

ANEXO 1



Efectos de la minería en aguas profundas sobre las especies migratorias:
revisión y lagunas de conocimientos

Elaborado por:
Dr. Andrew D. Thaler
Blackbeard Biologic: Science and Environmental Advisors

Elaborado para: la Secretaría de la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS). La información de referencia que ha dado pie a esta publicación se puede encontrar en UNEP/CMS/COP15/Doc.25.2.3.

Copyright: © 2025 Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres.

Cita: Thaler, Andrew D., 2025. Efectos de la minería en aguas profundas sobre las especies migratorias: revisión y lagunas de conocimientos. Secretaría de la CMS, Bonn, Alemania.

Autor: Dr. Andrew D. Thaler, Blackbeard Biologic: Science and Environmental Advisors

Agradecimientos: el autor agradece a tres revisores externos sus excelentes comentarios: a la Dra. Diva Amon (Asesora Científica, Benioff Ocean Science Laboratory, Universidad de California), al Dr. Guillermo Ortuño Crespo (Codirector del Grupo de Especialistas en Alta Mar de la CMAP de la UICN) y al Dr. Jeff Drazen (Profesor del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Hawái en Manoa), así como a Mark Simmonds (Consejero para la Contaminación Marina designado por la CP de la CMS) y a Melanie Virtue y Jenny Renell de la Secretaría de la CMS.

Este informe se ha elaborado con fondos facilitados por el Gobierno de Australia y el Gobierno del Principado de Mónaco en el marco del Migratory Species Champion Programme.

Aviso: no se ha empleado IA generativa en la elaboración o producción de este informe.

Diseño: Secretaría de la CMS.

Foto de portada: una ovicápsula de raya tomada de un depósito de sulfuro polimetálico en las islas Galápagos. Imagen cedida por el Ocean Exploration Trust.

Lista de acrónimos:

ABNJ	Zonas fuera de la jurisdicción nacional
ZCC	Zona Clarion-Clipperton
CMS	Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres
EDC	Enfermedad por descompresión
DEME	Dredging, Environmental and Marine Engineering NV
DISCOL	Experimento de perturbación y recolonización
DSM	Minería en aguas profundas
AIEB	Áreas marinas de importancia ecológica o biológica
ZEE	Zona económica exclusiva
DGP	Dispositivo de concentración de peces
GSR	Global Sea Mineral Resources
AICA	Área importante para la conservación de las aves
ISA	Autoridad Internacional de los Fondos Marinos
ISRA	Área importante para la conservación de tiburones y rayas
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
CBI	Comisión Ballenera Internacional
OBIS	Sistema de Información sobre la Biodiversidad Oceánica
SONAR	Navegación y localización por sonido
TMC	The Metals Company
ONU	Naciones Unidas
CNUDM	Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar

Índice

Resumen ejecutivo	1
Documentos de interés recientes de organismos intergubernamentales	2
Resumen de las recomendaciones	3
Minería en aguas profundas.....	5
Tecnologías mineras propuestas.....	8
La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos	9
Portal DeepData de la ISA	10
Minería en aguas profundas en aguas nacionales.....	11
Efectos de la minería en aguas profundas	17
Efectos directos.....	17
Penachos	18
Ruido.....	21
Efectos indirectos.....	22
Pesquerías de importancia comercial.....	22
Radiación de nódulos polimetálicos.....	23
Oxígeno oscuro.....	23
Patrimonio cultural subacuático.....	23
Otros efectos.....	24
Mammalia (mamíferos marinos).....	25
Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas.....	30
Recomendaciones	33
Condrictios (peces cartilagosos).....	34
Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas.....	36
Recomendaciones	37
Actinopterigios (peces óseos)	38
Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas.....	39
Recomendaciones	39
Reptiles (tortugas marinas)	40
Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas.....	41
Recomendaciones	42
Aves (aves marinas)	43
Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas.....	45
Recomendaciones	46
Resumen final.....	46
Anexos.....	47
Bibliografía citada	48

Resumen ejecutivo

La minería en aguas profundas es el proceso de extracción de minerales de sulfuros polimetálicos, costras ricas en cobalto y nódulos polimetálicos, generalmente a profundidades que oscilan entre los 1000 y los 6000 metros. La minería en aguas profundas es una industria incipiente que se enfrenta a múltiples obstáculos jurídicos, técnicos y medioambientales para poder llegar a la producción comercial. En las zonas fuera de las jurisdicciones nacionales (ABNJ), el sector está supervisado por la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA), una entidad de la ONU encargada de regular todas las actividades relacionadas con los minerales y garantizar la protección y preservación del medio marino frente a estas actividades.

Los efectos de la minería en aguas profundas sobre el medio marino no se conocen bien y variarán según los grupos taxonómicos y los tipos de ecosistemas. Hasta la fecha, la investigación ha dado prioridad a los efectos sobre los ecosistemas del fondo marino directamente afectados por los intereses mineros. Se ha prestado menos atención al medio oceánico en general y, en particular, a la zona pelágica. Esto incluye los efectos sobre las especies altamente migratorias¹ que se desplazan a través de posibles emplazamientos mineros y zonas adyacentes afectadas, que interactúan con especies presa y hábitats asociados a los emplazamientos mineros y que dependen de señales acústicas y químicas para migrar a través del océano.

En el presente documento, evaluamos el estado actual de los conocimientos en relación con los posibles efectos de la minería en aguas profundas sobre las especies migratorias, con especial atención a las incluidas en la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS), al tiempo que se tiene en cuenta a otras especies migratorias importantes que no se incluyen en la CMS. Evaluamos las lagunas de conocimientos y proporcionamos recomendaciones para futuros estudios, iniciativas y estrategias de mitigación.

De las especies marinas incluidas en la CMS, el 48 % de los mamíferos marinos, el 38 % de los tiburones y rayas, el 56 % de los reptiles marinos y el 4 % de los peces óseos tienen áreas de distribución que se superponen con los emplazamientos de minería en aguas profundas potenciales o propuestos. De las especies de aves incluidas en la CMS, el 7 % (incluidos la mayoría de los principales grupos de aves marinas) también tienen áreas de distribución que se superponen con dichos emplazamientos.

Entre los principales efectos potenciales de la minería en aguas profundas sobre las especies migratorias se incluyen: (1) la producción de penachos en el fondo marino, en las aguas intermedias y posiblemente en la superficie del océano, lo que provoca la asfixia del hábitat del fondo marino, la interrupción de las señales químicas, la perturbación de la navegación y la alteración del comportamiento de las presas; (2) el ruido crónico y de larga duración que altera el entorno acústico y puede interferir con la ecolocalización, la comunicación, la navegación y otros comportamientos sonoros; (3) el aumento de la presencia de buques y equipos de asistencia a la minería que podrían alterar el comportamiento de los animales, por ejemplo, cambiando el uso del hábitat, atrayendo a especies presa o creando contaminación lumínica; (4) el aumento del tráfico de buques en zonas que antes tenían poco tráfico, lo que da lugar a un mayor riesgo de colisiones con buques y, en consecuencia, a un mayor riesgo de lesiones o muerte; (5) la destrucción de hábitats de importancia ecológica, por ejemplo, zonas de cría o de

¹ El Artículo I (1)(a) de la Convención sobre la Conservación de las Especies Migratorias de Animales Silvestres (CMS) define las especies migratorias como: «el conjunto de la población, o toda parte de ella geográficamente aislada, de cualquier especie o grupo taxonómico inferior de animales silvestres, de los que una parte importante franquea cíclicamente y de manera previsible, uno o varios límites de jurisdicción nacional».

alimentación, lo que puede provocar la pérdida de hábitats fundamentales para la supervivencia de las especies migratorias.

Existen importantes lagunas de conocimientos en relación con todos los posibles efectos de la minería en aguas profundas sobre las especies migratorias. La posibilidad de que se produzcan efectos graves e irreversibles sobre la biodiversidad, la conectividad ecológica y el comportamiento de las especies exige moderación y una evaluación rigurosa antes de llevar a cabo cualquier actividad de exploración y explotación. Dadas las lagunas actuales en la comprensión científica de cómo la minería en aguas profundas puede afectar a las especies migratorias, es esencial adoptar un enfoque de precaución. A falta de conocimientos exhaustivos, la precaución garantiza que se dé prioridad a la integridad medioambiental, protegiendo a las especies cuyos ciclos vitales y hábitats aún solo se conocen parcialmente.

Los cambios de área de distribución inducidos por el cambio climático pueden alterar sustancialmente los patrones de migración de algunas especies migratorias en un futuro próximo, lo que daría lugar a otras incertidumbres sobre el solapamiento espacio-temporal de esta incipiente industria. Esto requerirá una reevaluación continua de los efectos de la minería en aguas profundas, incluidos los efectos sinérgicos o acumulativos, sobre determinadas especies a lo largo del tiempo.

Documentos de interés recientes de organismos intergubernamentales

En la 14.^a Reunión de la Conferencia de las Partes, la Secretaría de la CMS presentó el documento UNEP/CMS/COP14/Doc.27.2.4/Rev.1,² en el que se planteaban preocupaciones relativas a los posibles efectos negativos de la minería en aguas profundas sobre las especies migratorias y sus hábitats, así como los proyectos de resolución y decisiones propuestos. Se documentó la dificultad de obtener datos de referencia de los emplazamientos de minería en aguas profundas y los limitados conocimientos científicos disponibles sobre dichos emplazamientos y su biodiversidad y ecosistemas asociados.

Las posibles repercusiones identificadas en UNEP/CMS/COP14/Doc.27.2.4/Rev.1 incluyen la destrucción directa de hábitats bentónicos, daños a especies marinas por operaciones mineras exploratorias o comerciales, asfixia, imposibilidad de comunicación y alimentación, efectos tóxicos de los penachos de sedimentos y pérdida o alteración de la biodiversidad. Los efectos indirectos o secundarios incluyen las perturbaciones causadas por el aumento de la contaminación acústica y lumínica. Estos efectos podrían tener amplias repercusiones ecológicas que afectasen a las redes alimentarias enteras más allá de los límites espaciales y temporales de la operación minera. El documento señala los efectos particulares de la contaminación acústica y lumínica sobre los cetáceos.

La Decisión 14.52 de la COP14 de la CMS solicitó al Consejo Científico que «elabore un informe sobre el estado de los conocimientos relativos a los efectos de las actividades de explotación de minerales en los fondos marinos sobre las especies migratorias, sus presas y sus ecosistemas, incluyendo la identificación de carencias en el conocimiento que deben solventarse».

La Comisión Ballenera Internacional (CBI) convocó un grupo de correspondencia entre períodos de sesiones sobre la minería en aguas profundas para evaluar los posibles efectos de la industria en los cetáceos.³ El informe de la CBI concluyó que los efectos directos sobre los cetáceos de la

² Minería en aguas profundas: <https://www.cms.int/en/document/deep-sea-mining>

³ Informe del Grupo de Trabajo por Correspondencia entre períodos de sesiones sobre la minería en aguas profundas: <https://archive.iwc.int/pages/view.php?ref=22070>

minería en aguas profundas probablemente provendrán de la generación de ruido, de la que hay una gran cantidad de datos en relación con otras actividades marítimas. El informe también identificó posibles efectos indirectos de los penachos de sedimentos, la alteración de los ecosistemas y la perturbación de las especies presa.

El Comité Científico de la CBI recomendó que la CBI se una al llamamiento en favor de una moratoria de la minería en aguas profundas para permitir un mejor estudio de los posibles efectos medioambientales y que la CBI colabore con otros organismos internacionales, incluida la CMS, en relación con los efectos de la minería en aguas profundas sobre los animales y los ecosistemas marinos, además de formular recomendaciones de investigación para futuros estudios.

En mayo de 2025, el Consejo Asesor Científico del Secretario General de la ONU también publicó un informe en el que se destacaba la incertidumbre en torno a los efectos medioambientales de la minería en aguas profundas. Recomendaron aplicar el principio de precaución y desarrollar una evaluación científica exhaustiva de los efectos y objetivos medioambientales, así como proponer definiciones de «daño medioambiental», evaluar la necesidad de la minería en aguas profundas y promover estrategias alternativas de producción de minerales para reducir la dependencia de nuevas extracciones.⁴

Resumen de las recomendaciones

Investigación y colaboración

1. Las Partes de la CMS deben fomentar una investigación observacional más independiente sobre los mamíferos marinos, las aves marinas, las tortugas marinas, los tiburones y las rayas, los peces óseos y otras especies migratorias para comprender mejor cómo afecta la presencia de buques mineros a la migración y el comportamiento de los animales.
2. Las Partes de la CMS deben alentar a la ISA a que garantice que los contratistas de minería en aguas profundas y las expediciones de investigación respaldadas por la ISA realicen observaciones periódicas de la superficie y comuniquen todos los incidentes en los que se observen mamíferos marinos, aves marinas, tortugas marinas, tiburones y rayas y otras especies migratorias en las zonas inmediatamente circundantes a las operaciones mineras, en la superficie o cerca de ella, o cuando los buques estén en tránsito, y que respalden el monitoreo acústico de toda la columna de agua. En el caso de los mamíferos marinos, debe establecerse un plan de respuesta para hacer frente a cualquier incidente adverso que pueda producirse.
3. Las Partes de la CMS deben alentar a la ISA a que ponga a disposición cualquier dato existente sobre la presencia de especies migratorias procedente de los informes de los contratistas que no se refleje en los datos disponibles públicamente.
4. Las Partes de la CMS deben alentar a la ISA a que garantice que los contratistas monitoreen la posible presencia de especies migratorias en las zonas en las que se desarrollan actividades mineras activas y que lleven a cabo observaciones acústicas periódicas en la superficie y bajo el agua.

⁴ Informe del Consejo Asesor Científico sobre la minería en aguas profundas: <https://www.un.org/scientific-advisory-board/en/deep-sea-MINING>

5. Las Partes de la CMS deben alentar a la ISA a que comunique los incidentes en los que se observen aves marinas en las zonas inmediatamente circundantes a las operaciones mineras, o cuando los buques estén en tránsito.

Mitigación de daños

6. Las Partes de la CMS deben exigir a los contratistas de minería en aguas profundas que hagan todo lo posible por reducir al mínimo el ruido cuando haya mamíferos marinos u otras especies migratorias que dependan de entornos sonoros saludables. Se debe valorar la posibilidad de restringir las actividades mineras durante los períodos en los que se sabe que los mamíferos marinos migran a la zona, especialmente durante los períodos de reproducción o de búsqueda de alimento.
7. Las Partes de la CMS deben exigir a los contratistas de minería en aguas profundas que hagan todo lo posible por evitar el aumento del tráfico marítimo en zonas donde se sepa que migran mamíferos marinos, tortugas marinas u otras especies migratorias que puedan ser vulnerables a los impactos de los buques y que adopten políticas de desvío de rutas y de velocidad segura de los buques cuando dichos solapamientos sean inevitables.
8. Las Partes de la CMS deben exigir a los contratistas de minería en aguas profundas que realicen actividades de exploración o explotación en la dorsal mesoatlántica que sean conscientes de los posibles efectos sobre las anguilas europeas durante su migración a las zonas de desove del mar de los Sargazos, así como en relación con otras especies migratorias.
9. Las Partes de la CMS deben prohibir la minería en aguas profundas en los montes submarinos que son esenciales para la alimentación y la reproducción de las especies migratorias y en los sulfuros polimetálicos donde se hayan identificado criaderos de conductos.
10. Las Partes de la CMS deben exigir a los contratistas de minería en aguas profundas que limiten el tiempo que los buques permanecen estacionarios durante largos períodos de tiempo para reducir al mínimo el efecto de concentración de peces que perturba la ecología espacial y conductual de las especies migratorias.

Minería en aguas profundas

La minería en aguas profundas (DSM) es el proceso de extracción de minerales del fondo marino más allá de los límites de la plataforma continental. Por lo general, se lleva a cabo a profundidades entre los 1000 y los 6000 metros. Si bien las diferentes partes interesadas utilizan términos como «minería de los fondos marinos profundos» o «explotación de minerales de los fondos marinos profundos» para abarcar aspectos específicos de la industria en cuestión, aquí se utilizará el término «minería en aguas profundas» para referirnos a la exploración y explotación de tres tipos de minerales de las profundidades oceánicas: sulfuros polimetálicos, costras ricas en cobalto y nódulos polimetálicos. Dichos minerales se extraen mediante diversas técnicas propuestas que tendrían distintos efectos sobre el fondo marino, la columna de agua y la superficie. Estos yacimientos se encuentran principalmente en el fondo marino, en zonas fuera de las jurisdicciones nacionales (ABNJ). Aproximadamente, el 81 % de los nódulos polimetálicos, el 56 % de los sulfuros polimetálicos y el 46 % de las costras ricas en cobalto se encuentran en las ABNJ (Petersen et al., 2016).

Los **sulfuros polimetálicos** se crean por la actividad geoquímica de las fuentes hidrotermales (fisuras en el fondo marino profundo donde el agua de mar es expulsada de una serie de depósitos como penachos sobrecalentados y enriquecidos químicamente). Se encuentran en todos los océanos del planeta: en los márgenes de placas activas, en las cuencas de retroarco y en los puntos calientes volcánicos. Este fluido hidrotermal entra en contacto con el agua de mar fría, lo que provoca que los metales pesados en suspensión se precipiten fuera de la solución para depositarse en las paredes y formar una chimenea hidrotermal en crecimiento. Los sulfuros polimetálicos son ricos en metales preciosos como el cobre, el oro y el níquel, así como en hierro, zinc, plomo y bario.⁵ Los sulfuros polimetálicos son los más pequeños, en extensión, de los depósitos de aguas profundas. La extensión total de los campos de fuentes hidrotermales activos en todo el mundo es aproximadamente equivalente a la isla de Manhattan (aproximadamente 50 km²; Menini and Van Dover, 2019). Los campos que producen sulfuros polimetálicos representan un subconjunto de dicha superficie. Los sulfuros polimetálicos son relativamente comunes alrededor del cinturón de fuego del Pacífico, la dorsal índica central, la dorsal del Pacífico este y la dorsal mesoatlántica (Thaler and Amon, 2019).

Las **costras ricas en cobalto** (también llamadas «costras de ferromanganeso») son costras gruesas y ricas en metales que se forman en los lados expuestos de los montes submarinos. Se acumulan en el sustrato duro expuesto por las corrientes oceánicas, en los flancos de los montes submarinos, donde los minerales se precipitan del agua de mar a lo largo de millones de años (He et al., 2011). Las costras ricas en cobalto se encuentran entre los yacimientos más superficiales susceptibles de explotación, ya que están a una profundidad de entre 400 y 4000 metros. Los yacimientos contienen hasta un 2,5 % de cobalto (Hein et al., 1986), pero también otros metales esenciales como titanio, telurio, níquel, manganeso, platino, escandio y otros elementos metálicos de tierras raras (Roberts, 2000). Estas costras pueden tener hasta 25 cm de espesor y algunas estimaciones sitúan la extensión total de las costras ricas en cobalto en casi el 2 % del fondo marino.⁶

Los **nódulos polimetálicos** son los minerales más abundantes y con una distribución más amplia de las profundidades marinas. Estas pequeñas acumulaciones, del tamaño de una patata, se conocían originalmente como «nódulos de manganeso» y están dispersas por la llanura abisal

⁵ Minería de los fondos marinos en zonas fuera de la jurisdicción nacional: cuestiones para el Congreso: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R47324>

⁶ Informe de la ISA sobre las costras ricas en cobalto: <https://www.isa.org/im/wp-content/uploads/2022/06/eng9.pdf>

a profundidades de entre 3500 y 6500 metros. Los nódulos polimetálicos son ricos en manganeso, cobalto, níquel y cobre (Kuhn et al., 2017). A diferencia de otros depósitos, estos nódulos se asientan en la parte superior del sedimento. Los nódulos se acumulan a lo largo de millones de años, a medida que los metales del agua de mar circundante se aglomeran alrededor de un agente nucleante como un diente de tiburón, un caparazón de pterópodo, un hueso, un test de diatomeas u otro objeto pequeño y duro (Wang et al., 2012). El proceso químico que favorece la formación de nódulos no se conoce bien, pero algunos estudios sugieren que la formación de nódulos la facilitan microorganismos que fomentan la biomineralización (Wang et al., 2009).

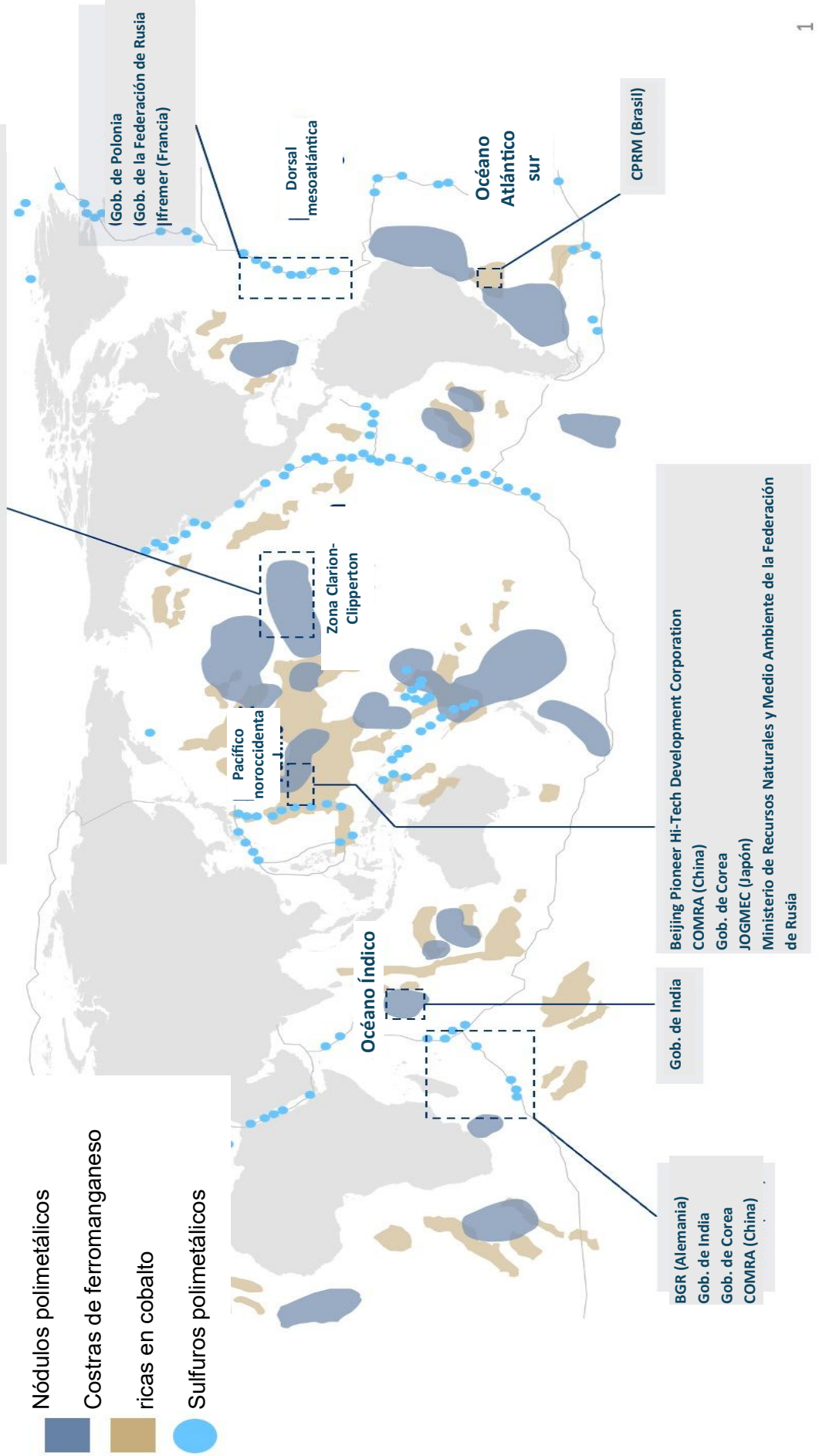
Otros depósitos minerales también son objetivos potenciales de la minería en aguas profundas, como el lodo enriquecido con elementos de tierras raras y las fosforitas marinas. Tales depósitos pueden encontrarse en regiones que generalmente se consideran de aguas profundas. Los lodos enriquecidos con elementos de tierras raras pueden encontrarse en el fondo marino profundo de las llanuras aluviales de los ríos, donde los metales suspendidos por la erosión se depositan en las profundidades del océano. Estos lodos pueden ser ricos en neodimio, molibdeno, itrio y otros elementos raros que se utilizan en pequeñas cantidades en la electrónica moderna (Tanaka et al., 2020). Las fosforitas se forman en el fondo marino y contienen muchos minerales importantes para la agricultura. Fueron objeto de especulación hacia finales del siglo XX, pero no se les ha prestado mucha atención en los últimos años (Hein et al., 2016).

Si bien estos otros yacimientos minerales pueden ser el futuro de la minería en aguas profundas, tal como está estructurada actualmente, la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA), el organismo de la ONU encargado de regular todas las actividades relacionadas con los minerales en zonas fuera de las jurisdicciones nacionales, se ocupa principalmente de la exploración y explotación de sulfuros polimetálicos, costras ricas en cobalto y nódulos polimetálicos.

Exploración de minerales en la zona

BGR (Alemania)	GSR (Bélgica)	NORI (Nauru)
BMJ (Jamaica)	Gobierno de Corea	OMS (Singapur)
CIIC (Islas Cook)	Ifremer (Francia)	TOML (Tonga)
CMC (China)	OIM (Bulgaria, República Checa)	UKSRL (Reino Unido)
COMRA (China)	Polonia, Federación de Rusia, Eslovaquia	Yuzhmorgeologiya (Federación de Rusia)
DORD (Japón)	Marawa (Kiribati)	

- Nódulos polimetálicos
- Costras de ferromanganeso ricas en cobalto
- Sulfuros polimetálicos



Tecnologías mineras propuestas

Las tecnologías de minería en aguas profundas, en particular las utilizadas para la extracción de nódulos polimetálicos, han evolucionado a lo largo de los últimos 50 años. Las herramientas mineras originales, desarrolladas a principios de la década de 1970, consistían en un sistema de redes de arrastre de fondo y colectores basados en trineos que eran arrastrados por el fondo marino por un buque de apoyo. La industria se centra ahora, principalmente, en las orugas bentónicas y, en el caso de una de las empresas, en los vehículos autónomos flotantes. Los vehículos oruga utilizan sistemas de elevación para llevar el mineral hasta un barco, mientras que los vehículos autónomos incorporan tolvas que almacenan el mineral antes de su recuperación en la superficie.

A diferencia de otros minerales de aguas profundas, los nódulos polimetálicos no tienen sobrecarga (sedimentos o depósitos minerales que cubren el mineral y que deben eliminarse para acceder al mineral que se encuentra debajo). No es necesario romper mecánicamente el mineral en el fondo marino. Los nódulos se almacenan en el vehículo recolector hasta que regresa a la superficie o se transfieren a un sistema de elevación, que bombea nódulos enteros a la embarcación en superficie para su tratamiento a bordo de un barco o en una refinería de mineral en tierra. Dichos nódulos se deshidratan y los sedimentos y la suspensión acuosa se vierten por la borda, ya sea en el lugar donde se han recolectado del fondo marino, en las aguas intermedias o en la superficie, dependiendo del sistema de extracción propuesto y de los futuros requisitos normativos que se desarrollen.

A partir de junio de 2025, tres importantes contratistas mineros comerciales privados han comenzado a realizar pruebas formales de sus herramientas de producción en el fondo marino: The Metals Company (TMC), Impossible Metals y Global Sea Mineral Resources (GSR). Los contratistas mineros estatales o de titularidad conjunta, incluidos JOGMEC (Japón) y COMRA (China), también han realizado pruebas piloto. Otros países que están explorando activamente el potencial de la minería en aguas profundas, como India y la República de Corea, han comenzado a desarrollar sus capacidades en este ámbito, pero el estado de las pruebas iniciales de comercialización no es de dominio público. Cabe señalar que ninguna de estas pruebas se ha realizado a la escala o intensidad de la minería comercial.

TMC es una multinacional con sede en Canadá que tiene tres concesiones de exploración de la ISA en la zona Clarion-Clipperton (ZCC), así como una solicitud de permiso de exploración pendiente con Estados Unidos para trabajar en la ZCC. Allseas proporciona apoyo logístico y de embarcaciones. TMC tiene la intención de utilizar una oruga con un sistema de succión para recolectar los nódulos del fondo marino en una tolva, que luego se bombearán a través de un sistema de elevación de más de 4 km de largo que lleva los nódulos a una embarcación en superficie.⁷

Impossible Metals es una empresa con sede en Estados Unidos que tiene una solicitud de concesión pendiente con Estados Unidos de América para trabajar en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Samoa Americana. Impossible Metals tiene la intención de utilizar una flota de vehículos autónomos que recolectan nódulos utilizando brazos guiados por aprendizaje automático para recolectar selectivamente nódulos del fondo marino. Los nódulos se almacenan localmente en una tolva y todo el vehículo se desplaza entre la superficie y el fondo marino para llevar los nódulos a la embarcación de apoya a la producción.

