



COCHILCO
Ministerio de Minería

Gobierno de Chile

Monitoreo a la Minería Submarina

DEPP 23/2025
RPI 2025-A-12648

Comisión Chilena del Cobre

Contenidos

Resumen Ejecutivo	3
1. Introducción	5
2. Historia de la Minería Submarina	6
2.1 Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR).....	6
2.2 Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA).....	8
2.3 Tribunal Internacional de los Derechos del Mar	10
2.4 Monitoreo a Principales Eventos Ocurridos en Minería Submarina	11
3. Fuentes de Recursos en el Fondo del Océano	12
3.1 Nódulos Polimetálicos (PMN)	12
3.2 Costras de Ferromanganese (CFC).....	13
3.3 Sulfuros Masivos Polimetálicos (SMS).....	13
4. Normativa Legal: Códigos de Exploración y Explotación	16
4.1 Regulación para la Explotación	16
4.2 Regulación para la Exploración.....	16
4.3 Contratos de Exploración	17
5. Explotación de la Minería Submarina y Estimaciones de Producción.....	19
5.1 Etapas de un Proyecto de Minería Submarina	19
5.2 Proyección de Producción para la Minería Submarina.....	20
5.3 Minería Submarina versus terrestre.....	25
6. Mecanismo de Reparto de Beneficios de las Actividades en la Zona.....	25
6.1 Beneficio de la Humanidad	25
7. Cadena de Valor en la Minería Submarina	27
8. Equipos y Maquinaria de Operación	27
9. Riesgos Medio Ambientales	29
10. Conclusiones.....	31

Resumen Ejecutivo

La minería submarina es el conjunto de actividades destinadas a la exploración y extracción de recursos minerales presentes en el fondo marino. En los últimos años ha capturado interés ante la creciente demanda de metales críticos como níquel, cobre, cobalto, litio y tierras raras, entre otros.

Esta industria considera el uso de tecnología especializada y avanzada como vehículos operados remotamente, equipos recolectores, sistemas de bombeo, buques de apoyo y plantas de procesamiento especiales y la infraestructura necesaria para acceder y procesar los minerales de las profundidades del océano.

Actualmente, el Reglamento de Explotación para la Minería Submarina se encuentra en etapa de confección y de debate por los países integrantes de la Autoridad de Fondos Marinos (ISA, sigla en inglés). En este proceso, se ha podido identificar tópicos claves que resultan ser altamente complejos para la definición de la normativa final. Entre estos, la necesidad de mayor investigación sobre el impacto de la minería submarina en los ecosistemas marinos; la incorporación de un enfoque preventivo de riesgos para minimizar impactos irreversibles y graves al medio ambiente y la definición del mecanismo de pagos de regalías por la explotación de minerales y la posterior distribución equitativa de estos recursos entre los países.

La presión regulatoria por avanzar en la confección de la normativa de explotación aumentó debido a que Nauru, país insular ubicado en Oceanía, invocó la "regla de los dos años"¹ en 2021, con el propósito de obligar a la ISA a aprobar el Código de Explotación en 2023. Este país es patrocinador de la compañía Nauru Ocean Resources, filial de la empresa The Metals Company (TMC). Además, el gobierno de Estados Unidos, país que no es integrante de la ISA, dictó en abril de este año una orden ejecutiva que autoriza las operaciones de minería submarina bajo la jurisdicción estadounidense, sin necesitar la autorización de la ISA. Esto motivó a TMC a solicitar una licencia para operar bajo la jurisdicción norteamericana, lo cual también añadió presión a la ISA para avanzar rápido en la confección del Código de Explotación. Otras potencias como China también están impulsando la minería submarina a través de políticas gubernamentales de apoyo a investigaciones en ciencia y tecnología enfocadas en los fondos oceánicos.

A pesar de lo anterior, numerosos Estados miembros de la ISA, incluido Chile, han solicitado públicamente una pausa precautoria para investigar en profundidad los posibles riesgos ambientales de esta actividad.

En la minería submarina existen tres tipos de depósitos: los nódulos polimetálicos (PMN) los que corresponden a concentraciones de níquel, cobre, cobalto y manganeso encontrados principalmente en la Zona Clarion-Clipperton (CCZ), entre México y Hawái, en el océano Pacífico. Adicionalmente, es posible encontrar sulfuros polimetálicos (SMS) asociados a fuentes hidrotermales con contenido de cobre, zinc, plomo, oro y plata y las costras de ferromanganeso (CFC), depósitos ricos en cobalto situados en montes submarinos. Actualmente, la ISA ha otorgado 31 contratos de exploración, centrándose la mayoría de estos en nódulos polimetálicos.

¹ Disposición de la ISA que obliga al Consejo de esta entidad a confeccionar el Código de Explotación en un plazo máximo de dos años desde que fuera solicitado por un Estado miembro. Fue invocada por Nauru en julio de 2021 para impulsar la finalización de esta normativa. Frente a la expiración del plazo en 2023, el Consejo de la ISA estableció la necesidad de mayor tiempo para la definición de las normas y reglamentos para explotación, proceso que todavía se encuentra en curso dada la complejidad de la materia.

Los proyectos de nódulos polimetálicos analizados en este informe fueron evaluados por las empresas y consultores bajo un modelo de explotación conjunta de varios metales, siendo el cobre solo un subproducto, mientras que otros metales como el níquel son los más relevantes en términos de valor. Es así como la empresa The Metals Company, en su estudio de prefactibilidad de agosto de 2025, evaluó la explotación de níquel, cobalto, cobre y manganeso, estableciendo al níquel como el metal primario, dado que representa el 45% de los ingresos por tonelada seca de nódulos², mientras que el manganeso el 28%, el cobre el 17% y el cobalto el 9%.

Dada la alta incertidumbre respecto al progreso de esta industria por materias regulatorias y ambientales, un horizonte realista para que comience un proyecto a producir sería entre 2032-2036. En este contexto, al realizar una estimación de producción de la minería submarina para el cobre para el período 2032-2046³, desde el inicio productivo y con seis empresas operando (capacidad de producción de 70 mil toneladas al año (kton/a⁴) cada una), la producción de cobre alcanzaría un máximo de 373,1 kton/a en el período analizado (1,2% de la producción de cobre refinado de la minería terrestre proyectada en igual lapso).

Dado el volumen anterior, no se observa que para el caso específico del cobre exista un impacto en el mercado para los próximos 15-20 años. Cabe indicar que más allá del período evaluado es muy complejo efectuar una estimación, dada la fuerte incertidumbre respecto al progreso de esta industria.

Uno de los factores más relevantes que ha limitado el avance de este tipo de minería es el riesgo de provocar daños medioambientales, tales como: pérdida de biodiversidad y alteración del hábitat de especies marinas causada por la operación de equipos; dispersión de sedimentos en suspensión (pluma), lo que afecta a los organismos al privarlos de respiración o de alimentos; la contaminación acústica y lumínica generada por la maquinaria; y la alteración del sustrato del lecho marino. Estos impactos potenciales, podrían ser irreversibles, lo cual es una de las razones por las que 37 países, incluido Chile han justificado solicitar una pausa precautoria a la ISA para que no siga avanzando esta actividad.

En el presente, existen grandes potencias interesadas en que esta industria continúe progresando, considerando la relevancia geopolítica del suministro de minerales críticos. Sin embargo, su desarrollo dependerá en gran medida de los adelantos tecnológicos que permitan acotar el potencial impacto en el medio ambiente, la finalización de la regulación para la explotación a cargo de la ISA, costos competitivos y las condiciones de precios de los metales que permitan hacer viable en términos económicos una iniciativa de este tipo.

² Promedio del período 2031-2043.

³ Tabla 12 del informe.

⁴ Estudio de prefactibilidad de TMC de agosto de 2025.

1. Introducción

La minería submarina es una actividad que busca la extracción y producción de recursos minerales que se encuentran en aguas profundas de los océanos, generalmente desde los 200 metros de profundidad y hasta los 6.000 metros, aproximadamente. Los principales tipos de depósitos de interés son los nódulos metálicos (PMN), costras de ferromanganese (CFC) y sulfuros polimetálicos (PMS), los cuales contienen minerales valiosos como: cobre (Cu), níquel (Ni), cobalto (Co), manganeso (Mn), zinc (Zn), oro (Au), Plata (Ag), Litio (Li) y tierras raras, entre otros.

El interés por la minería submarina data desde la década del 60, momento en que existía preocupación mundial por el suministro y abastecimiento de metales para la industrialización (Cabrera, 2014). Este interés llevó a que se realizaran diversos estudios sobre los recursos existentes en el fondo marino, de los cuales se destaca el estudio de 1965 "The Mineral Resources of the Sea" de John L. Mero, en el que se menciona la existencia de nódulos polimetálicos en el océano Pacífico, en el sector conocido como la Zona Clarion-Clipperton (CCZ), frente a la costa de México y cercano a Hawái.

En el presente existen diversos factores que están impulsando la minería submarina: tendencia al agotamiento de las reservas terrestres, aumento de los costos de mina, escasez hídrica, conflictos con las comunidades cercanas, interés geopolítico de las grandes potencias en los minerales críticos y leyes con tendencia decreciente en los yacimientos en actual operación (Muñoz, 2021).

La demanda de metales se mantiene creciendo, especialmente aquellos vinculados a la transición energética y economía verde. En 2024 la demanda de litio aumentó casi 30% y la de níquel, cobalto, grafito y tierras raras aumentó entre un 6% y un 8%. Asimismo, las proyecciones indican una brecha entre la producción minera y la demanda futura especialmente en cobre y litio al 2035, mientras que, si bien existe equilibrio en el balance de mercado de las tierras raras, cobalto y grafito, la concentración en la refinación de estos metales por parte de China genera potenciales riesgos para la cadena de suministro global (IEA, 2025).

