *Mongabay*, July 2023, available at: <https://news.mongabay.com/2023/07/deep-sea-mining-rules-delayed-two-more-years-mining-start-remains-unclear/>;

15 See, Blanchard, Catherine, et al. "The current status of deep-sea mining governance at the International Seabed Authority," *Marine Policy* 147 (2023): 105396; Loureiro, Gabriel, et al. "A Survey of Seafloor Characterization and Mapping Techniques." *Remote Sensing* 16.7 (2024): 1163. For updated mapping on exploration, see the International Seabed Authority page, available at <https://www.isa.org.jm/exploration-contracts/maps/>.

16 See, e.g., Guo, Xingsen, et al. "Deep seabed mining: Frontiers in engineering geology and environment." *International Journal of Coal Science & Technology* 10.1 (2023): 23; Liu, Zenghui, et al. "Deep-sea rock mechanics and mining technology: State of the art and perspectives." *International Journal of Mining Science and Technology* 33.9 (2023): 1083-1115; Sitlhou, Lamjahao, and Parthasarathi Chakraborty. "Comparing deep-sea polymetallic nodule mining technologies and evaluating their probable impacts on deep-sea pollution." *Marine Pollution Bulletin* 206 (2024): 116762; Agarwala, Nitin. "Using robotics to achieve ocean sustainability during the exploration phase of deep seabed mining." *Marine Technology Society Journal* 57.1 (2023): 130-150; Pinheiro, Marlene, et al. "Stressors of emerging concern in deep-sea environments: microplastics, pharmaceuticals, personal care products and deep-sea mining." *Science of The Total Environment* 876 (2023): 162557.

17 Thurber, A.L. et al., "Ecosystem function and services provided by the deep sea," *Biosciences* 11 (2014): 3941–3963; Kaiser, Stefanie, Craig R. Smith, and Pedro Martinez Arbizu. "biodiversity of the clarion clipperton fracture zone." *Marine Biodiversity* 47 (2017): 259-264; Rabone, Muriel, et al. "How many metazoan species live in the world's largest mineral exploration region?." *Current biology* 33.12 (2023): 2383-2396;

18 See, e.g., Amon, D. J., Ziegler, A. F., Dahlgren, T. G., Glover, A. G., Goineau, A., Gooday, A. J., ... & Smith, C. R. (2016). Insights into the abundance and diversity of abyssal megafauna in a polymetallic-nodule region in the eastern Clarion-Clipperton Zone. *Scientific Reports*, 6(1), 1-12.

19 See, e.g., C. L. Van Dover, J. A. Ardron, E. Escobar, M. Gianni, K. M. Gjerde, A. Jaeckel, D. O. B. Jones, L. A. Levin, H. J. Niner, L. Pendleton, C. R. Smith, T. Thiele, P. J. Turner, L. Watling and P. P. E. Weaver. Biodiversity loss from deep-sea mining. *Nature Geoscience*. June 2017; Holly J. Niner, Jeff A. Ardron, Elva G. Escobar, Matthew Gianni, Aline Jaeckel, Daniel O. B. Jones, Lisa A. Levin, Craig R. Smith, Torsten Thiele, Phillip J. Turner, Cindy L. Van Dover, Les Watling, Kristina M. Gjerde. Deep-sea mining with no net loss of biodiversity—an impossible aim. *Frontiers in Marine Science*, March 2018. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00053>

20 See, e.g., Peacock, Thomas, and Raphael Ouillon. "The fluid mechanics of deep-sea mining." *Annual Review of Fluid Mechanics* 55.1 (2023): 403-430; Chen, Si-Yuan Sean, et al. "Oceanic bottom mixed layer in the Clarion-Clipperton zone: potential influence on deep-seabed mining plume dispersal." *Environmental Fluid Mechanics* 23.3 (2023): 579-602; Stenvers, Vanessa I., et al. "Experimental mining plumes and ocean warming trigger stress in a deep pelagic jellyfish." *Nature Communications* 14.1 (2023): 7352; Muñoz-Royo, Carlos, et al. "Extent of impact of deep-sea nodule mining midwater plumes is influenced by sediment loading, turbulence and thresholds." *Communications Earth & Environment* 2.1 (2021): 148; Spearman, Jeremy, et al. "Measurement and modelling of deep sea sediment plumes and implications for deep sea mining." *Scientific reports* 10.1 (2020): 5075; Helmons, Rudy, et al. "Dispersion of benthic plumes in deep-sea mining: What lessons can be learned from dredging?." *Frontiers in earth science* 10 (2022): 868701; Sha, Fei, et al. "A review on plumes generation and evolution mechanism during deep-sea polymetallic nodules mining." *Ocean Engineering* 298 (2024): 117188.