⁷ «The Metals Company completa la primera prueba en el mundo de un sistema de minería en aguas profundas»: <https://dsmobserver.com/2022/12/the-metals-company-completes-a-world-first-test-of-deep-sea-mining-system/>

GSR es una filial con sede en Bélgica de Dredging, Environmental and Marine Engineering NV (DEME) Group, uno de los principales operadores de dragado del mundo. GSR tiene concesiones de exploración de la ISA para la zona Clarion-Clipperton. GSR se propone utilizar un sistema similar al de TMC, con una oruga que opera un sistema de succión para recolectar nódulos del fondo marino y luego transportarlos a través de un sistema de elevación a una embarcación en superficie.

Varios Estados Miembros de la ISA están desarrollando y probando sus propias herramientas de producción en el fondo marino, entre ellos China, Japón, la República de Corea e India. De ellos, Japón tiene el programa de pruebas más extenso para equipos de minería en aguas profundas y ha completado estudios piloto de minería comercial de sulfuros polimetálicos⁸ y costras ricas en cobalto,⁹ los cuales fueron destacados como avances «pioneros en el mundo». Japón participa actualmente en un programa piloto para extraer elementos de tierras raras de los lodos marinos profundos.¹⁰ China también ha desarrollado un vehículo oruga diseñado para recolectar nódulos polimetálicos del fondo marino en estudios piloto.¹¹

Los sulfuros polimetálicos y las costras ricas en cobalto conllevan otras dificultades. A diferencia de los nódulos polimetálicos, el mineral forma parte de la subestructura del fondo marino, con una sobrecarga acumulada. Una empresa, Nautilus Minerals, intentó desarrollar una prospección minera de sulfuros polimetálicos en las aguas territoriales de Papúa Nueva Guinea. Nautilus tenía la intención de utilizar tres grandes vehículos controlados a distancia (ROV) que trabajarían en tándem para aplanar la topografía del emplazamiento minero, reducir el mineral a trozos manejables y bombear el mineral a la superficie utilizando un sistema de elevación.¹²

Dado que todavía no se ha llevado a cabo ninguna actividad minera comercial en aguas profundas, las tecnologías específicas utilizadas para recolectar los recursos minerales del fondo marino, llevarlos a la superficie y descargar los productos de desecho pueden diferir en última instancia de los sistemas mineros propuestos actualmente.

La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos

La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) es una entidad de la ONU compuesta por los Estados Miembros de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CNUDM), todos los cuales tienen la «obligación de proteger y preservar el medio marino» en virtud del Artículo 192 de la CNUDM, y por observadores, así como por un órgano administrativo, la Secretaría de la ISA, encargada tanto de promover el desarrollo de la industria minera en aguas profundas como de proteger el medio marino. La Secretaría está supervisada por la Secretaria General de la ISA.

La ISA está compuesta por tres órganos encargados de la toma de decisiones: la Comisión Jurídica y Técnica, el Consejo y la Asamblea. La Comisión Jurídica y Técnica está formada por

⁸ «Japón, primer país en probar los depósitos mineros de depósitos hidrotermales»: <https://dsmobserver.com/2017/10/japan-first-mine-hydrothermal-deposit/>

⁹ «JOGMEC lleva a cabo con éxito la primera excavación de fondos marinos ricos en cobalto en aguas profundas; las pruebas de excavación tienen como finalidad identificar las mejores prácticas para acceder a ingredientes esenciales para la tecnología verde al tiempo que se minimizan los efectos ambientales»: https://www.jogmec.go.jp/english/news/release/news_01_000033.html

¹⁰ «Japón probará la minería de aguas profundas en medio de la preocupación pública y científica»:

<https://oceanographicmagazine.com/news/japan-to-test-deep-sea-mining-amid-public-and-scientific-concern/>

¹¹ «Se prueba un vehículo minero para aguas profundas chino que podría poner todo el mar de China meridional al alcance de la mano»: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3270047/chinese-team-tests-deep-sea-mining-vehicle-could-put-entire-south-china-sea-reach>

¹² «El secreto del fondo del océano»: https://www.bbc.co.uk/news/resources/idt-sh/deep_sea_mining

expertos en la materia que revisan los informes y planes de trabajo de los contratistas mineros y hacen recomendaciones al Consejo. El Consejo, un grupo rotatorio de 36 Estados Miembros que reflejan la diversidad geográfica y económica de la ISA, revisa los informes de la Comisión Jurídica y Técnica y de la Secretaría y hace recomendaciones a la Asamblea. La Asamblea, compuesta por todos los Estados Miembros de la ISA, es el máximo órgano de toma de decisiones dentro de la ISA.

La ISA reconoce a los observadores, incluidos los grupos de partes interesadas, las ONG y los miembros de la sociedad civil, cuyos representados pueden verse afectados por el desarrollo de la minería en aguas profundas. Los observadores pueden intervenir durante las negociaciones y participar en la elaboración de normas y reglamentos, pero no están facultados para votar sobre las propuestas. Ha habido preocupaciones sobre la inclusión y la transparencia durante estas negociaciones (Ardrón et al., 2023; Jaeckel et al., 2023). Aunque las empresas mineras (contratistas) no participan directamente en la votación, pueden dar a conocer sus preferencias a través de sus Estados patrocinadores y se les invita a participar en la elaboración de normas y reglamentos.

Portal DeepData de la ISA

La ISA gestiona la Base de Datos de los Fondos Marinos y Oceánicos (DeepData). DeepData pretende servir como un sistema de gestión de datos geoespaciales que aloja los datos medioambientales recopilados por los contratistas de minería en aguas profundas durante sus actividades de exploración. Los contratistas de minería deben presentar sus datos de las actividades de exploración a través de la base de datos. Los datos de dominio público se archivan de forma cruzada a través del Sistema de Información sobre la Biodiversidad Oceánica (OBIS).¹³

Sin embargo, un análisis independiente de DeepData halló evidencias de una amplia duplicación de conjuntos de datos, una ausencia de identificadores de registros individuales y problemas importantes de calidad de los datos taxonómicos, lo que compromete la calidad de los datos (Rabone et al., 2023, 2022). Aunque la publicación de los registros de DeepData en el nodo OBIS de la ISA en 2021 supuso una mejora a gran escala de la calidad y la accesibilidad de los datos, persisten una serie de problemas graves en ambas plataformas que restringen la usabilidad de los datos.

Una evaluación, como parte de este informe, del portal DeepData de la ISA y de la base de datos asociada cargada en el OBIS reveló la escasez de observaciones de superficie realizadas por los contratistas de minería en aguas profundas. El archivo contiene observaciones de solo ocho cetáceos, tres aves, un tiburón y un pez óseo (los dos últimos a una profundidad de menos de 200 metros). Entre todas las observaciones medioambientales facilitadas por los contratistas, solo se comunicaron tres observaciones de reptiles marinos; además, los reptiles marinos parecen haber sido mal identificados como aves. No se proporcionaron taxonomías detalladas (es decir, clasificación de género o especie) para ninguno de los taxones declarados.

Un único contratista de minería de la ISA (TMC) suministró grabaciones de hidrófonos de cetáceos, tanto en fondeos de aguas poco profundas como de aguas profundas, desde dentro de su área de contrato minero en la ZCC. Se registraron cuatro silbidos de delfínidos separados durante un período de medio mes desde la matriz de hidrófonos de aguas profundas. La matriz de hidrófonos de aguas poco profundas registró silbidos y secuencias de clics de delfínidos, clics de cachalotes y llamadas de ballenas Minke, lo que sugiere que las interacciones de mamíferos

¹³ OBIS ISA: <https://obis.org/node/9d2d95be-32eb-4d81-8911-32cb8bc641c8>

marinos dentro de las áreas de contratos de minería en aguas profundas pueden ser más frecuentes de lo que sugieren los escasos datos de observación con los que se cuenta.

Minería en aguas profundas en aguas nacionales

Papúa Nueva Guinea es el único país que ha concedido un contrato de explotación minera, concediendo permiso a la ahora desaparecida Nautilus Minerals para explotar Solwara I¹⁴. El auge y la caída de Nautilus Minerals ofrece una panorámica fascinante de los retos económicos y políticos de la explotación minera de una fuente hidrotermal en aguas profundas, algo que queda fuera del alcance de este informe.¹⁵ Los resultados de la investigación financiada por Nautilus demuestran que las fuentes hidrotermales de Papúa Nueva Guinea conectan las comunidades de fuentes en el Pacífico occidental norte y sur (Tunnicliffe et al., 2023).

Japón se ha involucrado en la minería experimental en aguas profundas dentro de su propia ZEE, extrayendo mineral de sulfuros masivos del fondo marino, costras ricas en cobalto y nódulos polimetálicos. Las prioridades de la minería en aguas profundas de Japón se establecieron en el Plan Básico de Política Oceánica de 2007, que definió los planes para la comercialización de los recursos del fondo marino (Okamoto et al., 2018). Más allá de los tres principales recursos minerales de aguas profundas, Japón también ha participado en importantes investigaciones sobre la extracción de lodos enriquecidos con elementos de tierras raras (ETR) que se encuentran dentro de la ZEE del país (Kato et al., 2011). Los lodos enriquecidos con ETR pueden suponer una valiosa fuente de metales críticos extremadamente raros (Takaya et al., 2018).

Nueva Zelanda es un caso singular entre los Estados Miembros de la ISA, en el sentido de que, si bien ha respaldado una «moratoria condicional» de la minería en aguas profundas en las zonas fuera de la jurisdicción nacional (que demanda una moratoria de la comercialización de la minería en aguas profundas hasta¹⁶ que la ISA apruebe el Código de Minería), se ha resistido a hacerlo en aguas neozelandesas. A principios de 2023 se rechazó un proyecto de ley para prohibir la minería en aguas profundas en la ZEE de Nueva Zelanda.¹⁷ Al igual que en muchos casos de minería en aguas profundas en aguas nacionales, el enfoque de Nueva Zelanda refleja una mayor diversidad de recursos minerales potenciales que los que está valorando la ISA e incluye hidrocarburos, arenas ricas en hierro y nódulos de fosforita (Ellis et al., 2017), así como nódulos polimetálicos, sulfuros polimetálicos y costras ricas en cobalto.

Noruega ha estudiado la posibilidad de llevar a cabo la minería en aguas profundas en sus propias aguas territoriales. En diciembre de 2023, el Parlamento noruego anunció que había llegado a un acuerdo para abrir las aguas noruegas del Ártico a la exploración minera en aguas profundas, un primer paso necesario para la comercialización de la minería en aguas profundas.¹⁸ Aunque esta medida no permite de forma inmediata a los contratistas noruegos comenzar a extraer sulfuros masivos del fondo marino y costras ricas en cobalto en el Ártico, muchas ONG y grupos de partes interesadas lo ven, junto con la reciente adquisición de UK Seabed Resources Ltd. de Lockheed por parte de la empresa minera noruega Loke Marine, como

¹⁴ Declaración de Impacto Ambiental, Proyecto Solwara I: <https://dsmobserver.com/wp-content/uploads/2017/05/Environmental-Impact-Statement-Executive-Summary-English-1.pdf>

¹⁵ Los últimos días de Nautilus Minerals: <https://dsmobserver.com/2020/05/the-last-days-of-nautilus-minerals/>

¹⁶ «Nueva Zelanda respalda la moratoria condicional de la minería en el fondo marino en aguas internacionales»: <https://www.beehive.govt.nz/release/nz-backs-conditional-moratorium-seabed-mining-international-waters>

¹⁷ «Propuesta para prohibir la minería de aguas profundas rechazada: "Nuestra comunidad no la quiere. El público no lo quiere». : <https://www.rnz.co.nz/news/political/489658/bid-to-ban-deep-sea-mining-defeated-our-community-don-t-want-it-the-public-doesn-t-want-it>

¹⁸ «La minería en aguas profundas en el océano Ártico recibe luz verde de los legisladores noruegos»: <https://apnews.com/article/norway-underwater-mining-arctic-663c7fceb5f41e84affc5f84d52504>

una clara señal de que Noruega tiene la intención de comenzar a realizar extracciones en sus propias aguas en un futuro inminente. Las labores por abrir las aguas noruegas a la exploración se suspendió como parte de una disputa presupuestaria parlamentaria a finales de 2024, y el contratista minero, Loke Marine, se ha declarado en quiebra desde entonces.¹⁹

Las Islas Cook fue una de las primeras naciones del Pacífico en aprobar leyes que regulan el acceso a los recursos minerales del fondo marino dentro de su ZEE. Fue el primer país en crear una Autoridad de Minerales del Fondo Marino y en aprobar una serie de leyes sobre minerales del fondo marino, que culminaron con la actual Ley de Minerales del Fondo Marino de 2019 para regular la incipiente industria. Mientras que la Ley de Minerales del Fondo Marino regula la forma en que los contratistas pueden explorar y explotar las aguas profundas que circundan las Islas Cook, las cuestiones medioambientales se rigen por la Ley de Medio Ambiente de 2003. Asimismo, las Islas Cook han implementado un conjunto de herramientas holísticas de gestión espacial marina (Petterson and Tawake, 2019).

El Reino de Tonga también ha estado trabajando de forma activa para avanzar en la minería en aguas profundas dentro de sus propias aguas. Tonga aprobó su Ley de Minerales del Fondo Marino en 2014, la cual estipula un proceso de verificación para los contratistas mineros y una fase de consulta pública para cualquier posible explotación, exige evaluaciones de impacto ambiental y otorga al Gobierno facultades de ejecución sobre los contratistas mineros.²⁰ La Ley de Minerales del Fondo Marino de Tonga también dicta cómo el Reino de Tonga supervisa a los contratistas mineros que patrocina y que operan en la zona.

Estados Unidos ha promulgado recientemente una orden ejecutiva para agilizar los procesos de concesión de permisos en virtud de la Ley de Tierras de la Plataforma Continental Exterior y la Ley de Recursos Minerales Duros de los Fondos Marinos.²¹ Esto podría dar lugar a que Estados Unidos celebre acuerdos de minería para aguas profundas tanto en aguas nacionales como internacionales. Sin embargo, aún no está claro hasta qué punto participará en la minería en aguas profundas.

¹⁹ «Una minera se arruina y otra se queda sola mientras se estanca el progreso en las normas de la ONU sobre el fondo marino»: <https://www.wsj.com/articles/a-miner-goes-bust-another-goes-solo-as-progress-on-u-n-seabed-rules-stalls-cba45638>

²⁰ LEY DE MINERALES DEL FONDO MARINO DE TONGA DE 2014: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ton143350.pdf>

²¹ APROVECHAMIENTO DE LOS MINERALES Y RECURSOS CRÍTICOS DE LOS ESTADOS UNIDOS: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/04/unleashing-americas-offshore-critical-minerals-and-resources/>

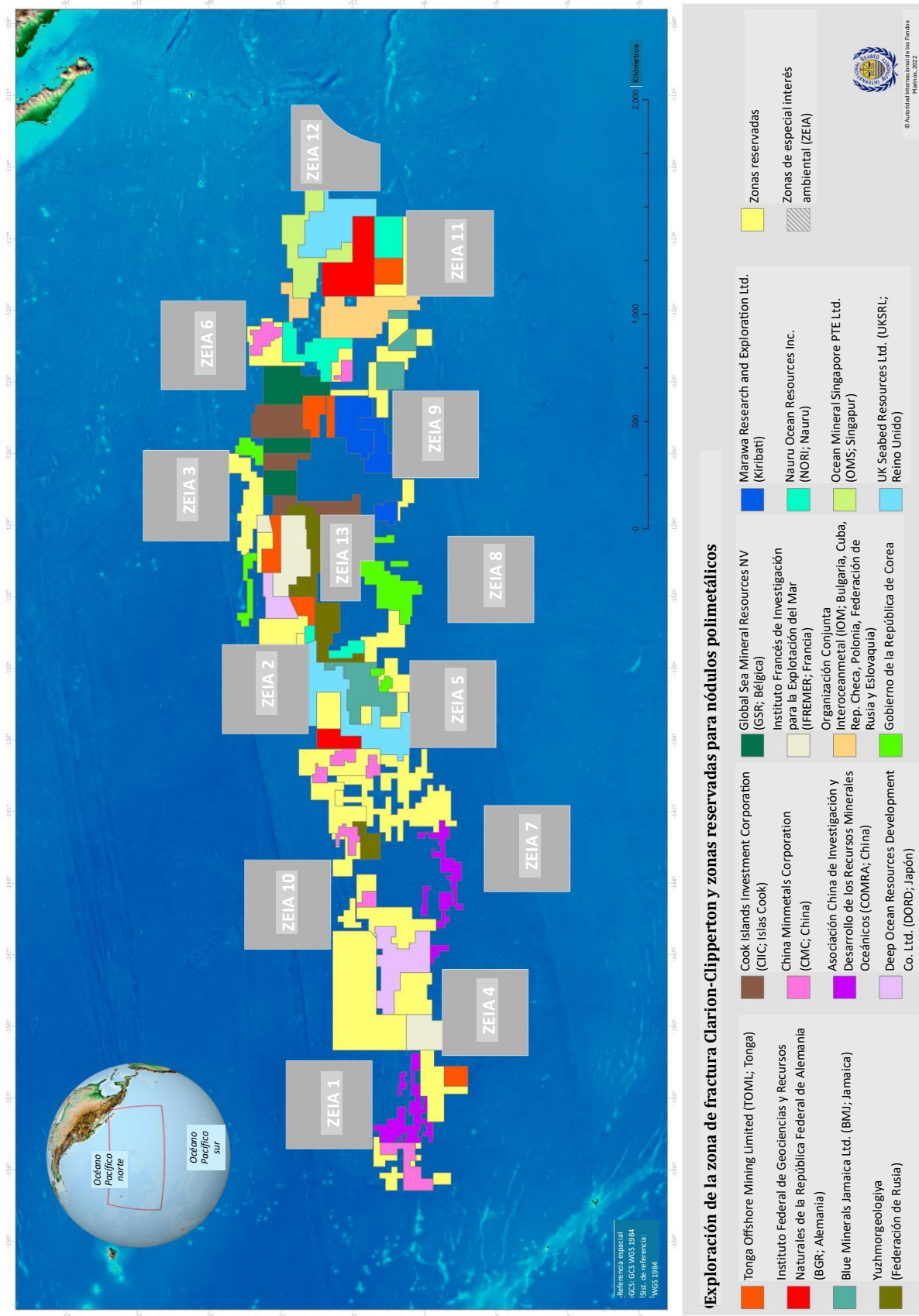


Figura 2. Bloques de concesión de exploración de nódulos polimetálicos y áreas de reserva en la zona de fractura Clarion-Clipperton. Cortesía de la ISA.

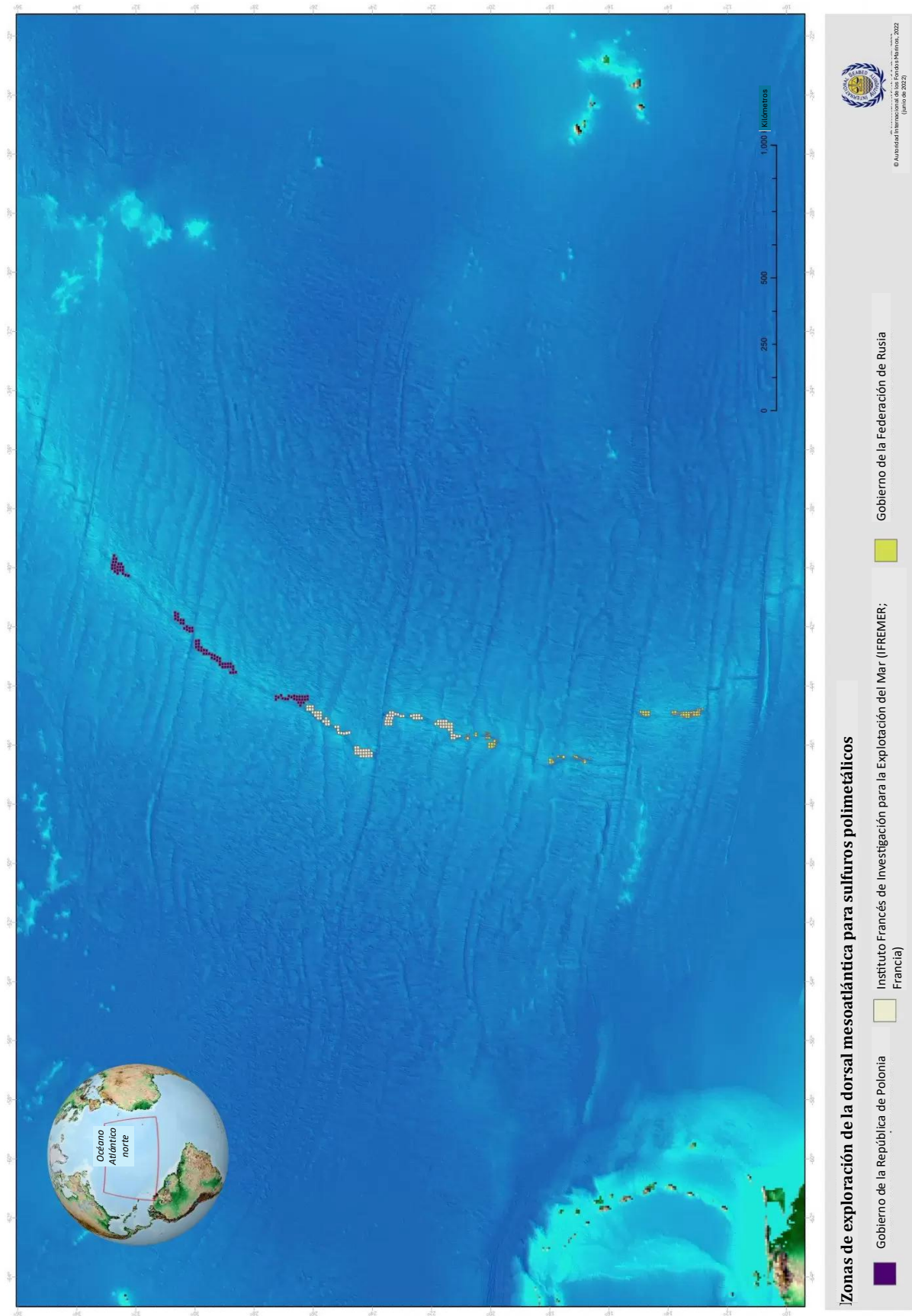


Figura 3. Bloques de concesión de exploración de sulfuros masivos del fondo marino en la dorsal mesoatlántica.
Cortesía de la ISA.

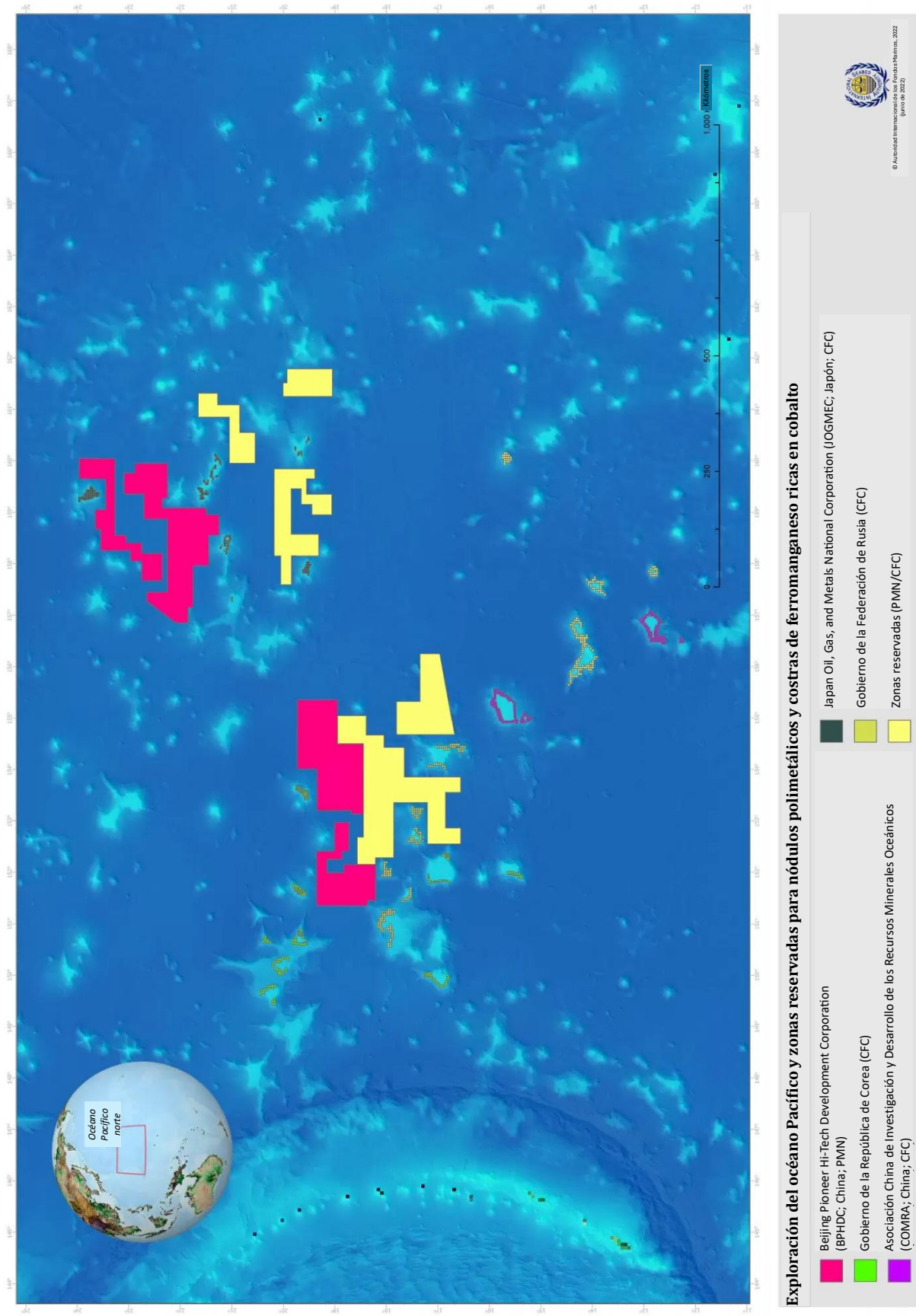


Figura 4. Bloques de concesión de exploración de nódulos polimetálicos y costras ricas en cobalto y áreas de reserva en el océano Pacífico. Cortesía de la ISA.

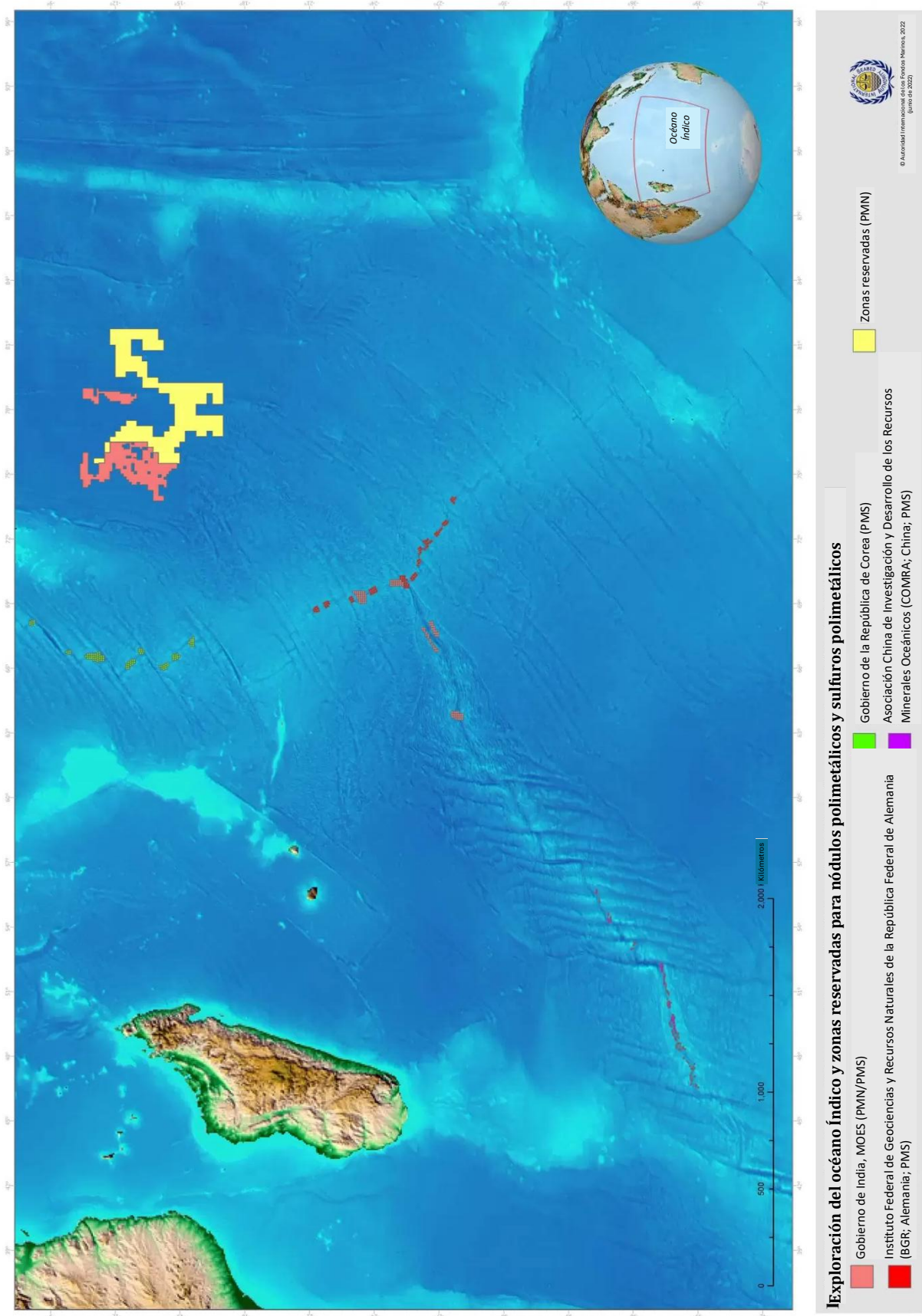


Figura 5. Bloques de concesión de exploración de nódulos polimetálicos y sulfuros masivos del fondo marino en el océano Índico. Cortesía de la ISA.

