



El transporte marítimo y su impacto en la sostenibilidad: revisión de la bibliografía*

María Isabel Guerrero Molina^a ■ Jineth Victoria Álvarez Patiño^b

Resumen: Esta investigación pretende analizar la revisión bibliográfica sobre el transporte marítimo (TM) y su impacto en la sostenibilidad, para minimizar las emisiones de gases tóxicos en Latinoamérica. Para lograrlo se eligió la base de datos Scopus para realizar la búsqueda de la producción científica registrada en los últimos 20 años, utilizando herramientas bibliométricas, y con apoyo del *software* Rstudio se construyó el análisis de red de la disciplina. El tipo de investigación es cuantitativa y se expone por medio de dos etapas la estructura actual de conocimiento del tema, presentando los países, las revistas, los autores y la producción más significativa; posteriormente se identifican tres clústeres o perspectivas de investigación que serán tendencia de estudio dentro de la disciplina, como la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental, las tecnologías en desarrollo para la descarbonización del TM y, finalmente, el impacto ambiental de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un futuro sostenible. Los resultados afirman la relevancia que tiene el TM para el comercio internacional, dejando una marca significativa en la sostenibilidad y el medio ambiente. Se concluye que la implementación de tecnologías de propulsión más limpias, el uso de combustibles más sostenibles y la mejora de la eficiencia energética de los barcos mantiene a la industria del TM como responsable de una gran cantidad de emisiones de gases tóxicos, como el CO₂, NO₂ y el S, que contribuyen al cambio climático y a la contaminación atmosférica.

Palabras clave: buque; calentamiento de la tierra; desarrollo sostenible; efecto invernadero; transporte marítimo

* Artículo de revisión de literatura. Financiación: Universidad Católica Luis Amigó. Medellín, Colombia

a Ph. D. en Administración Gerencial, magíster en Negocios Internacionales, especialista en Mercadeo y administradora de Empresas. Universidad Católica Luis Amigó.

Correo electrónico: maria.guerrero@amigo.edu.co

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8792-0832>

b Negociadora internacional. Universidad Católica Luis Amigó.

Correo electrónico: jineth.alvarezpa@amigo.edu.co

ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-3324-591X>

Recibido: 26/05/2023. **Aceptado:** 09/02/2024. **Disponible en línea:** 30/06/2024.

Cómo citar: Guerrero Molina, M. I., & Álvarez Patiño, J. V. El transporte marítimo y su impacto en la sostenibilidad: revisión de la bibliografía. *Revista De Relaciones Internacionales, Estrategia Y Seguridad*, 19(1), 47-66. <https://doi.org/10.18359/ries.6764>

Maritime Transportation and its Impact on Sustainability: A Review of the Literature

Abstract: This research aims to analyze the literature review on maritime transportation (MT) and its impact on sustainability, to minimize the emissions of toxic gases in Latin America. To achieve this, the Scopus database was chosen to search for scientific production registered in the last 20 years, using bibliometric tools, and with the support of Rstudio software, the network analysis of the discipline was constructed. The research type is quantitative and the current knowledge structure of the topic is presented through two stages, presenting the countries, journals, authors, and the most significant production; subsequently, three clusters or research perspectives that will be trends in the discipline are identified, such as energy efficiency and environmental sustainability, technologies under development for the decarbonization of MT, and finally, the environmental impact of greenhouse gas emissions (GHG) in a sustainable future. The results affirm the relevance of MT for international trade, leaving a significant mark on sustainability and the environment. It is concluded that the implementation of cleaner propulsion technologies, the use of more sustainable fuels, and the improvement of energy efficiency of ships keep the MT industry responsible for a large amount of emissions of toxic gases, such as CO₂, NO₂, and S, which contribute to climate change and air pollution.

Keywords: Ship; Global Warming; Sustainable Development; Greenhouse Effect; Maritime Transportation

O transporte marítimo e seu impacto na sustentabilidade: uma revisão bibliográfica

Resumo: Esta pesquisa tem como objetivo analisar a revisão bibliográfica sobre o transporte marítimo (TM) e seu impacto na sustentabilidade, visando minimizar as emissões de gases tóxicos na América Latina. Para alcançar este objetivo, a base de dados Scopus foi selecionada para realizar a busca da produção científica registrada nos últimos 20 anos, utilizando ferramentas bibliométricas, e com o suporte do software Rstudio foi elaborada uma análise de rede da disciplina. O tipo de pesquisa é quantitativo e a estrutura atual do conhecimento sobre o tema é apresentada em duas etapas, destacando os países, revistas, autores e produção mais significativa; posteriormente, três clusters ou perspectivas de pesquisa que serão tendência de estudo dentro da disciplina são identificados, como eficiência energética e sustentabilidade ambiental, tecnologias em desenvolvimento para a descarbonização do TM e, por fim, o impacto ambiental das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em um futuro sustentável. Os resultados afirmam a relevância que o TM tem para o comércio internacional, deixando uma marca significativa na sustentabilidade e no meio ambiente. Conclui-se que a implementação de tecnologias de propulsão mais limpas, o uso de combustíveis mais sustentáveis e a melhoria da eficiência energética dos navios mantêm a indústria do TM como responsável por uma grande quantidade de emissões de gases tóxicos, como CO₂, NO₂ e S, que contribuem para as mudanças climáticas e a poluição atmosférica.

Palavras-chave: navio; aquecimento global; desenvolvimento sustentável; efeito estufa; transporte marítimo

Introducción

La implementación en el transporte marítimo (TM) de los sistemas energéticos inteligentes permite generar mayor eficiencia en sus procesos y alcanzar un manejo sustentable de los recursos, es un paso hacia las energías renovables (Mimica *et al.*, 2022), se integra a estrategias para resolver las dificultades actuales, respecto al crecimiento del mercado marítimo, acrecienta la eficiencia energética y analiza los retos presentes con el cambio climático.

Una de las prácticas vinculadas es el *cold ironing*, un término utilizado en el sector del TM y se refiere a la práctica de conectar los buques en puerto a una fuente de energía en tierra, en lugar de depender de sus propios motores para generar electricidad. Por otra parte, Barberi *et al.*, (2022) y Remyha *et al.*, (2023) afirman que con el uso de estas prácticas se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) perjudiciales para el medio ambiente, generados por el TM. Los estudios realizados demuestran su efectividad, de esta manera se reduce la emisión de gases de escape y el sonido producido por los motores del barco, lo cual tiene un impacto positivo en el medio ambiente y en la calidad de vida de las personas que viven cerca de los puertos.

El problema que se aborda en esta investigación responde a la escasa literatura que se cuenta sobre el TM y el impacto ambiental en la sostenibilidad, los GEI, los compuestos orgánicos volátiles (COV), el material particulado (MP), los haluros, aerosoles y otros, comprendiendo la sostenibilidad desde la eficiencia en la protección del medio ambiente en las operaciones portuarias y los recursos disponibles utilizados (Rodríguez *et al.* 2023; Serrano *et al.* 2021).