En el largo plazo la minería submarina podría constituirse en una fuente adicional de minerales críticos y con potencial para desarrollar nuevos proyectos por lo que esta industria reviste de importancia estratégica para los países interesados en su explotación y para aquellos que tienen una industria minera terrestre importante. Cabe indicar que el progreso de esta industria depende fuertemente de los avances tecnológicos futuros para habilitarla en términos técnicos y económicos; y al mismo tiempo minimizar sus impactos ambientales, variable que se ha transformado en su principal desafío, considerando la fragilidad del ecosistema marino.

En este contexto, este informe realiza un monitoreo al proceso de desarrollo de la regulación relacionada al Código de Minería por parte de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA), lo cual permitirá establecer normativa para la explotación minera en los fondos oceánicos. Además, se realiza un levantamiento de los principales depósitos de minerales estudiados en el lecho marino, ubicación geográfica y una estimación propia de la producción de cobre de esta industria.

2. Historia de la Minería Submarina

Desde el derecho internacional, siempre ha sido de gran interés cómo los países acuerdan sus límites marítimos, determinando finalmente la soberanía sobre ellos. En el caso nacional, en 1952 Chile, Perú y Ecuador celebraron la "Declaración de Santiago sobre Zona Marítima", la que *"representa uno de los hitos más importantes en la creación del nuevo Derecho del Mar al constituir el primer instrumento internacional, de carácter multilateral, que consagra la soberanía y jurisdicción exclusiva del Estado ribereño sobre una zona adyacente a las costas de 200 millas marinas"* (Biblioteca del Congreso Nacional, 2012), además de formar la Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS).

2.1 Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR)

En 1958 se celebró, a nivel mundial, la Primera Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR I, o UNCLOS I por sus siglas en inglés), en la que los Estados Parte acordaron cuatro convenciones:

- Convención sobre Mar Territorial y Zona Contigua (1964)⁵
- Convención sobre Alta Mar (1962)¹
- Convención sobre Plataforma Continental (1964)¹
- Convención sobre Pesca y Conservación de los Recursos Vivos de la Alta Mar (1966)¹

Posteriormente, en 1960 se conmemoró la Segunda CONVEMAR (UNCLOS II). Su objetivo principal fue zanjar las cuestiones pendientes de la conferencia anterior, especialmente la anchura del mar territorial y la zona de pesca. Sin embargo, la conferencia fracasó al no lograrse el *quorum* de dos tercios necesario para adoptar las propuestas sobre estos temas cruciales.

El proceso que condujo a la Tercera CONVEMAR (UNCLOS III) adoptó una estrategia de trabajo diferente para asegurar el acuerdo general de las naciones. Este proceso comenzó en 1967, cuando la Asamblea General de la ONU estableció el Comité *Ad Hoc* para el *"Estudio del Uso Pacífico de los Fondos Marinos y Oceánicos"* más allá de los límites de la jurisdicción nacional.

Este comité, posteriormente transformado en un comité más amplio, celebró múltiples sesiones entre 1968 y 1973, realizando la labor preparatoria para la Tercera Conferencia. Finalmente, la Tercera CONVEMAR fue formalmente convocada por la Asamblea General de la ONU en 1970.

Este largo proceso de negociación culminó en 1982 (entrando en vigor en 1994) con la adopción de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR), a menudo referida como la *"Constitución de los Océanos"*. Este documento fundamental no solo reemplazó las cuatro convenciones de Ginebra de 1958, sino que también incorporó nuevos conceptos jurídicos.

⁵ Año que entraron en vigor, respectivamente.

Entre sus principales acuerdos y definiciones, que establecieron el orden marítimo global, se destacan:

- **Mar Territorial:** Establecimiento de la anchura máxima en 12 millas marinas desde la línea de base.
- **Zona Económica Exclusiva (ZEE):** Reconocimiento de una zona de hasta 200 millas marinas donde el Estado ribereño tiene derechos soberanos de explotación de los recursos (pesca, minerales, energía).
- **Plataforma Continental:** Definición del régimen legal para la explotación de los recursos del lecho y subsuelo marinos hasta, al menos, 200 millas, o más allá si se cumplen ciertas condiciones geológicas.
- **La Zona:** Declaración de los fondos marinos y oceánicos más allá de la jurisdicción nacional como "Patrimonio Común de la Humanidad".
- **Preservación del Medio Marino:** Creación de un marco integral y obligaciones para la protección y la preservación del medio ambiente marino.
- **Libertades de Alta Mar:** Reafirmación de las libertades tradicionales (navegación, sobrevuelo) más allá de la ZEE.
- **Solución de Controversias:** Establecimiento de mecanismos obligatorios de solución de controversias, incluyendo la creación del Tribunal Internacional del Derecho del Mar.

Estos antecedentes son fundamentales para comprender el largo horizonte temporal que caracterizan a los procesos de negociación en el ámbito de los acuerdos internacionales, atendiendo la complejidad de las materias consideradas. En este sentido, la experiencia histórica ofrece una señal clara respecto a la extensión que podría demandar la discusión para la eventual adopción del Código de Explotación para la Minería Submarina, la que se detallará más adelante en este documento. En la figura 1 se exhibe una breve línea de tiempo con los principales hitos de la historia de la CONVEMAR.

Fig. 1: Historia de la CONVEMAR



Fuente: Elaboración propia en base a ONU y BCN.

2.2 Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA)

La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) es una organización internacional que nace de la CONVEMAR (1982), siendo sus funciones confirmadas por los Estados Parte en el Acuerdo de 1994, relativo a la Parte XI de la Convención.

Chile adhirió a la Convención en 1997 a través del DS Nº 1.393 del Ministerio de Relaciones Exteriores. Actualmente, Chile participa como Estado Parte de la Asamblea y como país miembro del Consejo de la ISA para el periodo 2023-2026, ocupando uno de los cuatro cupos designados a los países de "Principales Exportadores".

La ISA reside en Kingston, Jamaica, y está compuesta por 169 estados miembros y la Unión Europea. Dentro del funcionamiento de la ISA, se definen los siguientes órganos y sus funciones.

Tabla 1: Órganos de la Autoridad Internacional de Fondos Marinos

Órgano	Integrantes	Principales Funciones
Asamblea	170 Estados y la Unión Europea, quienes suscriben la CONVEMAR	<ul style="list-style-type: none">Nombramientos: Elige a los miembros del Consejo y otros órganos, así como al Secretario General (quien dirige la Secretaría).Finanzas y Presupuesto: Fija los presupuestos bienales de la ISA y las tasas de contribución de los miembros.Aprobación de Normativa: Aprueba las normas, reglamentos y procedimientos (que rigen la prospección, exploración y explotación en la Zona) después de su adopción por el Consejo.Supervisión: Examina informes de otros organismos, en particular el informe anual del Secretario General sobre el trabajo de la ISA.
Secretaría	Secretario General electo por la Asamblea, y personal administrativo y técnico.	<ul style="list-style-type: none">Apoyo: Presta apoyo al Secretario General en el cumplimiento de sus funciones bajo la CNUDM y el Acuerdo de 1994, e implementa los mandatos de los Estados Miembros.Documentación: Elabora informes y documentos (análisis, antecedentes, sugerencias de políticas, etc.) para facilitar las deliberaciones y la toma de decisiones de los demás órganos.Servicios de Secretariado: Presta servicios de secretaría (incluyendo servicios de reuniones, traducción e interpretación) a los demás órganos principales y sus subsidiarios.Información y Difusión: Elabora publicaciones, boletines y estudios, y difunde información sobre las actividades y decisiones de la ISA.Eventos: Organiza y presta servicios para reuniones de grupos de expertos, seminarios y talleres.Implementación: Implementa los programas de trabajo y las políticas establecidas por los demás órganos principales y subsidiarios.Cumplimiento de Contratos: Garantiza el cumplimiento de los planes de trabajo de exploración y explotación aprobados en forma de contratos.La Empresa: Realiza las funciones de La Empresa (órgano comercial de la ISA) hasta que esta comience a operar de forma independiente.

Órgano	Integrantes	Principales Funciones
Consejo	36 miembros electos por la Asamblea.	<ul style="list-style-type: none"> Función General: Establece políticas específicas y supervisa la aplicación del régimen de la CONVEMAR para promover y regular la exploración y explotación de minerales de aguas profundas por parte de diversas entidades. Contratos: Elabora términos, aprueba solicitudes y supervisa la ejecución de contratos (esenciales antes de cualquier actividad minera legal). Normativa y Estándares: Elabora y adopta (provisionalmente) normas, reglamentos y procedimientos (incluidos los Reglamentos de Exploración y el proyecto de Reglamento de Explotación). Planes de Trabajo: Aprueba planes de trabajo quinquenales (en forma de contratos) de entidades gubernamentales y privadas. Control de Actividades: Ejerce control y supervisa/coordina las actividades en la Zona (fondos marinos). Protección Ambiental: Puede emitir órdenes de emergencia (incluida la suspensión de operaciones) para prevenir daños ambientales. Funcionamiento de la ISA: Propone candidatos a Secretario General, revisa y recomienda el presupuesto, y hace recomendaciones de política a la Asamblea. Responsabilidades Futuras: Emitirá directivas a la Empresa, adoptará medidas (como compensación) para proteger a los productores de minerales terrestres en desarrollo, y establecerá mecanismos de inspectores para garantizar el cumplimiento.
Comité de Finanzas	15 miembros electos por la Asamblea. Los miembros eligen al Presidente y vicepresidente del Comité	<ul style="list-style-type: none"> Asesoramiento Financiero: Asiste a la Asamblea y al Consejo en la administración financiera de la ISA. Regulación: Recomienda normas, reglamentos y procedimientos financieros. Presupuesto: Revisa el proyecto de presupuesto anual y el presupuesto administrativo. Cuotas y Gastos: Determina las cuotas de los miembros y evalúa las consecuencias financieras de las propuestas. Beneficios: Recomienda normas para la distribución equitativa de beneficios económicos.
Comisión Jurídica y Técnica	41 miembros elegidos por el Consejo.	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de Planes: Revisa las solicitudes de planes de trabajo (contratos). Supervisión Técnica: Supervisa las actividades de exploración y minería (incluyendo la revisión de informes anuales de contratistas). Gestión Ambiental: Desarrolla planes de gestión ambiental y evalúa las implicaciones ambientales de las actividades en la Zona. Normativa: Formula y revisa las normas, reglamentos y procedimientos para las actividades en la Zona. Asesoramiento: Formula recomendaciones al Consejo sobre la exploración y explotación de recursos marinos no vivos (ej. nódulos polimétálicos). <p>*Actualmente también suple la función de la Comisión de Planificación Económica.</p>
La Empresa	Actualmente no está conformada y se ha designado un Director General Interino.	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo de Mercado: Seguir y analizar las tendencias de la minería de fondos marinos, los precios y las perspectivas del mercado mundial de metales. Investigación y Ambiente: Evaluar la investigación científica marina, enfocándose en el impacto ambiental de las actividades en la Zona. Exploración y Tecnología: Evaluar los datos y criterios de prospección/exploración y los desarrollos tecnológicos (especialmente los de protección marina). Gestión de Recursos: Evaluar información sobre áreas reservadas y estudiar enfoques para las operaciones de empresas conjuntas. La Empresa y RRHH: Estudiar opciones de política gerencial para La Empresa y recopilar información sobre la disponibilidad de mano de obra capacitada.