Efectos de la minería en aguas profundas

La minería en aguas profundas plantea un complejo caso práctico sobre los efectos de una industria extractiva emergente. Dado que el desarrollo de la minería en aguas profundas ha sido supervisado por la ISA desde 1994, es un raro ejemplo de una industria en la que la regulación medioambiental ha precedido, hasta ahora, a la explotación industrial. Esto ha resultado en una curiosa paradoja: se han realizado investigaciones para ayudar a determinar las condiciones medioambientales de referencia del fondo marino profundo, incluso hubo una pequeña serie de estudios de perturbaciones a largo plazo realizados en las décadas de 1970 y 1980. No obstante, debido a que no se ha llevado a cabo ninguna actividad minera comercial en aguas profundas, hay relativamente pocos estudios directos sobre los efectos medioambientales del sector. Este es el caso de las especies altamente migratorias: por lo general, no son el centro de las evaluaciones de impacto ambiental para las incipientes actividades de la minería en aguas profundas ni el objeto de investigaciones sobre los ecosistemas que se verán más directamente afectados por la minería en aguas profundas.

Efectos directos

El proceso de la minería en aguas profundas tiene varios efectos directos sobre el fondo marino, dependiendo de la topología del emplazamiento minero y del yacimiento mineral.

Sulfuros polimetálicos. En las fuentes hidrotermales, los efectos directos en el ecosistema aledaño serán catastróficos y darán lugar a la defaunación completa y la destrucción del hábitat del entorno contiguo a la fuente (Van Dover, 2014). Los procesos geoquímicos que crean estos depósitos de mineral proporcionan energía química que sustenta nuevos ecosistemas basados en la producción primaria quimiosintética (Van Dover et al., 2018). La minería dará como resultado la extirpación completa de los productores primarios del sistema de fuentes hidrotermales. El mineral no se puede aislar del ecosistema (Collins et al., 2013). En el único estudio realizado hasta la fecha sobre los efectos medioambientales de la explotación minera de una fuente hidrotermal en aguas profundas, la biodiversidad se desplomó tras la explotación y no se había recuperado tres años después (Washburn et al., 2023a).

Dentro de las provincias biogeográficas, las comunidades de fuentes hidrotermales suelen estar bien conectadas. Incluso en ensayos mineros limitados y controlados, los efectos posteriores afectarán a las fuentes hidrotermales más allá del área minera (Thaler et al., 2017, 2014, 2011). En los sistemas de fuentes hidrotermales inactivas, donde las fuentes se han cerrado y las comunidades ya no están dominadas por constructores de hábitats quimioautotróficos, las comunidades sucesivas parecen depender de la actividad quimiosintética remanente. Sin embargo, las comunidades en fuentes inactivas suelen estar muy poco estudiadas y no hay demasiados conocimientos sobre ellas (Amon et al., 2022). Por lo tanto, incluso en emplazamientos de fuentes inactivas, la minería puede dar lugar a la eliminación integral de ecosistemas endémicos (Erickson et al., 2009).

Costras ricas en cobalto. En las costras ricas en cobalto, la minería se lleva a cabo en las capas gruesas de las costras que recubren las cimas rocosas y las paredes superiores de los montes submarinos. Esto conlleva la eliminación completa del material mineral, así como del hábitat de numerosas especies, incluidas especies sésiles de vida larga y crecimiento lento, como los corales, de las cimas rocosas incrustadas y las paredes superiores de los montes submarinos (Weaver and Billett, 2019). Los montes submarinos tienden a albergar ecosistemas con una elevada biomasa, proporcionando hábitats y zonas de cría para pesquerías de gran importancia comercial (Morato et al., 2010). Aunque los estudios sobre los efectos medioambientales de la

extracción de costras ricas en cobalto son limitados, los estudios de referencia han demostrado que la estructura de las comunidades en las costras difiere de la de las regiones de montes submarinos sin costras y que la recuperación de las perturbaciones por la minería será lenta (Schlacher et al., 2014). En el único estudio realizado hasta la fecha sobre los efectos medioambientales de la explotación minera de una costra rica en cobalto, la epifauna móvil era menos abundante tras la perturbación (Washburn et al., 2023b).

Nódulos polimetálicos. La extracción de nódulos polimetálicos implica la recolección de nódulos directamente del fondo marino. Los nódulos en sí mismos proporcionan hábitats para muchas especies que se encuentran exclusivamente dentro de los campos de nódulos, incluidas esponjas, corales, gusanos tubícolas, percebes y otras especies (Amon et al., 2016; De Smet et al., 2021). Los campos de nódulos desempeñan un papel clave para las comunidades de las llanuras abisales, favoreciendo la biodiversidad, la abundancia o la composición de las comunidades, y pueden ser fundamentales para mantener la integridad de las redes alimentarias profundas (Amon et al., 2016; Durden et al., 2021; Simon-Lledó et al., 2023, 2020; Stratmann et al., 2021; Uhlenkott et al., 2023; Vanreusel et al., 2016). La eliminación de los nódulos puede, además, remodelar el ecosistema microbiano debajo de los nódulos (Wear et al., 2021).

En las décadas de 1970 y 1980, se realizaron experimentos de extracción de nódulos para evaluar los efectos a largo plazo de la extracción de nódulos en aguas profundas, como por ejemplo en el lugar del experimento de perturbación y recolonización (DISCOL) en la cuenca del Perú, que se encuentra entre los emplazamientos de extracción experimental mejor estudiados (Thiel et al., 2001). Veintiséis años después de la perturbación, no ha habido señales de recuperación de los filtradores bentónicos y los carroñeros móviles tienen una composición comunitaria cuantitativamente diferente en comparación con la comunidad original (Jones et al., 2017; Simon-Lledó et al., 2019). Es posible que las comunidades microbianas y la función del ecosistema tampoco se hayan recuperado (Molari et al., 2020; Volz et al., 2020; Vonnahme et al., 2020). Algunos estudios recientes han demostrado que los efectos biológicos de la extracción de nódulos polimetálicos persisten durante al menos 44 años, aunque algunas especies móviles han comenzado a recuperarse (Jones et al., 2025). Los efectos directos en el ecosistema del emplazamiento minero más cercano probablemente persistirán durante al menos varias décadas más allá de la vida útil de la mina y es posible que nunca vuelva a su estado previo a la explotación minera, dado que gran parte de la fauna vive directamente en los nódulos, que tardan millones de años en formarse.

Penachos

La producción y propagación de penachos de sedimentos durante el proceso de extracción es uno de los efectos potenciales más variables de la minería en aguas profundas. Los penachos evolucionan en el espacio y el tiempo, representados en el modelado de penachos por tres fases distintas: una fase de descarga, en la que el sedimento se moviliza hacia la columna de agua a través del contacto con un vehículo de recolección o mediante la descarga en aguas intermedias durante el procesamiento; una fase propiciada por la flotabilidad, en la cual la fuerza primaria que hace que el penacho de sedimento se propague es su propia flotabilidad, en lugar del impulso derivado de la fase de descarga; y una fase de transporte pasivo, en la que la propagación del penacho la propician factores externos como las corrientes (Muñoz-Royo et al., 2022). La extensión y, por tanto, el efecto medioambiental, de los penachos de sedimentos depende de la tecnología minera utilizada en la recolección y el tratamiento del mineral (Peacock and Ouillon, 2023) y las características del sedimento subyacente (Gillard et al., 2019), así como de los regímenes de las corrientes y la biodiversidad presentes en estas áreas específicas.

Penacho de recolección. Todas las formas de minería en aguas profundas generan un penacho de sedimentos en el fondo marino, allí donde la herramienta minera moviliza los sedimentos. Dicho penacho de sedimentos podría extenderse varios kilómetros a través del fondo marino profundo (Gillard et al., 2019). Antes se creía que la extensión era de hasta 100 kilómetros, pero algunos estudios recientes sugieren que la extensión del penacho puede ser mucho más limitada, con la mayoría de los sedimentos depositados a pocos metros del lugar de la perturbación y con concentraciones más bajas de sedimentos en las fases de flotación y transporte pasivo (Peacock and Ouillon, 2023). Una evaluación independiente reciente de un colector de nódulos experimental observó penachos que se dispersaban hasta al menos 4,5 kilómetros (el límite del área de monitoreo), con concentraciones de partículas suspendidas cuatro veces mayores que las concentraciones de fondo observadas a 50 metros de las vías mineras y con aproximadamente 3 cm de sedimento redepositado adyacente a las vías mineras (Gazis et al., 2025).

Todas las actividades de recolección en el fondo marino pueden contribuir a la fase de descarga. Aunque algunos diseños de colectores pueden movilizar los 5-15 cm superiores de sedimento (Peacock and Ouillon, 2023), otros se están diseñando para operar con un proceso de extracción presumiblemente menos agresivo.²² La duración y propagación del penacho en la fase de descarga dependerá en gran medida del diseño y el funcionamiento específicos del vehículo de recolección. Durante la fase propiciada por la flotabilidad, el penacho puede propagarse más allá del área minera aledaña, produciéndose una fuerte sedimentación a menos de 100 metros del colector de nódulos (Burns, 1980). Las observaciones de un vehículo minero oruga experimental en la zona Clarion-Clipperton documentaron un penacho que se elevó 3 metros sobre el fondo marino y se propagó más de 100 metros más allá del emplazamiento minero contiguo (Muñoz-Royo et al., 2022). Entre el 2 y el 8 % del sedimento movilizado se detectó a más de 2 metros por encima del fondo marino y no se había asentado después de varias horas de observación. Dado que la evolución final del penacho puede verse facilitada por las condiciones ambientales, como la influencia de las mareas específicas del emplazamiento, las corrientes bentónicas y la topografía del fondo marino, así como por el diseño específico del colector de nódulos, los modelos que predicen la extensión total de la fase de transporte pasivo diluida y ampliamente dispersa del penacho de recolección pueden tener una desviación de varios órdenes de magnitud. La predicción precisa de la propagación del penacho depende de observaciones precisas sobre el terreno utilizando mediciones específicas de las operaciones en relación con la evolución del penacho (Peacock and Ouillon, 2023).

Los penachos de recolección pueden asfixiar el ecosistema circundante, lo que resulta en la pérdida de hábitats marinos y biodiversidad (Miller et al., 2018). El mineral de los depósitos de aguas profundas puede estar enriquecido con metales pesados como el plomo y el arsénico, que pueden moverse hacia el ecosistema durante la extracción (Hauton et al., 2017; Price et al., 2016). Un estudio indicó que los mamíferos marinos de aguas profundas interactúan con el fondo marino en el área alrededor de la zona Clarion-Clipperton y que la generación de penachos puede alterar los patrones de alimentación (Marsh et al., 2018). Algunos estudios recientes detectaron efectos residuales mínimos de penachos de sedimentación 44 años después de la existencia de una mina de nódulos de prueba a pequeña escala (Jones et al., 2025); sin embargo, en el lugar del DISCOL, 26 años después de la perturbación, la megafauna y las comunidades de peces todavía mostraban repercusiones en el fondo marino afectado por el penacho (Drazen et al., 2021; Simon-Lledó et al., 2019).

²² «El equipo de Collingwood crea un robot más fácil de usar para la minería en aguas profundas»: <https://www.collingwoodtoday.ca/local-news/collingwood-team-creating-friendlier-robot-for-deep-sea-mining-10773843>

Penacho de retorno. Los nódulos recuperados en la superficie llevan consigo una fracción de sedimento bentónico. En función del método de extracción, este penacho de retorno puede consistir en sedimentos enriquecidos con minerales (incluidos metales en partículas y disueltos), así como agua de diferentes temperaturas y características químicas, producida cuando se deshidrata el mineral recuperado (Spearman et al., 2020). En la mayoría de los escenarios de extracción propuestos, este penacho se produce en las aguas intermedias, aunque también se han presentado propuestas para descargar el penacho de retorno más cerca del fondo marino. Hasta el momento, no existen normativas que regulen la profundidad del penacho de retorno. Los penachos de aguas intermedias están dominados por la fase de transporte pasivo, en la que los penachos de sedimentos de concentración relativamente baja pueden persistir durante semanas, y a veces hasta más de cuatro meses, antes de asentarse finalmente en el fondo marino, lo que permite que dichos penachos se dispersen a lo largo de cientos o incluso miles de kilómetros (Peacock and Ouillon, 2023). Los penachos de aguas intermedias podrían liberar señales químicas que perturben la migración de los animales, especialmente la de aquellos que participan en la migración vertical diaria o la de especies altamente migratorias como los mamíferos marinos (Drazen et al., 2019). También es posible que los metales descargados entren en las redes alimentarias de las aguas intermedias y, a continuación, se bioacumulen en niveles tróficos más altos, lo que incluye a las especies oceánicas migratorias y de importancia comercial (Amon et al., 2023).

Se ha prestado relativamente poca atención a las zonas epipelágica y mesopelágica en comparación con el bentos profundo, donde se lleva a cabo la extracción minera (Drazen et al., 2020). Si se liberan en la zona fótica, los penachos fruto de la deshidratación pueden interrumpir el flujo de nutrientes en aguas que de por sí tienen nutrientes limitados, lo que puede desencadenar floraciones de algas que podrían, en última instancia, matar de hambre a una región y asfixiar a las comunidades del fondo marino cuando las algas comiencen a morir. Los penachos de deshidratación descargarán grandes volúmenes de lodo inorgánico y partículas de mineral en las aguas intermedias (~50 000 m³ d⁻¹; Drazen et al., 2020) que podrían diluir las partículas detríticas orgánicas de las que dependen los filtradores de aguas intermedias y profundas. Esta perturbación de las redes alimentarias de aguas intermedias podría afectar a especies altamente migratorias, como los atunes, y a especies incluidas en la CMS, como los tiburones pelágicos. En un estudio, la exposición de corales de aguas profundas a partículas en suspensión de sulfuros polimetálicos dio lugar a pérdida de tejidos, necrosis y bioacumulación de cobre en especímenes de coral (Carreiro-Silva et al., 2022). Una investigación reciente sobre los posibles efectos de los penachos producto de la deshidratación en una medusa pelágica de las profundidades indicó que la minería en aguas profundas tendría un efecto negativo sobre la biodiversidad y la función del ecosistema en la zona de aguas intermedias (Stenvers et al., 2023).

Penacho de superficie. Los penachos de superficie pueden producirse por el proceso de deshidratación, pero lo más probable es que sean el resultado de una descarga accidental o de emergencia. Dichas descargas pueden alterar el neuston que rodea directamente al buque minero (Helm, 2021) e interferir en la migración y el comportamiento alimentario de las especies pelágicas, incluidos los mamíferos marinos y las aves marinas migratorias, así como las comunidades pelágicas de las que dependen. Dado que ningún contratista de minería en aguas profundas propone liberar penachos de superficie como parte de sus operaciones, los estudios sobre la propagación de penachos de superficie derivados de la minería en aguas profundas son limitados. Estudios similares sobre el efecto de los penachos producidos durante las actividades de dragado muestran que el aumento de la turbidez da como resultado una disminución de las tasas de alimentación y respiración de los organismos afectados (Todd et al., 2015). Los contratistas de minería reconocen que la descarga superficial deliberada de desechos de nódulos es «demasiado problemática para el medio ambiente como para ser viable» (Peacock and

Ouillon, 2023). Ya se ha informado de al menos un caso de descarga accidental de penachos de superficie desde un buque de extracción minera en aguas profundas que realizaba pruebas experimentales en la zona Clarion-Clipperton.²³ La descarga involuntaria cubrió un área lo suficientemente importante como para que se pudiera seguir desde el espacio (Yin et al., 2024).

Ruido

Con la excepción de las fuentes hidrotermales asociadas con los sulfuros polimetálicos, el entorno sonoro de las profundidades marinas es relativamente silencioso y está poco estudiado (Chen et al., 2021). Se observó que el entorno sonoro de un campo de nódulos dentro de la ZEE de Japón era más silencioso incluso que el abismo Challenger de la fosa de las Marianas (Chen et al., 2021). La minería en aguas profundas introducirá diversas fuentes nuevas de contaminación acústica marina en regiones que, históricamente, han tenido poco tráfico y han estado poco expuestas al ruido antropogénico. Se espera que las operaciones mineras en las que participan vehículos robóticos operen las 24 horas del día, bombeando el mineral continuamente desde el fondo marino a la superficie a través de un sistema de elevación. Un buque que esté en el emplazamiento durante meses también contribuirá a alterar el entorno acústico. La prospección de nuevos depósitos minerales y la evaluación de la integridad estructural de un emplazamiento minero pueden implicar el uso de un SONAR que penetre en el fondo marino. El ruido de las operaciones mineras en aguas profundas puede abarcar zonas amplias, con efectos de los sonidos agudos en el área inmediatamente aledaña al sitio minero y al buque de respaldo (Williams et al., 2022). Los efectos acumulativos de la exposición crónica al ruido de los sistemas mineros probablemente tendrán un efecto mucho mayor que la exposición a sonidos agudos a corto plazo, que se evalúa con mayor frecuencia en los estudios de exposición al ruido (Williams et al., 2025).

Los entornos sonoros específicos de los hábitats pueden servir como señal para el asentamiento y las alteraciones significativas en el entorno sonoro profundo podrían enmascarar las señales acústicas que las larvas utilizan para localizar hábitats apropiados (Chen et al., 2021). El ruido generado por una operación comercial de nódulos podría producir una onda de sonido de hasta 6 km de radio, lo que supera los umbrales estándar para afectar al comportamiento de los mamíferos marinos (Southall et al., 2019; Williams et al., 2022). Incluso se ha demostrado que los cruceros de investigación científica de duración relativamente corta que utilizan activos sumergibles alteran significativamente el entorno sonoro aledaño (Chen et al., 2021).

En el caso de los mamíferos marinos, las tortugas marinas y otras especies migratorias, el ruido antropogénico puede provocar cambios de comportamiento, como la interrupción de los hábitos de alimentación, la alteración de las vocalizaciones y la activación de la respuesta de huida de las zonas con alto nivel de ruido. Los cambios de comportamiento asociados con el ruido antropogénico suelen ser impredecibles y no se correlacionan necesariamente con el volumen de la fuente de ruido, sino con numerosos factores (Williams et al., 2025). En los casos más extremos, el sonido de alta intensidad puede provocar daños directos en las estructuras del oído, que pueden ser letales (Gomez et al., 2016). Al menos un estudio sugiere que los zifilos que se sumergen a gran profundidad pueden interactuar con el fondo marino en la zona Clarion-Clipperton (Marsh et al., 2018). Muchas zonas de contratos de minería en aguas profundas no solo están situadas en áreas donde los cetáceos están activos, sino en regiones que rara vez se ven perturbadas por las actividades humanas. Se sabe que el ruido producido por las operaciones mineras se superpone con la frecuencia con la que se comunican muchos cetáceos,

²³ «Las imágenes de vídeo filtradas de la contaminación oceánica arrojan luz sobre la minería en aguas profundas»: <https://www.theguardian.com/environment/2023/feb/06/leaked-video-footage-of-ocean-pollution-shines-light-on-deep-sea-mining>

lo que puede provocar una alteración permanente en el comportamiento de las poblaciones, que aún se están recuperando de dos siglos de caza comercial de ballenas (Thompson et al., 2023). Además, en una revisión sistemática de los efectos del ruido derivado de la minería en aguas profundas en la zona Clarion-Clipperton, solo se evaluó el 35 % de los taxones marinos que se sabe que habitan en la zona en cuanto a la sensibilidad al ruido, pero la sensibilidad al ruido era generalizada en todos los vertebrados representados, lo que demuestra que se sabe poco sobre este posible efecto (Amon et al., 2022; Williams et al., 2025).

Efectos indirectos

Para las especies migratorias, especialmente las que interactúan sobre todo con las capas superficiales del océano, y las especies de inmersión profunda que se alimentan en zonas que se superponen con los emplazamientos mineros, como el atún, el pez espada y los mamíferos marinos, los efectos indirectos de la minería en aguas profundas pueden resultar más graves. Esto incluye cambios en el comportamiento de las especies presa inducidos por la minería en aguas profundas, una mayor exposición a las toxinas movilizadas a través de la bioacumulación y la alteración de los procesos biogeoquímicos, que aún no se comprenden del todo.

Pesquerías de importancia comercial

Las poblaciones de atún patudo, listado y atún claro están presentes en la ZCC y se encuentran bajo la protección de dos organizaciones regionales de ordenación pesquera de esa parte del océano (van der Grient and Drazen, 2021). Las poblaciones capturadas en la ZCC representan algunas de las pesquerías comerciales más valiosas del mundo. Existe un importante solapamiento espacial entre las zonas de contratos de minería en aguas profundas y los caladeros de pesca (van der Grient and Drazen, 2021), lo que probablemente dé lugar a un conflicto directo entre estas dos actividades industriales, sobre todo porque el cambio climático provoca un solapamiento cada vez mayor entre ambas actividades (Amon et al., 2023). Los penachos de descarga enriquecidos con metales también pueden hacer que los metales pesados entren en la red alimentaria, lo que provoca bioacumulación en los superdepredadores y merma el valor de la pesca, como ocurrió con la bioacumulación de mercurio en los peces espada (Amon et al., 2023). Muchas especies de peces de importancia comercial son también presas de animales incluidos en la CMS. Los cambios en la dinámica de las presas pueden provocar una alternancia en el comportamiento de búsqueda de alimento y depredación, así como otros cambios de comportamiento. La bioacumulación de metales pesados puede tener efectos adversos significativos para la salud de los depredadores de alto nivel trófico (Ray and Vashishth, 2024).

Radiación de nódulos polimetálicos

Los nódulos polimetálicos se identificaron recientemente como materiales radiactivos naturales, ricos en radioisótopos de la serie del uranio, que emiten radiación alfa durante la desintegración. Entre ellos se encuentran el torio-230, el radio-226 y el protactinio-231, así como el radón-222. Aunque la distancia a la que pueden desplazarse las partículas alfa se limita a unos pocos centímetros y, por lo general, no penetran en la piel, su alto contenido energético las hace especialmente dañinas si entran en el organismo por ingestión o inhalación. En un estudio, las emisiones de torio-230 de los nódulos polimetálicos fueron 36 veces superiores a las establecidas por las Normas de Protección de la Salud y el Medio Ambiente de la EPA de EE. UU. para los Relaves de Uranio y Torio. Las del radio-226 fueron 47 veces superiores al límite (Volz et al., 2023). Esto supone un riesgo, en concreto, para quienes participan activamente en la extracción y el tratamiento de nódulos polimetálicos y complica la eliminación de los residuos posteriores.

La ISA emitió una declaración sobre el posible contenido radiactivo de los nódulos polimetálicos en la que indicaba que «la ISA no tiene previsto discutir las normas de seguridad para los trabajadores de la minería en aguas profundas».²⁴ Dado que el tratamiento de los nódulos probablemente se llevará a cabo en tierra, sobre la base de la tecnología minera actual, no está claro si una posible exposición a la radiación derivada del tratamiento de los nódulos polimetálicos podría tener efectos adversos para las especies altamente migratorias.

Oxígeno oscuro

Un estudio reciente describe la presencia de «oxígeno oscuro», es decir, oxígeno producido por un proceso biogeoquímico, aún no descrito, favorecido por los nódulos polimetálicos en el fondo marino (Sweetman et al., 2024). La producción de oxígeno oscuro dio lugar a un aumento de más del triple de la concentración de oxígeno de fondo en los experimentos de cámara bentónica «in situ». Si se valida con más estudios, sería un descubrimiento importante que podría mejorar muchísimo nuestros conocimientos del ecosistema del fondo marino. Sin embargo, el estudio preliminar se ha cuestionado y el proceso subyacente que produce el oxígeno oscuro sigue siendo difícil de determinar (Voosen, 2024). Si se dilucidara el método de generación, la producción de oxígeno oscuro podría desempeñar un papel fundamental en el ciclo de los materiales y en el secuestro de carbono en las profundidades marinas, además de ofrecer una posible nueva fuente de energía renovable (Shangguan, 2025). La producción de oxígeno oscuro también sería una preocupación importante respecto al desarrollo de la minería en aguas profundas y requeriría una reevaluación significativa de los efectos conocidos y desconocidos del sector (Siddiqui, 2025).

Aún no se ha determinado la relevancia biológica del oxígeno oscuro para el ecosistema oceánico en general, incluidas las especies de la CMS y sus presas. Verificar la existencia de oxígeno oscuro y determinar el proceso biogeoquímico que da lugar a su producción sigue siendo un tema interesante para futuras investigaciones.

Patrimonio cultural subacuático

La gran mayoría de la posible explotación minera de los fondos marinos se propone en zonas fuera de las jurisdicciones nacionales. Se ha prestado relativamente poca atención a los efectos sociales y culturales de la minería en aguas profundas. La falta de comunicación de las partes

²⁴ Verificación de datos de la ISA 2023/2 (radiactividad de los nódulos): <https://www.isa.org.jm/isa-fact-check-2023-2/>

interesadas con los pueblos que pueden verse más afectados de forma inmediata por la minería en aguas profundas es un punto frecuente de discordia entre las delegaciones de la ISA (Jaeckel et al., 2023).

En particular, la extracción minera en aguas profundas entra en conflicto directo con el patrimonio cultural de los habitantes de las islas del Pacífico.²⁵ Las concesiones mineras de aguas profundas se encuentran dentro de los triángulos de navegación de Micronesia y Polinesia, zonas donde los navegantes tradicionales han establecido y mantenido conexiones entre islas remotas durante milenios. Además, muchas especies migratorias de importancia cultural se encuentran en las áreas propuestas para la minería del Pacífico (Tilot et al., 2021).

Las fuentes hidrotermales de aguas profundas tienen un valor cultural y científico significativo. Las primeras zonas marinas protegidas de aguas profundas se establecieron alrededor de campos de fuentes hidrotermales de importancia histórica dentro del Parque Marino de las Azores y el Área Marina Protegida de las Fuentes Hidrotermales Endeavour en Canadá (Menini and Van Dover, 2019). El pasaje del medio, una región mesoatlántica, abarca la ruta histórica por la que se transportó a millones de personas esclavizadas desde África occidental a América y el Caribe y es un cementerio marino en el que yacen hasta 2 millones de personas (Turner et al., 2020). Varias concesiones mineras de aguas profundas otorgadas por la ISA se encuentran dentro de las rutas marítimas históricas del pasaje del medio. Hay en marcha al menos una campaña para declarar el fondo marino del pasaje del medio como cementerio marino.²⁶

Otros efectos

Otros posibles efectos indirectos incluyen la mayor probabilidad de colisiones con buques debido al aumento del tráfico de embarcaciones en zonas de tráfico relativamente bajo, la posibilidad de que los buques mineros estacionarios actúen como dispositivos de concentración de peces o de atracción de aves marinas y los efectos en cadena resultantes del comportamiento de evitación de las especies incluidas en la lista de la CMS y sus presas.

²⁵ Conexión de la conservación y la herencia cultural en Oceanía: <https://www.angelovillagomez.com/2022/09/connecting-conservation-and-culture-in.html>

²⁶ Un grupo insta a que el fondo marino del Atlántico se declare monumento conmemorativo de la trata de esclavos: <https://today.duke.edu/2020/11/group-urges-atlantic-seafloor-be-labeled-memorial-slave-trading>

Mammalia (mamíferos marinos)

De los 86 mamíferos marinos incluidos en la lista de la CMS, se sabe que al menos 41 se encuentran dentro de un área de contrato concedida por la ISA o de un área minera propuesta dentro de la ZEE de un país. Entre dichos mamíferos, se incluyen al menos ocho especies de zifilos de inmersión profunda, cuyo hábitat de alimentación puede superponerse directamente con los emplazamientos mineros de la ZCC, así como otras especies altamente migratorias cuyas rutas de migración se cruzan con las áreas de contratos propuestas en los océanos Atlántico, Pacífico e Índico o algunas especies de focas cuyas áreas de distribución se superponen con las zonas de exploración minera propuestas dentro de la ZEE de Noruega. La ZCC se considera una «zona de interés» por el Grupo de Trabajo sobre Áreas Protegidas de Mamíferos Marinos de la UICN, mientras que el corredor migratorio a través del Atlántico norte se solapa con las zonas de contratos de sulfuros polimetálicos y se considera una área marina importante para mamíferos marinos.²⁷

Los zifilos pueden interactuar con la minería en aguas profundas y verse afectados por ella de diversas formas, en particular por la alteración de los hábitos de alimentación de las especies que se sumergen a gran profundidad, así como por los cambios en la disponibilidad de presas, los entornos sonoros y los hábitos migratorios. Los zifilos, que comprenden hasta el 25 % de todos los cetáceos, aunque se encuentran entre las especies de cetáceos menos estudiadas, pueden verse particularmente afectados por la minería en aguas profundas. Estas especies se alimentan de peces demersales, incluidos los peces granaderos comunes en las llanuras abisales profundas (Ohizumi et al., 2003). Se sabe que el zifio de Cuvier (*Ziphius cavirostris*) se sumerge a casi 3000 metros (Schorr et al., 2014) y las marcas encontradas en el fondo marino en la ZCC sugieren que los zifios interactúan directamente con el fondo marino dentro de las áreas de contratos de la ISA (Marsh et al., 2018). El zifio de Cuvier y el zifio de Blainville (*Mesoplodon densirostris*; Rosso et al., 2021) tienen una distribución circunglobal. El zifio de Sowerby (*Mesoplodon bidens*), el zifio de True (*Mesoplodon mirus*) y el zifio de Gervais (*Mesoplodon europaeus*) se encuentran en el Atlántico y pueden cruzar áreas de contratos mineros de la dorsal mesoatlántica (Macleod, 2000). El zifio de Ginkgo (*Mesoplodon ginkgodens*; Rosso et al., 2021) y el zifio de Baird (*Berardius bairdii*; Ohizumi et al., 2003) solo se han documentado hasta ahora en el Pacífico. También se sabe que otros mamíferos marinos, como el zifio de nariz de botella (*Hyperoodon ampullatus*), se sumergen hasta aguas profundas (Hooker and Baird, 1999).