En el último estudio realizado por Melnyk *et al.* (2024), afirman que el compromiso que tienen los países para alcanzar la neutralidad climática, por ejemplo, con la reducción de los GEI a 2050 por medio de la transformación de los combustibles fósiles utilizados en el TM y la utilización de tecnologías que permitan ser usadas con combustibles alternativos, que contengan en menor medida el azufre, y la inclusión de energía eficiente.

La energía en tierra puede ser generada por diferentes fuentes, como centrales térmicas, eólicas, solares e hidroeléctricas, entre otras, suministrada a través de un cable de alimentación conectado al barco. La implementación de sistemas de *cold ironing* gana popularidad en los diferentes puertos a nivel mundial, como una medida esencial para reducir las emisiones de GEI en la industria del TM y cumplir así con las regulaciones y normativas ambientales, las cuales cada vez son más rigurosas e inflexibles para preservar el ambiente (Pérez, 2014). El TM se ha desarrollado ampliamente y desde la pandemia de la covid-19 ha enfocado sus procesos en la sostenibilidad y protección del medio ambiente (Giuffrida *et al.*, 2023), por eso, el uso de biocombustibles es vital para descarbonizarlo y desacelerar los efectos del cambio climático global (CCG) (Watanabe *et al.*, 2022).

La tecnología digital y el CCG es el insumo para la gobernanza de la industria marítima (Stopford, 2022). La pandemia de la covid-19 trajo grandes enseñanzas al TM y las políticas gubernamentales, evidenció los problemas, permitió crear soluciones y se preparó para las dinámicas de mercado (Merck *et al.*, 2022).

El impacto ambiental generado por el TM contribuye significativamente al CCG; el uso de información que permita comparar las mejores alternativas para minimizar los daños (Altarriba *et al.*, 2022) demanda compromiso y apoyo de los actores vinculados a la industria.

La promoción de la inclusión de tecnología en puertos para usar combustibles amigables con el ambiente y elevar el rendimiento del transporte de carga con bajas emisiones de carbono y suministro de combustible (Smith y Mastorakos, 2023), contribuye significativamente a aminorar la huella de carbono del TM y permite mitigar el CCG, por tal motivo Xing *et al.*, (2022) y Gu y Liu (2023) afirman que “el sistema judicial marítimo independiente de China está satisfaciendo la demanda de desarrollar una especialización ambiental, permitiendo una mayor explotación de su profesión en la resolución de casos ambientales marítimos y la implementación de la legislación ambiental”, logrando un TM más resiliente y solucionando de manera

práctica las disrupciones inesperadas causadas por la pandemia de la covid-19.

Atendiendo a estas consideraciones, la información recolectada para esta investigación fue por medio de la base de datos de Scopus, la revisión realizada arrojó 28 registros. Es importante destacar que la selección de los artículos se realizó de manera rigurosa y objetiva, para asegurar que los resultados obtenidos fueran precisos y confiables. Se depuró la información obtenida y 17 artículos fueron descartados por estar orientados a otras disciplinas como historia, seguridad, derecho, geografía, economía y aspectos políticos.

De este modo, los once documentos restantes se enfocaron en estudios relacionados, en 2023; se publicó una revisión de literatura orientada a evaluar el TM, para la que se utilizó el análisis bibliométrico, de redes y sistemático en 77 artículos científicos; en conjunto, este enfoque metodológico puede proporcionar una base sólida para el desarrollo de políticas y prácticas más sostenibles en esta industria (Mondello *et al.*, 2023).

En el año 2022 se publicaron dos de estos artículos; el primero evidencia el conocimiento de China sobre el medio ambiente marino; la síntesis del paradigma chino del Estado de derecho para la gobernanza ambiental marina puede proporcionar una base sólida para el desarrollo de políticas más certeras en la gestión que se realiza en pro de la conservación del medio ambiente marino (Xing *et al.*, 2022); el segundo se concentró en la digitalización en el TM, y fue realizado mediante análisis bibliométrico, en el que se encontraron 8178 publicaciones y se analizaron 280 artículos (Jović *et al.*, 2022).

En el 2020 se presenta una revisión que determina los 20 impactos positivos y los 20 desafíos presentes en el intercambio de información basados en el potencial de *blockchain* para mejorar la sostenibilidad del TM como medio más eficiente y transparente (Jović *et al.*, 2020).

Por otra parte, en 2018, se publicaron dos artículos; el primero utilizó las revisiones sistemáticas en pro de la implementación de las futuras tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) avanzadas en el TM; podría ser una herramienta útil para comprender las implicaciones de estas

tecnologías en la industria y para identificar los desafíos y oportunidades asociados con su implementación en el sector (Bălan, 2018).

El segundo estudio se enfocó en la conferencia International Association of Maritime Economists (IAME por sus siglas en inglés), una plataforma para discutir y analizar los desafíos y beneficios que enfrenta el sector marítimo; se centra en ejecutar acciones estratégicas capaces de revertir las amenazas presentes, aumentando la eficiencia del mercado y el rendimiento medioambiental de la logística relacionada con la industria marítima (Duru *et al.*, 2018).

En el periodo comprendido entre el 2006 y el 2015 se publicaron cinco artículos; el primero estuvo orientado al análisis del uso del método combinado Delphi y Analytic Hierarchy Process (AHP) en la investigación del TM; puede proporcionar información valiosa sobre las ventajas y limitaciones de esta técnica para abordar problemas complejos en la industria marítima, mediante la revisión de la literatura en la investigación del este transporte (Arof, 2015).

El segundo artículo se concentró en conocer el impacto de las emisiones del TM en la calidad del aire costero en Europa; realizó una revisión exhaustiva de literatura y proporcionó información valiosa para entender el problema y abordarlo de manera efectiva (Viana *et al.*, 2014).

El tercero de ellos afirmó que el objetivo de la Unión Europea (UE) es garantizar una movilidad sostenible y aplicar el cambio del transporte de mercancías terrestre, al transporte ferroviario y marítimo (Novo y González, 2009), seguido del TM que impulsa la Globalización como una tendencia de la economía mundial (Komadina *et al.*, 2006); finalmente, Wilmsmeier *et al.* (2006) realizaron un diagnóstico de los costos involucrados en el TM, basados en 75 928 observaciones, en las que recopilan la información de las mercancías containerizadas en las rutas de comercio intralatinoamericano en el año 2002; afirmaron que es relevante que los puertos cuenten con infraestructura y servicios adecuados para optimizar la eficiencia en la operación y, por ende, reducir los costos vinculados al TM; de acuerdo con las revisiones realizadas, no se encontró un estudio que incluya el proceso bibliométrico, como el que se propone en

esta investigación orientada a proporcionar información sobre las diferentes tendencias y elementos necesarios para reducir las emisiones de GEI en el TM y su impacto en la sostenibilidad, es decir, cuidar el presente en todos los aspectos, para evitar dificultades sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras. Estas revisiones permitieron establecer la pregunta orientadora del estudio: ¿cuál es el impacto del TM en la sostenibilidad?