21 For more on these impacts, see, Orcutt, B. et al., "Impacts of deep-sea mining on microbial ecosystem services," *Limnology and Oceanography* 65, no. 7 (2020): 1489-1510; Roche, Charles, and Sarah Bice, "Anticipating social and community impacts of deep sea mining," *Deep Sea Minerals and the Green Economy* 2 (2013): 59-80; Jones, Daniel, Diva Amon, and Abbie Chapman, *Deep-sea mining: processes and impacts* (Oxford University Press, 2020); Haffert, L., et al., "Assessing the temporal scale of deep-sea mining impacts on sediment biogeochemistry," *Biogeosciences* 17, no. 10 (2020): 2767-2789; Williams, R. et al., "Noise from deep-sea mining may span vast ocean areas," *Science* 377, no. 6602 (2022): 157-158; Cormier, R. and Lonsdale J., "Risk assessment for deep sea mining: An overview of risk," *Marine Policy* 114 (2020): 103485; Haeckel, M., et al., "Environmental Impacts of Deep Seabed Mining," In *New knowledge and changing circumstances in the law of the Sea*, pp. 327-340 (Brill Nijhoff, 2020); Gilbert, N., "Complex deep-sea expeditions try to size up seabed mining impacts," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 121, no. 15 (2024): e2404667121.

22 See, Van Der Grient, J. M. A., and J. C. Drazen. "Potential spatial intersection between high-seas fisheries and deep-sea mining in international waters." *Marine Policy* 129 (2021): 104564.