Los cachalotes (*Physeter macrocephalus*; Alexander et al., 2016) son otra especie que se sumerge a gran profundidad y suele alimentarse en las profundidades. Son la única especie de mamífero marino que se ha identificado positivamente a nivel de especie en los informes medioambientales de dominio público que se facilitan a través del portal DeepData de la ISA. Se detectaron clics de cachalotes en una matriz acústica de aguas profundas desplegada por TMC en la ZCC, lo que demuestra que estos animales están activos y se alimentan dentro de las áreas de contratos de exploración minera.

Las ballenas barbadas más grandes pueden interactuar con la minería en aguas profundas y verse afectadas por ella de diversas formas, incluidos cambios en la disponibilidad de presas, entornos sonoros y hábitos migratorios, alteración de los hábitos de alimentación y, más directamente, posibles aumentos de las colisiones con buques. Casi todas las ballenas grandes se superponen con los emplazamientos de minería en aguas profundas propuestos durante su vida, incluidas las ballenas Minke comunes (*Balaenoptera acutorostrata*; Kasamatsu et al., 1995;

²⁷ Atlas electrónico de los IMMA: <https://www.marinemammalhabitat.org/imma-eatlas/>

van Pijlen et al., 1995), los rorcuales norteños (*Balaenoptera borealis*; Ishii et al., 2017), los rorcuales de Bryde (*Balaenoptera edeni*; Heimlich et al., 2005; Rosel et al., 2021) y los rorcuales comunes (*Balaenoptera physalus*; Edwards et al., 2015). Muchas de estas especies se alimentan en la superficie en latitudes altas o aguas templadas y migran a través de emplazamientos conocidos de minería en aguas profundas hacia zonas de reproducción y alimentación.

La ballena azul (*Balaenoptera musculus*; Branch et al., 2007) está distribuida por todo el mundo, pero tiene una subpoblación exclusiva del océano Índico (Andersen et al., 2012) que se alimenta en aguas intermedias (de Vos et al., 2018, 2016) y cuya zona de distribución puede superponerse con los emplazamientos mineros de la triple unión del océano Índico, así como con los emplazamientos de prueba propuestos dentro de la ZEE de India. La ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) lleva a cabo una de las migraciones estacionales más largas de los mamíferos (Jackson et al., 2014) y puede solaparse con casi todos los emplazamientos mineros propuestos. Otras especies de ballenas grandes pueden no recorrer zonas que se superpongan directamente o puede que no haya suficientes evidencias bien documentadas para estimar su presencia, como es el caso de la ballena de Omura (*Balaenoptera omurai*; Cerchio et al., 2019). Algunas ballenas cuyo área de distribución no se solapa actualmente con los emplazamientos mineros propuestos pueden hacerlo en el futuro debido a la expansión del área de distribución inducida por el clima, como es el caso de la ballena franca del Atlántico norte (*Eubalaena glacialis*; Hunt et al., 2015).

Aunque a menudo se encuentran en grupos residentes, muchas especies de delfines tienen una distribución global, e incluso los delfines que suelen ser costeros pueden migrar a través de posibles emplazamientos de minería en aguas profundas. El delfín mular (*Tursiops truncatus*), por ejemplo, está distribuido por todo el mundo (Tezanos-Pinto et al., 2009) y, aunque tiene un alto grado de residencia (Rosel et al., 2009), hay evidencias de dispersión a larga distancia (Klatsky et al., 2007) entre los ecotipos de alta mar. Se pueden encontrar fenómenos similares, en mayor o menor medida, en el delfín de Fraser (*Lagenodelphis hosei*; Chen et al., 2020; Gomes-Pereira et al., 2013), el delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*; da Silva et al., 2015), el delfín común (*Delphinus delphis*; Barceló et al., 2022), el delfín de Risso (*Grampus griseus*; Jefferson et al., 2014) y la marsopa de Dall del Pacífico (*Phocoenoides dalli*; Escorza-Treviño y Dizon, 2000), que muestra evidencias de dispersión condicionada por los machos.

Las orcas (*Orcinus orca*; Blanc and Martínez-Rincón, 2023) están distribuidas de manera similar a escala mundial y, junto con las orcas negras (*Pseudorca crassidens*), pueden ser particularmente sensibles al sonido (Madsen et al., 2004).

Los delfines pelágicos se pueden encontrar en todos los grandes océanos y se ha documentado que muchas especies se alimentan de peces mesopelágicos en las aguas intermedias, donde se pueden liberar penachos producto de la deshidratación. Se ha documentado que el delfín moteado pantropical (*Stenella attenuate*; Díaz-Torres et al., 2022) y el delfín rayado (*Stenella coeruleoalba*; Ringelstein et al., 2006) se alimentan de peces linterna de las aguas intermedias. El delfín acróbata (*Stenella longirostris*; Leslie and Morin, 2018) está distribuido globalmente por los trópicos, al igual que el delfín de Clymene (*Stenella clymene* Weir et al., 2014) y el delfín moteado del Atlántico (*Stenella frontalis*; Adams and Rosel, 2006). El comportamiento circunglobal de la ballena de cabeza de melón (*Peponocephala electra*; Martien et al., 2017) es similar al de los delfines pelágicos.

Aunque la mayoría de los mamíferos marinos migratorios cuyas áreas de distribución se superponen con posibles emplazamientos de minería en aguas profundas tienen una presencia circunglobal o circuntropical, algunos muestran áreas de distribución más limitadas. El delfín de

flancos blancos del Atlántico (*Lagenorhynchus acutus*; Banguera-Hinestroza et al., 2014) y el delfín de hocico blanco (*Lagenorhynchus albirostris*; Canning et al., 2008) se encuentran en el Atlántico norte y solo pueden coincidir con áreas de contratos de exploración minera en la dorsal mesoatlántica. Las dos especies de calderones, el calderón tropical (*Globicephala macrorhynchus*) y el calderón común (*Globicephala melas*) tienen áreas de distribución globales pero no superpuestas. Los calderones comunes se encuentran en posibles emplazamientos de minería en aguas profundas en la dorsal mesoatlántica, mientras que los calderones tropicales tienen un área de distribución más amplia, en varios océanos, que se superpone con múltiples emplazamientos mineros potenciales (Oremus et al., 2009).

Los recientes planes de Noruega para otorgar concesiones mineras de sulfuros polimetálicos en aguas noruegas²⁸ pueden poner en peligro a algunas especies de mamíferos marinos costeros. Las áreas de distribución de las marsopas (*Phocoena phocoena*; Mikkelsen et al., 2016), las focas grises (*Halichoerus grypus*; Øigård et al., 2012), las focas comunes (*Phoca vitulina*; Bjørge et al., 2010), el delfín de flancos blancos del Atlántico (*Lagenorhynchus acutus*; Banguera-Hinestroza et al., 2014) y el delfín de hocico blanco (*Lagenorhynchus albirostris*; Canning et al., 2008) se solapan con una zona propuesta para un contrato de explotación minera en aguas profundas de Noruega (aunque los permisos para la zona del contrato se han suspendido temporalmente).²⁹

Respecto a muchas especies poco conocidas, los datos sobre su área de distribución (que, en algunos casos, apuntan a áreas de distribución circunglobales o que abarcan todos los océanos) suelen proceder de informes de varamientos, más que de observaciones directas en la naturaleza. Las distribuciones del cachalote pigmeo y del cachalote enano (*Kogia breviceps* y *Kogia sima*), por ejemplo, se derivan en gran medida de los datos de varamiento (Plön et al., 2023). El zifio de nariz de botella tropical (*Indopacetus pacificus*), cuya zona de distribución conocida se limita actualmente al océano Índico, solo se conoce a partir de unos pocos especímenes (Dalebout et al., 2003).

Tabla 1: especies de mamíferos marinos incluidas en la CMS con posibles solapamientos respecto al área de distribución con las concesiones mineras nacionales o de la ISA en vigor

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ³⁰	Estado en la Lista Roja de la UICN ³¹	Posible solapamiento del área de distribución
<i>Subespecie de Balaenoptera acutorostrata</i>	Ballena Minke común	MOU PIC	LC	Mundial
<i>Balaenoptera borealis</i>	Rorcual norteño, ballena carbonera, ballena abadejo, rorcual de Rudolph	Apén. de la CMS I y II, ACCOBAMS ASCOBANS, MOU PIC	EN	Mundial
<i>Balaenoptera edeni</i>	Rorcual de Bryde, ballena tropical	Apén. de la CMS II, MOU PIC	LC	Mundial

²⁸ Noruega suspende el controvertido plan de minería en aguas profundas: <https://www.bbc.com/news/articles/c9wjl818kr7o>

²⁹ Minería en aguas profundas: Noruega aprueba una práctica controvertida: <https://www.bbc.com/news/science-environment-67893808>

³⁰ Véanse los Anexos 1 y 2

³¹ Véase el Anexo 3

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ³⁰	Estado en la Lista Roja de la UICN ³¹	Posible solapamiento del área de distribución
<i>Balaenoptera musculus</i>	Ballena azul	Apén. de la CMS I, MOU PIC	EN	Mundial
<i>Balaenoptera physalus</i>	Rorcual común	ACCOBAMS, MOU PIC	VU	Mundial
<i>Berardius bairdii</i>	Zifio de Baird	Apén. de la CMS II, MOU PIC	LC	Pacífico
<i>Delphinus delphis</i>	Delfín común	Apén. de la CMS I (población mediterránea) y II (poblaciones del mar del Norte y del Báltico, del Mediterráneo, del mar Negro y del Pacífico tropical oriental), ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Dorsal mesoatlántica / Pacífico
<i>Eubalaena glacialis</i>	Ballena franca del Atlántico norte, ballena franca de Vizcaya	Apén. de la CMS I (Atlántico norte) ACCOBAMS, ASCOBANS	CR	Dorsal mesoatlántica
<i>Globicephala macrorhynchus</i>	Calderón tropical	MOU PIC, ASCOBANS, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Globicephala melas</i>	Calderón común	Apén. de la CMS II (poblaciones del mar del Norte y del Báltico), ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Grampus griseus</i>	Delfín de Risso	Apén. de la CMS II (poblaciones del mar del Norte, del Báltico y del Mediterráneo), ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Pacífico / Índico
<i>Halichoerus grypus</i>	Foca gris	Apén. de la CMS II (poblaciones del mar Báltico)	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Hyperoodon ampullatus</i>	Ballena de nariz de botella del norte, ballena de nariz de botella	Apén. de la CMS II, ASCOBANS, MOU WAAM	NT	Dorsal mesoatlántica
<i>Indopacetus pacificus</i>	Ballena de nariz de botella tropical	MOU PIC	LC	Índico
<i>Kogia breviceps</i>	Cachalote pigmeo	ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Kogia sima</i>	Cachalote enano	ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Lagenodelphis hosei</i>	Delfín de Fraser	Apén. de la CMS II (poblaciones del sudeste asiático), MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ³⁰	Estado en la Lista Roja de la UICN ³¹	Posible solapamiento del área de distribución
<i>Lagenorhynchus acutus</i>	Delfín de flancos blancos del Atlántico	Apén. de la CMS II (poblaciones del mar del Norte y del Báltico), ASCOBANS	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	Delfín de hocico blanco	Apén. de la CMS II (poblaciones del mar del Norte y del Báltico), ASCOBANS	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Megaptera novaeangliae</i>	Ballena jorobada	Apén. de la CMS I, ACCOBAMS, MOU PIC	LC	Mundial
<i>Mesoplodon bidens</i>	Zifio de Sowerby	ASCOBANS, MOU WAAM	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Mesoplodon densirostris</i>	Zifio de Blainville	ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Mesoplodon europaeus</i>	Zifio de Gervais	ASCOBANS, MOU WAAM	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Mesoplodon ginkgodens</i>	Zifio de Ginkgo	MOU PIC	DD	Pacífico
<i>Mesoplodon mirus</i>	Zifio de True	ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Monachus monachus</i>	Foca monje del Mediterráneo	Apén. de la CMS I y II, MOU de la foca monje	VU	Dorsal mesoatlántica
<i>Orcinus orca</i>	Ballena asesina, orca	Apén. de la CMS II, ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	DD	Mundial
<i>Peponocephala electra</i>	Ballena de cabeza de melón	MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Phoca vitulina</i>	Foca común, foca de puerto	Apén. de la CMS II (poblaciones del mar Báltico y del mar de Frisia)	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Phocoena phocoena</i>	Marsopa común, marsopa de puerto	Apén. de la CMS I (población del Báltico) y II (poblaciones del mar del Norte y del Báltico, del Atlántico norte occidental, del mar Negro y del noroeste de África), ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU WAAM	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Phocoenoides dalli</i>	Marsopa de Dall	Apén. de la CMS II	LC	Pacífico
<i>Physeter macrocephalus</i>	Cachalote	Apén. de la CMS I y II, ACCOBAMS, MOU PIC	VU	Mundial
<i>Pseudorca crassidens</i>	Orca negra	ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	NR	Mundial
<i>Stenella attenuata</i>	Delfín moteado pantropical, delfín embridado	Apén. de la CMS II (población del Pacífico tropical oriental, poblaciones del sudeste asiático), MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ³⁰	Estado en la Lista Roja de la UICN ³¹	Posible solapamiento del área de distribución
<i>Stenella clymene</i>	Delfín de Clymene	Apén. de la CMS II (población de África occidental), WAAM	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Stenella coeruleoalba</i>	Delfín rayado, delfín blanco y azul	Apén. de la CMS II (población del Pacífico tropical oriental, población mediterránea), ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Stenella frontalis</i>	Delfín moteado del Atlántico	MOU WAAM	LC	Dorsal mesoatlántica
<i>Stenella longirostris</i>	Delfín acróbata	Apén. de la CMS II (poblaciones del Pacífico tropical oriental, poblaciones del sudeste asiático) MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Steno bredanensis</i>	Delfín de dientes rugosos	ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Tursiops truncatus</i>	Delfín mular	Apén. de la CMS II (poblaciones del mar del Norte, del Báltico, del Mediterráneo y del mar Negro), ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU WAAM	LC	Mundial
<i>Ziphius cavirostris</i>	Zifio de Cuvier	Apén. de la CMS I (subpoblación mediterránea), ACCOBAMS, ASCOBANS, MOU PIC, MOU WAAM	LC	Mundial

Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas

Colisiones con buques. Para muchos mamíferos marinos grandes, las colisiones con los buques son una de las principales causas de mortalidad (Redfern et al., 2020). Las operaciones de minería en aguas profundas, que utilizan embarcaciones para llevar el mineral a las instalaciones de tratamiento en tierra, aumentarán la cantidad de tráfico marítimo en zonas que, generalmente, están fuera de las principales rutas marítimas y aumentarán la probabilidad de colisiones con buques en alta mar. Un estudio sobre las poblaciones de ballenas azules indica que, si se multiplicase por 11 la actividad de los buques, esto podría resultar en un 50 % de probabilidades de que las poblaciones de ballenas azules desapareciesen (Monnahan et al., 2015).

Se han estudiado a fondo las consecuencias de las colisiones con buques para los mamíferos marinos y los métodos para reducir dichas colisiones, lo que incluye el cambio de rutas y la navegación a baja velocidad (Nisi et al., 2024; Redfern et al., 2013; Ritter and Panigada, 2019). Dado que este problema no es exclusivo de la minería en aguas profundas ni la minería en aguas profundas genera condiciones particulares para las colisiones con buques, son aplicables las directrices convencionales para todos los operadores de buques.

Dispositivos de concentración de peces. Los buques estacionarios en mar abierto pueden actuar como dispositivos de concentración de peces (DCP) (Røstad et al., 2006). Los mamíferos marinos y sus presas pueden sentirse atraídos por los buques mineros cuando estos están parados, lo que supone una oportunidad para observar mejor a los mamíferos marinos migratorios a la vez que puede alterar los patrones de alimentación y otros tipos de comportamiento. Se sabe que los delfines se concentran alrededor de los DCP y se ha observado que los rorcuales norteños se acercan a los DCP en el océano Índico (Brehmer et al., 2012).

Ruido. Los efectos del ruido antropogénico en los mamíferos marinos se han detallado a lo largo de muchas décadas y existe una amplia bibliografía que evalúa sus repercusiones (e.g. Hildebrand, 2009; Richardson et al., 2013; Simmonds et al., 2014; Tyack, 2008; Weilgart, 2007). El ruido tanto de la actividad minera como de los sistemas de posicionamiento dinámico que utilizan los buques mineros podría tener efectos adversos en el comportamiento de los mamíferos marinos. Se prevé que estas operaciones se lleven a cabo las 24 horas del día en diversas profundidades oceánicas a lo largo de meses o años (Thompson et al., 2023). El ruido generado por la maquinaria que se usa para la minería en aguas profundas probablemente tenga un efecto directo sobre los cetáceos (Thompson et al., 2023; Williams et al., 2025, 2022).

La introducción de ruido en un entorno acústico relativamente silencioso puede reducir el alcance, el área y el volumen sobre el que se pueden detectar señales biológicamente importantes. El ruido de las operaciones mineras en aguas profundas también puede actuar como un factor de estrés crónico a nivel del hábitat, lo que resulta en un enmascaramiento acústico, mediante el cual el sonido no deseado dificulta la capacidad de los mamíferos marinos para detectar señales auditivas (Clark et al., 2009; Erbe et al., 2016). Se sabe que numerosas especies de presas que se encuentran en áreas como la ZCC utilizan el sonido para la comunicación o la navegación, y el ruido oceánico crónico producido por una operación de minería en aguas profundas podría enmascarar la capacidad de las especies presa para detectar las vocalizaciones de los depredadores o, a la inversa, afectar al comportamiento alimentario de los mamíferos marinos que se alimentan de dichas presas (Williams et al., 2025). Los mamíferos marinos y sus presas desarrollaron adaptaciones acústicas coevolucionadas para cazar y evitar ser cazadas en una «carrera armamentística acústica» (Tyack and Clark, 2000), y el ruido oceánico crónico podría alterar este equilibrio entre depredadores y presas. El enmascaramiento de las señales acústicas también puede afectar a la capacidad de los mamíferos marinos para encontrar y seleccionar parejas o detectar señales acústicas utilizadas para la navegación. El ruido oceánico crónico también puede inducir estrés fisiológico en los mamíferos marinos, lo que provoca efectos adversos para la salud o la supresión de los comportamientos reproductivos (Rolland et al., 2012; Wright et al., 2007).

La minería en aguas profundas plantea nuevos riesgos para los mamíferos marinos de aguas profundas, lo que podría desencadenar respuestas de estrés fisiológico similares a las asociadas con el sonar naval. Aunque los mecanismos son distintos, el ruido crónico de baja frecuencia generado por la maquinaria minera puede alterar el comportamiento natural de las inmersiones, desplazar a los animales de hábitats fundamentales para la búsqueda de alimento y aumentar la probabilidad de ascensos rápidos o anormales. Tales alteraciones podrían elevar el riesgo de enfermedad por descompresión (EDC), sobre todo en especies sensibles como los zifios, que se sumergen regularmente a profundidades extremas (Beatty and Rothschild, 2008). La EDC, causada por la formación de burbujas de gas nitrógeno en los tejidos y la sangre, se ha relacionado con incidentes de varamientos y mortalidad masivos, especialmente en regiones donde había sonares militares activos (Velázquez-Wallraf et al., 2021). Las necropsias de dichos incidentes han revelado émbolos de gas, hemorragias y lesiones que se corresponden con patologías de descompresión aguda (Fernández et al., 2017). Aunque todavía no se ha atribuido

directamente ningún varamiento a la minería, los efectos acumulativos del ruido, la degradación del hábitat y el desplazamiento de las presas en las zonas mineras justifican la precaución, sobre todo dadas las similitudes en relación con las vías de riesgo.

El efecto del ruido en los mamíferos marinos es uno de los pocos efectos potenciales para las especies migratorias respecto a los cuales los contratistas de minería de aguas profundas han realizado estudios medioambientales de referencia y han proporcionado datos brutos para su evaluación. En 2019, se facilitaron grabaciones de hidrófonos profundos y poco profundos de las áreas de contrato de The Metals Company dentro de la zona Clarion-Clipperton. Se registraron silbidos de delfínidos, llamadas de ballenas Minke y clics de cachalotes desde la matriz poco profunda. Asimismo, desde la matriz profunda se registraron silbidos de delfínidos. Estos registros acústicos son más numerosos que los registros visuales comunicados, lo que sugiere que los mamíferos marinos son más activos en la región de lo que podrían indicar los datos de los observadores visuales.

El ruido producido por las operaciones de minería en aguas profundas no se ha clasificado bien: la principal laguna de conocimiento radica en comprender cómo se propagará el ruido derivado de la minería en aguas profundas por toda la zona de actividad y más allá.

Si bien se está generando bastante bibliografía para predecir las consecuencias del ruido agudo, a nivel de población, en los cetáceos (Pirota et al., 2018), la labor para comprender las consecuencias del ruido oceánico crónico está en una fase preliminar. Actualmente, existe mucha bibliografía sobre los efectos del ruido marino antropogénico, lo que ha suscitado preocupación de que el ruido crónico de la minería en aguas profundas también afecte sustancialmente a los cetáceos (Rose et al., 2024). La exposición crónica al ruido continuo de baja frecuencia y la degradación del entorno acústico de los cetáceos tendrían consecuencias tanto para los individuos como para las poblaciones, pero actualmente carecemos de las herramientas analíticas para estimarlas. Los casos prácticos que intentan cuantificar las consecuencias del enmascaramiento o la perturbación del ruido oceánico crónico son limitados (Williams et al., 2025). Se pueden usar otros indicadores industriales para abordar las actividades generadoras de ruido que pueden llevarse a cabo durante las operaciones de minería en aguas profundas (Williams et al., 2022), pero se desconoce hasta qué punto esos indicadores están en consonancia con las operaciones de minería en aguas profundas. Los estudios comparativos demuestran, por lo general, que los efectos del ruido en algunas especies de cetáceos en aguas poco profundas puede ser un indicador apropiado, pero no en todos los casos (Katona et al., 2023). Si bien se necesitan estudios sobre las características de la fuente, la propagación y la sensibilidad a estos ruidos crónicos para evaluar los efectos que la minería en aguas profundas tendrá sobre los cetáceos, los mejores datos científicos disponibles actualmente sugieren que ya estaría justificado un enfoque de precaución respecto a la generación de ruido submarino crónico (Risch et al., 2021).

Penachos. La presencia de penachos en aguas intermedias o superficiales producidos por la actividad minera puede alterar las señales químicas que los mamíferos marinos utilizan para navegar y detectar presas. El aumento de las concentraciones de sedimentos en suspensión puede ser un factor de estrés importante para los animales marinos, incluidos los mamíferos marinos y sus presas, lo que pone en peligro su capacidad de ver y comunicarse (van der Grient and Drazen, 2022). La liberación de metales y contaminantes en el penacho de aguas intermedias puede afectar directamente a los cetáceos, incluso a través de la bioacumulación. Se sabe relativamente poco sobre los efectos de los penachos de aguas intermedias y bentónicas sobre los cetáceos. No deben pasarse por alto la importancia de estos efectos en las especies de cetáceos de nivel trófico superior.

El comportamiento de los penachos de sedimentos, cuando se generan por operaciones de minería en aguas profundas, todavía no se ha determinado debidamente (Haalboom et al., 2022). Se conocen aún menos los efectos de estos penachos en los cetáceos y en los ecosistemas esenciales para su supervivencia. Los penachos de sedimentos podrían afectar a las redes alimentarias (Peacock and Ouillon, 2023; Thompson et al., 2023; van der Grient and Drazen, 2022). También preocupan los efectos de la liberación de carbono oceánico (Souster et al., 2024) o de contaminantes, incluidos los metales tóxicos (Hauton et al., 2017) atrapados en el fondo marino (Martins et al., 2023).

Enredos. Aunque los enredos en los aparejos de pesca son una fuente importante de mortalidad y los pequeños vehículos operados a distancia utilizan amarres que pueden presentar peligro de enredo (Thaler et al., 2019), los cables utilizados por los operadores de la minería en aguas profundas, que no solo son más gruesos y rígidos que los utilizados en la pesca comercial, sino que se supervisan continuamente, no parecen presentar el mismo riesgo.

Recomendaciones

Las Partes de la CMS deben fomentar la colaboración entre la investigación respaldada por la ISA y la observación de los grandes mamíferos marinos. La presencia estacionaria de contratistas mineros durante varios meses en zonas donde las observaciones son limitadas ofrece una oportunidad sin igual para conocer mejor los patrones de migración de los grandes mamíferos marinos.

Las Partes de la CMS deben alentar a la ISA a que garantice que los contratistas de minería en aguas profundas realicen observaciones periódicas de la superficie y observaciones acústicas en profundidad y a que comuniquen todos los incidentes en los que se observen mamíferos marinos en las zonas inmediatamente circundantes a las operaciones mineras, en la superficie o cerca de ella, o cuando los buques estén en tránsito. Asimismo, también deberán establecer un plan de respuesta para hacer frente a cualquier incidente adverso que pueda producirse. La ISA debe trabajar para que estas observaciones estén ampliamente disponibles.

Las Partes de la CMS deben alentar a los contratistas mineros a que hagan todo lo posible por reducir al mínimo el ruido cuando haya presencia de mamíferos marinos y se debe valorar la posibilidad de restringir las actividades mineras durante los períodos en los que se sabe que los mamíferos marinos migran a la zona en cuestión, especialmente durante los períodos de reproducción o de búsqueda de alimento. Las Partes de la CMS deben alentar a los contratistas de minería a que hagan todo lo posible por evitar el aumento del tráfico marítimo en zonas donde se sabe que migran mamíferos marinos y a que adopten políticas de velocidad segura de los buques cuando tales contactos sean inevitables.

Condriictios (peces cartilagosos)

De los 47 peces cartilaginosos incluidos en la Convención, 18 tienen áreas de distribución que se superponen con los emplazamientos de minería en aguas profundas potenciales o propuestos. La mayoría de estas especies tienen una distribución circunglobal y se ha comunicado o deducido que están presentes en todas las zonas de alta mar donde puede llevarse a cabo la minería en aguas profundas. Entre ellos, se encuentran el tiburón zorro común y el tiburón zorro ojón (*Alopias superciliosus* y *Alopias vulpinus*), el tiburón sedoso (*Carcharhinus falciformis*), el tiburón oceánico de puntas blancas (*Carcharhinus longimanus*; Young and Carlson, 2020), el tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*; Kock et al., 2022; Skomal et al., 2017; Weng et al., 2007), el tiburón peregrino (*Cetorhinus maximus*), el marrajo de aleta corta y el marrajo de aleta larga (*Isurus oxyrinchus*; Corrigan et al., 2018; Francis et al., 2018; e *Isurus paucus*; Estupiñán-Montaño and Delgado-Huertas, 2022), la mantarraya (*Mobula birostris*) y el tiburón azul (*Prionace glauca*; Coelho et al., 2018). El tiburón ballena (*Rhincodon typus*) también tiene una distribución circunglobal, y el Área Importante para Tiburones y Rayas (ISRA) del frente ecuatorial del Pacífico, un hábitat importante para los tiburones ballena, se superpone con la ZCC.³²

Aunque la mayoría de los tiburones altamente migratorios tienen una distribución circunglobal, algunos tienen áreas de distribución más limitadas. El pez guitarra común (*Rhinobatos rhinobatos*) solo se superpone con áreas de contratos de minería en aguas profundas conocidas del Atlántico norte (Moore, 2017; Pytko et al., 2024), aunque otras especies de peces guitarra también podrían superponerse con emplazamientos mineros en aguas profundas de los océanos Pacífico e Índico. El tiburón zorro pelágico (*Alopias pelagicus*) se encuentra en los océanos Pacífico e Índico (Arostegui et al., 2020). Por su parte, el tiburón cailón (*Lamna nasus*) se encuentra tanto en el Atlántico norte como en el sur del océano Índico (González et al., 2021; Semba et al., 2013), solapándose con áreas de contratos de minería de fuentes hidrotermales tanto en la dorsal mesoatlántica como en la triple unión del Índico.