Fuente: Elaboración propia en base a la información de la ISA.

En la figura 2 se exhibe un diagrama resumido con los principales órganos de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos.

Fig. 2: Organigrama de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos



Fuente: ISA.

2.3 Tribunal Internacional de los Derechos del Mar

El Tribunal Internacional de los Derechos del Mar (TIDM) fue creado a partir de la CONVEMAR (UNCLOS III) y tiene su sede en Hamburgo, Alemania. Este tribunal tiene como objetivo resolver todas las controversias y solicitudes presentadas de acuerdo con la Convención o cualquier otro acuerdo que le confiera competencia.

El Tribunal está compuesto por 21 miembros, los cuales son elegidos mediante votación secreta de los Estados Parte de la Convención. Chile cuenta con una representante desde el año 2020. El Tribunal ha conformado cuatro cámaras/salas permanentes siendo una la Sala de Controversias de los Fondos Marinos, en la que se discuten y resuelven particularmente las disputas relacionadas a la ISA.

2.4 Monitoreo a Principales Eventos Ocurridos en Minería Submarina

Al realizar un monitoreo al desarrollo del Código de Minería por parte de la ISA se puede señalar que el proceso para la elaboración del Reglamento de Explotación para la Minería Submarina comenzó el 2014. Desde entonces, se han llevado a cabo diversos trabajos preparatorios, incluyendo la recopilación de sugerencias, la realización de encuestas a partes interesadas, estudios técnicos y la elaboración de documentos de debate. En 2019, la Comisión Jurídica y Técnica presentó al Consejo el Proyecto de Reglamento de Explotación, el cual se encuentra en fase de confección y de negociación por el Consejo de la ISA.

En la última sesión del Consejo, realizada en julio del 2025, se acordó que, para la próxima sesión, la discusión del Reglamento se realizará mediante un enfoque temático para avanzar y resolver de forma más efectiva los tópicos claves que se encuentren pendientes. Para esto, se determinaron cuatro temáticas, siendo las ambientales; financieras; gobernanza; y regulatorias, de procedimiento e institucionales.

En general, la discusión del Reglamento ha tomado más tiempo del previsto debido a los siguientes puntos (Singh, 2025):

- **Investigación científica adicional:** Existe un amplio consenso científico sobre la necesidad de mayor investigación sobre los ecosistemas de los fondos marinos. Una pausa o moratoria se ve como una forma de ganar tiempo para disponer de mayores estudios antes de tomar decisiones.
- **Gestión del riesgo e incertidumbre:** Se discute cómo incorporar un enfoque adaptativo y ágil en el Código Minero que minimice las decisiones irreversibles y consecuencias potencialmente graves. Se considera la necesidad de establecer condiciones para invocar medidas precautorias y la expectativa de mejora continua en la tecnología.
- **Transparencia, rendición de cuentas e inclusividad:** Se busca mejorar la gobernanza de la ISA asegurando una mayor transparencia y rendición de cuentas. Una discusión más inclusiva y participativa es vista como esencial para la legitimidad de las decisiones tomadas en nombre del patrimonio común de la humanidad.
- **Responsabilidad con las futuras generaciones:** Se aborda la obligación moral y legal, como custodios del patrimonio común de la humanidad, de garantizar un planeta habitable y con recursos minerales para las futuras generaciones. Una moratoria se plantea como una vía para asegurar la conservación de ecosistemas intactos y reservas de minerales.
- **Transición hacia la sostenibilidad:** El Reglamento debe considerar cómo fomentar una mayor eficiencia y sostenibilidad en la extracción de recursos. Una pausa podría incentivar la eficiencia en los ciclos de recursos existentes (como el reciclaje) antes de extraer nuevos.

Cabe señalar que el proceso no ha estado exento de presiones externas para dar celeridad a la aprobación del Reglamento de Explotación, ya que, su finalización permite iniciar la producción. En junio del 2021, Nauru

invocó la “regla de los dos años⁶” ante el Consejo de la ISA, la que fija un plazo a la Autoridad para tener aprobado el reglamento en un plazo de dos años.

Si bien este plazo ya se cumplió, aún no se ha comenzado la explotación minera debido a que no se ha realizado la presentación formal de un proyecto de minería submarina y, además, porque hay Estados Miembros de la ISA, entre ellos Chile, que han sostenido la necesidad de una pausa precautoria, con la justificación de que se necesita más conocimiento e investigaciones científicas sobre los impactos en el ecosistema marino.

La solicitud de Nauru se entiende bajo el contexto que actualmente el país es un estado patrocinador de un contrato de exploración de la compañía Nauru Ocean Resources Inc. (NORI), la que es subsidiaria de la empresa canadiense The Metals Company (TMC).

Sumado a la solicitud de Nauru, en abril del 2025, el presidente Donald Trump emitió una orden ejecutiva que tiene como objetivo posicionar a EE. UU. como un líder global en la exploración y desarrollo de la minería submarina a nivel nacional e internacional.

EE.UU. no es un Estado Parte de la ISA, sin embargo, históricamente ha respetado y actuado con cautela respecto de la normativa que establece la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos. Esta orden ejecutiva ha sido públicamente agradecida por TMC, que también ha buscado poder iniciar sus actividades mineras a través de EE. UU.

Por otro lado, otras potencias como China se encuentran trabajando para avanzar en la explotación de los océanos. En febrero de 2025, China y las Islas Cook firmaron un memorando de entendimiento (MoU) para colaborar, investigar y, potencialmente, extraer los minerales críticos del lecho marino de estas últimas. Además, el gigante asiático definió, en su “Informe sobre el trabajo del Gobierno” de marzo de 2025, que impulsará a las industrias emergentes, tales como la ciencia y tecnología de las profundidades del océano.

3. Fuentes de Recursos en el Fondo del Océano

Existen tres fuentes principales de depósitos minerales en el fondo marino y su composición varía según su tipo:

3.1 Nódulos Polimetálicos (PMN)

Los nódulos polimetálicos, también conocidos como nódulos de manganeso, se forman sobre los sedimentos que cubren las llanuras abisales del océano. El mayor depósito de estos nódulos, en términos de abundancia y concentración, se encuentra en la Zona de Clarion-Clipperton (CCZ), entre México y Hawái, estimándose, de forma conservadora, un total de 21 mil millones de toneladas secas (Hein et al, 2020).

Los nódulos polimetálicos están compuestos de óxidos de hierro y manganeso y su formación se debe a la precipitación de minerales sobre restos fósiles, como dientes de tiburón, fragmentos de basalto o pómez, o

⁶ Párrafo 15, Anexo 1, Acuerdo relativo a la aplicación de la Parte XI de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar de 10 de diciembre de 1982

bien, de algún nódulo creado anteriormente. Por esta razón, el tamaño y la forma de los nódulos usualmente se compara al de una papa.

Los estudios de exploración para este tipo de minerales se han focalizado principalmente en CCZ, en las cuencas de Penrhyn - Samoa; Perú y en la cuenca central del océano Índico (CIOB), sectores que se encuentran más allá de las zonas económicas exclusivas de 200 millas náuticas y en donde existen depósitos importantes de nódulos (Hein et al, 2020).

Para la explotación de nódulos, solo deben recogerse sin perforar o remover rocas o tierra. Las leyes de los minerales que los componen son elevadas, frente a los minerales extraídos de la tierra que tienen cada vez menores leyes. Además, su recolección no produciría relaves (Muñoz, 2021).

Las exploraciones en distintas regiones del océano se han realizado considerando dos parámetros: abundancia de nódulos en kilos por metro cuadrado y contenido de metal en porcentaje de peso. La mayoría de los contratos de exploración de recursos minerales marinos solicitados a la ISA tienen como objetivo la extracción de nódulos polimetálicos, en la zona de CCZ (Hein et al, 2020).

3.2 Costras de Ferromanganeso (CFC)

Estos depósitos, también denominados costras ricas en cobalto, están situados en los montes submarinos y actúan como una esponja, absorbiendo metales y otros elementos del agua de mar durante largos períodos de tiempo. Los estudios indican que, en el Océano Pacífico, al suroeste de Japón, está ubicada la denominada Zona Principal de Costras (PCZ), con 7.533 billones de toneladas métricas secas de costras. Algunos de estos depósitos contienen hasta un 0,6 % de cobalto. Una de las características de este tipo de mineralizaciones es la porosidad de las costras, de hasta el 60%, lo que facilita la absorción de múltiples metales (Muñoz, 2021).