El método que se utilizó para resolver el cuestionamiento fue un mapeo científico apoyado con el *software* RStudio y se aplicaron técnicas con herramientas bibliométricas como Bibliometrix, basadas en los registros de la base de datos Scopus; con ello se plantea la red de cocitaciones entre autores y la cocreación de palabras, además, permitió elaborar la agenda de estudios futuros sobre la temática analizada.

La investigación estudia la sostenibilidad en el TM, presenta la relevancia del tema como actual y permanente en el tiempo, por el sector que impacta; asimismo, la temática, al relacionarse con la inclusión de nuevas tecnologías, permite (Orosa, 2023) que la industria y las empresas a nivel global estén a la vanguardia con todos los avances que se estén generando alrededor de la búsqueda de beneficios por medio de estudios como este.

La estructura del artículo se organizó en cuatro partes. En la primera se describe la metodología utilizada para la recolección y procesamiento de la información; posterior a esto se muestra el análisis bibliométrico; en la tercera parte se presenta la red social del tema y las tendencias emergentes de investigación identificadas. Por último, en la cuarta sección se exponen las conclusiones obtenidas, junto con las recomendaciones para investigaciones futuras.

Metodología

El estudio contó con la elaboración de un mapeo científico del tema de estudio y se planteó la investigación en dos etapas. En la primera, se muestra la estructura actual del tema analizado, se elige Scopus, por ser una de las bases de datos principales en las que se pueden encontrar los registros de la literatura científica; esta herramienta permite

identificar datos de calidad y es avalada por la comunidad científica.

En la recolección de información y registros no se incluye otra base de datos diferente a Scopus; esto pudo ocasionar que fuentes relevantes no fueran citadas o tenidas en cuenta dentro de los análisis realizados.

Se determina, entonces, la exposición de la producción más significativa desde el año 2000 hasta 2023, periodo que permite realizar un análisis profundo del tema estudiado. Después, con los registros obtenidos de Scopus, se utilizó la herramienta bibliométrica Bibliometrix; este análisis fue realizado en dos fases: el primero, permitió obtener información bibliométrica, detallando la producción de contenido y las publicaciones más relevantes, así como la periodicidad de la misma, los países que han participado y los autores; todo esto fundamentado en la propuesta de Zupic y Carter (2015). Luego se presentó el análisis de cocitación, que visualiza las relaciones entre los documentos en un campo de estudio. Estos mapas pueden ser útiles para identificar las áreas de investigación más activas y las interconexiones entre ellas (Small, 1973). Con los resultados obtenidos se propone el diseño de la agenda de futuras investigaciones, así como lo exponen Gurzki y Woisetschláger, 2017; Kuntner y Teichert, 2016; Shafique, 2013 y Zuschke, 2020.

Tabla 1. Método de búsqueda

Datos	Scopus
Periodo	2000-2023
Fecha	23 de febrero de 2023
Campos de búsqueda	Título, resumen y palabras clave
Términos de búsqueda	("maritime transport")
Resultados	546

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 1 se detalla el método de búsqueda utilizado en Scopus; la búsqueda muestra 546 registros que coinciden con los criterios especificados, lo que indica que hay una cantidad significativa de literatura científica disponible y publicada en el campo de interés. La realización de un análisis

bibliométrico cuantitativo propuesto por Pizzi *et al.* (2020) proporciona información valiosa sobre la evolución del sector relacionado con el TM, incluidos los temas de sostenibilidad y la mitigación del impacto negativo en el medio ambiente.

En el paquete Rstudio se encuentra la herramienta Bibliometrix, creada por Aria y Cuccurullo (2017), y se utiliza para proporcionar un conjunto de recursos para la investigación cuantitativa en el campo de los estudios cuantitativos y bibliométricos. La preferencia por esta herramienta se debe a su accesibilidad para cualquier investigador interesado en realizar estudios bibliométricos, es de código abierto y gratuito, permite comparar diferentes temáticas, autores, instituciones y países, lo que ayuda a identificar tendencias y patrones. Para el análisis bibliométrico se utilizó la herramienta Bibliometrix, la cual ha sido mencionada en varios estudios y artículos científicos (Zhang *et al.* 2023; Hurtado y Ortiz, 2022; Aria *et al.*, 2017; Molina *et al.*, 2022, Guerrero *et al.*, 2022; Bond *et al.*, 2019; Demiroz y Haase, 2019, y Merediz y Bariviera, 2019) y se puede replicar la metodología en las diferentes disciplinas del conocimiento.

Lo anterior se desarrolla con una herramienta llamada Gephi, un *software* de visualización y análisis de redes especialmente diseñado para analizar y visualizar redes complejas, como las redes sociales, las redes de cocitación y las redes de colaboración científica; tiene la capacidad de cargar y procesar grandes conjuntos de datos de redes, la facilidad de integrarse con otros programas y herramientas, la posibilidad de aplicar diferentes diseños y estilos visuales para personalizar los gráficos, y la amplia gama de algoritmos de análisis de redes que se pueden ejecutar directamente desde la plataforma (Gracia, 2014). Esta herramienta ha sido utilizada en estudios anteriores (Caliandro, 2016; Cheng, 2016; Fahimnia *et al.*, 2015, y Kamble *et al.*, 2018).

Para este estudio se utilizaron los algoritmos propuestos por Bibliometrix, que permitieron obtener los registros para presentar el número de

publicaciones, revistas, autores e instituciones que apoyan la investigación sobre el tema estudiado, los cuales se presentan en el apartado de resultados.

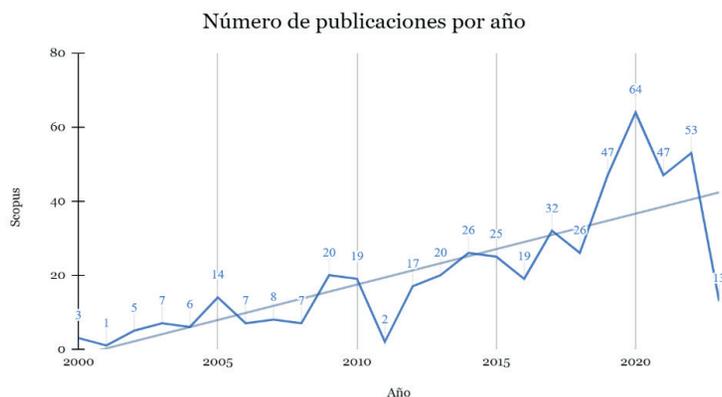
Posterior a la obtención de los resultados se construyó una red de temáticas, las cuales se identifican por medio de un análisis de las perspectivas, como elementos emergentes de conocimiento; para este trabajo se propone una agenda futura de estudios en la que se presentan las tendencias de investigación que pueden ser retomadas para avanzar en la temática analizada.