Los tiburones martillo (*Sphyrna lewini*, *Sphyrna mokarran* y *Sphyrna zygaena*) suelen ser más costeros, pero se sabe que se concentran alrededor de los montes submarinos (Gallagher and Klimley, 2018), incluida el área de interés de la ISRA de las fuentes hidrotermales del norte de Galápagos.³³ Esto coloca a los tiburones martillo en un conflicto potencial con las futuras operaciones de extracción de costras ricas en cobalto y sulfuros polimetálicos.

Varias especies de tiburones llevan a cabo migraciones verticales diarias, siguiendo a las especies presa que migran desde las aguas intermedias, incluidas las tres especies de tiburones zorro (Arostegui et al., 2020; Cartamil et al., 2010; Coelho et al., 2015), así como los tiburones peregrinos (Sims et al., 2005) y los tiburones cailón (Francis et al., 2015). Los montes submarinos, donde puede realizarse la extracción de costras de cobalto, son puntos críticos para especies como los tiburones sedosos, que pueden recorrer más de 27 666 km (Murray et al., 2023; Salinas-de-León et al., 2024). Los tiburones peregrinos (Sims, 2008; Sims et al., 2005), los tiburones ballena (Sleeman et al., 2010) y las mantarrayas (Stewart et al., 2016) son filtradores que dependen de poblaciones de plancton sanas. Los estudios sobre los tiburones ballena sugieren que sus hábitats pueden verse muy alterados debido al cambio climático (Sequeira et al., 2012, 2014).

³² Atlas Web-GIS ISRA: <https://sharkrayareas.org/e-atlas/>

³³ Ibid.

Tabla 2. Especies de peces cartilagosos incluidas en la CMS con solapamientos conocidos respecto al área de distribución con las concesiones de minería en vigor de la ISA

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ³⁴	Estado en la Lista Roja de la UICN ³⁵	Posible solapamiento del área de distribución
<i>Alopias superciliosus</i>	Tiburón zorro ojón	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	VU	Circunglobal
<i>Alopias vulpinus</i>	Tiburón zorro común	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	VU	Circunglobal
<i>Carcharhinus falciformis</i>	Tiburón sedoso	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	VU	Circunglobal
<i>Carcharhinus longimanus</i>	Tiburón oceánico de puntas blancas	Apén. de la CMS I, MOU de tiburones	CR	Circunglobal
<i>Carcharodon carcharias</i>	Tiburón blanco	Apén. de la CMS I y II, MOU de tiburones	CR	Circunglobal
<i>Cetorhinus maximus</i>	Tiburón peregrino	Apén. de la CMS I y II, MOU de tiburones	EN	Circunglobal
<i>Isurus oxyrinchus</i>	Tiburón marrajo de aleta corta	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	EN	Circunglobal
<i>Isurus paucus</i>	Tiburón marrajo de aleta larga	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	EN	Circunglobal
<i>Mobula birostris</i>	Mantarraya	Apén. de la CMS I y II, MOU de tiburones	EN	Circunglobal
<i>Prionace glauca</i>	Tiburón azul	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	NT	Circunglobal
<i>Rhincodon typus</i>	Tiburón ballena	Apén. de la CMS I y II, MOU de tiburones	EN	Circunglobal
<i>Lamna nasus</i>	Tiburón cailón	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	VU	Atlántico
<i>Rhinobatos rhinobatos</i>	Pez guitarra común	Apén. de la CMS I (población mediterránea) y II, MOU de tiburones	CR	Atlántico
<i>Alopias pelagicus</i>	Tiburón zorro pelágico	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	EN	Pacífico e Índico
<i>Sphyrna lewini</i>	Tiburón martillo común	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	VU	Circunglobal
<i>Sphyrna mokarran</i>	Tiburón martillo gigante	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	EN	Circunglobal
<i>Sphyrna zygaena</i>	Tiburón martillo liso	Apén. de la CMS II, MOU de tiburones	VU	Circunglobal

Aunque estas 18 especies comprenden la totalidad de los condriictios incluidos en la lista de la CMS cuyos hábitats se superponen con posibles emplazamientos de minería en aguas profundas, hay muchos otros peces cartilagosos altamente migratorios que no están incluidos en la lista y que pueden sufrir los efectos de las operaciones de minería en aguas profundas. Entre ellas se incluyen especies de tiburones de aguas profundas, rayas, mantas o quimeras,

³⁴ Véanse los Anexos 1 y 2

³⁵ Véase el Anexo 3

ninguna de las cuales figura en la lista de la CMS, que se sabe que están presentes en toda la llanura abisal profunda. Los tiburones dormilones del Pacífico (*Somniosus pacificus*), que tienen áreas de distribución igualmente amplias en comparación con sus parientes pelágicos y que se sabe que realizan largas migraciones verticales y horizontales, están relativamente poco estudiados (Tian et al., 2024).

Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas

Las especies de tiburones interactuarán con las operaciones de minería en aguas profundas de diversas formas en su travesía por mar abierto. Dado que las observaciones de superficie de los contratistas que operan en las zonas de contratos de minería en aguas profundas son limitadas, aún no se puede evaluar hasta qué punto los condriictios entran en contacto directo con los buques mineros. Entre las principales lagunas de conocimiento, se encuentran los efectos del ruido sostenido y de baja frecuencia en las especies pelágicas, hasta qué punto los cambios químicos en la columna de agua inducidos por el penacho minero pueden alterar el comportamiento de los condriictios y sus presas y los efectos de la minería en los condriictios, en los hábitats de los montes submarinos y las fuentes hidrotermales.

Dispositivos de concentración de peces. Los buques estacionarios en mar abierto actúan como dispositivos de concentración de peces (Røstad et al., 2006). Tanto los condriictios como sus presas se sentirán atraídos por el buque minero cuando esté parado, lo que podría alterar la búsqueda de alimento, la migración, la reproducción y otros comportamientos migratorios de tiburones y rayas.

Ruido. Aunque el sonido puede propagarse mucho más lejos que las señales eléctricas o químicas, los efectos del ruido, tanto natural como antropogénico, en los peces cartilaginosos se han estudiado relativamente poco. Los primeros estudios de disuasión realizados en las décadas de 1960 y 1970 sugirieron que los sonidos de baja frecuencia podían atraer a los tiburones (Nelson and Johnson, 1972), mientras que los sonidos naturales que imitan a depredadores como las orcas, así como los sonidos repentinos de alta frecuencia, pueden repelerlos (Myrberg et al., 1978). En estudios más recientes, las especies de tiburones costeros mostraron un comportamiento de evitación cuando se expusieron tanto a sonidos artificiales de baja frecuencia como a sonidos diseñados para imitar las vocalizaciones de las orcas, mientras que el tiburón blanco, altamente migratorio, mostró un comportamiento de evitación solo en presencia de sonidos de baja frecuencia (Chapuis et al., 2019). Además, los tiburones blancos no desarrollaron tolerancia al sonido de baja frecuencia, ni siquiera tras una exposición prolongada.

Un estudio reciente sugiere que algunas especies de tiburones pueden vocalizar haciendo chasquear sus placas dentales, un comportamiento que, si lo respaldasen otros estudios, podría sugerir que la exposición crónica al sonido perjudicaría a la comunicación de determinadas especies (Nieder et al., 2025). Cada vez se reconoce más que los efectos sobre el paisaje sonoro oceánico de los equipos de minería en aguas profundas son una fuente importante de perturbación para las especies que utilizan señales acústicas e interactúan con las zonas mineras (Williams et al., 2025).

Penachos. Se sabe relativamente poco respecto a los efectos sobre los condriictios de los penachos de aguas intermedias y profundas. La presencia de penachos en aguas intermedias o superficiales producidos por la actividad minera puede alterar las señales químicas que los peces cartilaginosos utilizan para detectar presas. También podría afectar negativamente a las especies de presas de aguas intermedias de las que se alimentan los tiburones y las rayas. El aumento

de las concentraciones de sedimentos en suspensión puede ser un factor de estrés importante para los animales marinos (van der Grient and Drazen, 2022).

Destrucción del hábitat. La destrucción del hábitat es probablemente la amenaza más directa para los peces cartilaginosos que utilizan los montes submarinos como zonas de alimentación y cría. Sin embargo, rara vez se encuentran tiburones a más de 3000 metros (Priede et al., 2006), aunque un par de especies pueden encontrarse a profundidades de hasta 4000 metros. Por lo tanto, es poco probable que la extracción de nódulos afecte al hábitat bentónico de estos animales.

En al menos un caso, se ha documentado que las rayas de aguas profundas depositan sus huevos muy cerca de una fuente hidrotermal activa (Salinas-de-León et al., 2018). Los investigadores han planteado la hipótesis de que las rayas aprovechan la elevada temperatura en torno a las fuentes para incubar sus huevos y acelerar su desarrollo. También se han descubierto huevos de pez gato y de raya en filtraciones frías de aguas profundas, tanto contemporáneas como fósiles (Treude et al., 2011). La extracción de sulfuros polimetálicos podría dar lugar a la eliminación completa de estos importantes criaderos de aguas profundas.

Cambio climático. Las variaciones inducidas por el cambio climático en la temperatura del océano, la distribución de las presas y la disponibilidad de hábitats provocarán cambios en la distribución y la diversidad de las especies de tiburones en todo los océanos (Santos et al., 2024), lo que provocará un aumento o una disminución de las interacciones con las operaciones de minería en aguas profundas. Aunque se sabe relativamente poco sobre el alcance global de la distribución de los tiburones, las rayas y las quimeras de aguas profundas, al menos un estudio propone que los cambios en el hábitat y la expansión del área de distribución del tiburón dormilón del Pacífico (*Somniosus pacificus*) son el resultado del cambio climático y otras influencias antropogénicas (Tian et al., 2024). Al ser la mayor megafauna móvil conocida de las profundidades marinas, los tiburones, las rayas, las mantas y las quimeras pueden desempeñar un papel importantísimo en la recuperación, o la falta de ella, de los emplazamientos mineros tras su explotación; sin embargo, los datos sobre su distribución y ecología son limitados.

Recomendaciones

Las Partes de la CMS deben alentar a los contratistas de minería en aguas profundas a que realicen observaciones periódicas de la superficie y de las aguas profundas y a que comuniquen todos los incidentes en los que se observen conductos en las zonas inmediatamente circundantes a las operaciones mineras, en la superficie o cerca de ella, o cuando los buques estén en tránsito. Asimismo, también deberán establecer un plan de respuesta para hacer frente a cualquier incidente adverso que pueda producirse.

Las Partes de la CMS deben prohibir la minería en aguas profundas en los montes submarinos esenciales para la alimentación o la reproducción de tiburones, mantas y rayas y en los sulfuros polimetálicos donde se hayan identificado criaderos de tiburones. Se debe valorar la posibilidad de limitar el tiempo que los buques permanecen estacionarios durante largos períodos para reducir al mínimo el efecto de concentración de peces.

Actinopterigios (peces óseos)

Muchas especies de peces óseos altamente migratorios, incluidos peces de importancia comercial como el atún, el pez espada y el marlín, tienen áreas de distribución que se superponen con los emplazamientos de minería en aguas profundas propuestos. Sin embargo, la mayoría de esas especies no están incluidas en la lista de la CMS y están cubiertas por otros tratados, como la Convención para la Conservación del Atún Rojo del Sur y el Acuerdo de las Naciones Unidas sobre las Poblaciones de Peces.³⁶ De los 23 peces óseos incluidos en la Convención, solo la anguila europea (*Anguilla anguilla*) tiene un área de distribución que se superpone con los emplazamientos de minería en aguas profundas potenciales o propuestos.

Las anguilas europeas son peces catádromos que migran más de 5000 km a través del Atlántico para desovar en el mar de los Sargazos, a profundidades de entre 0 y 700 metros. Las larvas de anguila migran a través del Atlántico para establecerse en los ríos europeos, aunque algunos individuos nunca regresan al agua dulce y, en su lugar, permanecen en los mares costeros y los estuarios salobres (Arai, 2020). Las larvas de anguila pueden tardar más de dos años en migrar del mar de los Sargazos a la plataforma continental europea (Bonhommeau et al., 2010, 2009). Al cabo de entre 5 y 25 años, las anguilas europeas adultas regresan al mar de los Sargazos para desovar, tras lo cual mueren. No se sabe bien cómo navegan las anguilas europeas a través del Atlántico hasta sus zonas de desove, pero es probable que sea una combinación de señales lunares, magnéticas y químicas (Cresci, 2020).

La anguila europea se encuentra en todos los ríos y costas europeos, así como en el Mediterráneo, y es la población de peces más extendida de Europa. Las poblaciones de anguila han ido disminuyendo desde mediados del siglo XIX y el reclutamiento de los océanos a la plataforma continental ha caído hasta tan solo un 1 % de sus niveles anteriores (Dekker, 2019). La anguila europea está clasificada como «En peligro crítico» por la UICN.

Aunque solo la anguila europea figura en la lista de la CMS, otras especies de anguílidos también se verían afectadas por la minería en aguas profundas. La anguila americana (*Anguilla rostrata*) tiene una migración y un ciclo de vida similares a los de su homóloga europea (Jessop, 2010). La anguila de aleta larga de Nueva Zelanda (*Anguilla dieffenbachia*), la anguila moteada de aleta larga (*Anguilla reinhardtii*) y la anguila de aleta corta (*Anguilla australis*) de Australia también desovan en las aguas profundas del océano Pacífico antes de regresar a los hábitats ribereños costeros (Stuart et al., 2024).

Tabla 3: especies de peces óseos incluidas en la CMS con posibles solapamientos respecto al área de distribución con las concesiones mineras nacionales o de la ISA en vigor

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ³⁷	Estado en la Lista Roja de la UICN ³⁸	Posible solapamiento del área de distribución
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguila europea; anguila de río; anguila de algas	Apén. de la CMS II	CR	Atlántico: desde la costa europea hasta el mar de los Sargazos

³⁶ Acuerdo de las Naciones Unidas sobre las Poblaciones de Peces: <https://www.un.org/oceancapacity/unfsa>

³⁷ Véanse los Anexos 1 y 2

³⁸ Véase el Anexo 3

Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas

Durante su migración al mar de los Sargazos cuando son adultas y desde el mar de los Sargazos cuando son larvas, las anguilas europeas pueden pasar por encima de sulfuros polimetálicos de la dorsal mesoatlántica. Entre estas zonas, se incluyen las áreas de contratos de la ISA en el Atlántico medio septentrional concedidas a Francia, la Federación de Rusia y la República de Polonia.

Ruido. El ruido tanto de la actividad minera como de los sistemas de posicionamiento dinámico que utilizan los buques mineros podría tener efectos adversos en la migración de la anguila europea. Se sabe que el sonido de baja frecuencia interfiere en la navegación de las anguilas y se ha empleado como elemento disuasorio para evitar que las anguilas europeas entren en las tomas de agua de las centrales hidroeléctricas, con resultados dispares (Piper et al., 2019). Se ha demostrado que el ruido antropogénico reduce el tiempo de reacción de las anguilas europeas, haciéndolas más susceptibles a la depredación (Simpson et al., 2015).

Aunque las anguilas europeas son los únicos actinopterigios incluidos en la lista de la CMS cuyo hábitat se superpone con posibles emplazamientos de minería en aguas profundas, se sabe que numerosas especies de peces migratorios que se encuentran en áreas como la zona Clarion-Clipperton utilizan el sonido para comunicarse o navegar y pueden verse afectadas negativamente por el ruido crónico producido por las operaciones de minería en aguas profundas (Williams et al., 2025).

Penachos. La presencia de penachos en aguas intermedias o superficiales producidos por la actividad minera puede alterar las señales químicas que las anguilas europeas utilizan para navegar hacia sus zonas de desove. Las anguilas tienen una gran sensibilidad olfativa, que utilizan para la comunicación química, especialmente durante la reproducción (Huertas et al., 2008). Los penachos también pueden afectar a la respiración al obstruir las branquias o alterar el comportamiento de las especies presa.

Las principales lagunas de conocimientos sobre las anguilas europeas giran en torno a la migración de los ejemplares adultos, que recorren 5000 kilómetros desde la plataforma continental europea hasta el mar de los Sargazos, donde desovan, y a la migración de las larvas en su camino de regreso. En algún momento de este viaje, las anguilas migratorias deben pasar por la dorsal mesoatlántica septentrional, donde al menos tres contratistas mineros están desarrollando activamente emplazamientos mineros. Las cuestiones de cómo el ruido y los penachos afectan a la migración de las anguilas pueden aportar información útil para la gestión de la minería en aguas profundas; se trata de lagunas de conocimiento fundamentales relacionadas con la ecología de la especie, así como específicas de los efectos de la minería en aguas profundas.

Recomendaciones

Las Partes de la CMS deben alentar a los contratistas de minería en aguas profundas a que se planteen seriamente la posibilidad de restringir las actividades mineras si se sabe que se produce la migración de anguilas adultas.

Reptiles (tortugas marinas)

De los nueve reptiles marinos incluidos en la lista de la CMS, cinco especies de tortugas marinas se encuentran en Unidades de Manejo Regional de Tortugas Marinas de la UICN que se superponen con emplazamientos de minería en aguas profundas potenciales o propuestos.³⁹ La tortuga verde (*Chelonia mydas*), la tortuga laúd (*Dermochelys coriacea*), la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) y la tortuga boba (*Caretta caretta*) tienen áreas de distribución circunglobales que pueden superponerse con las áreas de contratos concedidas por la ISA en los océanos Pacífico, Índico y Atlántico. Las tortugas golfinas (*Lepidochelys olivacea*) se distribuyen por áreas de contratos de la ISA del Pacífico y el Atlántico sur. La tortuga lora de Kemp (*Lepidochelys kempii*) no se solapa actualmente con las zonas de contratos de la ISA; sin embargo, los cambios de hábitat inducidos por el cambio climático pueden dar lugar a solapamientos en el futuro.

Cinco de las siete especies conocidas de tortugas marinas están ampliamente distribuidas por todo el mundo. Las tortugas laúd, verdes, bobas, carey y golfinas anidan en todos los continentes, excepto en la Antártida (Hendrix and Pérez-Espona, 2024). Aunque están distribuidas por todo el mundo, las poblaciones de tortugas marinas son predominantemente costeras, con un fuerte instinto de retorno que las lleva cada año a la misma playa para anidar. Sin embargo, las tortugas marinas tardan en madurar y las tortugas marinas inmaduras y subadultas son muy migratorias, ya que viajan, en algunos casos, miles de kilómetros a través de mar abierto antes de regresar a su hogar natal. El seguimiento de la migración de las tortugas marinas consiste en gran medida en marcar a las hembras durante la anidación, lo que significa que existen lagunas importantes en los datos sobre la migración de las tortugas inmaduras (Hendrix and Pérez-Espona, 2024).

La migración y la distribución de las tortugas verdes, laúd, carey, bobas y golfinas es circunglobal, con la posibilidad de que estén presentes en todas las concesiones conocidas de minería en aguas profundas. Aunque son eminentemente costeras en la edad adulta, las tortugas verdes inmaduras tienen una etapa pelágica, migrando miles de kilómetros en mar abierto durante al menos un año antes de regresar a los hábitats costeros (Pelletier et al., 2003), en su transición de hábitos de alimentación omnívoros a herbívoros (Williard et al., 2017).

Las tortugas laúd cruzan los océanos Atlántico (Fossette et al., 2010; James et al., 2005; Rider et al., 2024), Pacífico (Piboon et al., 2025) e Índico. Las poblaciones de laúd del océano Pacífico se encuentran entre las poblaciones de tortugas marinas más vulnerables y realizan migraciones críticas a través de la ZCC y otras regiones del Pacífico donde puede llevarse a cabo minería en aguas profundas (Lopez et al., 2024).

Las tortugas carey pueden tener largos períodos migratorios que pueden abarcar más de 1200 kilómetros (Hawkes et al., 2012). Se encuentran en los océanos Atlántico (Maurer et al., 2024), Pacífico (Van Houtan et al., 2016) e Índico (Fossette et al., 2021). Las tortugas bobas tienen un área de distribución circunglobal similar (Witt et al., 2010). La golfina es la más abundante de todas las tortugas marinas y se encuentra en todas las regiones tropicales de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico. Las tortugas golfinas se caracterizan por sus arribadas en masa para anidar, en las que miles de tortugas pueden emerger simultáneamente para anidar en la misma playa (Cáceres-Farias et al., 2022).

³⁹Unidades de Manejo Regional: <https://www.iucn-mts.org/regional-management-units>

Tabla 4. Especies de reptiles incluidas en la CMS con solapamientos conocidos respecto al área de distribución con las concesiones de minería en vigor de la ISA

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ⁴⁰	Estado en la Lista Roja de la UICN ⁴¹	Posible solapamiento del área de distribución
<i>Caretta caretta</i>	Tortuga boba	Apén. de la CMS I, MOU de tortugas marinas IOSEA, MOU de tortugas atlánticas	VU	Circunglobal
<i>Chelonia mydas</i>	Tortuga verde	Apén. de la CMS I, MOU de tortugas marinas IOSEA, MOU de tortugas atlánticas	EN	Circunglobal
<i>Dermochelys coriacea</i>	Tortuga laúd	Apén. de la CMS I, MOU de tortugas marinas IOSEA, MOU de tortugas atlánticas	VU	Circunglobal
<i>Eretmochelys imbricata</i>	Tortuga carey	Apén. de la CMS I, MOU de tortugas marinas IOSEA	CR	Circunglobal
<i>Lepidochelys kempii</i>	Tortuga lora de Kemp, tortuga lora del Atlántico	Apén. de la CMS I, MOU de tortugas atlánticas	CR	Atlántico (el área de distribución se está expandiendo debido al cambio climático)
<i>Lepidochelys olivacea</i>	Tortuga golfina	Apén. de la CMS I, MOU de tortugas marinas IOSEA, MOU de tortugas atlánticas	VU	Circunglobal

Las tortugas lora de Kemp son un caso interesante para futuras interacciones. Aunque la limitada área de distribución de esta especie no se solapa actualmente con las áreas de contratos mineros actuales o previstas, la expansión del área de distribución inducida por el clima ha dado lugar a un número creciente de casos de tortugas lora de Kemp que migran a través del Atlántico (Pike, 2013), lo que podría provocar que las poblaciones futuras entren en contacto con áreas de contratos mineros de la ISA de la dorsal mesoatlántica.

Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas

Durante las migraciones oceánicas, las tortugas bobas, laúd, verdes, carey y golfinas pueden pasar por áreas de contratos de sulfuros polimetálicos concedidas por la ISA en la dorsal mesoatlántica, así como por áreas de contratos de nódulos polimetálicos y costras ricas en cobalto en los océanos Pacífico e Índico. Las cinco especies también pueden encontrarse con emplazamientos mineros en aguas profundas dentro de las aguas territoriales, incluidas las de India, China, Japón y Samoa Americana.

Dado que las observaciones de superficie de los contratistas que operan en las zonas de contratos de minería en aguas profundas son limitadas, aún no se puede evaluar hasta qué punto las tortugas marinas entran en contacto directo con los buques mineros.

⁴⁰ Véanse los Anexos 1 y 2

⁴¹ Véase el Anexo 3

Ruido. El ruido tanto de la actividad minera como de los sistemas de posicionamiento dinámico que utilizan los buques mineros podría tener efectos adversos sobre el comportamiento de las tortugas marinas (Williams et al., 2025). Se prevé que estas operaciones se lleven a cabo las 24 horas del día en diversas profundidades oceánicas a lo largo de meses o años (Thompson et al., 2023). Durante la migración, se ha demostrado que el ruido antropogénico de las embarcaciones aumenta la vigilancia en las tortugas marinas, lo que sugiere una respuesta de estrés en presencia de ruido crónico y agudo (Díaz et al., 2024). Las tortugas marinas pueden ser particularmente sensibles a los sonidos de baja frecuencia comunes en los estudios sísmicos y que pueden producirse en toda la columna de agua por las operaciones de minería en aguas profundas (van der Wal et al., 2016).

Penachos. La presencia de penachos en aguas intermedias o superficiales producidos por la actividad minera puede alterar las señales químicas que las tortugas marinas utilizan para navegar y detectar presas. El aumento de las concentraciones de sedimentos en suspensión puede ser un factor de estrés importante para los animales marinos (van der Grient and Drazen, 2022), dado que esto afectaría a su capacidad para detectar señales visuales, dificultaría la alimentación y alteraría el comportamiento de las especies presa. Las tortugas laúd, por ejemplo, son eminentemente gelátivoros de aguas profundas y los estudios han demostrado que el plancton gelatinoso es susceptible a la turbidez, como la que causarían los penachos de sedimentos en aguas intermedias (Stenvers et al., 2020).

Colisiones con buques. Para muchas especies de tortugas marinas, las colisiones con buques pueden ser una causa importante de mortalidad, particularmente en las zonas circundantes a las playas de anidación y las áreas de alimentación (Denkinger et al., 2013; Welsh and Witherington, 2023). Se dispone de datos relativamente limitados sobre los efectos de los choques de buques en especies y poblaciones que no sean los cetáceos (Vighi, 2025) o en las tortugas marinas durante la migración.

Cambio climático. Las repercusiones del cambio climático sobre los futuros efectos de la minería en aguas profundas en la migración de las tortugas marinas son poco conocidas. Por ejemplo, aunque el área de distribución de la tortuga lora de Kemp se limita principalmente al golfo de México y a la costa atlántica de Norteamérica, el aumento de la temperatura del mar está ampliando su área de distribución (Pike, 2013). Recientemente, se han documentado individuos en zonas tan al norte como Gales y Países Bajos (Manral et al., 2024). La expansión en curso del área de distribución inducida por el clima aumentará el solapamiento entre las rutas de migración de las tortugas lora de Kemp y los posibles emplazamientos de minería en aguas profundas de la dorsal mesoatlántica.

Recomendaciones

Las Partes de la CMS deben fomentar la colaboración entre la investigación respaldada por la ISA y la observación de las tortugas marinas para comprender mejor cómo afecta la presencia de buques mineros a la migración de las tortugas y a sus hábitos de búsqueda de alimento. La presencia estacionaria de contratistas mineros durante varios meses en zonas donde las observaciones son limitadas ofrece una oportunidad sin igual para conocer mejor el comportamiento de las tortugas marinas.

Las Partes de la CMS deben alentar a los contratistas mineros a que realicen observaciones periódicas en la superficie y comuniquen los incidentes en los que se observen tortugas marinas en las zonas inmediatamente circundantes a las operaciones mineras, o cuando los buques estén en tránsito.

Aves (aves marinas)

Las aves marinas migran a través de áreas marinas de importancia ecológica o biológica (AIEB) y áreas marinas importantes para la conservación de las aves (AICA) que se superponen con los emplazamientos de minería en aguas profundas propuestos y potenciales. Entre ellas, se incluyen la zona de transición del Pacífico norte, que abarca la ZCC, así como el sistema frontal del Atlántico norte medio, la zona de fractura Charlie-Gibbs, la meseta norte de las Azores, la dorsal sur de Reykjanes y la cuenca central del océano Índico.⁴² Muchas aves marinas migratorias que no son especies incluidas en la lista de la CMS también interactúan con estas zonas y las atraviesan.

De las 388 especies de aves incluidas en la lista de la CMS, 27 presentan posibles solapamientos de sus áreas de distribución con las zonas de contratos de minería en aguas profundas en vigor o propuestas, en aguas internacionales o nacionales. Puede encontrarse a la mayoría de dichas especies anidando o migrando a través de las aguas territoriales de Nueva Zelanda. Entre las mencionadas especies, se encuentran la pardela gris (*Procellaria cinerea*), la pardela de Parkinson (*Procellaria parkinsoni*), la pardela gorgiblanca (*Procellaria aequinoctialis*) y la pardela de Westland (*Procellaria westlandica*), así como los albatros de Buller (*Thalassarche bulleri*), de cabeza gris (*Thalassarche chrysostoma*), de Chatham (*Thalassarche eremita*), de Campbell (*Thalassarche impavida*), de cejas negras (*Thalassarche melanophris*), de Salvin (*Thalassarche salvini*) y de corona blanca (*Thalassarche steadi*; Phillips et al., 2016). Aunque Nueva Zelanda no tiene previsto en la actualidad minar nódulos polimetálicos, sulfuros polimetálicos o costras ricas en cobalto, recientemente se ha intentado extraer vanadio en Taranaki Bight,⁴³ una bahía que alcanza profundidades de 500 metros, y se han realizado trabajos preliminares para explorar el potencial para la futura extracción de costras y sulfuros dentro de la ZEE del país.

El área de distribución del albatros viajero (*Diomedea exulans*) se extiende por los océanos Pacífico, Atlántico e Índico y los individuos pueden cubrir cientos de miles de kilómetros a lo largo de su migración (Burg and Croxall, 2004; Weimerskirch et al., 2006). Otros albatros tienen un área de distribución más limitada, como el albatros de pico fino (*Thalassarche chlororhynchos*) y el albatros de Tristán (*Diomedea dabbenena*), que se encuentran en el Atlántico sur (Morten et al., 2025). Los albatros del Atlántico pueden interactuar con las concesiones mineras en aguas profundas de la dorsal mesoatlántica, aunque su inclinación hacia el sur hace poco probable el contacto con las actuales áreas de contratos mineros. La fardela de Bermudas (*Pterodroma cahow*) se limita a las islas Bermudas, pero su área de alimentación puede coincidir con las operaciones mineras de la dorsal mesoatlántica (Raine et al., 2021).