3.3 Sulfuros Masivos Polimetálicos (SMS)

Estos depósitos se forman en respiraderos hidrotermales. El agua de mar penetra en la corteza oceánica y al calentarse se modifica químicamente mediante la interacción con las rocas de la corteza. Estas fuentes hidrotermales de hasta 400°C pueden encontrarse activas e inactivas, emergiendo de éstas fluidos calientes cargados de minerales producto de actividad volcánica y geotérmica. El proceso de formación de estos depósitos se puede dividir en dos fases: circulación hidrotermal y precipitación de sulfuros metálicos. (Cáceres et al, 2024).

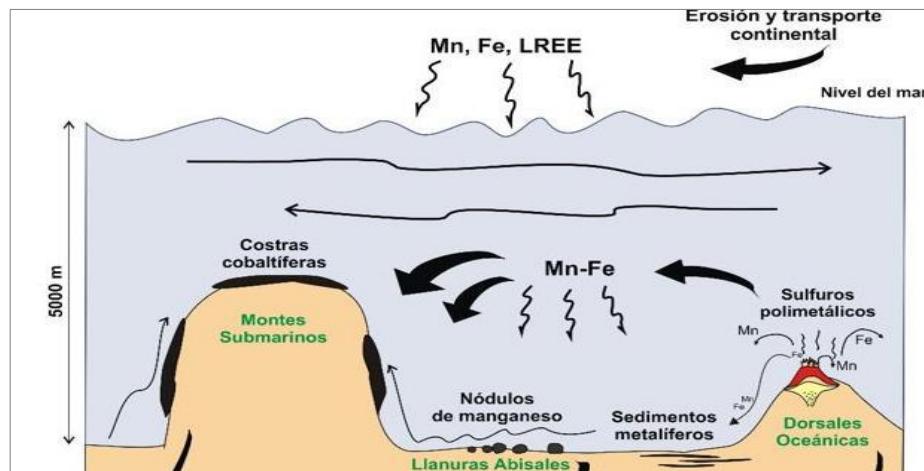
Tabla 2: Características de los Principales Depósitos Submarinos

Característica	Nódulos Polimetálicos (PMN)	Costras de Ferromanganeseo (CFC)	Sulfuros Masivos Polimetálicos (SMS):	
Profundidad	3.500 - 6.500 m	400 - 7.000 m	500 - 5.000 m	
Tamaño	1 - 12 cm	<1 - 26 cm	Los depósitos varían desde pocos cms hasta más de 45 metros	
Crecimiento	2 - 5 mm/Millón-año	1 - 5 mm / Millón-año	S/I	
Composición	Manganeso Níquel Cobre Itrio Cobalto	Manganeso Cobre Cobalto Níquel Litio ^(*) Talio ^(*)	Telurio ^(*) Itrio ^(*) Bismuto ^(*) Tierras raras ^(*) Niobio ^(*) Tungsteno ^(*)	Cobre Zinc Plata Oro
Características principales	Concreciones de óxidos de hierro y manganoso estratificados.	Depósitos de minerales sulfurados generados por actividad hidrotermal en el lecho marino.	Óxidos de manganoso y hierro estratificados con metales asociados sobre roca de sustrato duro de montañas y dorsales submarinas.	
Zonas de depósitos de minerales más relevantes	CCZ Cuenca de Perú Océano Índico Central Cuenca de Penrhyn.	Zona del Mar Rojo Cuencas de retroarco Dorsales oceánicas y límites entre placas.	Océano Pacífico Ecuatorial Océano Atlántico Central	

Fuente: Elaboración propia en base a "Bibliometric and PESTEL Analysis of Deep-Sea Mining: Trends and Challenges for Sustainable Development" y "Deep-Sea Mining: assessing evidence on future needs and environmental impacts". (*) Presente en trazas.

La Fig. 3, exhibe en los sectores del fondo marino donde se sitúan las costras de ferromanganeseo, los nódulos polimetálicos (o de manganoso) y los sulfuros masivos polimetálicos.

Fig. 3: Ubicación de Costras de Ferromanganeseo, los Nódulos Polimetálicos (o de Manganoso) y los Sulfuros Masivos Polimetálicos



Fuente: Análisis comparativo del potencial de extracción de reservas submarinas en Chile

Actualmente, los depósitos con mayor potencial y factibilidad técnica para llevar a cabo un proyecto de explotación de minería submarina son los nódulos polimetálicos. De acuerdo con los estudios realizados en las zonas de CCZ y de la CIOB se observan altas leyes de cobre y molibdeno, con medias de 1,07% y 1,04%, respectivamente, mientras que en la Cuenca de Perú existe un mayor contenido de litio (Tabla 3).

Tabla 3: Composición media de nódulos polimetálicos en cuatro sectores de nódulos

Elemento	CCZ	CIOB	Cuenca de Perú	Islas Cook – Cuenca Penrhyn
Manganoso (%)	28,4	24,4	34,2	16,9
Níquel (%)	1,3	1,1	1,3	0,377
Cobre (%)	1,07	1,04	0,599	0,231
Cobalto (%)	0,21	0,111	0,048	0,375
Molibdeno (ppm)	590	600	547	295
Litio (ppm)	131	110	311	51

Fuente: Elaboración propia en base a “Deep-ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials”.

En específico, en el área de CCZ, considerando el tonelaje estimado de los nódulos de esta zona y su contenido de metales, la participación de los recursos respecto a las reservas terrestres es la siguiente:

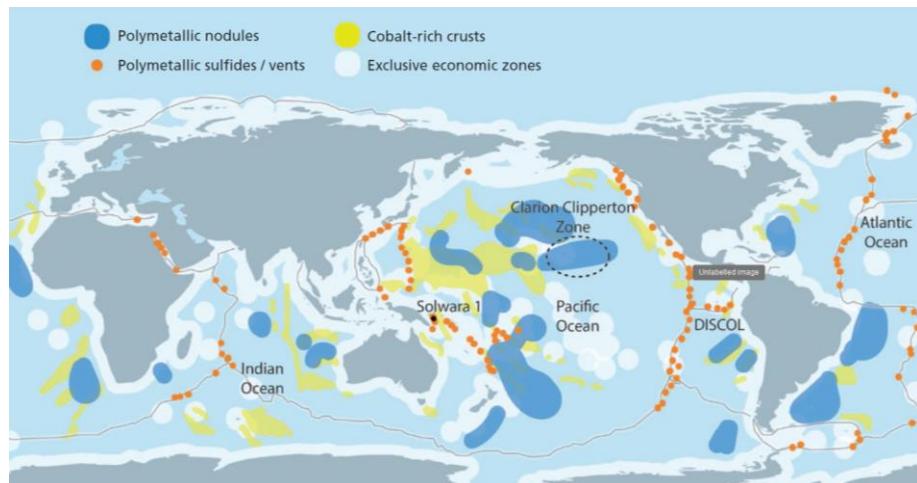
**Tabla 4: Recursos metálicos CCZ vs Recurso/Reserva Minería Terrestre
(Millones ton)**

Mineral	Recursos CCZ	Reservas Terrestres	Recursos Terrestres	Recurso CCZ/Reservas Terrestres (%)
Manganoso	5.992	5.200	ND	115%
Litio	2,8	11	62	25%
Cobre	226	1.000	5.600	23%
Molibdeno	12	19	25,4	63%
Níquel	274	150	ND	183%
Cobalto	44	13	ND	338%

Fuente: Elaboración propia en base a Deep-ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials

La figura 4Fig. 3, exhibe las zonas en el orbe donde se sitúan las costras de ferromanganoso, los nódulos polimetálicos y los sulfuros masivos polimetálicos.

Fig. 4: Localización de los tres principales depósitos de minerales marinos: nódulos polimetálicos (azul); sulfuros masivos polimetálicos (naranja) y costras de ferromanganeseo (amarillo).



Fuente: Deep-Sea Mining: assessing evidence on future needs and environmental impacts

4. Normativa Legal: Códigos de Exploración y Explotación

El Código Minero, elaborado por la ISA, es el marco regulatorio que comprende normas, reglamentos y procedimientos para la regulación de la prospección, exploración y explotación de minerales marinos en la zona.

4.1 Regulación para la Explotación

Las regulaciones para la explotación se encuentran en desarrollo, sin embargo, en junio de 2021 Nauru invocó la «regla de los 2 años», que establecía que la ISA debía aprobar la normativa para la explotación antes del 9 de julio de 2023.

4.2 Regulación para la Exploración

Actualmente, la regulación para la prospección y exploración minera ya se encuentra definida y promulgada. Esto ha permitido que actualmente existan compañías y Estados explorando en el marco de 31 contratos entregados por la ISA. En el caso que los contratistas sean empresas deben obtener un certificado de patrocinio de un Estado Parte (un país que haya firmado la CONVEMAR).

Existen tres tipos de reglamentos de acuerdo con los tipos de recursos mineros del fondo marino:

- Nódulos polimetálicos (2000)
- Sulfuros polimetálicos (2010)
- Costras de ferromanganese con alto contenido de cobalto (2012)

Estas regulaciones han sido definidas en función de la existencia de los tres principales tipos de depósitos mineros. Además, son complementadas con una serie de recomendaciones para orientar a los contratistas y Estados patrocinadores. Las recomendaciones son emitidas por la Comisión Jurídica y Técnica de la ISA.

Fig. 5: Estado de Tramitación Código de Minería (ISA)



4.3 Contratos de Exploración

En 2001, la ISA firmó el primer contrato para explorar nódulos polimetálicos y, a la fecha, existen 31 contratos y 22 contratistas, fundamentalmente para la exploración de nódulos en la Zona Clarion-Clipperton (CCZ) del Océano Pacífico, que abarca más de 1.250.000 km².

