

DISCUTIENDO NARRATIVAS DE SUSTENTABILIDAD EN LA LITERATURA SOBRE MINERÍA EN AGUAS PROFUNDAS Y SU CONFIGURACIÓN COMO FRONTERA DE RECURSOS

SEBASTIÁN RODRÍGUEZ LEIVA¹ 

RESUMEN – La transición energética requiere minerales que cada vez son más difíciles de obtener en superficie, por lo que, el fondo del océano y en virtud de sus reservas de minerales, podría satisfacer la demanda proyectada y contribuir a alcanzar los objetivos de desarrollo sustentable. Sin embargo, existen discursos contradictorios respecto al rol de la sustentabilidad en la minería en aguas profundas. Por un lado, se plantea que tendría menor impacto que la minería en superficie. Por otro lado, se argumenta sobre los impactos negativos en el océano y afectaciones en el bienestar humano y medios de vida de las comunidades locales. Así, el objetivo es problematizar en torno a la relación entre sustentabilidad y minería en aguas profundas, a partir de la aproximación de la frontera de recursos y en particular, cómo se producen estos espacios, las narrativas predominantes, y cuáles son las dinámicas que subyacen en este proceso. Utilizando herramientas del análisis bibliométrico y análisis de contenido cualitativo, se pudo dar cuenta de narrativas dominantes sobre economía circular, biodiversidad, gobernanza, y economía azul en la literatura. Dinámicas que subyacen a la creación de la frontera de recursos son la búsqueda de nuevas fuentes de minerales, la necesidad de controlar los recursos, y posicionar al océano como una zona de desarrollo ilimitado, las que, configuran a la minería en aguas profundas como frontera emergente para la sustentabilidad.

Palavras chave: Minería en aguas profundas; frontera de recursos; sustentabilidad; narrativas.

RESUMO – DISCUTINDO NARRATIVAS DE SUSTENTABILIDADE NA LITERATURA SOBRE MINERAÇÃO EM ALTO MAR E SUA CONFIGURAÇÃO COMO FRONTEIRA DE RECURSOS. A transição energética exige minerais cada vez mais difíceis de obter na superfície, para que o fundo do oceano e, em virtude de suas reservas minerais, possam atender à demanda projetada e contribuir para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável. No entanto, há discursos contraditórios sobre o papel da sustentabilidade na mineração em alto mar. Por um lado, sugere-se que teria menos impacto do que a mineração de superfície. Por outro lado, argumenta sobre os impactos negativos no oceano e os efeitos no bem-estar humano e nos meios de subsistência das comunidades locais. Assim, o objetivo é problematizar a relação entre sustentabilidade e mineração em alto mar, a partir da abordagem da fronteira de recursos e, em particular, como esses espaços são produzidos, as narrativas predominantes e quais são as dinâmicas que subjazem a esse processo. Utilizando ferramentas de análise bibliométrica e análise qualitativa de conteúdo, foi possível dar conta das narrativas dominantes sobre economia circular, biodiversidade, governança e economia azul na literatura. As dinâmicas subjacentes à criação da fronteira de recursos são a busca de novas fontes de minerais, a necessidade de controlar os recursos e o posicionamento do oceano como uma zona de desenvolvimento ilimitado, que configuram a mineração em alto mar como uma fronteira emergente para a sustentabilidade.

Palavras-chave: Mineração em alto mar; fronteira de recursos; sustentabilidade; narrativas.

ABSTRACT – DISCUSSING SUSTAINABILITY NARRATIVES IN THE LITERATURE ON DEEP-SEA MINING AND ITS CONFIGURATION AS RESOURCE FRONTIER. The energy transition requires minerals that are increasingly difficult to obtain on the surface, so the ocean floor and by virtue of its mineral reserves, could meet projected demand and contribute to achieving the sustainable development goals. However, there are contradictory discourses regarding the role of sustainability in deep-sea mining. On the one hand, it is suggested that it would have less impact than surface mining. On the other hand, it argues about the negative impacts on the ocean and effects on human well-being and the livelihoods of local communities. Thus, the objective is to problematize the relationship between sustainability and deep-sea mining, based on the approach of the resource frontier and how these spaces are produced, the predominant narratives, and what are the dynamics that underlie this process. Using tools of bibliometric analysis and qualitative content analysis, it was possible to account for dominant narratives about circular economy, biodiversity, governance, and blue economy in the literature. Dynamics underlying the creation of the resource frontier are the search for new sources of minerals, the need to control resources, and positioning the ocean as a zone of unlimited development, which configure deep-sea mining as an emerging frontier for sustainability.

Recibido: 26/12/2023. Aceite: 24/05/2024. Publicado: 29/05/2024.

¹ Centro de Desarrollo Urbano Sustentable, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Los Navegantes 1963, 7520246 Providencia, Región Metropolitana, Santiago, Chile. E-mail: sirodri1@uc.cl

Keywords: Deep-Sea mining; resource frontier; sustainability; narratives.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y adopción de tecnologías bajas en carbono como, por ejemplo, componentes de vehículos eléctricos, almacenamiento de energía, turbinas eólicas y energía solar fotovoltaica, entre otras (Dominish *et al.*, 2019), requiere metales considerados críticos, como el cobalto, níquel, manganeso, cobre, litio y tierras raras (Agusdinata & Liu, 2023). Estos metales han experimentado un rápido aumento de la demanda en los últimos años, por lo que, la industria minera ha impulsado la búsqueda de nuevos yacimientos mineros a nivel global y así responder a la demanda proyectada (Koschinsky *et al.*, 2018).

En este escenario, es que la minería en aguas profundas surge como alternativa, actividad que representa las prácticas de exploración, extracción, transporte y procesamiento de minerales recuperados del fondo del océano y que transitan a través de la columna de agua hasta la superficie (Tilot *et al.*, 2021). Según las estimaciones realizadas, el fondo del océano posee grandes reservas de minerales (Hein *et al.*, 2013) que podrían satisfacer la demanda proyectada y así también, posibilitar la transición hacia tecnologías bajas en carbono y alcanzar los objetivos de desarrollo sustentable (Hyman *et al.*, 2022; Miller *et al.*, 2021).

Así, el océano y en particular, los recursos mineros del fondo del océano permitirían satisfacer la demanda proyectada de minerales necesarios para llevar a cabo la transición hacia tecnologías bajas en carbono y alcanzar los objetivos de desarrollo sustentable (Miller *et al.*, 2021; Hyman *et al.*, 2022). Sin embargo, un debate cada vez mayor discute en torno al rol de la sustentabilidad en la minería en aguas profundas, existiendo narrativas presentes en discursos contradictorios respecto a si pueden los recursos del fondo del océano propiciar un futuro sustentable para la humanidad.