En el Pacífico, se sabe que los albatros de cola corta (*Phoebastria albatrus*; Piatt et al., 2006), de patas negras (*Phoebastria nigripes*; Morten et al., 2025) y de Laysan (*Phoebastria immutabilis*; Morten et al., 2025) se encuentran dentro de la zona Clarion-Clipperton, junto con las pardelas patirroas (*Ardenna creatopus*; Morten et al., 2025) y los petreles hawaianos (*Pterodroma sandwichensis*; Raine et al., 2025). Los albatros de las Antípodas (*Diomedea antipodensis*; Morten et al., 2025) tienen un área de distribución más meridional, pero pueden superponerse con las áreas de contratos de minería en aguas profundas previstas en el Pacífico Sur. El albatros ondulado (*Phoebastria irrorata*) tiene una tendencia similar hacia el sur, pero su área de distribución se superpone con el sitio experimental de minería en aguas profundas del DISCOL frente a la costa de Perú (Fernández et al., 2001).

⁴²AICA y AIEB, descripción de zonas marítimas importantes: <https://www.seabirdtracking.org/case-studies/ibas-and-ebas/>

⁴³Nueva Zelanda debate una segunda mina en el fondo marino para duplicar las exportaciones de minerales: <https://www.mining-technology.com/news/new-zealand-debates-second-seabed-mine-in-push-to-double-mineral-exports/>

En el océano Índico, el área de distribución del albatros de pico amarillo del Índico (*Thalassarche carteri*) puede solaparse con las áreas de contratos mineros de la triple unión del océano Índico (Morten et al., 2025). El rabihorcado de la isla de Navidad (*Fregata andrewsi*; Dutson, 2001) y el gaviotín crestado (*Thalasseus bergii*; Collinson et al., 2017) también pueden interactuar con áreas de contratos mineros en los océanos Índico y Pacífico.

El albatros de Ámsterdam (*Diomedea amsterdamensis*) también se encuentra en el océano Índico. Solo se ha encontrado en una isla y, aunque su área de distribución es en gran medida desconocida, podría solaparse con las concesiones mineras otorgadas por la ISA en el océano Índico (Rains et al., 2011). El pigargo de Steller (*Haliaeetus pelagicus*) tiene un área de distribución errante que se superpone con los sitios experimentales de extracción minera de los fondos marinos dentro de la ZEE de Japón (Ueta et al., 2000).

Tabla 5. Especies de aves marinas incluidas en la CMS con solapamientos conocidos respecto al área de distribución con las concesiones mineras en vigor de la ISA

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ⁴⁴	Estado en la Lista Roja de la UICN ⁴⁵	Posibles solapamientos del área de distribución
<i>Ardenna creatopus</i>	Pardela patirrosa	Apén. de la CMS I, ACAP	VU	Zona Clarion-Clipperton
<i>Diomedea amsterdamensis</i>	Albatros de Ámsterdam	Apén. de la CMS I, ACAP	EN	Se desconoce
<i>Diomedea antipodensis</i>	Albatros de las Antípodas	Apén. de la CMS I y II, ACAP	EN	Pacífico
<i>Diomedea dabbenena</i>	Albatros de Tristán	Apén. de la CMS II, ACAP	CR	Atlántico sur
<i>Diomedea exulans</i>	Albatros viajero	Apén. de la CMS II, ACAP	VU	Atlántico sur, Pacífico e Índico
<i>Fregata andrewsi</i>	Rabihorcado de la isla de Navidad	Apén. de la CMS I	VU	Índico
<i>Haliaeetus pelagicus</i>	Pigargo de Steller	Apén. de la CMS I	VU	Se desconoce
<i>Phoebastria albatrus</i>	Albatros de cola corta, albatros de Steller	Apén. de la CMS I, ACAP	VU	Zona Clarion-Clipperton
<i>Phoebastria immutabilis</i>	Albatros de Laysan	Apén. de la CMS II, ACAP	NT	Zona Clarion-Clipperton
<i>Phoebastria irrorata</i>	Albatros ondulado	Apén. de la CMS II, ACAP	CR	Pacífico, cerca del emplazamiento minero experimental del DISCOL
<i>Phoebastria nigripes</i>	Albatros de patas negras	Apén. de la CMS II, ACAP	NT	Zona Clarion-Clipperton

⁴⁴ Véanse los Anexos 1 y 2

⁴⁵ Anexo 3

Nombre científico	Nombres comunes	Instrumentos y apéndices de la CMS ⁴⁴	Estado en la Lista Roja de la UICN ⁴⁵	Posibles solapamientos del área de distribución
<i>Procellaria aequinoctialis</i>	Pardela gorgiblanca	Apén. de la CMS II, ACAP	VU	Nueva Zelanda
<i>Procellaria cinerea</i>	Pardela gris	Apén. de la CMS II, ACAP	NT	Nueva Zelanda
<i>Procellaria parkinsoni</i>	Pardela de Parkinson	Apén. de la CMS II, ACAP	VU	Nueva Zelanda
<i>Procellaria westlandica</i>	Pardela de Westland	Apén. de la CMS II, ACAP	EN	Nueva Zelanda
<i>Pterodroma cahow</i>	Fardela de las Bermudas	Apén. de la CMS I	EN	Dorsal mesoatlántica
<i>Pterodroma sandwichensis</i>	Petrel hawaiano	Apén. de la CMS I	EN	Zona Clarion-Clipperton
<i>Thalassarche bulleri</i>	Albatros de Buller	Apén. de la CMS II, ACAP	NT	Nueva Zelanda
<i>Thalassarche carteri</i>	Albatros de pico amarillo del Índico	Apén. de la CMS II, ACAP	EN	Índico
<i>Thalassarche chlororhynchos</i>	Albatros de pico fino	Apén. de la CMS II, ACAP	EN	Dorsal mesoatlántica
<i>Thalassarche chrysostoma</i>	Albatros de cabeza gris	Apén. de la CMS II, ACAP	EN	Nueva Zelanda
<i>Thalassarche eremita</i>	Albatros de Chatham	Apén. de la CMS II, ACAP	VU	Nueva Zelanda
<i>Thalassarche impavida</i>	Albatros de Campbell	Apén. de la CMS II, ACAP	VU	Nueva Zelanda
<i>Thalassarche melanophris</i>	Albatros de cejas negras	Apén. de la CMS II, ACAP	LC	Nueva Zelanda
<i>Thalassarche salvini</i>	Albatros de Salvin	Apén. de la CMS II, ACAP	VU	Nueva Zelanda
<i>Thalassarche steadi</i>	Albatros de corona blanca	Apén. de la CMS II, ACAP	NT	Nueva Zelanda
<i>Thalasseus bergii</i>	Gaviotín crestado	Apén. de la CMS II, AEW	LC	Índico y Pacífico

Posibles efectos y lagunas de conocimientos asociadas

Las aves marinas migratorias pueden atravesar diversas áreas de contratos de minería en aguas profundas, incluidas las concedidas por la ISA en los océanos Atlántico, Pacífico e Índico, así como dentro de las aguas nacionales. Dado que las capturas incidentales en los aparejos de pesca comercial son la mayor amenaza para las aves marinas migratorias, es probable que los efectos directos de las operaciones de minería en aguas profundas sean relativamente menos importantes, en comparación con otros grupos incluidos en la lista de la CMS. La medida en que las rutas migratorias marinas (Morten et al., 2025) se superponen con los emplazamientos mineros actuales y futuros en aguas profundas puede dar lugar a un mayor contacto entre las aves marinas migratorias y las operaciones mineras.

Dispositivos de concentración de peces. Los buques estacionarios en mar abierto actúan como dispositivos de concentración de peces (Røstad et al., 2006). Las especies presa se

sentirán atraídas por el buque minero cuando esté parado, lo que podría alterar los hábitos de alimentación de las aves marinas. Se necesitan estudios a largo plazo sobre la presencia de una concentración constante de peces alrededor de los buques mineros estacionarios y sus efectos en la migración.

Estructuras en alta mar. Los buques de minería en aguas profundas que permanecen estacionarios durante un período relativamente largo pueden actuar como estructuras en alta mar en términos de su atractivo para las especies de aves migratorias. Se sabe que las bengalas de luz y gas de las infraestructuras de petróleo y gas en alta mar atraen a las aves marinas, sobre todo durante los períodos en los que el clima y la visibilidad son deficientes (Ronconi et al., 2015). Las luces de los buques de minería en aguas profundas que operan las 24 horas del día podrían atraer a las aves marinas migratorias. Por el contrario, la abundancia y densidad de aves marinas ha disminuido tras la instalación de parques eólicos en alta mar (Garthe et al., 2023), lo que incluye las épocas de cría de las aves marinas (Peschko et al., 2020).

Está por ver si las aves marinas migratorias se sienten atraídas por los buques mineros estacionarios en aguas profundas, ya sea porque actúan como estructuras en alta mar o porque atraen a especies presa, o si evitan estas operaciones como lo hacen con los molinos de viento en alta mar.

Recomendaciones

Las Partes de la CMS deben fomentar la colaboración entre la investigación respaldada por la ISA y la observación de las aves marinas migratorias para comprender mejor cómo afecta la presencia de buques mineros a su migración y comportamiento. La presencia estacionaria de contratistas mineros durante varios meses en zonas donde las observaciones son limitadas ofrece una oportunidad sin igual para conocer mejor el comportamiento de las aves marinas migratorias.

Las Partes de la CMS deben alentar a los contratistas mineros a que realicen observaciones periódicas en la superficie y comuniquen los incidentes en los que se observen aves marinas en las zonas inmediatamente circundantes a las operaciones mineras, o cuando los buques estén en tránsito.

Resumen final

Si bien la minería en aguas profundas planteará amenazas múltiples y directas para las especies altamente migratorias, la cuantificación del alcance total de dichos efectos es aún deficiente. La producción de penachos de sedimentos, la contaminación acústica crónica y la eliminación directa de hábitats bentónicos pueden tener efectos de gravedad en la migración, la alimentación, la reproducción y el comportamiento social de muchos animales marinos. El aumento del tráfico de embarcaciones en zonas relativamente tranquilas puede dar lugar a un mayor riesgo de colisiones con buques. Los buques estacionarios que operan durante largos períodos pueden actuar como dispositivos de concentración de peces que atraen a los depredadores migratorios, lo que provoca alteraciones en la alimentación y la migración. Se necesita más investigación para determinar de manera exhaustiva los efectos de esta incipiente industria en las especies incluidas en la CMS y en otras especies altamente migratorias. La ISA y los contratistas mineros están en una posición privilegiada para ayudar en la recopilación generalizada y transparente de datos.

Anexos

Anexo 1: Acuerdos de la CMS mencionados en el texto

Acuerdo	Abreviatura
<u>ACAP</u>	Acuerdo sobre la Conservación de Albatros y Petreles
<u>ACCOBAMS</u>	Acuerdo sobre la Conservación de los Cetáceos del Mar Negro, el Mar Mediterráneo y la Zona Atlántica Contigua
<u>AEWA</u>	Acuerdo sobre la Conservación de las Aves Acuáticas Migratorias Afroeuroasiáticas
<u>ASCOBANS</u>	Acuerdo sobre la Conservación de los Pequeños Cetáceos del Mar Báltico, el Atlántico Nordeste, el Mar de Irlanda y el Mar del Norte

Anexo 2: Memorandos de Entendimiento (MOU) de la CMS mencionados en el texto

MOU	Abreviatura
<u>MOU de tortugas atlánticas</u>	Memorando de Entendimiento sobre las Medidas de Conservación para las Tortugas Marinas de la Costa Atlántica de África
<u>MOU de tortugas marinas IOSEA</u>	Memorando de Entendimiento sobre la Conservación y Gestión de las Tortugas Marinas y sus Hábitats del Océano Índico y el Sudeste Asiático
<u>MOU de la foca monje</u>	Memorando de Entendimiento sobre las Medidas de Conservación de las Poblaciones del Atlántico Oriental de la Foca Monje del Mediterráneo (<i>Monachus monachus</i>)
<u>MOU PIC</u>	Memorando de Entendimiento para la Conservación de los Cetáceos y sus Hábitats en la Región de las Islas del Pacífico
<u>MOU de tiburones</u>	Memorando de Entendimiento sobre la Conservación de los Tiburones Migratorios
<u>MOU WAAM</u>	Memorando de Entendimiento sobre la Conservación del Manatí y los Pequeños Cetáceos de África Occidental y Macaronesia

Anexo 3: Abreviaturas de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)

Estado en la Lista Roja	Abreviatura
Datos insuficientes	DD
Preocupación menor	LC
Casi amenazada	NT
Vulnerable	VU
En peligro	EN
En peligro crítico	CR
Extinta en estado silvestre	EW
Extinta	EX
No evaluada	NE

Bibliografía citada

- Adams, L.D., Rosel, P.E., 2006. Population differentiation of the Atlantic spotted dolphin (*Stenella frontalis*) in the western North Atlantic, including the Gulf of Mexico. *Mar. Biol.* 148, 671–681. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-0094-2>
- Alexander, A., Steel, D., Hoekzema, K., Mesnick, S.L., Engelhaupt, D., Kerr, I., Payne, R., Baker, C.S., 2016. What influences the worldwide genetic structure of sperm whales (*Physeter macrocephalus*)? *Mol. Ecol.* 25, 2754–2772. <https://doi.org/10.1111/mec.13638>
- Amon, D.J., Gollner, S., Morato, T., Smith, C.R., Chen, C., Christiansen, S., Currie, B., Drazen, J.C., Fukushima, T., Gianni, M., Gjerde, K.M., Gooday, A.J., Grillo, G.G., Haeckel, M., Joyini, T., Ju, S.-J., Levin, L.A., Metaxas, A., Mianowicz, K., Molodtsova, T.N., Narberhaus, I., Orcutt, B.N., Swadling, A., Tuhumwire, J., Palacio, P.U., Walker, M., Weaver, P., Xu, X.-W., Mulalap, C.Y., Edwards, P.E.T., Pickens, C., 2022. Assessment of scientific gaps related to the effective environmental management of deep-seabed mining. *Mar. Policy* 138, 105006. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105006>
- Amon, D.J., Palacios-Abrantes, J., Drazen, J.C., Lily, H., Nathan, N., van der Grient, J.M.A., McCauley, D., 2023. Climate change to drive increasing overlap between Pacific tuna fisheries and emerging deep-sea mining industry. *Npj Ocean Sustain.* 2, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s44183-023-00016-8>
- Amon, D.J., Ziegler, A.F., Dahlgren, T.G., Glover, A.G., Goineau, A., Gooday, A.J., Wiklund, H., Smith, C.R., 2016. Insights into the abundance and diversity of abyssal megafauna in a polymetallic-nodule region in the eastern Clarion-Clipperton Zone. *Sci. Rep.* 6, 30492. <https://doi.org/10.1038/srep30492>
- Andersen, R.C., Branch, T.A., Alagiyawadu, A., Baldwin, R., Marsac, F., 2012. Seasonal distribution, movements and taxonomic status of blue whales (*Balaenoptera musculus*) in the northern Indian Ocean. *J Cetacean Res Manage* 12, 203–218. <https://doi.org/10.47536/jcrm.v12i2.578>
- Arai, T., 2020. Ecology and evolution of migration in the freshwater eels of the genus *Anguilla* Schrank, 1798. *Heliyon* 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05176>
- Ardron, J., Lily, H., Jaekel, A., 2023. Chapter 16: Public participation in the governance of deep-seabed mining in the Area.
- Arostegui, M.C., Gaube, P., Berumen, M.L., DiGiulian, A., Jones, B.H., Røstad, A., Braun, C.D., 2020. Vertical movements of a pelagic thresher shark (*Alopias pelagicus*): insights into the species' physiological limitations and trophic ecology in the Red Sea. *Endanger. Species Res.* 43, 387–394. <https://doi.org/10.3354/esr01079>
- Banguera-Hinestroza, E., Evans, P.G.H., Mirimin, L., Reid, R.J., Mikkelsen, B., Couperus, A.S., Deaville, R., Rogan, E., Hoelzel, A.R., 2014. Phylogeography and population dynamics of the white-sided dolphin (*Lagenorhynchus acutus*) in the North Atlantic. *Conserv. Genet.* 15, 789–802. <https://doi.org/10.1007/s10592-014-0578-z>
- Beatty, B.L., Rothschild, B.M., 2008. Decompression syndrome and the evolution of deep diving physiology in the Cetacea. *Naturwissenschaften* 95, 793–801. <https://doi.org/10.1007/s00114-008-0385-9>
- Blanc, M., Martínez-Rincón, R.O., 2023. Global scale study of the environmental preferences and distribution of *Orcinus orca*. *J. Coast. Conserv.* 27, 60. <https://doi.org/10.1007/s11852-023-00991-7>
- Bonhommeau, S., Blanke, B., Tréguier, A.-M., Grima, N., Rivot, E., Vermard, Y., Greiner, E., Le Pape, O., 2009. How fast can the European eel (*Anguilla anguilla*) larvae cross the Atlantic Ocean? *Fish. Oceanogr.* 18, 371–385. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2009.00517.x>

- Bonhommeau, S., Castonguay, M., Rivot, E., Sabatié, R., Le Pape, O., 2010. The duration of migration of Atlantic *Anguilla* larvae. *Fish Fish.* 11, 289–306. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2010.00362.x>
- Branch, T.A., Stafford, K.M., Palacios, D.M., Allison, C., Bannister, J.L., Burton, C.L.K., Cabrera, E., Carlson, C.A., Galletti Vernazzani, B., Gill, P.C., Hucke-Gaete, R., Jenner, K.C.S., Jenner, M.-N.M., Matsuoka, K., Mikhalev, Y.A., Miyashita, T., Morrice, M.G., Nishiwaki, S., Sturrock, V.J., Tormosov, D., Anderson, R.C., Baker, A.N., Best, P.B., Borsa, P., Brownell Jr, R.L., Childerhouse, S., Findlay, K.P., Gerrodette, T., Ilangakoon, A.D., Joergensen, M., Kahn, B., Ljungblad, D.K., Maughan, B., Mccauley, R.D., Mckay, S., Norris, T.F., Whale, O., Group, D.R., Rankin, S., Samaran, F., Thiele, D., Van Waerebeek, K., Warneke, R.M., 2007. Past and present distribution, densities and movements of blue whales *Balaenoptera musculus* in the Southern Hemisphere and northern Indian Ocean. *Mammal Rev.* 37, 116–175. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2007.00106.x>
- Brehmer, P., Josse, E., Nøttestad, L., 2012. Evidence that whales (*Balaenoptera borealis*) visit drifting fish aggregating devices: do their presence affect the processes underlying fish aggregation? *Mar. Ecol.* 33, 176–182. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2011.00478.x>
- Burg, T.M., Croxall, J.P., 2004. Global population structure and taxonomy of the wandering albatross species complex. *Mol. Ecol.* 13, 2345–2355. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2004.02232.x>
- Burns, R.E., 1980. Assessment of environmental effects of deep ocean mining of manganese nodules. *Helgoländer Meeresunters.* 33, 433–442. <https://doi.org/10.1007/BF02414768>
- Cáceres-Farias, L., Reséndiz, E., Espinoza, J., Fernández-Sanz, H., Alfaro-Núñez, A., 2022. Threats and Vulnerabilities for the Globally Distributed Olive Ridley (*Lepidochelys olivacea*) Sea Turtle: A Historical and Current Status Evaluation. *Animals* 12, 1837. <https://doi.org/10.3390/ani12141837>
- Canning, S.J., Santos, M.B., Reid, R.J., Evans, P.G.H., Sabin, R.C., Bailey, N., Pierce, G.J., 2008. Seasonal distribution of white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*) in UK waters with new information on diet and habitat use. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 88, 1159–1166. <https://doi.org/10.1017/S0025315408000076>
- Carreiro-Silva, M., Martins, I., Riou, V., Raimundo, J., Caetano, M., Bettencourt, R., Rakka, M., Cerqueira, T., Godinho, A., Morato, T., Colaço, A., 2022. Mechanical and toxicological effects of deep-sea mining sediment plumes on a habitat-forming cold-water octocoral. *Front. Mar. Sci.* 9.
- Cartamil, D., Wegner, N.C., Aalbers, S., Sepulveda, C.A., Baquero, A., Graham, J.B., 2010. Diel movement patterns and habitat preferences of the common thresher shark (*Alopias vulpinus*) in the Southern California Bight. *Mar. Freshw. Res.* 61, 596–604. <https://doi.org/10.1071/MF09153>
- Cerchio, S., Yamada, T.K., Brownell, R.L., 2019. Global Distribution of Omura's Whales (*Balaenoptera omurai*) and Assessment of Range-Wide Threats. *Front. Mar. Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00067>
- Chapuis, L., Collin, S.P., Yopak, K.E., McCauley, R.D., Kempster, R.M., Ryan, L.A., Schmidt, C., Kerr, C.C., Gennari, E., Egeberg, C.A., Hart, N.S., 2019. The effect of underwater sounds on shark behaviour. *Sci. Rep.* 9, 6924. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43078-w>
- Chen, C., Lin, T.-H., Watanabe, H.K., Akamatsu, T., Kawagucci, S., 2021. Baseline soundscapes of deep-sea habitats reveal heterogeneity among ecosystems and sensitivity to anthropogenic impacts. *Limnol. Oceanogr.* 66, 3714–3727. <https://doi.org/10.1002/lno.11911>
- Chen, I., Nishida, S., Chou, L.-S., Isobe, T., Mignucci-Giannoni, A.A., Hoelzel, A.R., 2020. Population genetic diversity and historical dynamics of Fraser's dolphins *Lagenodelphis hosei*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 643, 183–195. <https://doi.org/10.3354/meps13268>

- Clark, C.W., Ellison, W.T., Southall, B.L., Hatch, L., Parijs, S.M.V., Frankel, A., Ponirakis, D., 2009. Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 395, 201–222. <https://doi.org/10.3354/meps08402>
- Coelho, R., Fernandez-Carvalho, J., Santos, M.N., 2015. Habitat use and diel vertical migration of bigeye thresher shark: Overlap with pelagic longline fishing gear. *Mar. Environ. Res., Mares* 2014 112, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.10.009>
- Coelho, R., Mejuto, J., Domingo, A., Yokawa, K., Liu, K.-M., Cortés, E., Romanov, E.V., da Silva, C., Hazin, F., Arocha, F., Mwilima, A.M., Bach, P., Ortiz de Zárate, V., Roche, W., Lino, P.G., García-Cortés, B., Ramos-Cartelle, A.M., Forselledo, R., Mas, F., Ohshimo, S., Courtney, D., Sabarros, P.S., Perez, B., Wogerbauer, C., Tsai, W.-P., Carvalho, F., Santos, M.N., 2018. Distribution patterns and population structure of the blue shark (*Prionace glauca*) in the Atlantic and Indian Oceans. *Fish Fish.* 19, 90–106. <https://doi.org/10.1111/faf.12238>
- Collins, P., Kennedy, B., Copley, J., Boschen, R., Fleming, N., Forde, J., Ju, S.-J., Lindsay, D., Marsh, L., Nye, V., Patterson, A., Watanabe, H., Yamamoto, H., Carlsson, J., David Thaler, A., 2013. VentBase: Developing a consensus among stakeholders in the deep-sea regarding environmental impact assessment for deep-sea mining—A workshop report. *Mar. Policy* 42, 334–336. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2013.03.002>
- Collinson, J.M., Dufour, P., Hamza, A.A., Lawrie, Y., Elliott, M., Barlow, C., Crochet, P.-A., 2017. When morphology is not reflected by molecular phylogeny: the case of three ‘orange-billed terns’ *Thalasseus maximus*, *Thalasseus bergii* and *Thalasseus bengalensis* (Charadriiformes: Laridae). *Biol. J. Linn. Soc.* 121, 439–445. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blw049>
- Corrigan, S., Lowther, A.D., Beheregaray, L.B., Bruce, B.D., Cliff, G., Duffy, C.A., Foulis, A., Francis, M.P., Goldsworthy, S.D., Hyde, J.R., Jabado, R.W., Kacev, D., Marshall, L., Mucientes, G.R., Naylor, G.J.P., Pepperell, J.G., Queiroz, N., White, W.T., Wintner, S.P., Rogers, P.J., 2018. Population Connectivity of the Highly Migratory Shortfin Mako (*Isurus oxyrinchus Rafinesque 1810*) and Implications for Management in the Southern Hemisphere. *Front. Ecol. Evol.* 6. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00187>
- Cresci, A., 2020. A comprehensive hypothesis on the migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*). *Biol. Rev.* 95, 1273–1286. <https://doi.org/10.1111/brv.12609>
- da Silva, D.M.P., Azevedo, A.F., Secchi, E.R., Barbosa, L.A., Flores, P.A.C., Carvalho, R.R., Bisi, T.L., Lailson-Brito, J., Cunha, H.A., 2015. Molecular taxonomy and population structure of the rough-toothed dolphin *Steno bredanensis* (Cetartiodactyla: Delphinidae). *Zool. J. Linn. Soc.* 175, 949–962. <https://doi.org/10.1111/zoj.12301>
- Dalebout, M.L., Baker, C.S., Anderson, R.C., Best, P.B., Cockcroft, V.G., Hinsz, H.L., Peddemors, V., Pitman, R.L., 2003. Appearance, Distribution, and Genetic Distinctiveness of Longman’s Beaked Whale, *Indopacetus Pacificus*. *Mar. Mammal Sci.* 19, 421–461. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2003.tb01314.x>
- De Smet, B., Simon-Lledó, E., Mevenkamp, L., Pape, E., Pasotti, F., Jones, D.O.B., Vanreusel, A., 2021. The megafauna community from an abyssal area of interest for mining of polymetallic nodules. *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* 172, 103530. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2021.103530>
- de Vos, A., Brownell Jr., R.L., Tershy, B., Croll, D., 2016. Anthropogenic Threats and Conservation Needs of Blue Whales, *Balaenoptera musculus indica*, around Sri Lanka. *J. Mar. Sci.* 2016, 8420846. <https://doi.org/10.1155/2016/8420846>
- de Vos, A., Faux, C.E., Marthick, J., Dickinson, J., Jarman, S.N., 2018. New Determination of Prey and Parasite Species for Northern Indian Ocean Blue Whales. *Front. Mar. Sci.* 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00104>
- Dekker, W., 2019. The history of commercial fisheries for European eel commenced only a century ago. *Fish. Manag. Ecol.* 26, 6–19. <https://doi.org/10.1111/fme.12302>

- Denkinger, J., Parra, M., Muñoz, J.P., Carrasco, C., Murillo, J.C., Espinosa, E., Rubianes, F., Koch, V., 2013. Are boat strikes a threat to sea turtles in the Galapagos Marine Reserve? *Ocean Coast. Manag.* 80, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.03.005>
- Díaz, M.P., Kunc, H.P., Houghton, J.D.R., 2024. Anthropogenic noise predicts sea turtle behavioural responses. *Mar. Pollut. Bull.* 198, 115907. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115907>
- Díaz-Torres, E.R., Marín-Enríquez, E., Corgos, A., Olivos-Ortiz, A., Ortega-Ortiz, C.D., Díaz-Torres, E.R., Marín-Enríquez, E., Corgos, A., Olivos-Ortiz, A., Ortega-Ortiz, C.D., 2022. Influence of environmental variability on the distribution and abundance of the pantropical spotted dolphin (*Stenella attenuata*) in the Mexican Central Pacific. *Cienc. Mar.* 48. <https://doi.org/10.7773/cm.y2022.3215>
- Drazen, J., Smith, C., Gjerde, K., Au, W., Black, J., Carter, G., Clark, M., Durden, J., Dutrieux, P., Goetze, E., Haddock, S., Hatta, M., Hauton, C., Hill, P., Koslow, J., Leitner, A., Measures, C., Pacini, A., Parrish, F., Peacock, T., Perelman, J., Sutton, T., Taymans, C., Tunnicliffe, V., Watling, L., Yamamoto, H., Young, E., Ziegler, A., 2019. Report of the workshop Evaluating the nature of midwater mining plumes and their potential effects on midwater ecosystems. *Res. Ideas Outcomes* 5, e33527. <https://doi.org/10.3897/rio.5.e33527>
- Drazen, J.C., Leitner, A.B., Jones, D.O.B., Simon-Lledó, E., 2021. Regional Variation in Communities of Demersal Fishes and Scavengers Across the CCZ and Pacific Ocean. *Front. Mar. Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.630616>
- Drazen, J.C., Smith, C.R., Gjerde, K.M., Haddock, S.H.D., Carter, G.S., Choy, C.A., Clark, M.R., Dutrieux, P., Goetze, E., Hauton, C., Hatta, M., Koslow, J.A., Leitner, A.B., Pacini, A., Perelman, J.N., Peacock, T., Sutton, T.T., Watling, L., Yamamoto, H., 2020. Midwater ecosystems must be considered when evaluating environmental risks of deep-sea mining. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 117, 17455–17460. <https://doi.org/10.1073/pnas.2011914117>
- Durden, J.M., Putts, M., Bingo, S., Leitner, A.B., Drazen, J.C., Gooday, A.J., Jones, D.O.B., Sweetman, A.K., Washburn, T.W., Smith, C.R., 2021. Megafaunal Ecology of the Western Clarion-Clipperton Zone. *Front. Mar. Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.671062>
- Dutson, G., 2001. New distributional ranges for Melanesian birds. *Emu* 101, 237–248. <https://doi.org/10.1071/mu00006>
- Edwards, E.F., Hall, C., Moore, T.J., Sheredy, C., Redfern, J.V., 2015. Global distribution of fin whales *Balaenoptera physalus* in the post-whaling era (1980–2012). *Mammal Rev.* 45, 197–214. <https://doi.org/10.1111/mam.12048>
- Ellis, J.I., Clark, M.R., Rouse, H.L., Lamarche, G., 2017. Environmental management frameworks for offshore mining: the New Zealand approach. *Mar. Policy* 84, 178–192. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.07.004>
- Erbe, C., Reichmuth, C., Cunningham, K., Lucke, K., Dooling, R., 2016. Communication masking in marine mammals: A review and research strategy. *Mar. Pollut. Bull.* 103, 15–38. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.12.007>
- Erickson, K.L., Macko, S., Van Dover, C.L., 2009. Evidence for a chemoautotrophically based food web at inactive hydrothermal vents (Manus Basin). *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.* 56, 1577–1585. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2009.05.002>
- Estupiñán-Montaño, C., Delgado-Huertas, A., 2022. Longfin Mako Shark, *Isurus paucus*, in the Eastern Tropical Pacific: First Evidence of Trophic Ontogeny Based on the Isotopic Analysis of Long-term Tissues. *Thalass. Int. J. Mar. Sci.* 38, 49–55. <https://doi.org/10.1007/s41208-022-00404-w>
- Fernández, A., Sierra, E., Díaz-Delgado, J., Sacchini, S., Sánchez-Paz, Y., Suárez-Santana, C., Arregui, M., Arbelo, M., Bernaldo de Quirós, Y., 2017. Deadly acute Decompression Sickness in Risso's dolphins. *Sci. Rep.* 7, 13621. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14038-z>