La ISA establece a los contratistas los siguientes requisitos para la ejecución de actividades de exploración:

- Debe tomar medidas para prevenir la contaminación
- Realizar una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) preliminar
- Recopilar datos de referencia y enviarlos a la ISA
- Monitorear los impactos e informar

China, Francia, Alemania, India, Japón, Corea, Rusia y el Reino Unido son las naciones que patrocinan el mayor número de contratos con la ISA para explorar recursos minerales. Actualmente, existen 19 para nódulos polimetálicos (75.000 km² c/u), 5 para costras de ferromanganese (1.000 km² c/u) y 7 contratos para sulfuros

polimetálicos (2.500 km² c/u), lo que equivale a un total de 1.447.500 km², en los océanos Pacífico, Índico y Atlántico.

Las áreas de exploración y explotación de minerales en el océano se rigen por dos normativas fundamentalmente, las leyes propias de cada país si se sitúan en la zona económica exclusiva (200 millas marinas) y por la ISA cuando se encuentran en las aguas internacionales (más allá de 200 millas marinas). En general, se considera minería submarina a la extracción de recursos minerales del lecho marino a profundidades superiores a 200 metros.

Tabla 5: Superficie Estimada Cubierta por Contratos de Exploración y Características Principales de Tres Tipos Principales de Minerales (modificado de Sharma, 2024).

Tipo de Fuente de Mineral	Área contractual (km ²)	Total de Contratos	Área Total (km ²)
Nódulos Polimetálicos	75.000	19	1.425.000
Costras de Ferromanganeso	1.000	5	5.000
Sulfuros Polimetálicos	2.500	7	17.500
Total		31	1.447.500

Fuente: Elaboración propia sobre la base de "Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives".

Tabla 6: Resumen Contratos de Exploración

Nº	Contratista	País Patrocinador	Duración	PMN	PMS	CFC	Tipo Mineral
1	Organización Conjunta Interoceánica	Bulgaria, Cuba, República Checa, Polonia, Federación Rusa y Eslovaquia	2001 - 2026	1			
2	JSC Yuzhmorgeologiya	Federación Rusa	2001 - 2026	1			
3	Gobierno de la República de Corea		2001 - 2026 2014 - 2026 2018 - 2033	1	1	1	
4	Asociación China de Investigación y Desarrollo de Recursos Minerales Oceánicos	China	2001 - 2026 2011 - 2026 2014 - 2029	1	1	1	
5	Compañía de Desarrollo de Recursos Oceánicos Profundos Ltd.	Japón	2001 - 2026	1			
6	Instituto Francés de Investigación para la Explotación del Mar	Francia	2001 - 2026 2014 - 2029	1	1		
7	Gobierno de la India		2002 - 2027 2016 - 2031	1	1		
8	Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales	Alemania	2006 - 2026 2015 - 2030	1	1		
9	Recursos Oceánicos de Nauru Inc.	Nauru	2011 - 2026	1			
10	Tonga Offshore Mining Limited	Tonga	2012 - 2027	1			

Nº	Contratista	País Patrocinador	Duración	Tipo Mineral		
				PMN	PMS	CFC
11	Recursos Minerales Marinos Globales de Nevada	Bélgica	2013 - 2028	1		
12	Loke CCZ (anteriormente UK Seabed Resources Ltd.)	UK	2013 - 2028	2		
13	Investigación y Exploración Marawa Ltd.	Kiribati	2015 - 2030	1		
14	Ocean Mineral Singapore Pte. Ltd.	Singapur	2015 - 2030	1		
15	Corporación de Inversiones de las Islas Cook	Islas Cook	2016 - 2031	1		
16	Corporación Minera de China	China	2017 - 2032	1		
17	Corporación de Desarrollo de Alta Tecnología Pionera de Beijing	China	2019 - 2034	1		
18	Ministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente de la Federación de Rusia		2012 - 2027 2015 - 2030		1	1
19	Gobierno de Polonia		2018 - 2033		1	
20	Organización Japonesa para la Seguridad de los Metales y la Energía	Japón	2014 - 2029			1
21	Compañía de Pesquisa de Recursos Mineros SA	Brasil	2015 - 2022			1
22	Blue Minerals Jamaica Ltd	Jamaica	2021 - 2036	1		
TOTAL				19	7	5

Fuente: Elaboración propia en base a la ISA.

5. Explotación de la Minería Submarina y Estimaciones de Producción

5.1 Etapas de un Proyecto de Minería Submarina

Las etapas de un proyecto de explotación de minería submarina incluyen la prefactibilidad, factibilidad, diseño y construcción, producción y cierre. Un cronograma estimativo de las fases necesarias para un proyecto se exhibe en la Tabla 7.

Tabla 7: Modelo estimado de un proyecto de Minería Submarina

Etapa	Descripción	Duración (años)
Prefactibilidad	Fase inicial de análisis de un posible proyecto minero	
Factibilidad	Evaluación detallada del proyecto para determinar su viabilidad económica, ambiental y técnica,	5-10
Diseño y construcción	Adquisición e instalación de equipos	2-4
Producción	Operaciones mineras y de procesamiento	25
Cierre	Cierre gradual de las operaciones mineras	1-2
Total		33- 41

Fuente: Elaboración propia sobre la base de "Report to the International Seabed Authority on the Development of an Economic Model and System of Payments for the Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area".

Considerando la naturaleza de este tipo de proyectos, las empresas deben tener en cuenta una serie de factores relevantes tales como: naturaleza del yacimiento, modelo económico, ubicación física, tipos de

tecnologías que se utilizarán para la extracción del mineral; equipo y mano de obra requerida; logística para transportar equipos y planta de procesamiento del mineral extraído (Kirchain et al, 2019).

5.2 Proyección de Producción para la Minería Submarina

Las estimaciones de producción realizadas en este trabajo se circunscriben a la explotación de nódulos polimetálicos, debido a que en la actualidad es aquella que exhibe el mayor número de investigaciones y progreso en términos de viabilidad técnica y económica.

La extracción de las CRC presenta mayores complejidades, ya que se encuentran adheridas a sustratos rocosos y porque su explotación puede generar impactos ambientales significativos, ya que gran parte de las especies que habitan en esta zona son consideradas endémicas (Cáceres et al, 2024).

Los dos parámetros principales para evaluar si la explotación de depósitos de nódulos polimetálicos es factible económicamente son la abundancia de nódulos en kilogramos por metro cuadrado y el contenido de metal en porcentaje de peso. Entre los minerales que se encuentran en los nódulos es posible mencionar el cobre, níquel, cobalto y manganeso, siendo los tres últimos componentes clave para el cátodo de níquel-manganeso-cobalto (NMC), utilizados para la fabricación de baterías de ion-litio.

El inicio de un proyecto dependerá no solamente de la capacidad técnica y financiera del contratista, sino que del escenario de precios de los metales y de los recursos de inversionistas o entidades financieras que apoyen con capital al proyecto, lo cual no se observa expedito y sencillo, en atención al alto riesgo involucrado en una industria de esta índole.

La ISA en su estudio técnico N° 32 modeló un proyecto estándar de minería submarina con una capacidad de extracción de 3 millones de toneladas secas de nódulos durante 20 años de desarrollo. Esta magnitud en términos de extracción es utilizada en parte de las evaluaciones de un proyecto de este tipo, ya que permite alcanzar economías de escala y minimización de costos (Kirchain et al, 2019). Los parámetros de concentración, recuperación y cantidad de recuperación de metales desde los nódulos se exponen en la Tabla 8. Para el caso del cobre, la modelación de este proyecto estándar arrojó una producción de 29,7 kton/a.

Tabla 8: Principales Parámetros de un Proyecto Estándar de Minería Submarina y producción estimada de níquel, cobalto, cobre y manganeso

Variables	Níquel	Cobalto	Cobre	Manganeso
Capacidad de extracción anual de nódulos secos (k ton)	3.000	3.000	3.000	3.000
Concentración	1,3%	0,2%	1,1%	28,4%
Recuperación	95%	85%	90%	90%
Cantidad recuperable (k ton)	37,05	5,1	29,7	766,8

Fuente: Elaboración propia sobre la base de "Report to the International Seabed Authority on the Development of an Economic Model and System of Payments for the Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area" y "The Potential Impact of Seabed Mining on Critical Mineral Supply Chains and Global Geopolitics".

Adicionalmente, dicho estudio proyectó 3 escenarios (Tabla 9) que contempla que la explotación es ejecutada por 2,6 y 12 contratistas. Sin embargo, de acuerdo con la ISA solo unos pocos de los doce contratistas tendrían la capacidad para comenzar un proyecto.

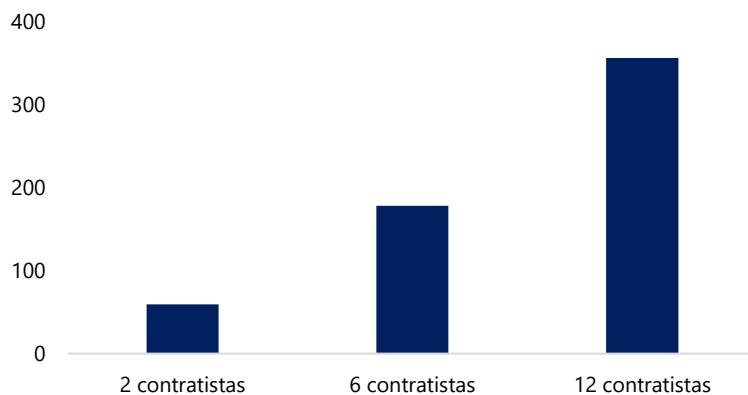
Tabla 9: Estimación de producción de níquel, cobalto, cobre y manganeso según cantidad de contratistas

Miles (ton)	2 contratistas	6 contratistas	12 contratistas
Capacidad de extracción anual de nódulos secos	3.000	3.000	3.000
Níquel	74,1	222,3	444,6
Cobalto	10,2	30,6	61,2
Cobre	59,4	178,2	356,4
Manganeso	1.533,6	4.600,8	9.201,6

Fuente: Elaboración propia sobre la base de *Study of the potential impact of polymetallic nodules production in the Area on the economies* (Estudio técnico N° 32 de la ISA)

En la Fig. 6 se presentan los niveles de producción para el cobre según la cantidad de contratistas que comiencen a explotar, bajo los parámetros de producción del estudio técnico N° 32 de la ISA.