Estos debates plantean, por un lado, que la minería en aguas profundas tendría menor impacto que la minería en superficie, ya que, no se requeriría construir infraestructura y sistemas de transporte que provoquen deforestación, contaminación de cursos de agua, desplazamiento de pueblos indígenas, y diferentes impactos sociales y económicos en las poblaciones humanas próximas a sitios mineros (Hallgren & Hansson, 2021; Hein *et al.*, 2013; Koschinsky *et al.*, 2018). Además, se plantea que facilitará las transiciones a energías limpias, aumentando la diversidad en el suministro de minerales, y que también, será una actividad extractiva moral, ética y sustentable (Hyman *et al.*, 2022).

Por otro lado, un creciente cuerpo de literatura crítica con la minería en aguas profundas argumenta sobre los impactos negativos de esta industria en el océano (Carver *et al.*, 2020; Childs, 2022; Deberdt & James, 2024; Putten *et al.*, 2023; Zaar, 2024), dando cuenta del rol que posee el océano para la absorción y secuestro de carbono, la regulación del clima global y alojar una rica biodiversidad (Hallgren & Hansson, 2021), la destrucción y eliminación del hábitat de múltiples especies endémicas (Cuyvers *et al.*, 2018), el carácter no renovable de los minerales extraídos y la alteración de ciclos biogeoquímicos (Boetius & Haeckel, 2018), afectaciones en el bienestar humano y medios de vida de las comunidades locales que poseen una profundidad conexión cultural, social, espiritual y económica con el océano (Tilot *et al.*, 2021), y una serie de debates referidos a las prácticas mineras, implicancias morales y éticas de la extracción de minerales, la equidad de los beneficios y compensaciones de riesgos en la industria (Cuyvers *et al.*, 2018).

Esta investigación se posiciona en esta discusión, bajo la aproximación conceptual de la frontera de recursos (Barney, 2009; Tsing, 2005). Las fronteras son lugares de extracción y producción de recursos (Cons & Eilenberg, 2019), donde reclamos, narrativas y visiones del mundo en competencia a menudo se expresan a través de la territorialidad, normas institucionales y formas de violencia (Dancer, 2021). Estudios al respecto analizan cómo los espacios con abundancia de recursos se incorporan a los circuitos del capital (Cons & Eilenberg, 2019), conflictos en el acceso a materias primas, entre otros, sin prestar mucha atención a cómo surgen las fronteras de recursos, qué estrategias y discursos están detrás de ello. Un aporte valioso en este contexto lo representa el trabajo de Wong *et al.* (2022), quienes identifican dinámicas claves en la creación de fronteras de recursos relacionadas con: i) el uso de narrativas para legitimar lógicas capitalistas y crear espacio para la explotación, ii) la territorialidad para gobernar y controlar los recursos, y iii) el uso de normas institucionales para gestionar a actores locales.

En este trabajo en particular, se aborda el uso de narrativas para crear espacio para la explotación y mercantilización de los recursos. En el trabajo de Wong *et al.*, (2022), los autores identifican que las narrativas dominantes que subyacen a la creación de frontera de recursos formulan problemáticas relacionadas con: i) la necesidad de gobernar, crear normas y controlar los recursos, ii) posicionar los recursos mineros como una zona de oportunidad, y iii) formular la necesidad de explotar otras fuentes de recursos mineros, indicando al mercado como solución. Esto, en el caso de la minería en aguas profundas, adquiere gran relevancia, ya que, las profundidades del océano plantean desafíos formidables para su representación espacial y visual, proceso que, la industria minera ha explotado al afirmar que la extracción de minerales en esta nueva frontera promete no solo ser responsable y sustentable, sino que también, compatible con el cambio climático y necesaria para su mitigación.

Considerando este escenario, es que, el presente artículo tiene como objetivo explorar la literatura científica sobre sustentabilidad y minería en aguas profundas, analizando ¿cuáles son las narrativas presentes en los discursos predominantes en la literatura científica sobre sustentabilidad en la minería en aguas profundas? Y también, ¿cómo el fondo del océano y sus minerales se configuran como una frontera de recursos en el marco de la sustentabilidad?

La estructura de este artículo se compone por cinco secciones. Luego de la primera sección introductoria, en una segunda sección se da a conocer la metodología, dando cuenta de los métodos y materiales utilizados en este trabajo. En la tercera sección se presentan los principales resultados. En la cuarta sección se discuten dichos resultados en función de las aproximaciones teórico – conceptuales presentadas en la introducción. Finalmente, una quinta sección muestra las conclusiones de este trabajo.

II. METODOLOGÍA

Este artículo, si bien, utiliza herramientas enmarcadas en el análisis bibliométrico, no realiza una revisión cuantitativa exhaustiva de la literatura, sino que, el método que guía esta investigación es la revisión narrativa a través de un análisis de contenido cualitativo de la literatura. Este enfoque metodológico no pretende cubrir todos los artículos sobre un tema determinado (Demiris *et al.*, 2020), sino que, la captura de la amplitud de un debate y proporcionar puntos de vista y posiciones centrales. El análisis de la revisión narrativa sigue cuatro pasos: (1) estrategia de búsqueda, (2) identificación de palabras clave, (3) análisis de resúmenes de documentos y construcción de narrativas.

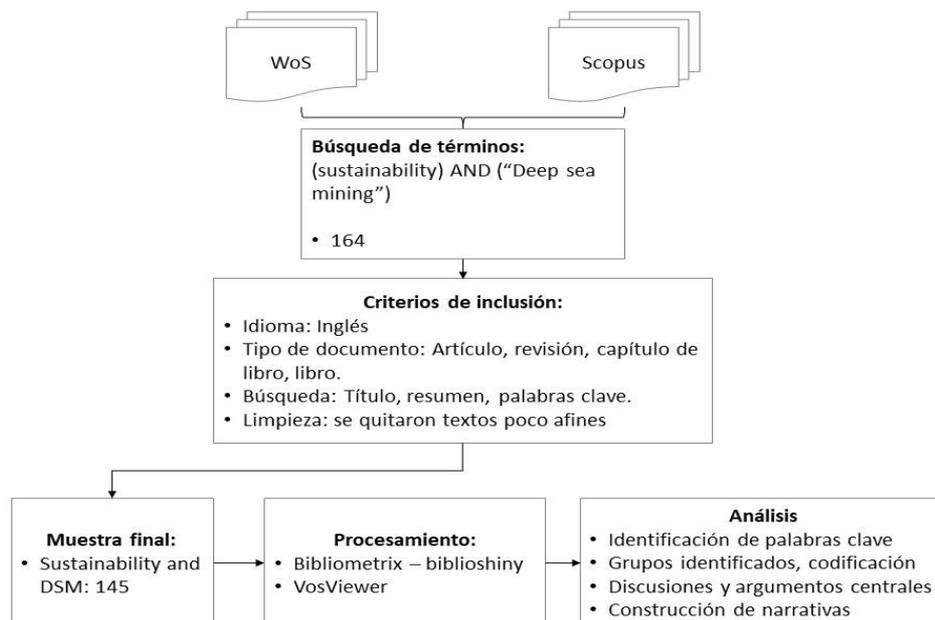


Fig. 1 – Diagrama de flujo del procedimiento experimental para identificar las tendencias de investigación sobre sustentabilidad y minería submarina de profundidad.