- 23 Levin, L.A. et al., "Defining "serious harm" to the marine environment in the context of deep-seabed mining," *Marine Policy* 74 (2016): 245–259; Van Dover, C.L. et al., "Biodiversity loss from deep-sea mining," *Nature Geoscience* 10 (2017): 464–465; Weaver, P.P.E. et al. (2022). Assessing plume impacts caused by polymetallic nodule mining vehicles. *Marine Policy* 139, 105011; European Science Academies Science Advisory Council, "Deep-Sea Mining: assessing evidence on future needs and environmental impacts," June 2023, available at: https://easac.eu/fileadmin/user_upload/EASAC_Deep_Sea_Mining_Web_publication_.pdf.
- 24 Drazen, Jeffrey C., et al. "Midwater ecosystems must be considered when evaluating environmental risks of deep-sea mining." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117.30 (2020): 17455-17460.
- 25 Hauton, Chris, et al. "Identifying toxic impacts of metals potentially released during deep-sea mining—a synthesis of the challenges to quantifying risk." *Frontiers in Marine Science* 4 (2017): 368; Simpson, Stuart L., and David A. Spadaro. "Bioavailability and chronic toxicity of metal sulfide minerals to benthic marine invertebrates: implications for deep sea exploration, mining and tailings disposal." *Environmental science & technology* 50.7 (2016): 4061-4070; Martins, Irene, et al. "A modelling framework to assess multiple metals impacts on marine food webs: relevance for assessing the ecological implications of deep-sea mining based on a systematic review." *Marine Pollution Bulletin* 191 (2023): 114902.
- 26 Rabone M, Wiethase JH, Simon-Lledó E, Emery AM, Jones DOB, Dahlgren TG, Bribiesca-Contreras G, Wiklund H, Horton T, Glover AG. How many metazoan species live in the world's largest mineral exploration region? *Curr Biol.* 2023 Jun 19;33(12):2383-2396.e5. doi: 10.1016/j.cub.2023.04.052. Epub 2023 May 25. PMID: 37236182. Ramírez-Llodra E, Brandt A, Danovaro R, De Mol B, Escobar E, et al. 2010. Deep, diverse and definitely different: unique attributes of the world's largest ecosystem. *Biogeosciences* 7:2851–99
- Vanreusel A, Hilario A, Ribeiro PA, Menot L, Arbizu PM. 2016. Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Sci. Rep.* 6:26808
- Rowden AA, Schlacher TA, Williams A, Clark MR, Stewart R, et al. 2010. A test of the seamount oasis hypothesis: Seamounts support higher epibenthic megafaunal biomass than adjacent slopes. *Mar. Ecol.* 31:95–106
- Garrigue C, Clapham PJ, Geyer Y, Kennedy AS, Zerbini AN. 2015. Satellite tracking reveals novel migratory patterns and the importance of seamounts for endangered South Pacific humpback whales. *R. Soc. Open Sci.* 2:150489
- Morato T, Miller PI, Dunn DC, Nicol SJ, Bowcott J, Halpin PN. 2016. A perspective on the importance of oceanic fronts in promoting aggregation of visitors to seamounts. *Fish Fish.* 17:1227–33.
- 27 Díaz, S., & Malhi, Y., "Biodiversity: Concepts, patterns, trends, and perspectives," *Annual Review of Environment and Resources*, 47 (2022): 31-63.
- 28 Carreiro-Silva M, Andrews AH, Braga-Henriques A, de Matos V, Porteiro FM, Santos RS. 2013. Variability in growth rates of long-lived black coral *Leiopathes* sp. from the Azores. *Mar. Ecol. Progr.* 473:189–99; Vanreusel, A., Hilario, A., Ribeiro, P. et al. Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Sci Rep* 6, 26808 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep26808>; Carreiro-Silva M, Andrews AH, Braga-Henriques A, de Matos V, Porteiro FM, Santos RS. 2013. Variability in growth rates of long-lived black coral *Leiopathes* sp. from the Azores. *Mar. Ecol. Progr.* 473:189–99.
- 29 Zhou, Y.D., Chen, C., Zhang, D.S., Wang, Y.J., Watanabe, H.K., Sun, J., Bissessur, D., Zhang, R.Y., Han, Y.R., Sun, D., Xu, P., Lu, B., Zhai, H.C., Han, X.Q., Tao, C.H., Qiu, Z.Y., Sun, Y.A., Liu, Z.S., Qiu, J.W., Wang, C.S., 2022. Delineating biogeographic regions in Indian Ocean deep-sea vents and implications for conservation. *Divers Distrib* 28(12), 2858-2870. doi.org/10.1111/ddi.13535.
- 30 Ramírez-Llodra E, Brandt A, Danovaro R, De Mol B, Escobar E, et al. 2010. Deep, diverse and definitely different: unique attributes of the world's largest ecosystem. *Biogeosciences* 7:2851–99.
- 31 Marcus M., "Deep Sea Discoveries and Global Health," *Think Global Health*, January 2023; Russo, P., Del Bufalo, A., & Fini, M. (2015). Deep sea as a source of novel-anticancer drugs: Update on discovery and preclinical/clinical evaluation in a systems medicine perspective. *EXCLI journal*, 14, 228; Saide, A., Lauritano, C., & Ianora, A., "A treasure of bioactive compounds from the deep sea," *Biomedicines*, 9(11) (2021): 1556.
- 32 Vonnahme, T.R. et al., "Effects of a deep-sea mining experiment on seafloor microbial communities and functions after 26 years," *Science Advances* 6 (18) (2020).
- 33 Ruff, S.E. et al., "In situ development of a methanotrophic microbiome in deep-sea sediments," *ISME Journal* 13 (2019): 197–213; Sweetman, A.K. et al., "Key role of bacteria in the short-term cycling of carbon at the abyssal seafloor in a low particulate organic carbon flux region of the eastern Pacific Ocean," *Limnology and Oceanography* 64 (2019): 694–713; Stratmann, T. et al., "Abyssal plain faunal carbon flows remain depressed 26 years after a simulated deep-sea mining disturbance," *Biogeosciences* 15 (2019): 4131–4145.
- 34 Sweetman, A.K., Smith, A.J., de Jonge, D.S.W. et al. Evidence of dark oxygen production at the abyssal seafloor. *Nat. Geosci.* 17, 737–739 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01480-8>.