Fig. 6: Estimación de Producción de Cobre según cantidad de contratistas según estudio de la ISA (ton)



Fuente: Elaboración sobre la base de *Study of the potential impact of polymetallic nodules production in the Area on the economies* (Estudio técnico N° 32 de la ISA)

Por otro lado, existen otras estimaciones y evaluaciones donde la capacidad de producción es mayor para los cuatro metales analizados, incluyendo al cobre. Esto se explica por una mayor capacidad de extracción de nódulos respecto del proyecto estándar utilizado en los análisis de la ISA.

En el caso del cobre, la compañía TMC señaló en su estudio de prefactibilidad de agosto de 2025 una producción de 70 kt/a para un proyecto en CCZ con una capacidad de extracción de nódulos secos de 8.400 kt/a; mientras que la compañía Impossible Metals para su proyecto calculó 55 kt/a extrayendo 6.758 nódulos secos.

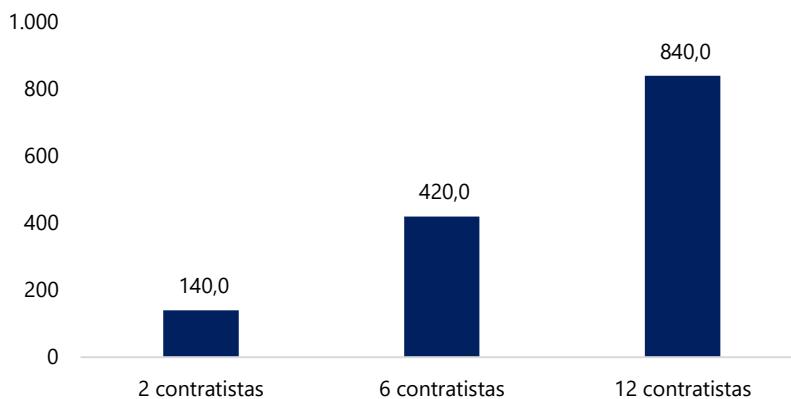
Tabla 10: Estimación de producción de níquel, cobalto, cobre y manganeso de proyectos de 3 compañías de minería submarina

Miles (ton)	The Metals Company (TMC)	Global Sea Mineral Resources NV (GSR)	Impossible Metals Proyecto Eureka IV
Capacidad de extracción anual de nódulos secos	8.400	3.000	6.758
Níquel	97,0	30,5	68,7
Cobalto	7,4	5,3	11,9
Cobre	70,0	24,5	55,1
Manganeso	2.389,0	648,0	1.459,7

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Impossible Metals y TMC.

En la figura 7 se presentan los niveles de producción para el cobre según la cantidad de contratistas que comienzan a explotar, bajo los parámetros de producción del estudio de prefactibilidad de la empresa TMC.

Fig. 7: Estimación de Producción de Cobre según cantidad de contratistas (ton)



Fuente: Elaboración propia en base a Technical Report Summary of Prefeasibility Study of NORI Area D, Clarion Clipperton Zone de TMC

Las estimaciones de producción para níquel, cobalto y manganeso según cantidad de contratistas y bajo los parámetros del proyecto de TMC se exhiben en la tabla 11:

Tabla 11: Estimación de producción de níquel, cobalto y manganeso según cantidad de contratistas

Miles (ton)	2 contratistas	6 contratistas	12 contratistas
Níquel	194,0	582,0	1.164,0
Cobalto	14,8	44,4	88,8
Manganeso	4.778,0	14.334,0	28.668,0

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Technical Report Summary of Prefeasibility Study of NORI Area D, Clarion Clipperton Zone de TMC

Dado que aún no existen operaciones reales de minería submarina, no existe tecnología probada para una

operación en régimen, no se encuentra confeccionado el Código de Explotación y a ello se suma el riesgo de impacto medio ambiental lo que hace muy difícil el inicio productivo antes del 2032.

Es importante señalar que los proyectos nódulos polimetálicos analizados en este informe son evaluados con un modelo de explotación de varios metales, siendo el cobre solo un subproducto⁷. El proyecto de TMC, en su estudio de prefactibilidad, evaluó la explotación de níquel, cobalto, cobre y manganeso, siendo el níquel el metal primario, dado que representa el 45% de los ingresos por tonelada seca de nódulos (promedio 2031-2043), mientras que el manganeso el 28%, el cobre el 17% y el cobalto el 9%.

Para efectuar una estimación de la oferta de cobre proveniente de la minería submarina para el período 2032-2046 se utilizó como referencia el reciente estudio de prefactibilidad de TMC de agosto de 2025, que asumió una producción de cobre de 70 kt/año. Además, dada la alta incertidumbre respecto al progreso de esta industria, un horizonte realista para que comience un proyecto a producir sería entre 2032-2036. Bajo este supuesto se consideró:

- Tres posibles años de inicio productivo 2032 o 2034 o 2036 (debido a los tiempos necesarios para finalizar el Código de Explotación y desarrollar el plan minero, los estudios de ingeniería y ambientales, efectuar pruebas de equipos y lograr las aprobaciones ambientales)
- Sólo 6 contratistas inician la producción en forma paulatina.
- Ramp up progresivo para cada proyecto.
- Producción de cobre refinado terrestre⁸ fluctúa entre 33 y 31 millones de toneladas anuales en el período 2032-2046.

En la tabla 12 se exhiben los resultados de una estimación propia de producción de cobre de la minería submarina. Como se observa, la nueva oferta proveniente de esta industria es significativamente menor respecto a la terrestre para el período analizado, alcanzando las 373 kt/a (en 2042, 2044 o 2046, según sea el año inicio productivo) equivalente a solo el 1,2% de la producción de cobre refinado terrestre.

⁷ Technical Report Summary of Prefeasibility Study of NORI Area D, Clarion Clipperton Zone, Proyecto Eureka IV de Impossible Metals y Proyecto tipo de Estudio técnico N° 32 de la ISA.

⁸ Proyecciones de producción de cobre refinado de Wood Mackenzie.

Tabla 12: Estimación propia de la oferta de cobre de la minería submarina para el período 2032–2046 según fecha de inicio (Miles de ton)

Escenario 1 – Inicio 2032	2032	2034	2036	2038	2040	2042
Oferta de cobre miles de ton	23	93	163	233	303	373
Minería Submarina/ Terrestre (%)	0,07%	0,29%	0,51%	0,74%	0,97%	1,20%
Escenario 2 – Inicio 2034	2034	2036	2038	2040	2042	2044
Oferta de cobre Miles de ton	23	93	163	233	303	373
Minería Submarina/ Terrestre (%)	0,07%	0,29%	0,52%	0,74%	0,98%	1,20%
Escenario 3 – Inicio 2036	2036	2038	2040	2042	2044	2046
Oferta de cobre Miles de ton	23	93	163	233	303	373
Minería Submarina/ Terrestre (%)	0,07%	0,29%	0,52%	0,75%	0,98%	1,21%

Fuente: Elaboración propia

Esta estimación es realizada bajo un escenario de alta incertidumbre propia de esta industria que evidencia importantes riesgos que pueden retrasar la explotación a gran escala de un proyecto real; generar una puesta en marcha más lenta y provocar períodos de interrupciones durante la explotación. Además, el desconocimiento en torno a los precios futuros de los metales y a las condiciones geológicas del proyecto agrega mayores niveles de complejidad para establecer los plazos de inicio de una iniciativa de este tipo (Kirchain et al, 2019).

Otros factores, como el desarrollo de técnicas metalúrgicas para que el procesamiento tenga mínimos residuos, una baja huella de carbono, costos de capital y operativos similares aquellos de las operaciones comerciales existentes en la minería terrestre, son también desafíos esenciales para su viabilidad comercial (Hein et al, 2020).

5.3 Minería Submarina versus terrestre

Los factores favorables y desventajas en términos económicos de la minería submarina frente a la terrestre:

Tabla 13: Factores favorables y desventajas de la minería submarina

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Uso de tecnología robótica para la exploración y explotación.• No requiere infraestructura como carreteras, sistemas de transporte de mineral en el fondo oceánico, instalaciones eléctricas, edificios, tanque de relaves.• No es necesario remover material estéril para iniciar la explotación, ya que los depósitos de interés están expuestos en el fondo oceánico, lo que permite también no usar explosivos.• Muchos depósitos yacimientos marinos contienen tres o más metales de interés.• No existe necesidad de procesar material de baja ley, ya que se puede mover al buque de producción minera de un depósito de alta ley a otro similar, disminuyendo fuertemente los desechos.• Se requiere menos mineral para proporcionar la misma cantidad de metal respecto a la minería terrestre.• Escasa interacción con comunidades o ciudades• Reducción en el riesgo de accidente para los trabajadores.	<ul style="list-style-type: none">• Tecnología para la explotación aún en desarrollo.• Impactos ambientales significativos sobre el área de extracción.• Insuficientes investigaciones sobre los riesgos de la minería en los lechos marinos.• Se realiza a profundidades mayores a 1.500 m• Áreas reducidas para la prospección y exploración y limitadas a las concesiones entregadas por la ISA.• Altos costos de exploración.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Deep-ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials e Introducción a la minería submarina y oceánica.

6. Mecanismo de Reparto de Beneficios de las Actividades en la Zona

6.1 Beneficio de la Humanidad

El artículo 140 de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR) establece que las actividades en la Zona se llevarán a cabo en beneficio de la humanidad en su conjunto, con independencia de la ubicación geográfica de los Estados, sean costeros o sin litoral. Además, se debe tener en cuenta los intereses y las necesidades de los Estados en desarrollo. Con este fin, la ISA debe desarrollar un mecanismo para la distribución equitativa de los beneficios financieros y de otra índole económica derivados de las actividades extractivas en la Zona.