Fig. 1 – Flowchart of the Experimental Procedure to Identify Research Trends on Sustainability and Deep-Sea Underwater Mining.

1. Estrategia de búsqueda

En este trabajo se recuperaron los registros bibliográficos y documentos de texto completo publicados e indexados en *Scopus* y *Web of Science*. Dos razones justifican esta decisión: 1) los artículos indexados en estas bases de datos han pasado un riguroso proceso de revisión por pares; 2) sus índices de citas de revistas clásicas son bien conocidos y ampliamente utilizados en el mundo académico, por un lado, y hay un número cada vez mayor de artículos que mencionan Scopus en su campo temático por el otro (Liu, 2021; Sharifi & Khavarian-Garmsir, 2020; Verma & Gustafsson, 2020).

Respecto a los criterios establecidos, solo se consideraron publicaciones en idioma inglés, documentos con los siguientes términos en títulos, resúmenes o palabras clave: Sustainability Y “Deep sea mining” (Minería en aguas profundas), (fig. 1). De este proceso, se obtuvieron un total de 164 documentos, 137 de ellos provenientes de Scopus y 26 de Web of Science. Luego, después de un cuidadoso proceso de revisión de duplicados en cada una de las bases consideradas, y la revisión de títulos, resúmenes y palabras clave, se seleccionaron un total de 145 documentos para una discusión detallada en la revisión de la literatura.

2. Identificación de palabras clave

Para evaluar la red de palabras clave que aparecen en los documentos identificados en el paso anterior, se realizó un análisis de redes bibliométricos y así investigar los grupos formados por documentos interconectados utilizando *VOSviewer*. Para ello, se exportaron datos bibliográficos y en *VOSviewer* se produjo un análisis de co-ocurrencia de las palabras clave de los y las autores(as) aplicando el método de conteo completo siguiendo investigaciones previas.

Este análisis proporciona una descripción general de los temas clave asociados con sustentabilidad y minería submarina de profundidad, y sus vínculos en la literatura respectiva (Eck & Waltman, 2010). Los grupos identificados de este proceso fueron: (i) minería: economía circular, metales, reciclaje y electromovilidad; (ii) biodiversidad e impacto ambiental; (iii) gobernanza y equidad; (iv) economía azul, crecimiento y ODS.

Esta información proporciona una base para la codificación inductiva del discurso sobre sustentabilidad en la minería en aguas profundas. La red *VOSviewer* también brinda la oportunidad de examinar el desarrollo de los temas y su coexistencia a lo largo del tiempo mediante el uso de la visualización superpuesta (Eck & Waltman, 2010).

3. Análisis de contenidos y construcción de narrativas

Para el análisis de contenido cualitativo se utilizó la información proveniente del paso anterior, referida a la red de co-ocurrencia de palabras clave. A partir de esto, se realizó una identificación y codificación basada en un enfoque inductivo, para luego, analizar las discusiones y argumentos presentes en los documentos analizados, y que giraban en torno a los cuatro grupos identificados anteriormente. Luego, se construyeron narrativas resaltando argumentos y posiciones que hacen de ellas más distintas entre sí.

Una vez realizado ello, se analizaron las narrativas dominantes sobre sustentabilidad y minería en aguas profundas con el lente conceptual de la frontera de recursos y específicamente los argumentos centrales provenientes de las narrativas que subyacen a la creación de frontera de recursos presentes en la literatura. Este proceso se realizó a través de un enfoque deductivo basado en la literatura central del discurso académico.

4. Vacíos y deficiencias de la investigación

Es necesario indicar que, en la presente investigación pueden faltar ciertas publicaciones relevantes, pero que, en virtud de la muestra analizada, es posible ilustrar las características de las posiciones más dominantes y recurrentes sobre sustentabilidad y minería en aguas profundas. Además, es importante señalar que un artículo individual puede contener más de una narrativa, por lo que la ambición no era señalar hacia qué narrativa específica se inclina un artículo, sino que, en la revisión general, de qué forma se va construyendo la narrativa y el argumento central presente en ella.

III. RESULTADOS

1. Características bibliométricas y análisis de co-ocurrencia de palabras clave

El análisis bibliométrico realizado muestra una tendencia creciente en el número de publicaciones científicas referidas al tema investigado. En el período analizado, entre el año 1999 y 2023, el número de documentos es de 145, destacando cómo desde el año 2018 en adelante se produce un aumento notorio en el número de publicaciones, con 2022 como el año con mayor número de publicaciones ($n=29$) hasta ahora. La recolección de datos se realizó entre septiembre y octubre de 2023, lo cual, podría explicar el menor número de publicaciones durante este año (fig. 2).

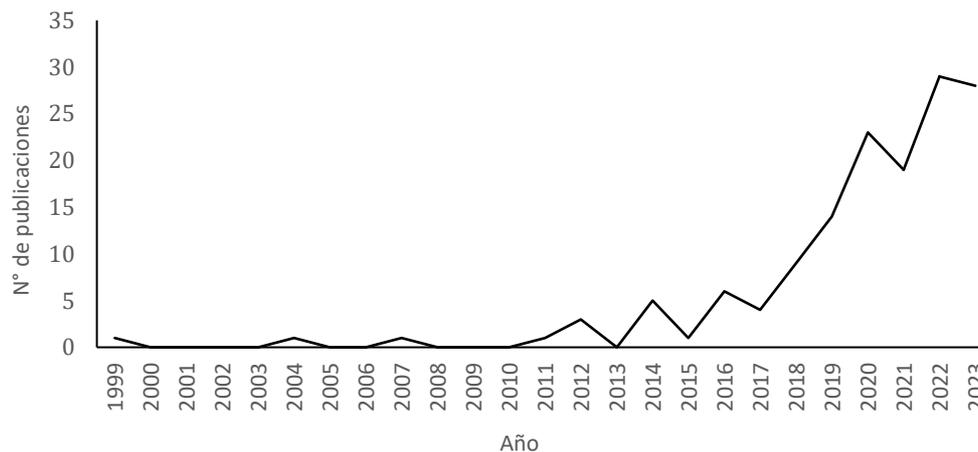


Fig. 2 – Número de publicaciones científicas sobre sustentabilidad y minería en aguas profundas.

Fig. 2 – Number of scientific publications on sustainability and deep-sea mining over time.