Resultados

Con el fin de mostrar el progreso y la evolución del TM, se hizo un análisis del número de publicaciones por año encontradas en Scopus, que aparecen en la figura 1; del año 2000 al 2010 fueron publicados 97 artículos; del 2011 al 2020 el número aumentó significativamente, con 278 artículos; entre el 2021 y el 2023 se encuentran 113 publicaciones; el tema es de gran importancia y su investigación sigue vigente; estos resultados duplican las publicaciones de 10 años en la mitad del tiempo. Del 2000 al 2008 se publicaron 58 artículos, y en el 2009 fueron 20.

La tabla 2 muestra la distribución de registros en diversas revistas científicas. Se presenta una tabla con información sobre el número de registros y el porcentaje del total correspondiente a cada una de las revistas científicas enlistadas, así como algunos datos relevantes, como el indicador SJR 2021, el cuartil SJR, el H index (SJR) y el país de origen de cada publicación. Las revistas con mayor número de registros son Maritime Policy and Management con 22 (4,73 % del total), Sustainability Switzerland con 15 (3,23 % del total) y Maritime Economics and Logistics con 12 (2,58 % del total). Además, se proporciona información sobre el cuartil SJR y el H index (SJR) para cada publicación, y se observa que Maritime Policy tiene el mayor H index registrado (104). También se puede ver que Transportation Research Procedia aún no tiene asignado un cuartil SJR 2022.

Figura 1. Número de publicaciones por año



Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Principales publicaciones en revistas de alto impacto

Fuente	Número de registros	% del total	SJR 2021	Cuartile SJR	H index (SJR)	País
Maritime Policy and Management	22	4,03 %	01,07	Q2	61	Reino Unido
Sustainability Switzerland	15	2,75 %	0,400	Q3	11	Singapur
Maritime Economics and Logistics	12	2,20 %	0,780	Q2	55	Reino Unido
Marine Policy	10	1,83 %	1,170	Q1	104	Reino Unido
Journal of Maritime Research	8	1,47 %	0,130	Q4	9	Reino Unido
Transnav	8	1,47 %	0,270	Q3	8	Polonia
Wit Transactions on The Built Environment	7	1,28 %	0,180	Q4	25	Reino Unido
Wmu Journal of Maritime Affairs	7	1,28 %	0,450	Q3	22	Alemania
Pomorstvo	6	1,10 %	0,260	Q3	10	Croacia
Transportation Research Procedia	6	1,10 %	0,500	Sin asignación	51	Países Bajos

Fuente: elaboración propia.

La tabla 3 muestra una lista de 10 autores y su desempeño en términos de publicaciones de alto impacto, el número de citaciones registradas y el índice H; este último es una medida de la productividad y el impacto de un autor, que tiene en cuenta tanto el número de divulgaciones y el número de veces que esas publicaciones han sido citadas por otros autores.

En esta lista, el autor con el índice H más alto es el profesor Harilaos N. Psaraftis, de la Technical

University of Denmark, en Dinamarca, con 50 citas y seis publicaciones. Le sigue el profesor asistente Kum Fai Yuen, de Nanyang Technological University, en Singapur, con un índice H de 41 y cinco publicaciones. Estos dos autores tienen un mayor impacto en su campo, debido a su alto número de publicaciones y citaciones. Mientras que Juan Ignacio Alcaide, profesor de la Universidad de Cádiz, en España, tiene cinco publicaciones y el índice H más bajo de la lista, con solo siete citas.

Tabla 3. Principales autores

	Autor	Número de publicaciones	Número de citas	Índice h
1	Wilmsmeier, Gordon	9	1621	30
2	Monios, Jason	6	1663	32
3	Psarftis, Harilaos N.	6	5508	50
4	Tijan, Edvard	6	496	14
5	Alcaide, Juan Ignacio	5	94	7
6	Hoffmann, Jan	5	563	24
7	Jović, Marija	5	160	7
8	Thai, Vinh V.	5	2131	38
9	Yuen, Kum Fai	5	3459	41
10	Abramowicz-Gerigk, Teresa	5	117	10

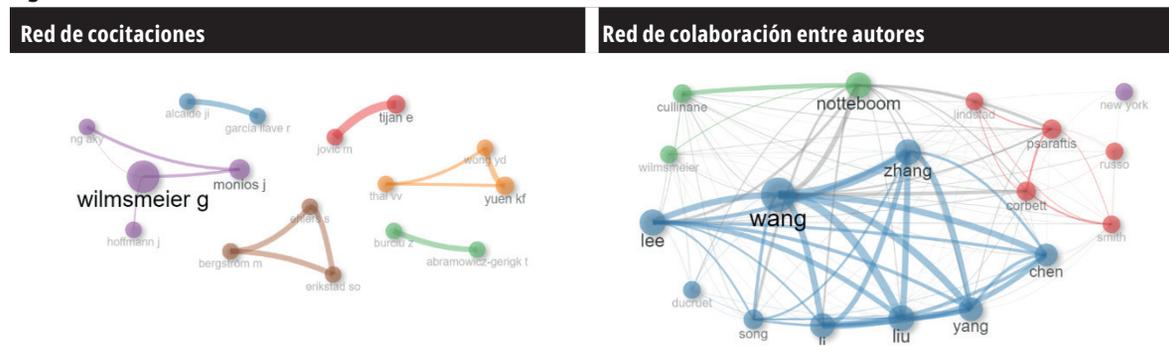
Fuente: elaboración propia.

Es relevante tener en cuenta que esta lista es solo una instantánea en el tiempo y que el desempeño de los autores puede cambiar a medida que publican más trabajos y reciben más citas.

En las figuras 2 y 3 se presenta el análisis de co-citación, el cual se basa en la premisa de que cuando dos o más documentos son citados juntos en un tercer trabajo posterior, existe una similitud temática entre ellos, según la perspectiva del autor que los cita. A la mayor frecuencia que sean cocitados,

mayor será la afinidad entre ellos. La intensidad de esta relación se mide por la cantidad de documentos que citan el mismo par de documentos. Además, si dos documentos son cocitados con frecuencia, también serán citados de la misma manera. En la figura 2 se encuentra la red de cocitaciones, seguida de la figura 3, en la que se presenta la red de colaboración entre autores. Se utilizó la herramienta Bibliometrix para su generación. Los autores son representados por nodos y se muestran los más referenciados.

