

# Minería submarina: distinguir hipótesis de evidencia

*Lecciones para una gobernanza de los fondos marinos basada en la ciencia*

Lucía Villar-Muñoz

Basado en el artículo «Cautionary tales for science-based policy in deep-sea mining governance», *Global Policy*, 17(4), 2026.

Algunas afirmaciones científicas de baja certeza sobre la minería submarina llegan al debate político antes de ser validadas. Este documento resume cuatro casos y propone seis principios para que las decisiones de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos se apoyen en evidencia madura.

## MENSAJES CLAVE

- **La visibilidad avanza más rápido que la verificación.** Una hipótesis publicada en 2024 se presentó como un hallazgo histórico y llegó a las negociaciones antes de que otros científicos pudieran revisarla.
- **Un dato válido puede leerse mal.** Un umbral regulatorio no es una medida de daño, y un escenario de modelación no es una predicción. Sin ese contexto, el riesgo se exagera.
- **La precaución se debilita cuando la incertidumbre se presenta como certeza.** Reconocer lo que no se sabe es compatible con actuar con cautela; convertirlo en certeza no lo es.
- **La Autoridad puede proteger sus decisiones.** Paneles independientes, revisiones sistemáticas y formación de los delegados ayudarían a separar las hipótesis de la evidencia establecida.

## 4.900+

puntos de atención en línea (Altmetric) alcanzó el estudio del «oxígeno oscuro» en sus primeras semanas.

## 0,6 mSv

al año es la dosis estimada para trabajadores que manipulen nódulos; el límite para expuestos es de 20 mSv.

## 30+ años

lleva la negociación del reglamento de explotación minera de los fondos marinos internacionales.

Fuentes: Villar-Muñoz (2026); Lüttke et al. (2025), citado en Villar-Muñoz (2026).

## Un debate decisivo para el fondo marino

La Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) negocia desde hace más de tres décadas el Código Minero, el reglamento que regirá la explotación de minerales en los fondos marinos más allá de las jurisdicciones nacionales. Las decisiones que tome tendrán efectos de largo plazo sobre los ecosistemas marinos, la política climática y el uso de esos recursos. Por eso importa con qué evidencia se discuten.

El artículo examina cómo algunas afirmaciones de baja certeza, amplificadas por medios, centros de investigación y organizaciones no gubernamentales, llegaron a las deliberaciones de la ISA antes de ser validadas. Para hacerlo comparable, analiza cada caso con la misma pauta:

Figura 1. Pauta de análisis de cada caso

|   |                                             |
|---|---------------------------------------------|
| 1 | La afirmación tal como se comunicó          |
| 2 | Su base empírica                            |
| 3 | Sus incertidumbres y limitaciones           |
| 4 | Cómo se amplificó y quiénes la difundieron  |
| 5 | Su relevancia para las decisiones de la ISA |

Nota. Adaptado de Villar-Muñoz (2026).

## El problema: cuando la visibilidad le gana a la verificación

El desafío no es que haya afirmaciones en disputa, algo normal en la ciencia, sino que su difusión se desacople de su grado de certeza. El artículo identifica tres fuerzas que lo favorecen (Villar-Muñoz, 2026):

|                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Incentivos académicos</b><br>Las métricas de impacto, la competencia por fondos y la visibilidad premian los hallazgos llamativos antes de su replicación. | <b>Intermediarios que simplifican</b><br>Campañas, notas de prensa y minutas de política pueden omitir supuestos, márgenes de incertidumbre y alcance de los modelos. | <b>Decisiones bajo presión</b><br>Las delegaciones deben juzgar ciencia disputada con plazos políticos, y a veces toman el prestigio de una revista como garantía. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

A esto se suma un argumento recurrente: que no hay datos sobre los ambientes abisales. El artículo recuerda que existen décadas de estudios, como el programa DOMES de la agencia oceánica de Estados Unidos (1975-1981), y grandes bases de datos de los contratistas de exploración. El desafío principal es sintetizar e interpretar con transparencia la evidencia disponible.

## Qué muestra la evidencia

El artículo compara cuatro casos de alta visibilidad, elegidos porque se repiten en la prensa y en las comunicaciones de política y porque tocan elementos centrales de la negociación: vías de impacto, líneas de base y evaluación de riesgos. Sus hallazgos principales son tres:

- **La adopción social de una afirmación puede separarse de su respaldo.** Hipótesis preliminares, lecturas selectivas o escenarios extremos llegaron a ordenar agendas antes de ser validados.
- **Las correcciones circulan menos.** Las revisiones publicadas sobre el oxígeno oscuro, la radiactividad, las plumas y la biodiversidad recibieron mucha menos atención que las afirmaciones originales.
- **El problema no es la ciencia temprana.** Es tratarla como evidencia establecida, en cualquier dirección del debate, a favor o en contra de la minería.