- Fernández, P., Anderson, D.J., Sievert, P.R., Huyvaert, K.P., 2001. Foraging destinations of three low-latitude albatross (*Phoebastria*) species. *J. Zool.* 254, 391–404. <https://doi.org/10.1017/S0952836901000899>
- Fossette, S., Ferreira, L.C., Whiting, S.D., King, J., Pendoley, K., Shimada, T., Speirs, M., Tucker, A.D., Wilson, P., Thums, M., 2021. Movements and distribution of hawksbill turtles in the Eastern Indian Ocean. *Glob. Ecol. Conserv.* 29, e01713. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01713>
- Fossette, S., Girard, C., López-Mendilaharsu, M., Miller, P., Domingo, A., Evans, D., Kelle, L., Plot, V., Prosdocimi, L., Verhage, S., Gaspar, P., Georges, J.-Y., 2010. Atlantic Leatherback Migratory Paths and Temporary Residence Areas. *PLOS ONE* 5, e13908. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013908>
- Francis, M., Holdsworth, J., Block, B., 2015. Life in the open ocean: seasonal migration and diel diving behaviour of Southern Hemisphere porbeagle sharks (*Lamna nasus*). | EBSCOhost [WWW Document]. <https://doi.org/10.1007/s00227-015-2756-z>
- Francis, M.P., Shivji, M.S., Duffy, C.A.J., Rogers, P.J., Byrne, M.E., Wetherbee, B.M., Tindale, S.C., Lyon, W.S., Meyers, M.M., 2018. Oceanic nomad or coastal resident? Behavioural switching in the shortfin mako shark (*Isurus oxyrinchus*). *Mar. Biol.* 166, 5. <https://doi.org/10.1007/s00227-018-3453-5>
- Gallagher, A.J., Klimley, A.P., 2018. The biology and conservation status of the large hammerhead shark complex: the great, scalloped, and smooth hammerheads. *Rev. Fish Biol. Fish.* 28, 777–794. <https://doi.org/10.1007/s11160-018-9530-5>
- Garthe, S., Schwemmer, H., Peschko, V., Markones, N., Müller, S., Schwemmer, P., Mercker, M., 2023. Large-scale effects of offshore wind farms on seabirds of high conservation concern. *Sci. Rep.* 13, 4779. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31601-z>
- Gazis, I.-Z., de Stigter, H., Mohrmann, J., Heger, K., Diaz, M., Gillard, B., Baeye, M., Veloso-Alarcón, M.E., Purkiani, K., Haeckel, M., Vink, A., Thomsen, L., Greinert, J., 2025. Monitoring benthic plumes, sediment redeposition and seafloor imprints caused by deep-sea polymetallic nodule mining. *Nat. Commun.* 16, 1229. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56311-0>
- Gillard, B., Purkiani, K., Chatzievangelou, D., Vink, A., Iversen, M.H., Thomsen, L., 2019. Physical and hydrodynamic properties of deep sea mining-generated, abyssal sediment plumes in the Clarion-Clipperton Fracture Zone (eastern-central Pacific). *Elem. Sci. Anthr.* 7, 5. <https://doi.org/10.1525/elementa.343>
- Gomes-Pereira, J.N., Marques, R., Cruz, M.J., Martins, A., 2013. The little-known Fraser's dolphin *Lagenodelphis hosei* in the North Atlantic: new records and a review of distribution. *Mar. Biodivers.* 43, 321–332. <https://doi.org/10.1007/s12526-013-0159-2>
- Gomez, C., Lawson, J.W., Wright, A.J., Buren, A.D., Tollit, D., Lesage, V., 2016. A systematic review on the behavioural responses of wild marine mammals to noise: the disparity between science and policy. *Can. J. Zool.* 94, 801–819. <https://doi.org/10.1139/cjz-2016-0098>
- González, M.T., Sepúlveda, F.A., Zárata, P.M., Baeza, J.A., 2021. Regional population genetics and global phylogeography of the endangered highly migratory shark *Lamna nasus*: Implications for fishery management and conservation. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 31, 620–634. <https://doi.org/10.1002/aqc.3455>
- Haalboom, S., Schoening, T., Urban, P., Gazis, I.-Z., de Stigter, H., Gillard, B., Baeye, M., Hollstein, M., Purkiani, K., Reichart, G.-J., Thomsen, L., Haeckel, M., Vink, A., Greinert, J., 2022. Monitoring of Anthropogenic Sediment Plumes in the Clarion-Clipperton Zone, NE Equatorial Pacific Ocean. *Front. Mar. Sci.* 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.882155>
- Hauton, C., Brown, A., Thatje, S., Mestre, N.C., Bebianno, M.J., Martins, I., Bettencourt, R., Canals, M., Sanchez-Vidal, A., Shillito, B., Ravaux, J., Zbinden, M., Duperron, S.,

- Mevenkamp, L., Vanreusel, A., Gambi, C., Dell'Anno, A., Danovaro, R., Gunn, V., Weaver, P., 2017. Identifying Toxic Impacts of Metals Potentially Released during Deep-Sea Mining—A Synthesis of the Challenges to Quantifying Risk. *Front. Mar. Sci.* 4.
- Hawkes, L.A., Tomás, J., Revuelta, O., León, Y.M., Blumenthal, J.M., Broderick, A.C., Fish, M., Raga, J.A., Witt, M.J., Godley, B.J., 2012. Migratory patterns in hawksbill turtles described by satellite tracking. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 461, 223–232. <https://doi.org/10.3354/meps09778>
- He, G., Ma, W., Song, C., Yang, S., Zhu, B., Yao, H., Jiang, X., Cheng, Y., 2011. Distribution characteristics of seamount cobalt-rich ferromanganese crusts and the determination of the size of areas for exploration and exploitation. *Acta Oceanol. Sin.* 30, 63–75. <https://doi.org/10.1007/s13131-011-0120-9>
- Heimlich, S.L., Mellinger, D.K., Nieukirk, S.L., Fox, C.G., 2005. Types, distribution, and seasonal occurrence of sounds attributed to Bryde's whales (*Balaenoptera edeni*) recorded in the eastern tropical Pacific, 1999–2001. *J. Acoust. Soc. Am.* 118, 1830–1837. <https://doi.org/10.1121/1.1992674>
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Mikesell, M., Mizell, K., Glenn, C.R., Wood, R., 2016. Marine Phosphorites as Potential Resources for Heavy Rare Earth Elements and Yttrium. *Minerals* 6, 88. <https://doi.org/10.3390/min6030088>
- Hein, J.R., Manheim, F.T., Schwab, W.C., 1986. Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts From The Central Pacific. Presented at the Offshore Technology Conference, OnePetro. <https://doi.org/10.4043/5234-MS>
- Helm, R.R., 2021. The mysterious ecosystem at the ocean's surface. *PLOS Biol.* 19, e3001046. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001046>
- Hendrix, H., Pérez-Espona, S., 2024. A Systematic Review of Population Monitoring Studies of Sea Turtles and Its Application to Conservation. *Diversity* 16, 177. <https://doi.org/10.3390/d16030177>
- Hildebrand, J.A., 2009. Anthropogenic and natural sources of ambient noise in the ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 395, 5–20. <https://doi.org/10.3354/meps08353>
- Hooker, S.K., Baird, R.W., 1999. Deep-diving behaviour of the northern bottlenose whale, *Hyperoodon ampullatus* (Cetacea: Ziphiidae). *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 266, 671–676. <https://doi.org/10.1098/rspb.1999.0688>
- Huertas, M., Canário, A.V.M., Hubbard, P.C., 2008. Chemical Communication in the Genus *Anguilla*: A Minireview. *Behaviour* 145, 1389–1407.
- Hunt, K.E., Rolland, R.M., Kraus, S.D., 2015. Conservation Physiology of an Uncatchable Animal: The North Atlantic Right Whale (*Eubalaena glacialis*). *Integr. Comp. Biol.* 55, 577–586. <https://doi.org/10.1093/icb/icv071>
- Ishii, M., Murase, H., Fukuda, Y., Sawada, K., Sasakura, T., Tamura, T., Bando, T., Matsuoka, K., Shinohara, A., Nakatsuka, S., Katsumata, N., Okazaki, M., Miyashita, K., Mitani, Y., 2017. Diving Behavior of Sei Whales *Balaenoptera borealis* Relative to the Vertical Distribution of Their Potential Prey. *Mammal Study* 42, 1–9. <https://doi.org/10.3106/041.042.0403>
- Jackson, J.A., Steel, D.J., Beerli, P., Congdon, B.C., Olavarría, C., Leslie, M.S., Pomilla, C., Rosenbaum, H., Baker, C.S., 2014. Global diversity and oceanic divergence of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 281, 20133222. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3222>
- Jaeckel, A., Harden-Davies, H., Amon, D.J., van der Grient, J., Hanich, Q., van Leeuwen, J., Niner, H.J., Seto, K., 2023. Deep seabed mining lacks social legitimacy. *Npj Ocean Sustain.* 2, 1–4. <https://doi.org/10.1038/s44183-023-00009-7>
- James, M.C., Eckert, S.A., Myers, R.A., 2005. Migratory and reproductive movements of male leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*). *Mar. Biol.* 147, 845–853. <https://doi.org/10.1007/s00227-005-1581-1>

- Jessop, B.M., 2010. Geographic effects on American eel (*Anguilla rostrata*) life history characteristics and strategies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 67, 326–346. <https://doi.org/10.1139/F09-189>
- Jones, D.O.B., Arias, M.B., Van Audenhaege, L., Blackbird, S., Boolukos, C., Bribiesca-Contreras, G., Copley, J.T., Dale, A., Evans, S., Fleming, B.F.M., Gates, A.R., Grant, H., Hartl, M.G.J., Huvenne, V.A.I., Jeffreys, R.M., Josso, P., King, L.D., Simon-Lledó, E., Le Bas, T., Norman, L., O'Malley, B., Peacock, T., Shimmield, T., Stewart, E.C.D., Sweetman, A.K., Wardell, C., Aleynik, D., Glover, A.G., 2025. Long-term impact and biological recovery in a deep-sea mining track. *Nature*. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08921-3>
- Jones, D.O.B., Kaiser, S., Sweetman, A.K., Smith, C.R., Menot, L., Vink, A., Trueblood, D., Greinert, J., Billett, D.S.M., Arbizu, P.M., Radziejewska, T., Singh, R., Ingole, B., Stratmann, T., Simon-Lledó, E., Durden, J.M., Clark, M.R., 2017. Biological responses to disturbance from simulated deep-sea polymetallic nodule mining. *PLOS ONE* 12, e0171750. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171750>
- Kasamatsu, Nishiwaki, Ishikawa, 1995. Breeding areas and southbound migrations of southern minke whales *Balaenoptera acutorostrata*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 119, 1–10. <https://doi.org/10.3354/meps119001>
- Kato, Y., Fujinaga, K., Nakamura, K., Takaya, Y., Kitamura, K., Ohta, J., Toda, R., Nakashima, T., Iwamori, H., 2011. Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nat. Geosci.* 4, 535–539. <https://doi.org/10.1038/ngeo1185>
- Katona, S., Paulikas, D., Ali, S., Clarke, M., Ilves, E., Lovejoy, T.E., Madin, L.P., Stone, G.S., 2023. Land and deep-sea mining: the challenges of comparing biodiversity impacts. *Biodivers. Conserv.* 32, 1125–1164. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02558-2>
- Klatsky, L.J., Wells, R.S., Sweeney, J.C., 2007. Offshore Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*): Movement and Dive Behavior Near the Bermuda Pedestal. *J. Mammal.* 88, 59–66. <https://doi.org/10.1644/05-MAMM-A-365R1.1>
- Kock, A.A., Lombard, A.T., Daly, R., Goodall, V., Meyer, M., Johnson, R., Fischer, C., Koen, P., Irion, D., Gennari, E., Towner, A., Jewell, O.J.D., da Silva, C., Dicken, M.L., Smale, M.J., Photopoulou, T., 2022. Sex and Size Influence the Spatiotemporal Distribution of White Sharks, With Implications for Interactions With Fisheries and Spatial Management in the Southwest Indian Ocean. *Front. Mar. Sci.* 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.811985>
- Kuhn, T., Wegorzewski, A., Rühlemann, C., Vink, A., 2017. Composition, Formation, and Occurrence of Polymetallic Nodules, in: Sharma, R. (Ed.), *Deep-Sea Mining: Resource Potential, Technical and Environmental Considerations*. Springer International Publishing, Cham, pp. 23–63. https://doi.org/10.1007/978-3-319-52557-0_2
- Leslie, M.S., Morin, P.A., 2018. Structure and phylogeography of two tropical predators, spinner (*Stenella longirostris*) and pantropical spotted (*S. attenuata*) dolphins, from SNP data. *R. Soc. Open Sci.* 5, 171615. <https://doi.org/10.1098/rsos.171615>
- Lopez, J., Griffiths, S., Wallace, B.P., Cáceres, V., Rodríguez, L.H., Abrego, M., Alfaro-Shigueto, J., Andraka, S., Brito, M.J., Bustos, L.C., Cari, I., Carvajal, J.M., Clavijo, L., Cocas, L., Paz, N. de, Herrera, M., Mangel, J.C., Pérez-Huaripata, M., Piedra, R., Dávila, J.A.Q., Rendón, L., Rguez-Baron, J.M., Santana, H., Suárez, J., Veelenturf, C., Vega, R., Zárate, P., 2024. Vulnerability of the Critically Endangered leatherback turtle to fisheries bycatch in the eastern Pacific Ocean. I. A machine-learning species distribution model. *Endanger. Species Res.* 53, 271–293. <https://doi.org/10.3354/esr01288>
- Macleod, C.D., 2000. Review of the distribution of *Mesoplodon* species (order Cetacea, family Ziphiidae) in the North Atlantic. *Mammal Rev.* 30, 1–8. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2907.2000.00057.x>
- Madsen, P.T., Kerr, I., Payne, R., 2004. Echolocation clicks of two free-ranging, oceanic delphinids with different food preferences: false killer whales *Pseudorca crassidens* and Risso's

- dolphins *Grampus griseus*. *J. Exp. Biol.* 207, 1811–1823. <https://doi.org/10.1242/jeb.00966>
- Manral, D., Bos, I., de Boer, M., van Sebillie, E., 2024. Modelling drift of cold-stunned Kemp's ridley turtles stranding on the Dutch coast. *Open Res. Eur.* 4, 41. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.16913.3>
- Marsh, L., Huvenne, V.A.I., Jones, D.O.B., 2018. Geomorphological evidence of large vertebrates interacting with the seafloor at abyssal depths in a region designated for deep-sea mining. *R. Soc. Open Sci.* 5, 180286. <https://doi.org/10.1098/rsos.180286>
- Martien, K.K., Hancock-Hanser, B.L., Baird, R.W., Kiszka, J.J., Aschettino, J.M., Oremus, M., Hill, M.C., 2017. Unexpected patterns of global population structure in melon-headed whales *Peponocephala electra*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 577, 205–220. <https://doi.org/10.3354/meps12203>
- Martins, Irene, Guerra, A., Azevedo, A., Harasse, O., Colaço, A., Xavier, J., Caetano, M., Carreiro-Silva, M., Martins, Inês, Neuparth, T., Raimundo, J., Soares, J., Santos, M.M., 2023. 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. *Mar. Pollut. Bull.* 191, 114902. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114902>
- Maurer, A.S., Seminoff, J.A., Burford Reiskind, M.O., Stapleton, S.P., 2024. Diverse migratory strategies for a hawksbill sea turtle population. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 34, e4080. <https://doi.org/10.1002/aqc.4080>
- Menini, E., Van Dover, C.L., 2019. An atlas of protected hydrothermal vents. *Mar. Policy* 108, 103654. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103654>
- Mikkelsen, L., Rigét, F.F., Kyhn, L.A., Sveegaard, S., Dietz, R., Tougaard, J., Carlström, J.A.K., Carlén, I., Koblitz, J.C., Teilmann, J., 2016. Comparing Distribution of Harbour Porpoises (*Phocoena phocoena*) Derived from Satellite Telemetry and Passive Acoustic Monitoring. *PLOS ONE* 11, e0158788. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158788>
- Miller, K.A., Thompson, K.F., Johnston, P., Santillo, D., 2018. An Overview of Seabed Mining Including the Current State of Development, Environmental Impacts, and Knowledge Gaps. *Front. Mar. Sci.* 4.
- Molari, M., Janssen, F., Vonnahme, T.R., Wenzhöfer, F., Boetius, A., 2020. The contribution of microbial communities in polymetallic nodules to the diversity of the deep-sea microbiome of the Peru Basin (4130–4198 m depth). *Biogeosciences* 17, 3203–3222. <https://doi.org/10.5194/bg-17-3203-2020>
- Monnahan, C.C., Branch, T.A., Punt, A.E., 2015. Do ship strikes threaten the recovery of endangered eastern North Pacific blue whales? *Mar. Mammal Sci.* 31, 279–297. <https://doi.org/10.1111/mms.12157>
- Moore, A.B.M., 2017. Are guitarfishes the next sawfishes? Extinction risk and an urgent call for conservation action. *Endanger. Species Res.* 34, 75–88. <https://doi.org/10.3354/esr00830>
- Morato, T., Hoyle, S.D., Allain, V., Nicol, S.J., 2010. Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 9707–9711. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910290107>
- Morten, J.M., Carneiro, A.P.B., Beal, M., Bonnet-Lebrun, A.-S., Dias, M.P., Rouyer, M.-M., Harrison, A.-L., González-Solís, J., Jones, V.R., Garcia Alonso, V.A., Antolos, M., Arata, J.A., Barbraud, C., Bell, E.A., Bell, M., Bose, S., Broni, S., de L Brooke, M., Butchart, S.H.M., Carlile, N., Catry, P., Catry, T., Charteris, M., Cherel, Y., Clark, B.L., Clay, T.A., Cole, N.C., Connors, M.G., Debski, I., Delord, K., Egevang, C., Elliot, G., Esefeld, J., Facer, C., Fayet, A.L., Fijn, R.C., Fischer, J.H., Franklin, K.A., Gilg, O., Gill, J.A., Granadeiro, J.P., Guilford, T., Handley, J.M., Hanssen, S.A., Hawkes, L.A., Hedd, A., Jaeger, A., Jones, C.G., Jones, C.W., Kopp, M., Krietsch, J., Landers, T.J., Lang, J., Le Corre, M., Mallory, M.L., Masello, J.F., Maxwell, S.M., Medrano, F., Militão, T., Millar, C.D., Moe, B., Montevecchi, W.A., Navarro-Herrero, L., Neves, V.C., Nicholls, D.G., Nicoll,

- M.A.C., Norris, K., O'Dwyer, T.W., Parker, G.C., Peter, H.-U., Phillips, R.A., Quillfeldt, P., Ramos, J.A., Ramos, R., Rayner, M.J., Rexer-Huber, K., Ronconi, R.A., Ruhomaun, K., Ryan, P.G., Sagar, P.M., Saldanha, S., Schmidt, N.M., Schultz, H., Shaffer, S.A., Stenhouse, I.J., Takahashi, A., Tatayah, V., Taylor, G.A., Thompson, D.R., Thompson, T., van Bemmelen, R., Vicente-Sastre, D., Vigfúsdóttir, F., Walker, K.J., Watts, J., Weimerskirch, H., Yamamoto, T., Davies, T.E., 2025. Global Marine Flyways Identified for Long-Distance Migrating Seabirds From Tracking Data. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 34, e70004. <https://doi.org/10.1111/geb.70004>
- Muñoz-Royo, C., Ouillon, R., El Mousadik, S., Alford, M.H., Peacock, T., 2022. An in situ study of abyssal turbidity-current sediment plumes generated by a deep seabed polymetallic nodule mining preprototype collector vehicle. *Sci. Adv.* 8, eabn1219. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abn1219>
- Murray, S., Meeuwig, J.J., Thompson, C.D.H., Mouillot, D., 2023. Identifying the drivers of silky shark distribution and an evaluation of protection measures. *Environ. Biol. Fishes* 106, 1693–1713. <https://doi.org/10.1007/s10641-023-01437-7>
- Myrberg, A.A., Jr., Gordon, C.R., Klimley, A.P., 1978. Rapid withdrawal from a sound source by open-ocean sharks. *J. Acoust. Soc. Am.* 64, 1289–1297. <https://doi.org/10.1121/1.382114>
- Nelson, D.R., Johnson, R.H., 1972. Acoustic attraction of pacific reef sharks: Effect of pulse intermittency and variability. *Comp. Biochem. Physiol. A Physiol.* 42, 85–95. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(72\)90370-2](https://doi.org/10.1016/0300-9629(72)90370-2)
- Nieder, C., Parmentier, E., Jeffs, A.G., Radford, C., 2025. Evidence of active sound production by a shark. *R. Soc. Open Sci.* 12, 242212. <https://doi.org/10.1098/rsos.242212>
- Nisi, A.C., Welch, H., Brodie, S., Leiphardt, C., Rhodes, R., Hazen, E.L., Redfern, J.V., Branch, T.A., Barreto, A.S., Calambokidis, J., Clavelle, T., Dares, L., de Vos, A., Gero, S., Jackson, J.A., Kenney, R.D., Kroodsmas, D., Leaper, R., McCauley, D.J., Moore, S.E., Ovsyanikova, E., Panigada, S., Robinson, C.V., White, T., Wilson, J., Abrahms, B., 2024. Ship collision risk threatens whales across the world's oceans. *Science* 386, 870–875. <https://doi.org/10.1126/science.adp1950>
- Ohizumi, H., Isoda, T., Kishiro, T., Kato, H., 2003. Feeding habits of Baird's beaked whale *Berardius bairdii*, in the western North Pacific and Sea of Okhotsk off Japan. *Fish. Sci.* 69, 11–20. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2003.00582.x>
- Øigård, T.A., Frie, A.K., Nilssen, K.T., Hammill, M.O., 2012. Modelling the abundance of grey seals (*Halichoerus grypus*) along the Norwegian coast. *ICES J. Mar. Sci.* 69, 1436–1447. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fss103>
- Okamoto, N., Shiokawa, S., Kawano, S., Sakurai, H., Yamaji, N., Kurihara, M., 2018. Current Status of Japan's Activities for Deep-Sea Commercial Mining Campaign, in: 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO). Presented at the 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO), pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/OCEANSKOBE.2018.8559373>
- Oremus, M., GALES, R., DALEBOUT, M.L., FUNAHASHI, N., ENDO, T., KAGE, T., STEEL, D., BAKER, S.C., 2009. Worldwide mitochondrial DNA diversity and phylogeography of pilot whales (*Globicephala* spp.). *Biol. J. Linn. Soc.* 98, 729–744. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.2009.01325.x>
- Peacock, T., Ouillon, R., 2023. The Fluid Mechanics of Deep-Sea Mining. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 55, 403–430. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-031822-010257>
- Pelletier, D., Roos, D., Ciccione, S., 2003. Oceanic survival and movements of wild and captive-reared immature green turtles (*Chelonia mydas*) in the Indian Ocean. *Aquat. Living Resour.* 16, 35–41. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(03\)00005-6](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(03)00005-6)
- Peschko, V., Mendel, B., Müller, S., Markones, N., Mercker, M., Garthe, S., 2020. Effects of offshore windfarms on seabird abundance: Strong effects in spring and in the breeding

- season. Mar. Environ. Res. 162, 105157. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105157>
- Petersen, S., Krätschell, A., Augustin, N., Jamieson, J., Hein, J.R., Hannington, M.D., 2016. News from the seabed – Geological characteristics and resource potential of deep-sea mineral resources. *Mar. Policy* 70, 175–187. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.03.012>
- Petterson, M.G., Tawake, A., 2019. The Cook Islands (South Pacific) experience in governance of seabed manganese nodule mining. *Ocean Coast. Manag.* 167, 271–287. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.09.010>
- Phillips, R.A., Gales, R., Baker, G.B., Double, M.C., Favero, M., Quintana, F., Tasker, M.L., Weimerskirch, H., Uhart, M., Wolfaardt, A., 2016. The conservation status and priorities for albatrosses and large petrels. *Biol. Conserv.* 201, 169–183. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.017>
- Piatt, J.F., Wetzel, J., Bell, K., DeGange, A.R., Balogh, G.R., Drew, G.S., Geernaert, T., Ladd, C., Byrd, G.V., 2006. Predictable hotspots and foraging habitat of the endangered short-tailed albatross (*Phoebastria albatrus*) in the North Pacific: Implications for conservation. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr.*, Top predator “hot spots” in the North Pacific 53, 387–398. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2006.01.008>
- Piboon, P., Brown, J., Kaewmong, P., Kittiwattanawong, K., Nganvongpanit, K., 2025. Biology, Nesting Behavior, Genetic Diversity, and Conservation of Leatherback Sea Turtles: Insights From Thailand and Global Perspectives. *Ecol. Evol.* 15, e71014. <https://doi.org/10.1002/ece3.71014>
- Pike, D.A., 2013. Forecasting range expansion into ecological traps: climate-mediated shifts in sea turtle nesting beaches and human development. *Glob. Change Biol.* 19, 3082–3092. <https://doi.org/10.1111/gcb.12282>
- Piper, A.T., White, P.R., Wright, R.M., Leighton, T.G., Kemp, P.S., 2019. Response of seaward-migrating European eel (*Anguilla anguilla*) to an infrasound deterrent. *Ecol. Eng.* 127, 480–486. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.001>
- Pirotta, E., Mangel, M., Costa, D.P., Mate, B., Goldbogen, J.A., Palacios, D.M., Hückstädt, L.A., McHuron, E.A., Schwarz, L., New, L., 2018. A Dynamic State Model of Migratory Behavior and Physiology to Assess the Consequences of Environmental Variation and Anthropogenic Disturbance on Marine Vertebrates. *Am. Nat.* 191, E40–E56. <https://doi.org/10.1086/695135>
- Price, R.E., Breuer, C., Reeves, E., Bach, W., Pichler, T., 2016. Arsenic bioaccumulation and biotransformation in deep-sea hydrothermal vent organisms from the PACMANUS hydrothermal field, Manus Basin, PNG. *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.* 117, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2016.08.012>
- Priede, I.G., Froese, R., Bailey, D.M., Bergstad, O.A., Collins, M.A., Dyb, J.E., Henriques, C., Jones, E.G., King, N., 2006. The absence of sharks from abyssal regions of the world’s oceans. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 273, 1435–1441. <https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3461>
- Pytko, J.M., Kyne, P.M., Carlson, J.K., Wosnick, N., Jabado, R.W., 2024. A tangled web: global review of fishing interactions with rhino rays. *Rev. Fish Biol. Fish.* 34, 131–160. <https://doi.org/10.1007/s11160-023-09821-3>
- Rabone, M., Horton, T., Jones, D.O.B., Simon-Lledó, E., Glover, A.G., 2023. A review of the International Seabed Authority database DeepData from a biological perspective: challenges and opportunities in the UN Ocean Decade. *Database* 2023, baad013. <https://doi.org/10.1093/database/baad013>
- Rabone, M., Horton, T., Jones, D.O.B., Simon-Lledó, E., Glover, A.G., 2022. A review of the International Seabed Authority database DeepData: challenges and opportunities in the UN Ocean Decade. <https://doi.org/10.1101/2022.10.14.512288>

- Raine, A.F., Driskill, S., Sprague, R., Rothe, J., Caceres, G., Schuetz, J., McFarlin, M., Travers, M.S., 2025. Differences in breeding phenology between two geographically separated populations of the 'ua'u (Hawaiian Petrel *Pterodroma sandwichensis*). *Bird Conserv. Int.* 35, e6. <https://doi.org/10.1017/S0959270925000024>
- Raine, A.F., Gjerdrum, C., Pratte, I., Madeiros, J., Felis, J.J., Adams, J., 2021. Marine distribution and foraging habitat highlight potential threats at sea for the Endangered Bermuda petrel *Pterodroma cahow*. *Endanger. Species Res.* 45, 337–356. <https://doi.org/10.3354/esr01139>
- Rains, D., Weimerskirch, H., Burg, T.M., 2011. Piecing together the global population puzzle of wandering albatrosses: genetic analysis of the Amsterdam albatross *Diomedea amsterdamensis*. *J. Avian Biol.* 42, 69–79. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2010.05295.x>
- Ray, S., Vashishth, R., 2024. From water to plate: Reviewing the bioaccumulation of heavy metals in fish and unraveling human health risks in the food chain. *Emerg. Contam.* 10, 100358. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2024.100358>
- Redfern, J.V., Becker, E.A., Moore, T.J., 2020. Effects of Variability in Ship Traffic and Whale Distributions on the Risk of Ships Striking Whales. *Front. Mar. Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00793>
- Redfern, J.V., Mckenna, M.F., Moore, T.J., Calambokidis, J., Deangelis, M.L., Becker, E.A., Barlow, J., Forney, K.A., Fiedler, P.C., Chivers, S.J., 2013. Assessing the Risk of Ships Striking Large Whales in Marine Spatial Planning. *Conserv. Biol.* 27, 292–302. <https://doi.org/10.1111/cobi.12029>
- Richardson, W.J., Jr, C.R.G., Malme, C.I., Thomson, D.H., 2013. *Marine Mammals and Noise*. Academic Press.
- Rider, M.J., Avens, L., Haas, H.L., Hatch, J.M., Patel, S.H., Sasso, C.R., 2024. Where the leatherbacks roam: movement behavior analyses reveal novel foraging locations along the Northwest Atlantic shelf. *Front. Mar. Sci.* 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1325139>
- Ringelstein, J., Pusineri, C., Hassani, S., Meynier, L., Nicolas, R., Ridoux, V., 2006. Food and feeding ecology of the striped dolphin, *Stenella coeruleoalba*, in the oceanic waters of the north-east Atlantic. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 86, 909–918. <https://doi.org/10.1017/S0025315406013865>
- Risch, D., Calderan, S., Leaper, R., Weilgart, L., Werner, S., 2021. Current Knowledge Already Justifies Underwater Noise Reduction. *Trends Ecol. Evol.* 36, 381–382. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.12.010>
- Ritter, F., Panigada, S., 2019. Chapter 28 - Collisions of Vessels With Cetaceans—The Underestimated Threat, in: Sheppard, C. (Ed.), *World Seas: An Environmental Evaluation (Second Edition)*. Academic Press, pp. 531–547. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805052-1.00026-7>
- Roberts, J.R.H., Andrea Koschinsk, Michael Bau, Frank T. Manheim, Jung-Keuk Kang, Leanne, 2000. Cobalt-Rich Ferromanganese Crusts in the Pacific, in: *Handbook of Marine Mineral Deposits*. Routledge.
- Rolland, R.M., Parks, S.E., Hunt, K.E., Castellote, M., Corkeron, P.J., Nowacek, D.P., Wasser, S.K., Kraus, S.D., 2012. Evidence that ship noise increases stress in right whales. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 279, 2363–2368. <https://doi.org/10.1098/rspb.2011.2429>
- Ronconi, R.A., Allard, K.A., Taylor, P.D., 2015. Bird interactions with offshore oil and gas platforms: Review of impacts and monitoring techniques. *J. Environ. Manage.* 147, 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.031>
- Rose, N.A., Barreto, A. S, Parsons, E. C. M., Porter, L., Simmonds, M. P., Smith, C. R., Thaler, A., Thompson, K., Walloe, L., Williams, R., Zerbini, A., 2024. Report of the Intersessional Correspondence Group on Deep-Sea Mining (No. SC/69B/E/08). IWC.