Figura 2. Redes de autores más referenciados



Fuente: elaboración propia.

Entre los autores más destacados se encuentra Gordon Wilmsmeier (2021), profesor de la Universidad de los Andes, de Bogotá, Colombia; su producción ha permitido aportar al conocimiento de diferentes disciplinas orientadas al transporte y la economía marítima, la eficiencia energética y la geografía del transporte internacional, costos y aspectos económicos; ha producido artículos de alto impacto, publicaciones institucionales y capítulos de libros.

Entre sus principales aportes se destacan: *The Impact of Port Characteristics on International Maritime Transport Costs* (Wilmsmeier et al., 2006); *Deep adaptation to climate change in the maritime transport sector—a new paradigm for maritime economics?* (Monios y Wilmsmeier, 2020) y *Geographies of maritime transport* (Monios y Wilmsmeier, 2020); los últimos los elaboró en coautoría con el doctor Jason Monios, profesor de Logística Marítima, en Kedge Business School, de Marsella, Francia. Su investigación gira en torno a tres áreas clave: el TM, el transporte intermodal y la sostenibilidad y las preocupaciones ambientales; está orientado a sostenibilidad marítima, descarbonización y política medioambiental, puertos verdes, adaptación al cambio climático, vehículos autónomos y eléctricos.

Monios se encuentra en la red de cocitaciones como uno de los escritores principales, y en la red de colaboración entre autores; tiene artículos en conjunto con Yuhong Wang, como *Comparación del acceso ferroviario dentro y fuera del sitio para desarrollos de puertos secos: un estudio de referencia en China* (Monios, 2020).

La tabla 4 proporciona información sobre la cantidad de publicaciones y la participación porcentual de varias organizaciones e instituciones en un determinado campo o tema. Además, muestra los países en donde se encuentran estas organizaciones o instituciones.

La Akademia Morska W Gdyni, en Polonia, lidera la lista con el mayor número de publicaciones, con un total de 20, lo que representa el 3,66 % de todas las publicaciones en este campo. La Dalian Maritime University, en China, ocupa el segundo lugar con 12 publicaciones y una participación del 2,20 %. La University of Rijeka y la Faculty of Maritime Studies, en Croacia, también tienen 12 publicaciones cada una y una participación del 2,20 %.

En España, tanto la Universidad de Cádiz como la Universidade da Coruña tienen nueve publicaciones cada una, lo que representa una participación del 1,65 % cada una en el campo de los estudios marítimos.

Tabla 4. Contribución académica de las instituciones de educación superior internacional

Organización o institución	N.º publicaciones	% participación	País
Akademia Morska W Gdyni	20	3,66 %	Polonia
Dalian Maritime University	12	2,20 %	China
University of Rijeka	12	2,20 %	Croacia
Faculty of Maritime Studies, University of Rijeka	12	2,20 %	Croacia
Universidad de Cádiz	9	1,65 %	España
Universidade da Coruña	9	1,65 %	España

Fuente: elaboración propia.

Estos datos sugieren que la investigación científica y académica se lleva a cabo en muchos países y regiones diferentes. Si bien algunos países tienen más publicaciones que otros, cada uno hace una contribución única a la producción de conocimiento.

La tabla 5 proporciona información sobre cada país o región, así como el porcentaje que representa en el total de publicaciones registradas. España tiene 51 publicaciones registradas en Scopus, que representan el 9,3 % del total de publicaciones. Polonia tiene 46 publicaciones, un 8,4 % del total. El

Reino Unido tiene 42 publicaciones, el 7,7 % del total, y así sucesivamente en el resto de países o regiones mencionadas en la tabla.

Tabla 5. Listado de países

País/región	Scopus	% del total
España	51	9,3 %
Polonia	46	8,4 %
Reino Unido	42	7,7 %
China	38	7,0 %
Italia	37	6,8 %
Estados Unidos	33	6,0 %
Alemania	29	5,3 %
Francia	28	5,1 %
Croacia	27	4,9 %
Grecia	25	4,6 %

Fuente: elaboración propia.

Bibliometrix es una herramienta de análisis bibliométrico que permite identificar patrones de colaboración entre países a partir de los registros bibliográficos de los estudios. Una de las formas en que la herramienta identifica las líneas de

colaboración es por medio de la creación de una red de nodos; cada nodo representa un país y las conexiones entre los nodos muestran las colaboraciones entre ellos.

Para determinar las líneas de colaboración entre países, Bibliometrix utiliza un umbral de al menos tres conexiones entre los nodos. Esto significa que solo se consideran las conexiones entre países que han colaborado al menos tres veces en los estudios analizados.

En la figura 3 se presentan tres grupos identificados por colores. El grupo de colaboración más relevante que ha identificado Bibliometrix en color rojo está integrado por España, Polonia y Reino Unido; esto sugiere una fuerte colaboración entre estos tres países; también se encuentran Francia, Alemania e Italia, aunque con una representación más tenue. Además, en color azul, se identifica una fuerte cooperación entre China y los Estados Unidos, y en una tonalidad más clara aparecen Corea, Australia, Turquía y Canadá; esto indica que son grupos que realizan otras colaboraciones entre sí; el tercer grupo está identificado por el color verde, en el que se encuentran Ucrania y Croacia, que tienen una representación baja dentro de la producción mundial.

Figura 3. Red de colaboración entre países



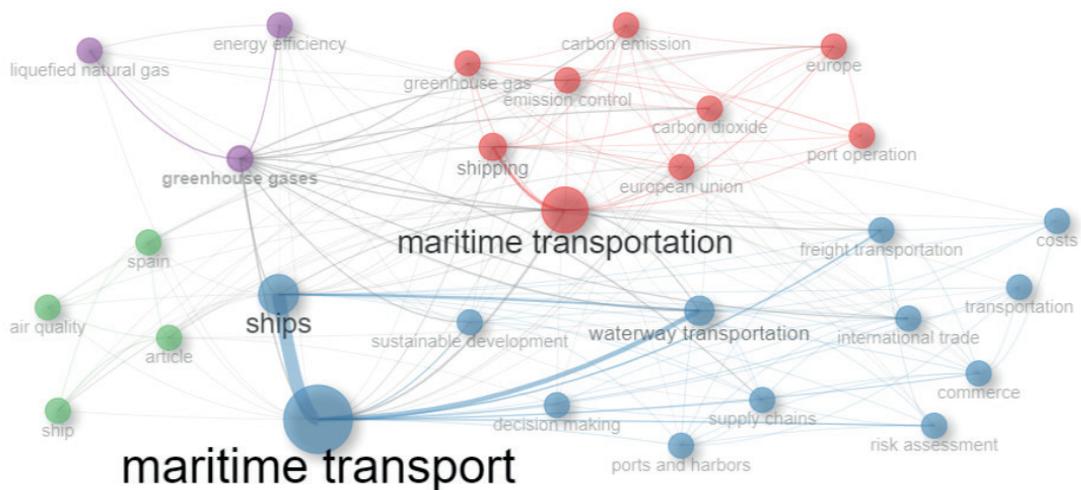
Fuente: elaboración propia.