Los resultados sobre la co-ocurrencia de palabras clave muestra una red con 50 palabras clave principales. Este método, permite identificar la densidad de palabras clave en temáticas de investigación más desarrolladas. Al respecto, es posible identificar la existencia de dos grupos o clústeres que se desprenden del concepto central sobre sustentabilidad, y que también, cada uno de ellos posee temas de investigación emergentes dentro de la base de literatura revisada.

A continuación, la figura 3 muestra la red de co-ocurrencia de palabras clave en el tema investigado. El tamaño del nodo indica la frecuencia y los bordes representan relaciones de co-ocurrencia. Los colores se utilizan para resaltar los grupos de nodos. Los resultados dan cuenta que, a modo general, son dos los temas – conceptos que surgen de este proceso de análisis, destacando los grupos o clústeres sobre sustentabilidad como elemento central (celeste) y de ello, se desprenden dos grupos correspondientes a la minería (azul) y minería en aguas profundas (rojo). Luego, y bajo la interpretación realizada de los resultados obtenidos, es posible identificar sub-grupos provenientes de los dos grupos anteriores. Al respecto, se puede observar que, del grupo minería se deriva el sub-grupo desarrollo sustentable, y que, de este, surgen diferentes temáticas sobre metales y reciclaje, conservación ambiental, economía circular, entre otros. Por su parte, del grupo minería en aguas profundas se derivan tres sub-grupos correspondientes a biodiversidad, gobernanza y economía azul. Cada uno de estos subgrupos se configura por diferentes temáticas sobre cambio climático, pesca, áreas marinas protegidas, metas de los ODS, equidad, entre otros.

En la figura 4, correspondiente a la temporalidad de la red de co-ocurrencia de las palabras clave, es posible ver que, no se aprecian diferencias relevantes en la antigüedad de los grupos analizados. Sin embargo, temáticas sobre pesca, metas de los ODS, equidad y economía circular representan discusiones recientes en el marco de la literatura revisada.

A partir del análisis de red de co-ocurrencia de palabras clave (fig. 3 y 4) y el esquema de temas centrales identificados en la literatura científica sobre sustentabilidad y minería en aguas profundas, es que, existen cuatro narrativas que predominan y que dan el marco analítico por el cual comprender la discusión sobre sustentabilidad en la industria emergente de la minería en aguas profundas.

A continuación, se presenta un esquema de la relación entre sustentabilidad y minería en aguas profundas identificada en la literatura revisada.

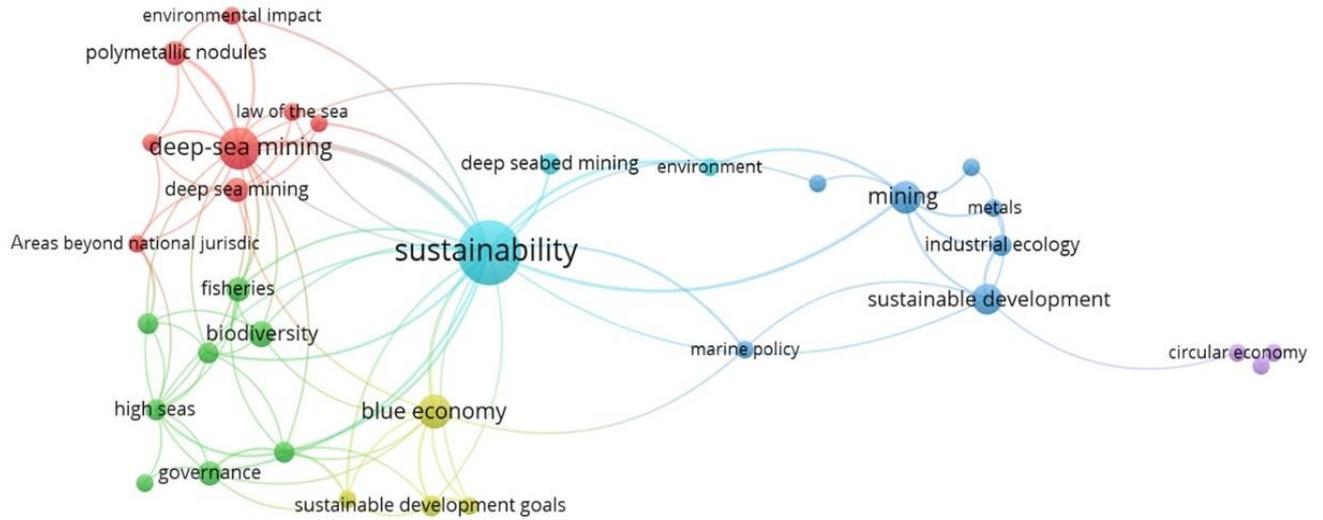


Fig. 3 – Red de co-ocurrencia de palabras clave en la literatura sobre sustentabilidad y minería en aguas profundas. Figura en color disponible online.

Fig. 3 – Keyword Co-Occurrence Network in the Sustainability and Deep-Sea Mining Literature. Colour figure available online

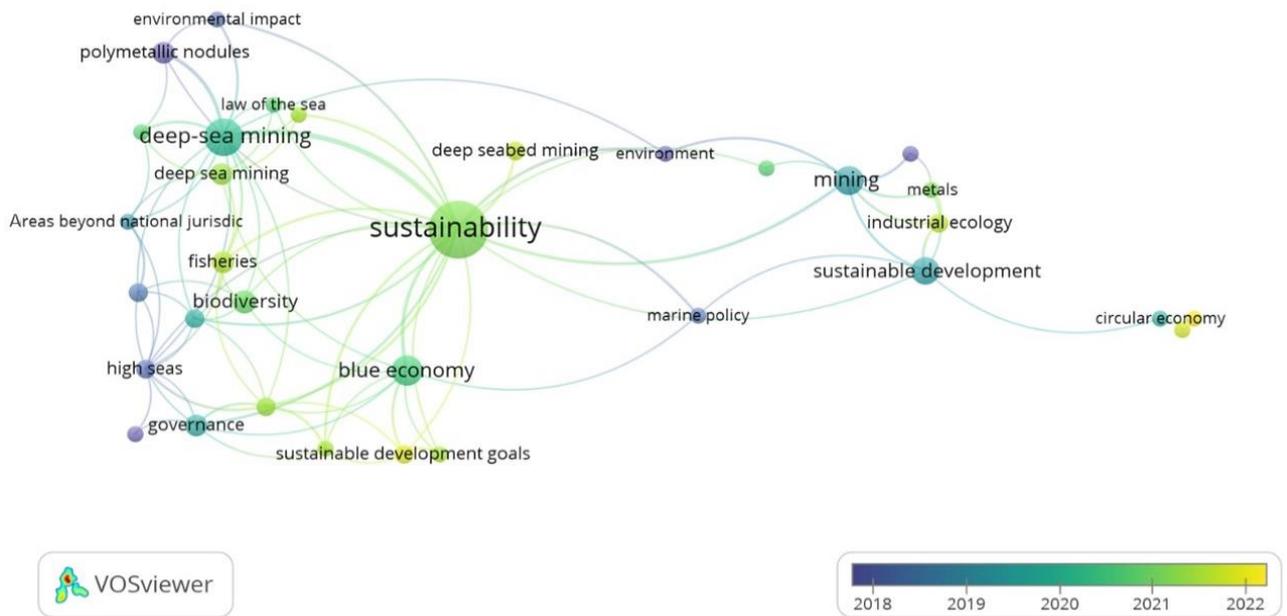


Fig. 4 – Temporalidad de la red de co-ocurrencia de palabras clave sobre sustentabilidad y minería en aguas profundas. Figura en color disponible online.