-
- 35 See, Smith, C. R., et al., "Deep-sea misconceptions cause underestimation of seabed-mining impacts. *Trends in Ecology & Evolution*, 35(10) (2020): 853-857; Williams, R., et al., "Noise from deep-sea mining may span vast ocean areas," *Science*, 377 (2022): 157-158.
- 36 See, Billett, D.S.M. et al., "Improving environmental management practices in deep-sea mining. In: *Environmental Issues of Deep-Sea Mining* Sharma, R. (ed.) (2019): 403–446 (Springer, Cham).
- 37 See, Hallgren, Axel, and Anders Hansson. "Conflicting narratives of deep sea mining." *Sustainability* 13.9 (2021): 5261; Da Ros, Zaira, et al. "The deep sea: the new frontier for ecological restoration." *Marine Policy* 108 (2019): 103642; Van Dover, Cindy L., et al. "Ecological restoration in the deep sea: Desiderata." *Marine Policy* 44 (2014): 98-106; Cuvelier, Daphne, et al. "Potential mitigation and restoration actions in ecosystems impacted by seabed mining." *Frontiers in Marine Science* 5 (2018): 467.
- 38 Amon, D. J., et al. (2022). Assessment of environmental risks of deep-sea mining: Methodological advances and challenges. *Environmental Science & Policy*, 129, 36–48.
- 39 UNCLOS 145. The UN Office of Legal Affairs provided a longer description of these duties as follows: "Under the UN Convention on the Law of the Sea, coastal States have exclusive rights and jurisdiction in their territorial sea, exclusive economic zone and continental shelf. Coastal States also have obligations in respect of the protection and preservation of the marine environment in those zones, such as adopting laws and regulations to prevent, reduce and control pollution of the marine environment, including from seabed activities. Beyond the limits of national jurisdiction, the International Seabed Authority is the organization through which States Parties to the Convention organize, carry out and control activities in the Area, i.e., prospecting, exploration and exploitation of its mineral resources. As part of its mandate, the Authority is mandated to adopt appropriate rules, regulations and procedures to ensure effective protection of the marine environment from harmful effects which may arise from activities in the Area, and to promote marine scientific research. To date, the Authority has adopted regulations for exploration of mineral resources in the Area and is currently working to develop regulations for exploitation of those resources. It has also developed guidance on the assessment of environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area, and is working to develop a standardized procedure for the development, establishment and review of regional environmental management plans (REMPs) in the Area." See also, Singh, Pradeep, and Aline Jaeckel. "Undermining by Mining? Deep Seabed Mining in Light of International Marine Environmental Law." (2024): 72-77; C.L. Van Dover, S. Arnaud-Haond, M. Gianni, S. Helmreich, J.A. Huber, A.L. Jaeckel, A. Metaxas, L.H. Pendleton, S. Petersen, E. Ramirez-Llodra, P.E. Steinberg, V. Tunnicliffe, H. Yamamoto. Scientific rationale and international obligations for protection of active hydrothermal vent ecosystems from deep-sea mining. *Marine Policy*, 90 (2018), pp. 20-28, 10.1016/j.marpol.2018.01.020
- 40 See, e.g., the 1992 Convention Biological Biodiversity, the 2012 Rio Convention on Sustainable Development, and the 2023 Biodiversity Beyond National Jurisdiction treaty. See also, General Assembly resolution 78/272: "Agreement under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the Conservation and Sustainable Use of Marine Biological Diversity of Areas beyond National Jurisdiction" adopted on 24 April 2024. For a summary of these commitments, see, Deep Sea Conservation Coalition, "Deep-sea mining: international commitments," available at: https://deep-sea-conservation.org/wp-content/uploads/2024/02/DSCC_FactSheet5_DSM_science_4pp_OCT17_23.pdf.pdf
- 41 See, Thomas, Katherine Reece. "Deep Seabed Mining: What Is to Be Done about the Regulatory Lacuna?." *Notre Dame J. Int'l Comp. L.* 14 (2024): 2; Hitchin, Becky, et al. "Thresholds in deep-seabed mining: A primer for their development." *Marine policy* 149 (2023): 105505.
- 42 While beyond the scope of this brief, it is worth noting that the ISA framework could potentially be used by large companies to exploit smaller developing countries. Under the ISA, "reserved" areas are partially set aside for developing countries, which often have limited capacities to explore or mine themselves. Large mining companies have begun to partner with smaller developing countries to use their status under the ISA to gain access to reserved areas, with tiny percentages going back to the state. See, Hallgren, A., & Hansson, A. (2021). Conflicting narratives of deep sea mining. *Sustainability*, 13(9), 5261; Lodge, M. W., & Verlaan, P. A. (2018). Deep-sea mining: international regulatory challenges and responses. *Elements: An International Magazine of Mineralogy, Geochemistry, and Petrology*, 14(5), 331-336; A. Kozul-Wright, "Nauru prepares to mine deep seas in big climate controversy," *Al Jazeera*, 9 July 2023.
- 43 See principle 15 of the Rio Declaration on Environment and Development, in the Report of the United Nations Conference on Environment and Development. UN Doc. A/CONF.151/26 (Vol. 1), 12 August 1992.
- 44 See, <https://deep-sea-conservation.org/solutions/no-deep-sea-mining/momentum-for-a-moratorium/governments-and-parliamentarians/>. IUCN statement available at: https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2020_RES_122_EN.pdf. See also, <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/fact-sheets/2023/06/seabed-mining-moratorium-is-legally-required-by-un-treaty-legal-experts-find>.
- 45 Please see endnote 1 for the relevant disclaimers about the role of the Scientific Advisory Board.
- 46 See, <https://www.unep.org/resources/publication/deep-sea-mining>. See also, Deberdt, Raphael, and Cara BG James. "Self-governance at depth: The international seabed authority and verification culture of the deep-sea mining industry." *Resources Policy* 89 (2024): 104577.