Bajo este marco, los minerales de aguas profundas de la Zona corresponden, en primera instancia, a la humanidad, por lo que aquellas empresas o Estados que busquen realizar actividades mineras en los fondos oceánicos deben realizar pagos por ello.

A su vez, el artículo 160, párrafo 2 f) de la CONVEMAR consigna que la ISA dispondrá la distribución equitativa de los beneficios financieros y económicos derivados de las actividades de exploración y explotación en la Zona. Los ingresos que obtenga la ISA por dichas actividades se deben distribuir a nivel global, haciendo énfasis en las necesidades de los países en desarrollo y de aquellos sin costa, ya que estos no tienen acceso a los recursos marinos (Herrera, 2019).

La ISA se encuentra confeccionando una propuesta para la creación de un Fondo del Patrimonio Común, para gestionar los ingresos generados por esta actividad. Los objetivos de este fondo son:

- Recibir los pagos provenientes de:
 - ✓ Licencias y royalties por las actividades de exploración y explotación.
- Distribuir los ingresos de forma equitativa y transparente, priorizando a:
 - ✓ Países en desarrollo sin litoral o con desventajas geográficas.
 - ✓ Estados que dependen en gran medida de los ingresos de la minería terrestre y que tendrán efectos negativos en sus economías por la disminución en el valor de los metales debido al aumento de la oferta generada por la minería submarina.
- Apoyar la protección ambiental, desarrollo sostenible y conocimiento de los océanos.

Un equipo de consultores del MIT realizó un estudio para determinar las implicaciones económicas de los mecanismos del pago que realizarán los contratistas a la ISA y la retribución que recibirían dichas empresas. El objetivo de este mecanismo es equilibrar los ingresos de la ISA con la rentabilidad de los contratistas. Las recomendaciones realizadas en dicho estudio fueron dos opciones de pago:

- Un sistema de royalty ad valorem en dos etapas, una primera tasa hasta el año 5 y una tasa mayor desde dicho año hasta el término del proyecto.
- Un pago que combina un royalty ad valorem con uno basado en utilidades.

Asimismo, se encuentra en proceso de definición los mecanismos para garantizar que los contratistas paguen una tasa impositiva efectiva similar a la de la minería terrestre, independientemente de las exenciones tributarias o incentivos fiscales otorgados por los países. Esto implica que los contratistas que tienen baja carga tributaria en su estado patrocinador pagarían más a la ISA, mientras que aquellos que enfrenten mayores impuestos en otros estados pagarían menos. El objeto de estas medidas es crear igualdad de condiciones y así evitar que determinados contratistas obtengan una ventaja injusta mediante exenciones fiscales o subsidios de su estado patrocinador.

De esta forma, se garantizaría que todos los contratistas se enfrenten a una carga impositiva efectiva total (ISA + Estado patrocinante) consistente y similar a la de la minería terrestre.

A continuación, en la Tabla 14 se indica un listado de los ingresos y posibles destinos de estos recursos:

Tabla 14: Ingresos y Gastos Generados por la Recaudación de la ISA

Ingresos	Deducciones
<ul style="list-style-type: none"> • Pagos de los contratistas a la ISA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costos administrativos de la ISA. • Compensación a los países mineros terrestres. • Posibles costos de inversión o joint venture de la ISA en contratistas. • Posibles pagos a Estados miembros de la ISA por aportes anteriores. • Cantidad remanente para distribuir beneficios.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de *Equitable sharing of deep-sea mining benefits: More questions than answers*.

7. Cadena de Valor en la Minería Submarina

La explotación en la minería submarina en general considera 6 etapas, con diferentes subprocessos en cada una ellas, lo cual se presenta en la figura 8:

Fig. 8: Etapa de exploración y explotación de la minería submarina



Fuente: Elaboración propia sobre la base de *Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives y Seabed Mining*.

8. Equipos y Maquinaria de Operación

Actualmente, la mayoría de los equipos aún se encuentran en fase de desarrollo y pruebas debido a la búsqueda de mayores eficiencias y a que deben provocar el menor impacto ambiental posible, dada la sensibilidad del ecosistema marino (Zhang et al, 2024). El proceso de extracción, procesamiento y transporte es aún complejo e incluye diversos equipos en el suelo marino, transporte submarino y marítimo, además de distribución de energía.

Los estudios técnicos y económicos demuestran que la producción continua y estable es un indicador crucial para garantizar la rentabilidad de la explotación submarina.

Los nódulos polimetálicos (PMN) necesitan ser recogidos a través de un vehículo minero que debe desplazarse continuamente sobre el sedimento blando del lecho marino, mientras que las costras de ferromanganeseo (CFC) se adhieren a la superficie de los montes submarinos y para extraerlas se requiere desprenderlos de la corteza y luego romperlos para que puedan ser acopiados por el vehículo minero. A su vez, los sulfuros polimetálicos (SMS) son grandes masas sólidas que requieren ser cortadas y trituradas para que el vehículo minero pueda recogerlas (Zhang et al, 2024).

A continuación, se indican y describen los principales equipos e infraestructura necesaria para llevar a cabo un proyecto de esta naturaleza de acuerdo con estudio elaborado por Qi Zhang⁹:

Vehículos de Extracción

Los vehículos mineros son esenciales para la minería submarina. Reúnen varias funcionalidades: recolección; conducción estable y controlada; flotabilidad; trituración; fuerza de tracción; alta capacidad de carga; evasión automática de obstáculos; y resistencia de su chasis a la presión del agua. Actualmente, la mayoría de los países como China, Alemania, India, Corea y Rusia, han desarrollado vehículos autopropulsados con orugas por sus ventajas de fuerza de tracción, capacidad de carga y operatividad.

En la figura 9 se pueden apreciar dos tipos de vehículos utilizados para la extracción de minerales submarinos.

Fig. 9: Vehículos Mineros para extracción de nódulos Polimetálicos



Fuente: A Review on Underwater Collection and Transportation Equipment of Polymetallic Nodules in Deep-Sea Mining y Deep Sea Mining Inc.

Sistema de Transporte Vertical

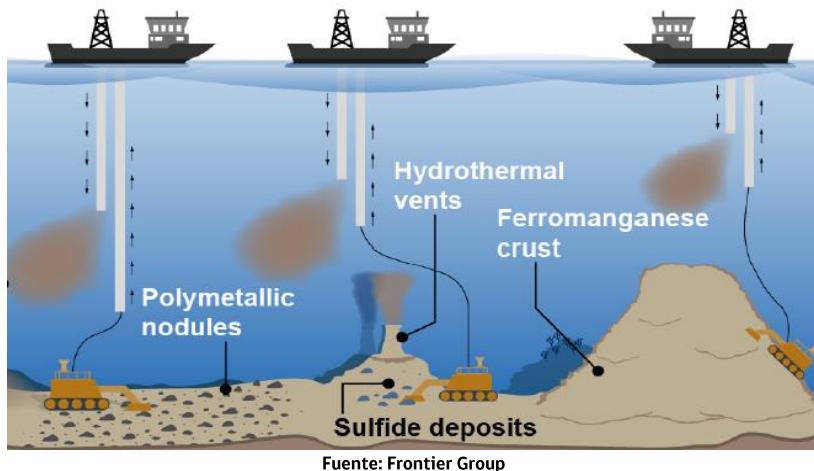
El sistema de transporte vertical (figura 10) se realiza a través de una tubería que permite elevar el mineral hacia la superficie. Es un elemento importante dentro del sistema de producción, representando más del 50% del consumo total de energía de la actividad minera.

⁹ Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives

Sistema de Soporte de Producción en Superficie

El sistema de soporte de producción en superficie (figura 10) incluye al buque de apoyo minero y diversos equipos. Proporciona energía y control operativo para los vehículos de minería submarina, el transporte de minerales y el sistema de elevación, así como alojamiento para el personal de la explotación. Los principales tipos de sistemas de apoyo en superficie se clasifican en buques y sistemas basados en plataformas. Los sistemas basados en plataformas requieren remolcadores para el traslado a larga distancia. Los sistemas de apoyo en superficie basados en buques poseen capacidad de autopropulsión y un alto grado de autosuficiencia a través de sistemas de energía de alta potencia, capacidades de posicionamiento de alta precisión, bodega de carga y un espacio para realizar el tratamiento de deshidratación de los minerales.

Fig. 10: Sistema de transporte vertical y de buque de soporte de producción en superficie



9. Riesgos Medio Ambientales

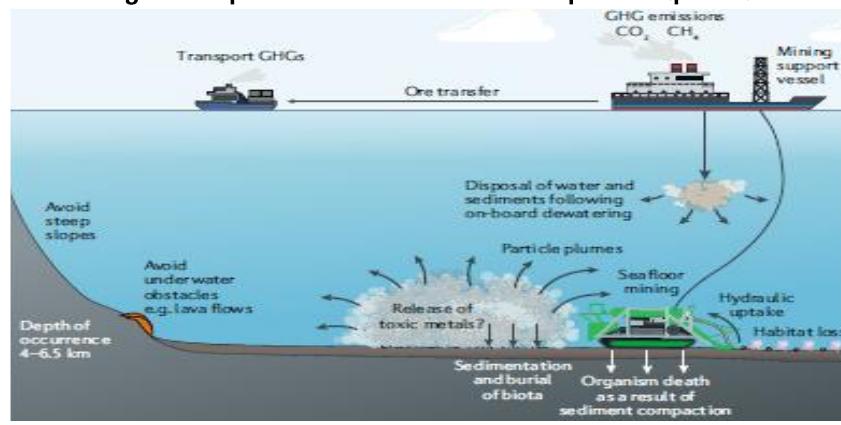
Los efectos ambientales de la minería en el fondo oceánico aún no son conocidos totalmente, por lo que es necesario profundizar en las investigaciones científicas ya que no ha comenzado aún a escala comercial. Por ello, 37 países y algunos miembros del Congreso de Estados Unidos han señalado sus reparos frente al inicio de la explotación y han solicitado una pausa precautoria, una moratoria o incluso su prohibición ya sea en aguas internacionales, aguas nacionales o ambas, como es el caso de Francia (Congressional Research Service, 2025).