Fig. 4 – Temporality of the co-occurrence network of keywords on sustainability and deep-sea underwater mining. Colour figure available online.

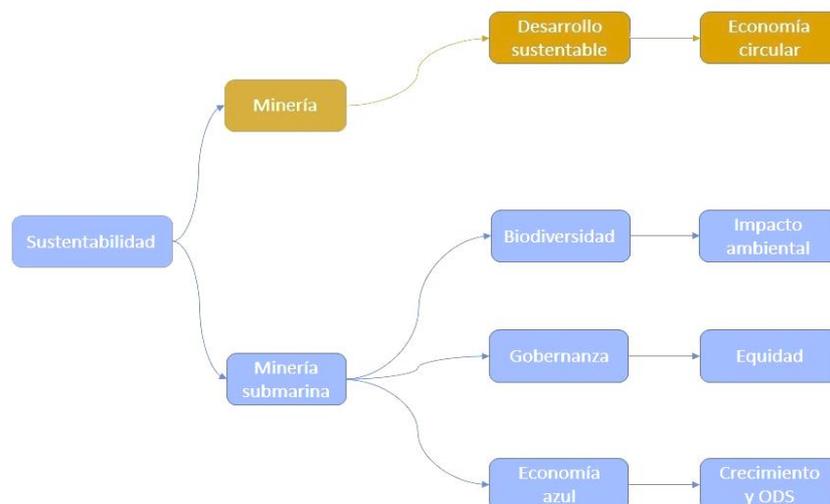


Fig. 5 – Esquema de temas centrales y emergentes en la literatura sobre sustentabilidad y minería en aguas profundas. Figura en color disponible online.

Fig. 5 – Outline of Central and Emerging Issues in the Literature on Sustainability and Deep-Sea Mining. Colour figure available online.

2. Minerales para el desarrollo sustentable: metales, electromovilidad y economía circular

La narrativa de este grupo se centra en abordar la sustentabilidad en la minería en aguas profundas desde la comprensión de esta industria como una actividad minera, es decir, no toma en cuenta las características del espacio en el cual se extraen los recursos, en este caso, el fondo del océano.

En particular, esta narrativa argumenta sobre cómo el suministro de minerales provenientes del fondo del océano es esencial para alcanzar los objetivos de desarrollo sustentable, y así, acelerar la transición a energías limpias. La extracción de recursos, como por ejemplo los nódulos polimetálicos que se encuentran distribuidos en el fondo del océano, debe considerar una perspectiva ambiental holística a lo largo de la cadena de valor de estos minerales. En este punto, Alvarenga *et al.* (2022) plantean que el impacto ambiental de los minerales extraídos del océano se encuentra en las actividades de procesamiento en superficie terrestre. La localización de plantas procesadoras de minerales provenientes del fondo del océano es relevante para alcanzar una producción limpia (Alvarenga *et al.*, 2022). Por su parte, Hyman *et al.* (2022) plantean en esta misma línea que, la minería submarina de profundidad puede facilitar las transiciones a energías limpias, la diversidad en el suministro de minerales y mejorar la sostenibilidad del ciclo de vida. Esto, en un contexto donde la producción de metales representa el 40% de las emisiones industriales de gases de efecto invernadero y el 10% del consumo mundial de energía.

Enfocado en el ciclo de vida de los minerales y la sostenibilidad de la cadena de valor de los productos mineros obtenidos desde el fondo del océano, es que, Agusdinata & Liu (2023) abordan la contribución de estos minerales a la industria automotriz, en específico a los vehículos eléctricos y autónomos. Al respecto, los autores analizan indicadores de sostenibilidad, enfoques del ciclo de vida, fuentes y tecnología, entre otros aspectos, y así ver el aporte de esta industria al potencial calentamiento global.

3. Biodiversidad y gestión del impacto ambiental

La narrativa de este grupo se centra en abordar la sustentabilidad en la minería en aguas profundas, posicionando dicha actividad minera en su relación con el océano, en cuanto comprende la extracción de recursos en un contexto espacial que se configura por el fondo del océano y sus minerales, como también, el espacio oceánico.

En particular, la narrativa predominante guarda relación con la biodiversidad y la gestión de los impactos ambientales como consecuencia de la extracción de recursos mineros de fondo del océano. El estudio de Filho *et al.*, (2021) identifica los impactos ambientales en dos proyectos mineros

submarinos, localizados en la plataforma continental (dentro del área legal de cada país) y otro en profundidad (fuera del área legal de cada país). Al respecto, los autores sostienen que, la explotación del fondo del océano es una mejor alternativa que la minería en superficie, ya que, categorías de servicios ecosistémicos como servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y apoyo se verían menos afectados. Este es un punto que se ha discutido en este grupo de estudios, planteando la existencia de falencias en estos estudios comparativos, ya que, las referencias para identificar impactos en la biodiversidad oceánica guardan relación con indicadores y parámetros propuestos para la biodiversidad en superficie terrestre.

Este último punto lo retoman Radziejewska *et al.*, (2022), quienes en su estudio plantean que, la biodiversidad oceánica y los ecosistemas de aguas profundas experimentan cambios de la variabilidad natural y de las actividades humanas. Para mantener un equilibrio en la relación entre ambas dimensiones, los autores plantean que la intervención de explotar el fondo del océano debe ser exitosa, y así, proporcionar los beneficios esperados; sostenible, en cuanto proporcione beneficios a largo plazo; y responsable, en la medida que cause la menor perturbación posible al medio ambiente marino. Estos aspectos deben tomar en cuenta el contexto y las condiciones bajo las cuales se llevará a cabo la intervención (Radziejewska *et al.*, 2022).

Finalmente, otro punto abordado en este grupo corresponde al rol de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) en su regulación y definición de la responsabilidad. Esta perspectiva corresponde a la responsabilidad legal de la actividad extractiva y los eventuales daños provocados. Al respecto, en esta perspectiva se aborda la responsabilidad de las partes involucradas en la decisión – acción en la actividad extractiva, ya sea, el Estado patrocinador, el contratista – empresa y la autoridad a cargo de definir las reglas a nivel internacional.