En un mapa de cocitaciones, cada artículo o estudio es representado por un nodo o punto en el mapa, y las conexiones entre los nodos se dibujan cuando los trabajos son citados juntos en otros estudios. Estas conexiones pueden ser más gruesas o finas según la frecuencia de las citas compartidas, y es una herramienta valiosa para la evaluación del impacto de la investigación; esto permite identificar los estudios más citados y los autores más influyentes en un campo determinado. Además, también puede utilizarse para identificar posibles

colaboraciones entre autores o instituciones que trabajan en áreas similares (Small y Griffith, 1974; Zuluaga *et al.*, 2016).

En la figura 4 se presentan las palabras más representativas del estudio; los nodos más característicos están relacionados con el tema principal de la investigación: maritime transport, maritime transportation, ships y waterway transportation, divididos en cuatro grupos interconectados entre sí por temas relacionados, como greenhouse gases, energy efficient, emission control y sustainable development.

Figura 4. Palabras más representativas dentro de la investigación



Fuente: elaboración propia.

En la segunda parte de la investigación se plantean los clústeres o perspectivas de investigación, los cuales surgen a partir de los resultados presentados antes y basados en la minería de datos obtenida de la revisión realizada en Rstudio (Ohri, 2012). El estudio de cada uno de los autores más influyentes ha planteado sus áreas relevantes de trabajo, además de incluir la descripción de los

temas que abordan y las tendencias de investigaciones relacionadas.

Se recopilan los datos para la definición de las temáticas, las cuales se han denominado perspectivas: eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, tecnologías en desarrollo para la descarbonización del TM e impacto ambiental de las emisiones de GEI en un futuro sostenible.

Tabla 6. Perspectivas o clúster de investigación

Perspectivas		
1	2	3
Eficiencia energética y sostenibilidad ambiental	Tecnologías en desarrollo para la descarbonización del TM	Impacto ambiental de las emisiones de GEI en un futuro sostenible
<p>Burel <i>et al.</i> (2013) Lindstad y Eskeland (2015) Poulsen <i>et al.</i> (2018) Benamara <i>et al.</i> (2019) Işikli <i>et al.</i> (2020) Czermański <i>et al.</i> (2020) Seithe <i>et al.</i> (2020) Rehmatulla y Smith (2020) Farkas <i>et al.</i> (2021) Ampah <i>et al.</i> (2021)</p>	<p>Zhang <i>et al.</i> (2014) Jayasinge <i>et al.</i> (2015) Bistrovic <i>et al.</i> (2017) Markowski y Pielecha (2019) Bosich <i>et al.</i> (2020) Cortez <i>et al.</i> (2021) Watanabe <i>et al.</i> (2022) Groppi <i>et al.</i> (2022) Nepomuceno de Oliveira <i>et al.</i> (2022) Buermann <i>et al.</i> (2022)</p>	<p>Giannopoulos y Aifandopoulou-klimis (2004) Schrooten <i>et al.</i> (2009) Viana <i>et al.</i> (2014) Aps <i>et al.</i> (2015) Villacreses <i>et al.</i> (2017) Nævestad <i>et al.</i> (2019) Psarafitis y Kontovas (2020) Bagoulla y Guillotreau (2020) Viana <i>et al.</i> (2020) Gil y Verdú (2021)</p>

Fuente: elaboración propia.

La tabla 6 identifica las tres perspectivas de investigación; cada una de ellas se describe de acuerdo con la temática abordada; a continuación, se muestran cada una de las tres tendencias de estudio:

Clúster 1. Eficiencia energética y sostenibilidad ambiental

Una temática relevante de la investigación infiere la eficiencia energética y el uso de diferentes combustibles limpios o amigables con el medio ambiente, como aspectos clave para reducir las emisiones de GEI, compuestos orgánicos volátiles (COV), material particulado (MP), haluros y aerosoles, y mejorar la sostenibilidad del TM, la modernización de las flotas actuales, el uso de buques más grandes y la obtención de combustibles con bajas emisiones, son algunas de las prácticas a implementar. Un ejemplo son las rutas marítimas que se programan para el transporte de carga, las cuales deben maximizar los beneficios y optimizar las emisiones dentro de la operación (La Scalia *et al.*, 2023).

Algunos autores destacan la importancia de los GEI, COV, MP, haluros, aerosoles y otros en el TM, entre ellos Burel *et al.* (2013), que con su aporte explican cómo la utilización de gas natural licuado (GNL) como combustible en el TM tiene un gran potencial para mejorar la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental de la industria. A medida que

se implementen más regulaciones de los GEI, se espera que el uso de GNL se convierta en una opción cada vez más atractiva para los armadores, operadores de buques y autoridades portuarias.

Analizan el potencial de los puertos para promover la mejora ambiental en el TM y a lo largo de la cadena global de valor. Se examinan iniciativas voluntarias llevadas a cabo por autoridades portuarias en Europa y América del Norte, y sugieren que los puertos pueden mejorar el desempeño ambiental, incluyendo tecnologías como herramientas para mitigar las emisiones (Poulsen *et al.*, 2018).

La Organización Marítima Internacional (OMI) ha determinado estrategias para mitigar y reducir las emisiones del TM, en las que los combustibles marinos alternativos se ven como una solución viable. Se han realizado estudios para examinar su papel en la descarbonización del sector. El TM es un importante emisor de contaminantes atmosféricos, y se deben combatir estos efectos en la reducción de sus emisiones a favor del cambio climático (Ampah *et al.*, 2021).

Entre las estrategias se plantean tres soluciones para reducir el consumo de energía y las emisiones de CO² en el TM:

- a. Reducir la velocidad, utilizar buques más grandes y adoptar diseños de cascos esbeltos. Las reducciones de velocidad son factibles de inmediato, pero

- requieren más capital para el transporte de carga.
- b. La implementación de buques más grandes y esbeltos exige la renovación de flota y también inversiones en puertos e infraestructura (Lindstad y Eskeland, 2015).
 - c. Otra alternativa es la de los beneficios potenciales de la aplicación de recubrimientos antiincrustantes (AF) en la industria; estos recubrimientos disminuyen la resistencia al avance del buque en términos de eficiencia energética, al disminuir la acumulación de incrustaciones en el casco, lo que a su vez reduce el consumo de combustible y, por lo tanto, las emisiones de GEI (Farkas *et al.*, 2021).