La ISA está impulsando la confección de las regulaciones para la explotación, teniendo como uno de sus principales objetivos, el resguardo y protección del medioambiente marítimo.

De acuerdo con diversos estudios¹⁰, entre los principales riesgos ambientales es posible mencionar:

- **Pérdida de biodiversidad y alteración del hábitat:** debido a la operatoria de equipos y maquinaria lo que podría aplastar, asfixiar, dispersar o alterar el hábitat de organismos que viven en el fondo marino.
- **Impacto lumínico:** este se produce por los equipos que al operar afectan a las especies que habitan las profundidades marinas, y que viven en condiciones frías y sin luz solar.
- **Contaminación acústica:** Esta es generada por el ruido y vibraciones asociadas a maquinaria y equipos que pueden afectar el comportamiento de diversas especies marinas, además de inhibir los sonidos para comunicarse y ecolocalizarse.
- **Dispersión de sedimentos en suspensión (pluma):** la pluma es causada por el movimiento de los equipos y maquinarias, la que afecta a organismos, entornos inmediatos y adyacentes al área de trabajo. Esta pluma puede dejar sin respiración o sin alimentos a la fauna marina (Figura 11).
- **Alteración de sustrato del lecho marino:** al recolectar los nódulos se destruye el sustrato duro del lecho marino afectando fauna marina que requiere de dicho sustrato para poner huevos en él.
- **Emanaciones tóxicas:** debido a la extracción y proceso de remoción de rocas o material, se liberan toxinas y gases lo cual impacta negativamente la vida marina.
- **Fuga de elementos químicos:** liberación en el océano de aceites u otros contaminantes de las maquinarias y equipos en las áreas de explotación.

Fig. 11: Dispersión de sedimentos en suspensión (pluma)



Fuente: Deep-ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials

¹⁰ Seabed Mining in Areas Beyond National Jurisdiction: Issues for Congress y Análisis comparativo del potencial de extracción de reservas submarinas en Chile

10. Conclusiones

De acuerdo con el análisis realizado y con la información actual, no se observan impactos significativos de la minería submarina en el mercado específico del cobre para los próximos 15 - 20 años, sin embargo, esta actividad exhibe avances concretos que permitirían transformarla en una nueva fuente de minerales críticos en el largo plazo, con implicancias estratégicas y de mercado.

En el presente, el principal desafío de la minería submarina es el impacto que provocaría en el medio ambiente marino. Las regulaciones y tecnología para su operatoria y los costos son variables que podrían despejarse en los próximos 5 a 10 años, sin embargo, los daños que esta actividad puede generar al medio ambiente oceánico tienen el potencial de ser irreversibles.

En materia de regulación, no se estima que en el corto o mediano plazo esté finalizado el Código de Explotación y su normativa asociada, dada la complejidad de las materias que debe abordar como la evaluación, protección y monitoreo ambiental, junto con la responsabilidad frente a daños al medio ambiente, definición de regalías y el mecanismo para su distribución. Por otro lado, existen todavía diferentes posturas entre las naciones que integran la ISA, existiendo un grupo de países que apoyan la minería submarina y otros que buscan una pausa precautoria.

En términos de costos operativos y de inversión de esta actividad, el nivel de avance que se logre en el campo tecnológico será la clave para lograr una reducción de estos y de esta forma hacer que sea rentable y competitiva frente a la minería terrestre. Los desafíos tecnológicos no solo se circunscriben a la mejora en los equipos y maquinarias para la explotación, sino que también a lograr una operatoria continua y en el desarrollo de plantas de procesamiento con la capacidad para procesar en forma eficiente los nódulos polimetálicos.

En cuanto al interés de grandes potencias en el desarrollo de la minería submarina, es posible indicar que China definió, en su "Informe sobre el trabajo del Gobierno" de marzo de 2025, que impulsará las industrias emergentes, mencionando entre estas, la ciencia y tecnología de las profundidades del océano. Adicionalmente, el presidente de Estados Unidos firmó una orden ejecutiva para agilizar el desarrollo de la minería submarina en aguas estadounidenses e internacionales. Esta última acción coloca presión a la ISA para avanzar en la finalización del Código de Explotación.

El interés por la explotación de recursos minerales en el fondo del océano obedece a varias razones tales como, la menor disponibilidad de reservas mineras, especialmente de minerales críticos; la existencia comprobada de importantes recursos mineros en el fondo marino y con una ley mucho mayor que aquellos presentes a nivel terrestre. Además, el suministro seguro de minerales críticos se ha convertido en una materia estratégica y de seguridad nacional para el desarrollo de la transición energética e industria tecnológica de las grandes potencias.

Es importante señalar que los proyectos de nódulos polimetálicos analizados en este informe fueron evaluados por las empresas y consultoras bajo un modelo de explotación de un grupo de metales (níquel, cobalto, cobre y manganeso), siendo el cobre sólo un subproducto.

Dada la alta incertidumbre respecto al progreso de esta industria, un horizonte realista para que comience un proyecto a producir sería entre 2032-2036. En este contexto, al realizar una estimación de producción de la minería submarina para el cobre para el período 2032-2046¹¹, desde el inicio productivo y con seis empresas operando (capacidad de producción de 70kton/a cada una), la producción de cobre alcanzaría un máximo de 373,1 kton/a en el lapso analizado (1,2% de la producción de cobre refinado terrestre proyectada en igual período).

La presión para desarrollar la minería submarina va a depender de la capacidad de la minería terrestre para suplir la demanda de minerales y al escenario de precios existente en el futuro. Un escenario de precios de los metales atractivo sería un estímulo para llevar a cabo proyectos con costos altos, que se viabilizarían económicamente y también impulsaría el avance tecnológico y la industria de proveedores para esta industria.

Respecto a la minería submarina, se han tomado diferentes posturas, donde 37 países han solicitado oficialmente una moratoria (prohibición definida o indefinida) o una pausa precautoria (detención temporal), entre los que destacan: Canadá, Chile, España, Brasil Francia y Alemania (Martínez, 2025). A su vez, países como China, India, Japón, Rusia, y Corea del Sur se encuentran entre aquellos que desean que se continue con la minería submarina (Baruah, 2025).

Chile ha impulsado junto a otros países el establecimiento de una pausa precautoria, debido a los efectos negativos que la minería submarina puede provocar en el fondo marino. La existencia de impactos nocivos en el medio ambiente del océano, que actualmente pueden ser desconocidos, requiere de estudios científicos exhaustivos y profundos para identificar completamente dichos efectos e impactos, lo cual permitirá posteriormente, en base a dichos estudios, establecer una regulación robusta para esta actividad.

¹¹ Tabla 12 del informe.

Bibliografía

- Baruah, D. (2025). <https://www.iiss.org/online-analysis/online-analysis/2025/03/uncharted-territory-deep-sea-mining-and-the-underwater-domain/#:~:text=China%2C%20India%2C%20Japan%2C%20Russia,which%20the%20ISA%20was%20established.>). Obtenido de <https://www.iiss.org/>.
- Biblioteca del Congreso Nacional. (2012). *La Zona Económica Exclusiva en el Nuevo Derecho del Mar*.
- Cabrera, A. A. (Marzo de 2014). Historia Económica Mundial 1950 - 1990. *Economía Informa*, 70-83.
- Cáceres et al. (2024). *Perspectivas - Minería Submarina*.
- Congressional Research Service. (2025). *Seabed Mining in Areas Beyond National Jurisdiction: Issues for Congress*.
- Hein et al. (2020). *Deep- ocean polymetallic nodules as a resource for critical materials*.
- Herrera, J. (2019). *Introducción a la minería submarina y oceánica*.
- IEA. (2025). *Global Critical Minerals Outlook 2025*.
- IEA. (2025). *Global Critical Minerals Outlook 2025*.
- Kang, L. (2021). *The Development History and Latest Progress of Deep-Sea Polymetallic Nodule Mining Technology*.
- Kirchain et al. (2019). *Report to the International Seabed Authority on the Development of an Economic Model and System of Payments for the Exploitation of Polymetallic Nodules in the Area*.
- Martínez, M. (2025). <https://www.mundiario.com/articulo/sociedad/mineria-submarina-37-paises-rebelan-planes-trump-alta-mar/20250613183454347227.html>. Obtenido de <https://www.mundiario.com/articulo/sociedad/mineria-submarina-37-paises-rebelan-planes-trump-alta-mar/20250613183454347227.html>.
- Muñoz, E. (2021). *Analisis comparativo del potencial de extracción de reservas submarinas en Chile*.
- Singh, P. A. (2025). A Pause or Moratorium for Deep Seabed Mining in theArea? The Legal Basis, Potential Pathways, and PossiblePolicy Implications. *Ocean Development & International Law*, 18-44.
- Zhang et al. (2024). *Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives*.

**Este trabajo fue elaborado en la
Dirección de Estudios y Políticas Públicas por**

Francisco Donoso Rojas

Analista de Mercado Minero

Joaquín Donoso Vásquez

Analista de Estrategia y Políticas Públicas

Victor Garay

Director de Estudios y Políticas Públicas (S)

Noviembre 2025

Copyright by Cochilco, todos los derechos reservados

Se autoriza la reproducción total o parcial de este Informe, siempre que la fuente "Comisión Chilena del Cobre" y/o "Cochilco" sea citada, salvo que se indique lo contrario.