4. Gobernanza, regulación y distribución equitativa de beneficios

La narrativa de este grupo se centra en la gobernanza y regulación de la actividad minera del fondo del océano. Al respecto, se discute el rol de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA) en cuanto al control en la exploración, posible explotación, y distribución equitativa de los beneficios derivados de la explotación de los recursos (Hallgren & Hansson, 2021). En este último aspecto, el rol de la ISA se sustenta en la responsabilidad por la distribución como un aparato jurisdiccional basado en el principio de equidad, y que, tiene como objetivo otorgar beneficios a países menos desarrollados y sin litoral (Lodge & Verlaan, 2018).

Esto, posiciona el rol de la ISA en gobernanza de los recursos mineros de fondo del océano en el cruce entre la legislación y el desarrollo regulatorio relacionado con un recurso de uso común (Jaeckel *et al.*, 2016). A la fecha, la ISA solo ha entregado 31 permisos para explorar exclusivamente cinco zonas del fondo del océano (Zona Clarion-Clipperton, Dorsal Mesoatlántica, Zona Atlántico Sur, Zona Océano Índico, Zona Pacífico) en la denominada Zona. Además, la ISA tiene el compromiso con los ODS, y específicamente, con apoyar a los países en desarrollo, pequeños estados insulares y países sin litoral, a través de ayuda monetaria, intercambio de conocimientos, y ayudar al desarrollo de la economía azul y la transición hacia energías limpias (Jaeckel *et al.*, 2016).

Otro punto central dentro de la narrativa de este grupo lo representa la existencia de problemas respecto a la regulación de Alta Mar y el Fondo del Mar. Al respecto, autores como Christiansen *et al.*, (2022) plantean que, la existencia de dos regímenes distintos como Alta Mar, aplicable a la columna de agua y correspondiente a un bien común; y la Zona, aplicable a los fondos marinos internacionales y sus recursos minerales, correspondientes a patrimonio común de la humanidad, han sido regulados por separado y, por ende, su coexistencia representa un problema para la regulación y gobernanza oceánica.

5. Economía azul: crecimiento y cumplimiento de los ODS

La narrativa de este grupo se centra en discutir cómo el fondo del océano se presenta como una nueva frontera para una economía verde en un mundo azul. La literatura de este grupo aborda la discusión sobre cómo la extracción de minerales del fondo del océano es clave como motor para el crecimiento económico, el cumplimiento de los ODS y alternativa sostenible para la minería terrestre (Novaglio *et al.*, 2022).

Al respecto, autores como Dankel *et al.*, (2023) plantean que la minería en aguas profundas representa una oportunidad para obtener ganancias económicas y empleo, aunque se reconocen

riesgos en la salud de los océanos. Niner *et al.*, (2022) plantean que la economía azul establece oportunidades para la economía y la sociedad, y, además, protege y mejora los entornos marinos, cuestionando lo planteado por Dankel *et al.*, (2023). Por su parte, Novaglio *et al.*, (2022) sostienen que la economía azul basada en la industria minera del fondo del océano permitiría desarrollos económicos, inclusivos, la sostenibilidad ambiental, y el acceso justo y equitativo a recursos.

Sin embargo, posturas críticas argumentan que, se está promoviendo la minería en aguas profundas como un salvador para la transición energética, sin considerar los impactos negativos que ello tendrá para el planeta, en cuanto regulación climática, biodiversidad y destrucción de ecosistemas (Germond & Duret, 2022). Por su parte, Bennett *et al.*, (2019) plantean la incompatibilidad de la minería submarina de profundidad y la sustentabilidad, debido a los riesgos y eventuales impactos ambientales en los ecosistemas oceánicos.

Finalmente, un punto que destaca en esta narrativa se encuentra en lo que plantean Germond-Duret (2022), quienes sostienen que la economía azul construye un escenario para la minería en aguas profundas donde se posicionan discursos como la falta de lugar del mar, el desarrollo y la sustentabilidad como elementos centrales.

IV. DISCUSIÓN

A partir de los resultados presentados en el capítulo anterior, es que, en este capítulo se discute ello en relación con los argumentos presentados en la literatura sobre la aproximación de la frontera de recursos y en particular, lo referido a la creación de frontera de recursos y los planteamientos que subyacen a las narrativas asociadas a este proceso.

Un primer elemento de discusión lo representa el argumento referido a la necesidad de explotar otras fuentes de minerales y presentar al mercado como solución (Wong *et al.*, 2022). Esto, se vincula a lo planteado en la narrativa sobre economía circular en el marco de la explotación del fondo del océano, en cuanto establece que, la minería en aguas profundas permitiría satisfacer la demanda proyectada de minerales en el marco de la transición hacia energías renovables. Sumado a ello, se plantea que los recursos obtenidos permitirían diversificar las fuentes de suministro de minerales, como también, permitir el desarrollo de nuevas tecnologías que podrían favorecer el cambio en la matriz energética a nivel global. Otros aspectos que permiten asociar dicha narrativa con el argumento detrás de cómo se producen las fronteras de recursos se relaciona con el desarrollo de la electromovilidad y el rol que poseen los minerales del fondo del océano para alcanzar las metas y objetivos trazados.

Un segundo elemento de discusión corresponde a la necesidad de gobernar, crear normas y controlar los recursos (Wong *et al.*, 2022). Esto, se vincula con la narrativa predominante presentado en los resultados sobre gobernanza. Acá, los resultados permiten sostener la idea de que, los organismos e instituciones detrás de formular las regulaciones para exploración, explotación y distribución de beneficios como consecuencia de actividades de explotación y comercialización, se vinculan a la lógica de crear normas y así controlar los recursos existentes en un espacio determinado, en este caso, el fondo del océano (Dancer, 2021). Un aspecto relevante de mencionar es lo cuestionable que es la concepción de equidad que se está trabajando en las posibles regulaciones que guiarán el inicio de la actividad minera desde la ISA. Tal planteamiento de equidad, aspecto asociado también a la responsabilidad de las partes involucradas, parece no seguir el camino que se identifica en el argumento presentado sobre fronteras de recursos y que guarda relación con el control de los minerales (Hallgren & Hansson, 2021). Los mecanismos que se ejercen para regular el océano y en particular, los recursos mineros localizados en el fondo del océano suponen el desarrollo de estrategias basadas en el control de áreas con abundancia de recursos, hasta ahora, a través del otorgamiento de permisos de exploración y en el futuro cercano, permisos de explotación.