Basado en estas tres soluciones, es relevante mencionar que para el sector del TM, el cual está en constante crecimiento y por ende debe contar con otras disciplinas que permitan darle una visión holística sobre los avances relacionados con la creciente conciencia de la importancia de la sostenibilidad ambiental en el sector del TM, es probable que la demanda de soluciones de eficiencia energética como los AF continúe creciendo.

La Unión Europea busca la descarbonización del sector, se evalúan tecnologías de bajas y cero emisiones y se estiman los costos externos. El TM es clave para el intercambio internacional responsable del 2,5 % de las emisiones mundiales de GEI. Los esfuerzos para reducir su impacto ambiental se centran en el sistema común de transporte, la sostenibilidad, las tecnologías verdes y la reducción de emisiones de carbono (Czermański *et al.*, 2020).

Seithe *et al.* (2020), en su investigación, realizan una evaluación de ciclo de vida del TM en Europa, considerando cuatro tipos de buques con motores duales de hidrofluorolefinas (HFO), que son refrigerantes de cuarta generación y presentan alternativas de bajo potencial de calentamiento atmosférico (PCA), o GNL y cadenas de suministro de combustible alternativos. La extracción de materias primas y la conversión de gases líquidos de temperaturas bajas fueron las etapas más impactantes. La combinación de cadenas de suministro y perfiles operativos permitió una evaluación completa del sistema, mostrando múltiples factores que influyen en el comportamiento ambiental del TM, para establecer estrategias de reducción de emisiones.

Rehmatulla y Smith (2020) analizaron los beneficios que pueden obtener por la eficiencia energética las empresas que alquilan la mayoría de sus buques por un período de tiempo; esto significa que no están directamente expuestas a la fluctuación de los precios de la energía y tienen una mayor adopción de tecnologías de eficiencia energética, en comparación con las empresas que operan buques con contratos de fletamento al contado, es decir, que están directamente expuestas a la señal del precio.

El TM puede contribuir al desarrollo sostenible mediante sistemas seguros, eficientes, bajos en carbono y basados en normas, pero es necesario abordar las prácticas insostenibles. La integración de criterios de sostenibilidad en los procesos de planificación y decisiones de inversión en el sector es esencial para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible promovidos por las Naciones Unidas y el Acuerdo de París, como tratado internacional sobre el cambio climático (Benamara *et al.*, 2019)

Es cierto que el crecimiento de la tecnología y la demanda de energía ha llevado a un incremento en las emisiones de CO² y ha contribuido al CCG. Para abordar este problema, se han adoptado prácticas y sinergias energéticas más limpias, y se han desarrollado formas alternativas de energía, como la implementación de tecnologías en los procesos de extracción, distribución y uso en las operaciones. La adopción de prácticas más limpias en el TM es fundamental para reducir el consumo de combustible y las emisiones de GEI. Los armadores y operadores deben encontrar formas eficientes de ahorrar combustible y controlar algunos factores relacionados con el consumo de combustible para hacer frente a los desafíos y problemas energéticos que enfrentan; la aplicación de modelos estadísticos puede ayudar en este proceso (Işıklı *et al.*, 2020).

Clúster 2. Tecnologías en desarrollo para la descarbonización del TM

La demanda energética actual en todo el mundo se cubre en gran parte con combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas natural. Sin embargo, estos combustibles son responsables de la emisión de una serie de compuestos nocivos a la atmósfera durante su proceso de oxidación,

incluyendo el monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (mezcla de nitrógeno y oxígeno), hidrocarburos y material particulado. Estos componentes son una amenaza para la población y el medio ambiente. Como una solución, Markowski y Pielecha (2019) evalúan el potencial de las pilas de combustible como fuente principal de energía de propulsión en el TM.

Las islas son lugares ideales para probar soluciones innovadoras en el campo de la energía renovable y la sostenibilidad, y pueden servir como modelos para la transición hacia la energía verde en otros lugares. La energía fotovoltaica consiste en “la conversión directa de la energía solar en energía eléctrica” (Hernández, 2011) y es una de las soluciones, seguida por el almacenamiento de energía en baterías y la descarbonización del TM (Gropi *et al.*, 2022).

Aunque se están desarrollando tecnologías de combustibles alternativos como el hidrógeno y el GNL, la mayoría de los buques seguirán utilizando combustibles fósiles en el futuro cercano, debido a la falta de infraestructura adecuada. Por lo tanto, mejorar la eficiencia del combustible mediante tecnologías eléctricas se presenta como una solución prometedora y viable. Un ejemplo de esto es el sistema de propulsión del buque eléctrico híbrido, que puede mejorar significativamente la eficiencia del combustible y, por ende, permite la reducción de las emisiones de GEI (Jayasinge *et al.*, 2015).

Otra alternativa parcial viable y sostenible para esta reducción es el uso de biocombustibles, como el bioaceite de pirólisis rápida (FPBO), en el cual se pueden utilizar residuos agroforestales y a base de celulosa para producir materia prima de manera sostenible, y se pueden resolver problemas de compatibilidad mediante ajustes en el proceso de refinación o modificaciones en el motor (Cortez *et al.*, 2021).

El proyecto Interreg Metro-Sistemas de transporte marítimo respetuosos con el medio ambiente busca mejorar la sostenibilidad medioambiental del TM del norte del Adriático mediante la integración de vehículos eléctricos y la infraestructura de carga inteligente basada en recursos renovables (Bosich *et al.*, 2020); esto, a su vez, permite destacar la importancia del mantenimiento y la optimización de los sistemas de energía en buques para

mejorar su eficiencia energética, así como proporcionar algunas pautas y sistemas específicos para lograrlo y maximizar el uso de los recursos disponibles y reducir costos (Bistrovic *et al.*, 2017).

Los biocombustibles son necesarios para mitigar el impacto climático en el transporte por mar de la UE. Watanabe *et al.* (2022) elaboran un estudio para evaluar el potencial energético de diferentes tipos de biocombustibles a base de residuos agrícolas y forestales en diferentes países europeos, para descarbonizar el TM. El mayor potencial de mitigación de los GEI por año a escala europea se obtiene con el gas natural biosintético y la licuefacción hidrotermal. Entre los biocombustibles libres de carbono, el amoníaco actualmente aporta una mayor mitigación, pero el hidrógeno puede lograr una menor intensidad de los GEI por unidad de energía, con la descarbonización proyectada de las mezclas eléctricas hasta 2050.

La eficiencia del transporte por mar mueve casi el 90 % del comercio mundial de bienes, con fórmulas de eficiencia energética. Destacan los cambios presentes en el tamaño del buque, la velocidad y la potencia del motor, por lo que ahora es más eficiente que otros vehículos y su desarrollo se ha logrado con la innovación tecnológica (Zhang *et al.*, 2014). La importancia de reducir los GEI del sector marítimo para alcanzar el objetivo establecido por la OMI, se enfoca en evaluar la implementación de diferentes decisiones de mitigación, y encuentra que las medidas con costos negativos tienen una tasa de implementación más alta que las de costos positivos (Nepomuceno de Oliveira *et al.*, 2022).