- Rosel, P.E., Hansen, L., Hohn, A.A., 2009. Restricted dispersal in a continuously distributed marine species: common bottlenose dolphins *Tursiops truncatus* in coastal waters of the western North Atlantic. *Mol. Ecol.* 18, 5030–5045. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04413.x>
- Rosel, P.E., Wilcox, L.A., Yamada, T.K., Mullin, K.D., 2021. A new species of baleen whale (*Balaenoptera*) from the Gulf of Mexico, with a review of its geographic distribution. *Mar. Mammal Sci.* 37, 577–610. <https://doi.org/10.1111/mms.12776>
- Røstad, A., Kaartvedt, S., Klevjer, T.A., Melle, W., 2006. Fish are attracted to vessels. *ICES J. Mar. Sci.* 63, 1431–1437. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2006.03.026>
- Salinas-de-León, P., Phillips, B., Ebert, D., Shivji, M., Cerutti-Pereyra, F., Ruck, C., Fisher, C.R., Marsh, L., 2018. Deep-sea hydrothermal vents as natural egg-case incubators at the Galapagos Rift. *Sci. Rep.* 8, 1788. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20046-4>
- Salinas-de-León, P., Vaudo, J., Logan, R., Suarez-Moncada, J., Shivji, M., 2024. Longest recorded migration of a silky shark (*Carcharhinus falciformis*) reveals extensive use of international waters of the Tropical Eastern Pacific. *J. Fish Biol.* 105, 378–381. <https://doi.org/10.1111/jfb.15788>
- Santos, C.P., Rosa, R., Frazão-Santos, C., 2024. Global risk assessment of sharks to climate change. *Sci. Total Environ.* 954, 176361. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176361>
- Schlacher, T.A., Baco, A.R., Rowden, A.A., O'Hara, T.D., Clark, M.R., Kelley, C., Dower, J.F., 2014. Seamount benthos in a cobalt-rich crust region of the central Pacific: conservation challenges for future seabed mining. *Divers. Distrib.* 20, 491–502. <https://doi.org/10.1111/ddi.12142>
- Semba, Y., Yokawa, K., Matsunaga, H., Shono, H., 2013. Distribution and trend in abundance of the porbeagle (*Lamna nasus*) in the southern hemisphere. *Mar. Freshw. Res.* 64, 518–529. <https://doi.org/10.1071/MF12272>
- Sequeira, A., Mellin, C., Rowat, D., Meekan, M.G., Bradshaw, C.J.A., 2012. Ocean-scale prediction of whale shark distribution. *Divers. Distrib.* 18, 504–518. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00853.x>
- Sequeira, A.M.M., Mellin, C., Fordham, D.A., Meekan, M.G., Bradshaw, C.J.A., 2014. Predicting current and future global distributions of whale sharks. *Glob. Change Biol.* 20, 778–789. <https://doi.org/10.1111/gcb.12343>
- Shangguan, L., 2025. The discovery of dark oxygen and its significance: Impacts on the Earth's environment, deep-sea ecosystems, and energy utilization. https://doi.org/10.50908/grb.4.0_130
- Siddiqui, M., 2025. Exploring the Role of Dark Oxygen Production in Deep-Sea Biogeochemical Cycles: Implications for Ecosystem Dynamics and Deep-Sea Mining. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5266945>
- Simmonds, M., Dolman, S., Jasny, M., Parsons, E., Weilgart, L., Wright, A., Leaper, R., 2014. Marine Noise Pollution - Increasing Recognition But Need for More Practical Action. *Ecol. Collect.*
- Simon-Lledó, E., Amon, D.J., Bribiesca-Contreras, G., Cuvelier, D., Durden, J.M., Ramalho, S.P., Uhlenkott, K., Arbizu, P.M., Benoist, N., Copley, J., Dahlgren, T.G., Glover, A.G., Fleming, B., Horton, T., Ju, S.-J., Mejia-Saenz, A., McQuaid, K., Pape, E., Park, C., Smith, C.R., Jones, D.O.B., 2023. Abyssal Pacific Seafloor Megafauna Atlas.
- Simon-Lledó, E., Bett, B.J., Huvenne, V.A.I., Köser, K., Schoening, T., Greinert, J., Jones, D.O.B., 2019. Biological effects 26 years after simulated deep-sea mining. *Sci. Rep.* 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44492-w>
- Simon-Lledó, E., Pomee, C., Ahokava, A., Drazen, J.C., Leitner, A.B., Flynn, A., Parianos, J., Jones, D.O.B., 2020. Multi-scale variations in invertebrate and fish megafauna in the mid-eastern Clarion-Clipperton Zone. *Prog. Oceanogr.* 187, 102405. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2020.102405>

- Simpson, S.D., Purser, J., Radford, A.N., 2015. Anthropogenic noise compromises antipredator behaviour in European eels. *Glob. Change Biol.* 21, 586–593. <https://doi.org/10.1111/gcb.12685>
- Sims, D.W., 2008. Chapter 3 Sieving a Living: A Review of the Biology, Ecology and Conservation Status of the Plankton-Feeding Basking Shark *Cetorhinus Maximus*, in: *Advances in Marine Biology*. Academic Press, pp. 171–220. [https://doi.org/10.1016/S0065-2881\(08\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2881(08)00003-5)
- Sims, D.W., Southall, E.J., Tarling, G.A., Metcalfe, J.D., 2005. Habitat-Specific Normal and Reverse Diel Vertical Migration in the Plankton-Feeding Basking Shark. *J. Anim. Ecol.* 74, 755–761.
- Skomal, G.B., Braun, C.D., Chisholm, J.H., Thorrold, S.R., 2017. Movements of the white shark *Carcharodon carcharias* in the North Atlantic Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 580, 1–16. <https://doi.org/10.3354/meps12306>
- Sleeman, J.C., Meekan, M.G., Wilson, S.G., Polovina, J.J., Stevens, J.D., Boggs, G.S., Bradshaw, C.J.A., 2010. To go or not to go with the flow: Environmental influences on whale shark movement patterns. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 390, 84–98. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.05.009>
- Souster, T.A., Barnes, D.K.A., Primicerio, R., Jørgensen, L.L., 2024. Quantifying zoobenthic blue carbon storage across habitats within the Arctic's Barents Sea. *Front. Mar. Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1260884>
- Southall, B.L., Finneran, J.J., Reichmuth, C., Nachtigall, P.E., Ketten, D.R., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Nowacek, D.P., Tyack, P.L., 2019. Marine mammal noise exposure criteria: updated scientific recommendations for residual hearing effects. *Aquat. Mamm.* 45, 125–232. <https://doi.org/10.1578/AM.45.2.2019.125>
- Spearman, J., Taylor, J., Crossouard, N., Cooper, A., Turnbull, M., Manning, A., Lee, M., Murton, B., 2020. Measurement and modelling of deep sea sediment plumes and implications for deep sea mining. *Sci. Rep.* 10, 5075. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61837-y>
- Stenvers, V., Chi, X., Javidpour, J., 2020. Seasonal variability of the fatty acid composition in *Aurelia aurita* (Cnidaria: Scyphozoa): implications for gelatinivore food web studies. *J. Plankton Res.* 42, 440–452. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbaa026>
- Stenvers, V.I., Hauss, H., Bayer, T., Havermans, C., Hentschel, U., Schmittmann, L., Sweetman, A.K., Hoving, H.-J.T., 2023. Experimental mining plumes and ocean warming trigger stress in a deep pelagic jellyfish. *Nat. Commun.* 14, 7352. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43023-6>
- Stratmann, T., Soetaert, K., Kersken, D., van Oevelen, D., 2021. Polymetallic nodules are essential for food-web integrity of a prospective deep-seabed mining area in Pacific abyssal plains. *Sci. Rep.* 11, 12238. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91703-4>
- Stuart, R.E., Stockwell, J.D., Marsden, J.E., 2024. Anguillids: widely studied yet poorly understood—a literature review of the current state of *Anguilla* eel research. *Rev. Fish Biol. Fish.* 34, 1637–1664. <https://doi.org/10.1007/s11160-024-09892-w>
- Sweetman, A. k., Smith, A.J., De Jonge, D.S.W., Hahn, T., Schroedl, P., Silverstein, M., Andrade, C., Edwards, R.L., Lough, A.J.M., Woulds, C., Homoky, W.B., Koschinsky, A., Fuchs, S., Kuhn, T., Geiger, F., Marlow, J.J., 2024. Evidence of dark oxygen production at the abyssal seafloor. *Nat. Geosci.* <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01480-8>
- Takaya, Y., Yasukawa, K., Kawasaki, T., Fujinaga, K., Ohta, J., Usui, Y., Nakamura, K., Kimura, J.-I., Chang, Q., Hamada, M., Dodbiba, G., Nozaki, T., Iijima, K., Morisawa, T., Kuwahara, T., Ishida, Y., Ichimura, T., Kitazume, M., Fujita, T., Kato, Y., 2018. The tremendous potential of deep-sea mud as a source of rare-earth elements. *Sci. Rep.* 8, 5763. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23948-5>
- Tanaka, E., Nakamura, K., Yasukawa, K., Mimura, K., Fujinaga, K., Iijima, K., Nozaki, T., Kato, Y., 2020. Chemostratigraphy of deep-sea sediments in the western North Pacific Ocean:

- Implications for genesis of mud highly enriched in rare-earth elements and yttrium. *Ore Geol. Rev.* 119, 103392. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103392>
- Tezanos-Pinto, G., Baker, C.S., Russell, K., Martien, K., Baird, R.W., Hutt, A., Stone, G., Mignucci-Giannoni, A.A., Caballero, S., Endo, T., Lavery, S., Oremus, M., Olavarría, C., Garrigue, C., 2009. A Worldwide Perspective on the Population Structure and Genetic Diversity of Bottlenose Dolphins (*Tursiops truncatus*) in New Zealand. *J. Hered.* 100, 11–24. <https://doi.org/10.1093/jhered/esn039>
- Thaler, A., Parsons, E.C.M., de Vos, A., Rose, N.A., Smith, C., Fretz, D., 2019. Bot Meets Whale: Best Practices for Mitigating Negative Interactions Between Marine Mammals and MicroROVs. *Front. Mar. Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00506>
- Thaler, A.D., Amon, D., 2019. 262 Voyages Beneath the Sea: a global assessment of macro- and megafaunal biodiversity and research effort at deep-sea hydrothermal vents. *PeerJ* 7, e7397. <https://doi.org/10.7717/peerj.7397>
- Thaler, A.D., Plouviez, S., Saleu, W., Alei, F., Jacobson, A., Boyle, E.A., Schultz, T.F., Carlsson, J., Van Dover, C.L., 2014. Comparative population structure of two deep-sea hydrothermal-vent-associated decapods (*Chorocaris* sp. 2 and *Munidopsis lauensis*) from southwestern Pacific back-arc basins. *PLoS ONE* 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101345>
- Thaler, A.D., Saleu, W., Carlsson, J., Schultz, T.F., Van Dover, C.L., 2017. Population structure of *Bathymodiolus manusensis*, a deep-sea hydrothermal vent-dependent mussel from Manus Basin, Papua New Guinea. *PeerJ* 2017. <https://doi.org/10.7717/peerj.3655>
- Thaler, A.D., Zelnio, K., Saleu, W., Schultz, T.F., Carlsson, J., Cunningham, C., Vrijenhoek, R.C., Van Dover, C.L., 2011. The spatial scale of genetic subdivision in populations of *Ifremeria nautili*, a hydrothermal-vent gastropod from the southwest Pacific. *BMC Evol. Biol.* 11, 372–372. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-372>
- Thiel, H., Schriever, G., Ahnert, A., Bluhm, H., Borowski, C., Vopel, K., 2001. The large-scale environmental impact experiment DISCOL—reflection and foresight. *Deep Sea Res. Part II Top. Stud. Oceanogr., Environmental Impact Studies for the Mining of Polymetallic Nodules from the Deep Sea* 48, 3869–3882. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(01\)00071-6](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00071-6)
- Thompson, K.F., Miller, K.A., Wacker, J., Derville, S., Laing, C., Santillo, D., Johnston, P., 2023. Urgent assessment needed to evaluate potential impacts on cetaceans from deep seabed mining. *Front. Mar. Sci.* 10.
- Tian, H., Zhong, J., Chen, J., Jiang, Y., Zhang, J., Xie, W., Gao, Z., Wang, Y., Liu, H., Wang, S., Zhang, F., Yang, J., Yin, K., 2024. Southwestward Expansion of the Pacific Sleeper Shark's (*Somniosus pacificus*) Known Distribution into the South China Sea. *Anim. Open Access J. MDPI* 14, 2162. <https://doi.org/10.3390/ani14152162>
- Tilot, V., Willaert, K., Guilloux, B., Chen, W., Mulalap, C.Y., Gaulme, F., Bambridge, T., Peters, K., Dahl, A., 2021. 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. *Front. Mar. Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.637938>
- Todd, V.L.G., Todd, I.B., Gardiner, J.C., Morrin, E.C.N., MacPherson, N.A., DiMarzio, N.A., Thomsen, F., 2015. A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals. *ICES J. Mar. Sci.* 72, 328–340. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu187>
- Treude, T., Kiel, S., Linke, P., Peckmann, J., Goedert, J.L., 2011. Elasmobranch egg capsules associated with modern and ancient cold seeps: a nursery for marine deep-water predators. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 437, 175–181. <https://doi.org/10.3354/meps09305>
- Tunncliffe, V., Chen, C., Giguère, T., Rowden, A.A., Watanabe, H.K., Brunner, O., 2023. Hydrothermal vent fauna of the western Pacific Ocean: Distribution patterns and biogeographic networks. *Divers. Distrib.* n/a. <https://doi.org/10.1111/ddi.13794>

- Turner, P.J., Cannon, S., DeLand, S., Delgado, J.P., Eltis, D., Halpin, P.N., Kanu, M.I., Sussman, C.S., Varmer, O., Van Dover, C.L., 2020. Memorializing the Middle Passage on the Atlantic seabed in Areas Beyond National Jurisdiction. *Mar. Policy* 122, 104254. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104254>
- Tyack, P.L., 2008. Implications for Marine Mammals of Large-Scale Changes in the Marine Acoustic Environment. *J. Mammal.* 89, 549–558. <https://doi.org/10.1644/07-MAMM-S-307R.1>
- Tyack, P.L., Clark, C.W., 2000. Communication and Acoustic Behavior of Dolphins and Whales, in: Au, W.W.L., Fay, R.R., Popper, A.N. (Eds.), *Hearing by Whales and Dolphins*, Springer Handbook of Auditory Research. Springer New York, New York, NY, pp. 156–224. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1150-1_4
- Ueta, M., Sato, F., Nakagawa, H., Mita, N., 2000. Migration routes and differences of migration schedule between adult and young Steller's Sea Eagles *Haliaeetus pelagicus*. *Ibis* 142, 35–39. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2000.tb07681.x>
- Uhlenkott, K., Meyn, K., Vink, A., Martínez Arbizu, P., 2023. A review of megafauna diversity and abundance in an exploration area for polymetallic nodules in the eastern part of the Clarion-Clipperton Fracture Zone (North East Pacific), and implications for potential future deep-sea mining in this area. *Mar. Biodivers.* 53, 22. <https://doi.org/10.1007/s12526-022-01326-9>
- van der Grient, J.M.A., Drazen, J.C., 2022. Evaluating deep-sea communities' susceptibility to mining plumes using shallow-water data. *Sci. Total Environ.* 852, 158162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158162>
- van der Grient, J.M.A., Drazen, J.C., 2021. Potential spatial intersection between high-seas fisheries and deep-sea mining in international waters. *Mar. Policy* 129, 104564. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104564>
- van der Wal, S., Eckert, S.A., Lopez-Plana, J.O., Hernandez, W., Eckert, K.L., 2016. Innovative Measures for Mitigating Potential Impacts on Sea Turtles During Seismic Surveys. Presented at the SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Security, Environment, and Social Responsibility, OnePetro. <https://doi.org/10.2118/179215-MS>
- Van Dover, C.L., 2014. Impacts of anthropogenic disturbances at deep-sea hydrothermal vent ecosystems: a review. *Mar. Environ. Res.* 102, 59–72. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.03.008>
- Van Dover, C.L., Arnaud-Haond, S., Gianni, M., Helmreich, S., Huber, J.A., Jaeckel, A.L., Metaxas, A., Pendleton, L.H., Petersen, S., Ramirez-Llodra, E., Steinberg, P.E., Tunnicliffe, V., Yamamoto, H., 2018. Scientific rationale and international obligations for protection of active hydrothermal vent ecosystems from deep-sea mining. *Mar. Policy* 90, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.01.020>
- Van Houtan, K.S., Francke, D.L., Alessi, S., Jones, T.T., Martin, S.L., Kurpita, L., King, C.S., Baird, R.W., 2016. The developmental biogeography of hawksbill sea turtles in the North Pacific. *Ecol. Evol.* 6, 2378–2389. <https://doi.org/10.1002/ece3.2034>
- van Pijlen, I.A., Amos, B., Burke, T., 1995. Patterns of genetic variability at individual minisatellite loci in minke whale *Balaenoptera acutorostrata* populations from three different oceans. *Mol. Biol. Evol.* 12, 459–472. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040221>
- Vanreusel, A., Hilario, A., Ribeiro, P.A., Menot, L., Arbizu, P.M., 2016. Threatened by mining, polymetallic nodules are required to preserve abyssal epifauna. *Sci. Rep.* 6. <https://doi.org/10.1038/srep26808>
- Velázquez-Wallraf, A., Fernández, A., Caballero, M.J., Møllerlækken, A., Jepson, P.D., Andrada, M., Bernaldo de Quirós, Y., 2021. Decompressive Pathology in Cetaceans Based on an Experimental Pathological Model. *Front. Vet. Sci.* 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.676499>

- Vighi, M., 2025. Vessel strikes as a pressure to marine biodiversity [WWW Document]. JRC Publ. Repos. <https://doi.org/10.2760/0669755>
- Volz, J.B., Geibert, W., Köhler, D., van der Loeff, M.M.R., Kasten, S., 2023. Alpha radiation from polymetallic nodules and potential health risks from deep-sea mining. *Sci. Rep.* 13, 7985. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33971-w>
- Volz, J.B., Haffert, L., Haeckel, M., Koschinsky, A., Kasten, S., 2020. Impact of small-scale disturbances on geochemical conditions, biogeochemical processes and element fluxes in surface sediments of the eastern Clarion-Clipperton Zone, Pacific Ocean. *Biogeosciences* 17, 1113–1131. <https://doi.org/10.5194/bg-17-1113-2020>
- Vonnahme, T.R., Molari, M., Janssen, F., Wenzhöfer, F., Haeckel, M., Titschack, J., Boetius, A., 2020. Effects of a deep-sea mining experiment on seafloor microbial communities and functions after 26 years. *Sci. Adv.* 6, eaaz5922. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaz5922>
- Voosen, P., 2024. Claim of seafloor 'dark oxygen' faces doubts. *Science* 385, 1258–1259. <https://doi.org/10.1126/science.adt2247>
- Wang, X., Gan, L., Wiens, M., Schloßmacher, U., Schröder, H.C., Müller, W.E.G., 2012. Distribution of Microfossils Within Polymetallic Nodules: Biogenic Clusters Within Manganese Layers. *Mar. Biotechnol.* 14, 96–105. <https://doi.org/10.1007/s10126-011-9393-4>
- Wang, X., Schloßmacher, U., Wiens, M., Schröder, H.C., Müller, W.E.G., 2009. Biogenic Origin of Polymetallic Nodules from the Clarion-Clipperton Zone in the Eastern Pacific Ocean: Electron Microscopic and EDX Evidence. *Mar. Biotechnol.* 11, 99–108. <https://doi.org/10.1007/s10126-008-9124-7>
- Washburn, T.W., Iguchi, A., Yamaoka, K., Nagao, M., Onishi, Y., Fukuhara, T., Yamamoto, Y., Suzuki, A., 2023a. Impacts of the first deep-sea seafloor massive sulfide mining excavation tests on benthic communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 712, 1–19. <https://doi.org/10.3354/meps14287>
- Washburn, T.W., Simon-Lledó, E., Soong, G.Y., Suzuki, A., 2023b. Seamount mining test provides evidence of ecological impacts beyond deposition. *Curr. Biol.* 33, 3065-3071.e3. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.032>
- Wear, E.K., Church, M.J., Orcutt, B.N., Shulse, C.N., Lindh, M.V., Smith, C.R., 2021. Bacterial and Archaeal Communities in Polymetallic Nodules, Sediments, and Bottom Waters of the Abyssal Clarion-Clipperton Zone: Emerging Patterns and Future Monitoring Considerations. *Front. Mar. Sci.* 8.
- Weaver, P.P.E., Billett, D., 2019. Environmental Impacts of Nodule, Crust and Sulphide Mining: An Overview, in: Sharma, R. (Ed.), *Environmental Issues of Deep-Sea Mining: Impacts, Consequences and Policy Perspectives*. Springer International Publishing, Cham, pp. 27–62. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12696-4_3
- Weilgart, L.S., 2007. The impacts of anthropogenic ocean noise on cetaceans and implications for management. *Can. J. Zool.* 85, 1091–1116. <https://doi.org/10.1139/Z07-101>
- Weimerskirch, H., Åkesson, S., Pinaud, D., 2006. Postnatal dispersal of wandering albatrosses *Diomedea exulans*: implications for the conservation of the species. *J. Avian Biol.* 37, 23–28. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0908-8857.03675.x>
- Weir, C.R., Coles, P., Ferguson, A., May, D., Baines, M., Figueirido, I., Reichelt, M., Goncalves, L., de Boer, M.N., Rose, B., Edwards, M., Travers, S., Ambler, M., Félix, H., Wall, D., Azhakesan, V.A.A., Betenbaugh, M., Fennelly, L., Haaland, S., Hak, G., Juul, T., Leslie, R.W., McNamara, B., Russell, N., Smith, J.A., Tabisola, H.M., Teixeira, A., Vermeulen, E., Vines, J., Williams, A., 2014. Clymene dolphins (*Stenella clymene*) in the eastern tropical Atlantic: distribution, group size, and pigmentation pattern. *J. Mammal.* 95, 1289–1298. <https://doi.org/10.1644/14-MAMM-A-115>

- Welsh, R.C., Witherington, B.E., 2023. Spatial mapping of vulnerability hotspots: Information for mitigating vessel-strike risks to sea turtles. *Glob. Ecol. Conserv.* 46, e02592. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02592>
- Weng, K.C., Boustany, A.M., Pyle, P., Anderson, S.D., Brown, A., Block, B.A., 2007. Migration and habitat of white sharks (*Carcharodon carcharias*) in the eastern Pacific Ocean. *Mar. Biol.* 152, 877–894. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0739-4>
- Williams, R., Cox, K.D., Amon, D., Ashe, E., Chapuis, L., Erbe, C., de Vos, A., Nielsen, K.A., Collins, M.S., Smith, C., Washburn, T., Young, K.F., Clark, C.W., 2025. Noise from deep-sea mining in the Clarion-Clipperton Zone, Pacific Ocean will impact a broad range of marine taxa. *Mar. Pollut. Bull.* 218, 118135. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118135>
- Williams, R., Erbe, C., Duncan, A., Nielsen, K., Washburn, T., Smith, C., 2022. Noise from deep-sea mining may span vast ocean areas. *Science* 377, 157–158. <https://doi.org/10.1126/science.abo2804>
- Williard, A.S., Hall, A.G., Fujisaki, I., McNeill, J.B., 2017. Oceanic overwintering in juvenile green turtles *Chelonia mydas* from a temperate latitude foraging ground. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 564, 235–240. <https://doi.org/10.3354/meps12013>
- Witt, M.J., Hawkes, L.A., Godfrey, M.H., Godley, B.J., Broderick, A.C., 2010. Predicting the impacts of climate change on a globally distributed species: the case of the loggerhead turtle. *J. Exp. Biol.* 213, 901–911. <https://doi.org/10.1242/jeb.038133>
- Wright, A.J., Soto, N.A., Baldwin, A.L., Bateson, M., Beale, C.M., Clark, C., Deak, T., Edwards, E.F., Fernández, A., Godinho, A., Hatch, L.T., Kakuschke, A., Lusseau, D., Martineau, D., Romero, M.L., Weilgart, L.S., Wintle, B.A., Notarbartolo-di-Sciara, G., Martin, V., 2007. Do Marine Mammals Experience Stress Related to Anthropogenic Noise? *Int. J. Comp. Psychol.* 20. <https://doi.org/10.46867/ijcp.2007.20.02.01>
- Yin, Z., Lu, Y., Liu, Y., Zhan, W., Zhang, H., Dou, C., Wu, C., Sun, D., Liu, Z., Wang, C., Wang, Y., 2024. Monitoring discharge from deep-sea mining ships via optical satellite observations. *J. Oceanol. Limnol.* 42, 1853–1864. <https://doi.org/10.1007/s00343-024-3264-0>
- Young, C.N., Carlson, J.K., 2020. The biology and conservation status of the oceanic whitetip shark (*Carcharhinus longimanus*) and future directions for recovery. *Rev. Fish Biol. Fish.* 30, 293–312. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09601-3>