Un tercer elemento de discusión corresponde a la necesidad de presentar al océano y sus recursos mineros como una zona de oportunidad, donde es posible desarrollar la explotación de estos, y el desarrollo es ilimitado (Wong *et al.*, 2022). La narrativa presentada en los resultados que guarda relación con la economía azul, el crecimiento y el cumplimiento de los ODS se vincula a dicho planteamiento, donde el fondo del océano se presenta como una frontera emergente para la economía azul, aspecto basado en argumentos que sostienen que los recursos mineros del fondo del océano podrían ser un motor para el crecimiento económico y una alternativa sostenible para la minería terrestre (Cons & Eilenberg, 2019). Los aspectos asociados al azul dibujan un medio ambiente de las

profundidades del océano como una alternativa más sostenible, amigable y responsable con el medio ambiente marino (Rozwadowski, 2005). Sumado a ello, otro punto relevante que se vislumbra en la discusión sobre la narrativa que asocia la minería submarina de profundidad con la economía azul es cómo se presenta este espacio como un lugar vacío (Tsing, 2005), y que, presenta todos los elementos necesarios para ser explotado, aportando así al crecimiento económico y finalmente, al desarrollo de nuevas estrategias para alcanzar los ODS.

V. CONCLUSIONES

A partir de los resultados expuestos y de la discusión desarrollada en los capítulos anteriores, es posible concluir que, la literatura sobre sustentabilidad en la minería en aguas profundas ha experimentado un crecimiento notable en los últimos años, dando cuenta así de la relevancia actual que posee abordar las diferentes aproximaciones conceptuales referidas a la sustentabilidad en la industria extractiva asociada a la minería submarina de profundidad.

Respecto a la identificación de temas centrales, emergentes y narrativas asociadas a ello presentes en la literatura analizada, es posible concluir la importancia central que posee la sustentabilidad en los estudios sobre minería en aguas profundas. A partir de este núcleo, los temas centrales asociados son la economía circular, la biodiversidad e impacto ambiental, la gobernanza y la economía azul, las que, muestran claramente las tendencias temáticas y aproximaciones que cada uno de ellos desarrolla.

En esta línea, se pudo ver cómo las narrativas asociadas al desarrollo sustentable y la economía circular comprenden la minería submarina de profundidad como una actividad minera, es decir, no toma en cuenta las características del espacio en el cual se extraen los recursos, en este caso, el fondo del océano. Por su parte, el resto de las narrativas asociadas a la biodiversidad, gobernanza y economía azul, se centran en abordar la sustentabilidad en la minería en aguas profundas, posicionando dicha actividad minera en su relación con el océano, en cuanto comprende la extracción de recursos en un contexto espacial que se configura por el fondo del océano y sus minerales, como también, el espacio oceánico.

Así mismo, la lectura de estas narrativas con el lente de la frontera de recursos, y en particular, con las narrativas que subyacen a la creación de frontera de recursos, permitió vincular las narrativas que emergieron del análisis con los elementos que configuran la concepción de frontera de recursos, referidas a la necesidad de explotar otras fuentes de recursos, la necesidad de gobernar, regular y controlar los recursos, y presentar al océano como una zona de oportunidad para la explotación.

Los resultados y discusión presentados anteriormente representan un aporte valioso a la discusión actual, más aún, considerando la contingencia y eventual inicial de la actividad minera en el fondo oceánico. Sin embargo, es importante mencionar que, estos resultados en ningún caso representan la totalidad de lo estudiado sobre minería en aguas profundas, ni mucho menos una forma por la cual se deben analizar las múltiples dimensiones que posee esta actividad. Aquí, es necesario advertir que, tanto los análisis basados en la bibliometría y aquellos de contenido cualitativo sustentados en las narrativas presentes en los discursos, representan una gran oportunidad para conocer y sistematizar el gran número de estudios existentes al respecto, pero también poseen alcances que es importante tener en cuenta al momento de utilizarlos, como por ejemplo sesgos en términos de producción científica, referido a la inclusión de documentos en inglés, indexados en determinadas bases de datos, procesamientos realizados por softwares, y criterios definidos en la estrategia de búsqueda y procesamiento de datos, los que, si bien, se basan en metodologías validadas en otros estudios, también se puede problematizar y cuestionar cómo se genera conocimiento.

En definitiva, este trabajo representa una aproximación sobre cómo la sustentabilidad es abordada en la literatura sobre minería en aguas profundas, y así, contribuir a la comprensión sobre cómo se configuran las fronteras de recursos. Para futuras investigaciones en el tema, este trabajo representa un insumo importante, en cuanto permita discutir, profundizar y problematizar en torno a los conceptos de sustentabilidad, frontera de recursos y minería en aguas profundas.

ORCID ID

Sebastián Rodríguez Leiva  <https://orcid.org/0000-0002-7063-0177>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agusdinata, D., & Liu, W. (2023). Global sustainability of electric vehicles minerals: a critical review of news media. *The Extractive Industries and Society*, 13, 101231. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101231>
- Alvarenga, R., Pr eat, N., Duhayon, C., & Dewulf, J. (2022). Prospective life cycle assessment of metal commodities obtained from deep-sea polymetallic nodules. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129884. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129884>
- Barney, K. (2009). Laos and the making of a 'relational' resource frontier. *Geographical Journal*, 175(2), 146-159. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2009.00323.x>
- Bennett, N. (2019). In Political Seas: engaging with political ecology in the ocean and coastal Environment. *Coastal Management*, 47(1), 67-87. <https://doi.org/10.1080/08920753.2019.1540905>
- Boetius, A., & Haeckel, M. (2018). Mind the seafloor. *Science*, 359, 34-36. <https://doi.org/10.1126/ciencia.aap7301>
- Carver, R., Childs, J., Steinberg, P., Mabon, L., Matsuda, H., Squire, R. ... & Esteban, M. (2020). A critical social perspective on deep sea mining: lessons from the emergent industry in Japan. *Ocean & Coastal Management*, 193, 105242. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105242>
- Childs, J. (2022). Geographies of deep-sea mining: a critical review. *The Extractive Industries and Society*, 9, 101044. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101044>
- Christiansen N., Daewel U., Djath B., & Corinna, S. (2022). Emergence of Large-Scale hydrodynamic structures due to atmospheric offshore wind farm wakes. *Frontiers in Marine Science*, 8, 818501. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.818501>
- Cons, J., & Eilenberg, M. (2019). *Frontier assemblages: the emergent politics of resource frontiers in Asia*. Wiley.
- Cuyvers, L., Berry, W., Gjerde, K., Thiele, T., & Wilhem, C. (2018). *Deep seabed mining, a rising environmental challenge*. International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.16.en>
- Dancer, H. (2021). People and forests at the legal frontier: introduction. *The Journal of Legal Pluralism and Unofficial Law*, 53(1), 11-20. <https://doi.org/10.1080/07329113.2021.1904579>
- Dankel, D. J., Aasly, K., Cari c, H., Ellefmo, S. L., Gaspers, A., Hixson, R. ... & Cowan, E. (2023). Ocean sectors: case studies of human activity in the Ocean-based economy. In L. E. Fleming, L. B. A. Creencia, W. H. Gerwick, H. C. Gogh, M. O. Gribble, B. Maycock & H. Solo-Gabriele (Eds.), *Oceans and Human Health: opportunities and impacts* (pp. 531-546). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95227-9.00014-2>
- Debert, R., & James, C. B. G. (2024). Self-governance at depth: the international seabed authority and verification culture of the deep-sea mining industry. *Resources Policy*, 89, 104577. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104577>
- Demiris, G., Oliver, D. P., & Washington, K. (2020). Keystones in behavioral intervention research in hospice and palliative care (RP502). *Journal of Pain and Symptom Management*, 60(1), 229-230. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2020.04.094>
- Dominish, E., Florin, N., & Teske, S. (2019). Responsible minerals sourcing for renewable energy. Institute for Sustainable Futures, University of Technology Sydney. <https://earthworks.org/wp-content/uploads/2019/04/Responsible-minerals-sourcing-for-renewable-energy-MCEC-UTS-Earthworks-Report.pdf>
- Eck, N. J. & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Filho, W., Price, E., Wall, T., Shiel, C., Azeiteiro, U. M., Mifsud, M. ... & LeVasseur, T. J. (2021). COVID-19: the impact of a global crisis on sustainable development teaching. *Environment, Development and Sustainability*, 23(8), 11257-11278. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01107-z>
- Germond-Duret, C. (2022). Framing the blue economy: placelessness, development and sustainability. *Development and Change*, 53(2), 308-334. <https://doi.org/10.1111/dech.12703>
- Hallgren, A., & Hansson, A. (2021). Conflicting Narratives of Deep-Sea Mining. *Sustainability*, 13(9), 5261. <https://doi.org/10.3390/su13095261>
- Hein, J. R., Mizell, K., Koschinsky, A., & Conrad, T. A. (2013). Deep-ocean mineral deposits as a source of critical metals for high-and green-technology applications: comparison with land-based resources. *Ore Geology Reviews*, 51, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.12.001>