Tabla 1. Cuatro afirmaciones y lo que dice la evidencia

| Caso                            | Cómo se difundió                                                                                     | Qué dice la evidencia                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Oxígeno oscuro</b>           | Los nódulos polimetálicos producirían oxígeno sin luz, presentado como un hallazgo histórico (2024). | Una reevaluación de los mismos datos no encontró respaldo experimental: la señal probablemente provino del equipo de medición (Downes et al., 2025).                                                     |
| <b>Nódulos radiactivos</b>      | Nódulos «mil veces» por sobre lo seguro.                                                             | El valor se refiere a umbrales de exención regulatoria, no a dosis. Con medidas estándar, la exposición queda bajo 1 mSv al año (Lüttke et al., 2025).                                                   |
| <b>Plumas de sedimento</b>      | Plumas que viajarían miles de kilómetros.                                                            | Era un escenario de modelación de baja resolución. Las mediciones en terreno muestran plumas pegadas al fondo que se depositan cerca del área intervenida (Muñoz-Royo et al., 2022; Gazis et al., 2025). |
| <b>Pérdida de biodiversidad</b> | Pérdida catastrófica e irreversible como resultado inevitable.                                       | La pérdida depende de definiciones, escalas e indicadores. Los efectos son marcados en las huellas directas y más matizados en las áreas vecinas (Katona et al., 2023; Ingels et al., 2026).             |

Nota. Elaboración propia a partir de Villar-Muñoz (2026) y las fuentes que cita.

UN CASO

El «oxígeno oscuro»

En junio de 2024, un estudio propuso que los nódulos de la Zona Clarion-Clipperton podrían producir oxígeno sin luz, mediante procesos electroquímicos (Sweetman et al., 2024). La idea se difundió de inmediato como un hallazgo histórico, justo cuando la ISA se reunía en julio para negociar el Código Minero en medio de llamados a una moratoria. El código no se adoptó y el Consejo pidió más tiempo y mejor evidencia.

Después, varios equipos cuestionaron la hipótesis. Una reevaluación del conjunto de datos publicado concluyó que la producción de oxígeno por electrólisis es termodinámicamente improbable y que la señal se explicaría por el equipo (Downes et al., 2025). La comunidad científica sigue dividida, pero el caso muestra que una hipótesis puede pesar en una negociación antes de que la ciencia termine de evaluarla.

Recomendaciones

Para fortalecer la relación entre ciencia y política en la gobernanza de los fondos marinos, se proponen seis principios:

- 1

**Distinguir hipótesis de hechos**

Separar con claridad los hallazgos especulativos del consenso científico. Las revistas pueden exigir declaraciones explícitas de incertidumbre en resúmenes y comunicados.
- 2

**Exigir reproducibilidad antes del uso político**

No basar cambios de política en un solo estudio sin replicar; apoyarse, como en la medicina, en revisiones sistemáticas.
- 3

**Crear paneles científicos independientes**

Ante temas sensibles, convocar paneles interdisciplinarios que evalúen la madurez de una afirmación antes de llevarla a la negociación.

## 4 Formar a quienes deciden

Capacitar a delegados y autoridades para distinguir correlación, causalidad y especulación al leer resultados científicos.

## 5 Exigir transparencia en la incidencia

Que las organizaciones expliquen cómo interpretan la evidencia, no exageren conclusiones y garanticen acceso a los datos.

## 6 Cultivar la reflexividad científica

Que cada investigador examine cómo sus incentivos y su posición influyen en lo que comunica, sobre todo cuando la evidencia es preliminar.

## Conclusión

Terminar el Código Minero no significa autorizar de inmediato la explotación, sino fortalecer la supervisión multilateral bajo un enfoque precautorio, con decisiones ancladas en evidencia madura y evaluada con transparencia. En julio de 2026 el Consejo de la ISA pidió una hoja de ruta para adoptar el reglamento, y las negociaciones se retoman en marzo de 2027 (ISA, 2026): la oportunidad sigue abierta. La credibilidad del consejo científico depende no solo de lo que se sabe, sino de cómo se comunica la incertidumbre.

## Referencias

- Downes, P., Cuesta, A., Denny, A., et al. (2025). Extraordinary claims require extraordinary evidence: Evaluating nodule-associated dark oxygen production. *Frontiers in Marine Science*, 12, Article 1721853. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1721853>
- Gazis, I. Z., de Stigter, H., Mohrmann, J., et al. (2025). Monitoring benthic plumes, sediment redeposition and seafloor imprints caused by deep-sea polymetallic nodule mining. *Nature Communications*, 16, Article 1229. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56311-0>
- Ingels, J., Leduc, D., Ullmann, A., & Rowden, A. (2026). Assessing mining impacts in the deep sea. *Nature Ecology & Evolution*, 10, 172–174. <https://doi.org/10.1038/s41559-025-02965-4>
- International Seabed Authority. (2026). *From the 31st to the 32nd Session: Advancing the Mining Code and strengthening the Common Heritage of Humankind*. <https://isa.org.im/news/from-the-31st-to-the-32nd-session-advancing-the-mining-code-and-strengthening-the-common-heritage-of-humankind/>
- Katona, S., Paulikas, D., Ali, S., et al. (2023). Land and deep-sea mining: The challenges of comparing biodiversity impacts. *Biodiversity and Conservation*, 32, 1125–1164. <https://doi.org/10.1007/s10531-023-02558-2>
- Lüttke, T., Kunze, C., Flesch, K., et al. (2025). Estimations of effective doses received from naturally occurring radioactivity in polymetallic nodules from the deep sea. *Scientific Reports*, 15, Article 32303. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10842-0>
- 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. *Science Advances*, 8, Article eabn1219. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abn1219>
- Sweetman, A. K., Smith, A. J., de Jonge, D. S. W., et al. (2024). Evidence of dark oxygen production at the abyssal seafloor. *Nature Geoscience*, 17(8), 737–739. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01480-8>
- Villar-Muñoz, L. (2026). Cautionary tales for science-based policy in deep-sea mining governance. *Global Policy*, 17(4), 764–772. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.70185>