50 See, Levin, L.A. et al., "Defining "serious harm" to the marine environment in the context of deep-seabed mining," *Marine Policy* 74 (2016): 245–259. See, <https://www.isa.org.jm/sessions/29th-session-2024/>; see also, <https://sdg.iisd.org/events/29th-session-of-the-international-seabed-authority-isa-assembly-and-council-part-ii/#:~:text=The%20Council%20will%20meet%20from,of%20Part%20XI%20of%20UNCLOS>.

51 Tilot, Virginie, et al. "Traditional dimensions of seabed resource management in the context of Deep Sea Mining in the Pacific: learning from the socio-ecological interconnectivity between island communities and the ocean realm." *Frontiers in Marine Science* 8 (2021): 637938; Reichelt-Brushett, Amanda, et al. "Deep seabed mining and communities: A transdisciplinary approach to ecological risk assessment in the South Pacific." *Integrated environmental assessment and management* 18.3 (2021): 664-673; Escobar, Elva, et al. "The necessity of traditional knowledge for management of deep-seabed mining." (2021).

52 See, Månberger, A. and Stenqvist, B., "Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development," *Energy Policy* 119 (2018): 226–241; Heffernan, O., "Seabed mining is coming — bringing mineral riches and fears of epic extinctions," *Nature* 571 (2019): 465–468.

53 For more resources on this topic, see, Haugan, Peter M., et al. "What Role for Ocean-Based Renewable Energy and Deep-Seabed Minerals in a Sustainable Future?." *The Blue Compendium: From Knowledge to Action for a Sustainable Ocean Economy*. Cham: Springer International Publishing, 2023. 51-89;

54 For more on this range of issues, see, Koese, Maarten, et al. "Self-sufficiency of the European Union in critical raw materials for E-mobility." *Resources, Conservation and Recycling* 212 (2025): 108009; Abbadi, Alaa, and Gábor Mucci. "A review on complex utilization of mine tailings: Recovery of rare earth elements and residue valorization." *Journal of Environmental Chemical Engineering* (2024): 113118; Seck, Gondia Sokhna, Emmanuel Hache, and Charlène Barnet. "Potential bottleneck in the energy transition: The case of cobalt in an accelerating electro-mobility world." *Resources Policy* 75 (2022): 102516; Nakhaei, Fardis, et al. "Progress, challenges, and perspectives of critical elements recovery from sulfide tailings." *Separation and Purification Technology* (2024): 128973.

55 See, Hagelüken, C. and Goldmann, D., "Recycling and circular economy—towards a closed loop for metals in emerging clean technologies," *Mineral Economics* 35 (2022): 539–562; Cimprich, A. et al., "The role of industrial actors in the circular economy for critical raw materials: a framework with case studies across a range of industries," *Mineral Economics* (2022), available at: <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00304-8>; Hool, A. et al., "How companies improve critical raw material circularity: 5 use cases," *Mineral Economics* 35 (2022): 325–335.

56 See e.g., <https://www.reuters.com/breakingviews/pinch-salt-could-unsettle-electric-car-order-2024-02-07/>.