- Hyman, J., Rodney, A., Stewart, Sahin, O., Clarke, M., & Clark, M. (2022). Visioning a framework for effective environmental management of deep-sea polymetallic nodule mining: drivers, barriers, and enablers. *Journal of Cleaner Production*, 337, 130487. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130487>
- JaeckeL, A., Ardron, J. A., & Gjerde, K. M. (2016). Sharing benefits of the common heritage of mankind: is the deep seabed mining regime ready? *Marine Policy*, 70, 198-204. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.03.009>
- Koschinsky, A., Heinrich, L., Boehnke, K., Cohrs J., Markus, T., Shani, M. ... Werner, W. (2018). Deep-sea mining: interdisciplinary research on potential environmental, legal, economic, and societal implications. *Integrated Environmental Assessment Management*. 14(6), 672-691. <https://doi.org/10.1002/ieam.4071>
- Liu, N., Xu, Z. y Skare, M. (2021).The research on COVID-19 and economy from 2019 to 2020: analysis from the perspective of bibliometrics. *Economía Copernicana*, 12 (2), 217-268. <https://doi.org/10.24136/oc.2021.009>
- Lodge, M. W., & Veerlaan, P. A. (2018). Deep-Sea Mining: international regulatory challenges and responses. *Elements*, 14(5), 331-336. <https://doi.org/10.2138/gselements.14.5.331>
- Miller, K. A., Brigden, K., Santillo, D., Currie, D., Johnston, P., & Thompson, K. F. (2021). Challenging the need for deep seabed mining from the perspective of metal demand, biodiversity, ecosystems services, and benefit sharing. *Frontiers in Marine Science*, 8, 706161. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.706161>
- Niner, H. J., Barut, N. C., Baum, T., Diz, D., Pozo, D. L., Laing, S. ... Rees, S. (2022). Issues of context, capacity and scale: essential conditions and missing links for a sustainable blue economy. *Environmental Science & Policy*, 130, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.001>
- Novaglio, C., Bax, N., Boschetti, F., Emad, G. R., Frusher, S., Liam, F. ... Fulton, E. A. (2022). Deep aspirations: towards a sustainable offshore Blue Economy. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 32(1), 209-230. <https://doi.org/10.1007/s11160-020-09628-6>
- Radziejewska, T., Mianowicz, K., & Abramowski, T. (2022). Natural Variability Versus Anthropogenic Impacts on Deep-Sea Ecosystems of Importance for Deep-Sea Mining. In R. Sharma (Eds.), *Perspectives on Deep-Sea Mining* (pp. 281-311). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87982-2_11
- Rozwadowski, H. M. (2005). *Fathoming the ocean: the discovery and exploration of the deep sea*. Harvard University Press. <https://www.amazon.com/Fathoming-Ocean-Discovery-Exploration-Deep/dp/0674027566>
- Putten, E. I., Aswani, S., Boonstra, W. J., Cruz-Modino, R., Das, J., Glaser, M. ... & Vave, R. (2023). History matters: societal acceptance of deep-sea mining and incipient conflicts in Papua New Guinea. *Maritime Studies*, 22(3), 32. <https://doi.org/10.1007/s40152-023-00318-0>
- Sharifi, A., & Khavarian-Garmsir, A. R. (2020). The COVID-19 pandemic: impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. *Science of the total environment*, 749, 142391. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142391>
- Tilot, V., Willaert, K., Guilloux, B., Chen, W., Mulalap, C. Y., Gaulme, F. ... & 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. *Frontiers in Marine Science*, 8, 637938. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.637938>
- Tsing, A. L. (2005). *Frontiers of Capitalism* (pp. 27-50). Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt7s1xk.6>
- Verma, S. & Gustafsson, A. (2020). Investigating the emerging COVID-19 research trends in the field of business and management: a bibliometric analysis approach. *Journal of Business Research*, 118, 253-261. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.06.057>
- Zaar, M.-H. (2024). La geopolítica del carbono cero y el papel de los minerales críticos en la transición energética [The geopolitics of zero carbon and the role of critical minerals in the energy transition]. *Ar@cne: Revista electrónica de recursos en internet sobre geografía y ciencias sociales* [Ar@cne: Electronic magazine of internet resources on geography and social sciences], 28(290), 1-29. <https://revistes.ub.edu/index.php/aracne/article/view/46680/41709>
- Wong, G. Y., Holm, M., Pietarinen, N., Ville, A. & Brockhaus, M. (2022). The making of resource frontier spaces in the Congo Basin and Southeast Asia: a critical analysis of narratives, actors and drivers in the scientific literature. *World Development Perspectives*, 27, 100451. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2022.100451>