El uso del método de investigación denominado “simuladores de agentes”, comprendido como la manera de resolver desafíos complejos desde una óptica no lineal, también permitirá determinar la inclusión de políticas y lineamientos que puedan reducir con éxito las emisiones de GEI y permitir que la industria sea rentable (Buermann *et al.*, 2022).

Clúster 3. Impacto ambiental de las emisiones de GEI en un futuro sostenible

Viana *et al.* (2014) desarrollaron un estudio para cuantificar el impacto de las emisiones del TM en las zonas costeras de Europa, abarcando

partículas, contaminantes gaseosos y estrategias de mitigación. Se encontró que las emisiones de las embarcaciones marítimas contribuyen de forma significativa a la contaminación del aire. Frente al tema, Schrooten *et al.* (2009) implementaron la metodología para una base de datos integral que calcula emisiones, consumo de energía y factores de emisión. Los resultados contribuyen a estimaciones precisas de emisiones y calidad del aire en ciudades y puertos. La exposición a largo plazo a material particulado del tráfico marítimo resulta en mortalidad prematura y hospitalizaciones cardiovasculares y respiratorias en los habitantes de las ciudades costeras del Mediterráneo. La política de combustibles más limpios puede reducir significativamente esta carga para la salud (Viana *et al.*, 2020).

Mientras que la investigación de Bagoulla y Guillotreau (2020) evalúa las emisiones en un momento en que se están implementando regulaciones más estrictas y rigurosas para reducir las emisiones de azufre de los buques; de acuerdo con los hallazgos, los autores analizaron el papel del transporte marítimo en la economía francesa y su impacto ambiental en la contaminación del aire. La meta es evaluar el estado y las perspectivas de la descarbonización del transporte por mar, centrándose en las emisiones de GEI de los buques. Es por esto que se utiliza una metodología que incluye el análisis del cuarto estudio de los GEI, de la OMI, la evaluación del progreso desde 2018 y la identificación de temas relevantes, como el papel del Pacto Verde Europeo, que tiene como fin proponer y adoptar políticas que transformen el territorio de la UE en una economía moderna en las áreas energética, climática y transporte, entre otras. En general, se concluye que la descarbonización del TM todavía presenta desafíos significativos y no se vislumbra una solución clara en este momento (Psaftis y Kontovas 2020; Giannopoulos *et al.*, 2004).

De acuerdo con los hallazgos de Aps *et al.* (2015), existe la posibilidad de extender los Modelos y procesos teóricos de accidentes de sistemas (STAMP por sus siglas en inglés) a la seguridad ambiental de los sistemas ecosociotécnicos complejos del tráfico marítimo en el Golfo de Finlandia. Los autores proponen el uso de la gestión adaptativa

de los procesos de ordenación del espacio marítimo (OEM) y de la seguridad del sistema para prevenir y reducir los accidentes y daños ambientales en la zona.

Las diferentes evaluaciones que se han realizado sobre el impacto socioambiental indican que los motores eléctricos generan significativamente menos impacto ambiental, no producen emisiones directas de GEI y ocasionan menor contaminación acústica que los motores de combustión interna, lo que sugiere la necesidad de considerar la propulsión eléctrica en el transporte por mar de pequeña escala (Villacreses *et al.*, 2017).

Un ejemplo son los beneficios que ha traído el reemplazo gradual de los motores de los buques a nivel internacional, la disminución de los contaminantes en el medio ambiente y la implementación de las tecnologías limpias permiten abordar la sostenibilidad desde aspectos innovadores a favor del TM (Zanobetti *et al.*, 2023).

El uso de gas natural licuado como combustible en el sector marítimo reduce significativamente las emisiones de CO² y PM, y elimina las emisiones de óxidos de azufre (SOX); esto lo convierte en una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente, en comparación con los combustibles fósiles convencionales (Gil y Verdú, 2021).

Además, la operación en paralelo de un generador de eje con la planta de energía principal en buques y embarcaciones proporciona beneficios significativos en términos de ahorro de combustible, eficiencia, confiabilidad y sostenibilidad ambiental. A pesar de que los sistemas de control automático actuales no permiten esta configuración, Zhilenkov y Kapitonov (2017) demostraron que es posible ahorrar al menos un 10 % de combustible mediante esta práctica.

Conclusiones

La eficiencia energética, la adopción de tecnologías en desarrollo para la descarbonización del TM y la reducción del impacto ambiental de las emisiones de los GEI son aspectos clave para lograr un futuro sostenible en el sector. Estos temas son objeto de investigación y desarrollo en curso, y se espera que sigan evolucionando para abordar los desafíos

ambientales que están promoviendo cambios relevantes en el medio ambiente y por una industria marítima más limpia y sostenible.

La revisión bibliográfica revela que se han realizado progresos significativos en la disminución y mitigación de las emisiones de GEI, COV, MP, háluros, aerosoles y otros en el TM. Si bien existen avances cruciales que han sido empleados y otros que se encuentran en estudio, aún existen desafíos importantes por abordar; desde las perspectivas presentadas en esta investigación, se plantea en la tabla 7 la agenda de futuros estudios. La implementación de regulaciones más estrictas, la adopción de tecnologías limpias, la inclusión de la eficiencia energética y el impulso de la colaboración regional son aspectos clave que pueden contribuir a la minimización de las emisiones de GEI y mejorar la sostenibilidad en el transporte.

El estudio realizado permite identificar tres temáticas principales relacionadas con la sostenibilidad y el transporte por mar: la primera es la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental, enfocada en la mejora de la eficiencia energética en el tráfico marítimo para mitigar, reducir y controlar las emisiones de GEI y menguar el impacto

ambiental; la segunda, las tecnologías en desarrollo para la descarbonización del TM, centrada en el estudio y desarrollo de tecnologías y fuentes de energía alternativas que puedan descarbonizar el transporte marítimo; y tercera, el impacto ambiental de las emisiones de GEI en un futuro sostenible; para lograrlo es crucial reducir estas emisiones y hacer la transición hacia una economía baja en consumo de carbono.

Es evidente que el futuro sostenible depende de la capacidad de la población para disminuir las emisiones de GEI y los efectos con el cambio climático. Esto requiere la colaboración de gobiernos, empresas, comunidades y ciudadanos individuales. Solo con acciones colectivas y decisiones responsables podemos garantizar un entorno saludable y sostenible para las generaciones futuras.

Estas líneas de investigación, al plantearse, permiten presentar la agenda de posibles estudios — tabla 7—, los cuales pueden ser desarrollados en un futuro próximo, dado que permiten la vinculación de otras disciplinas que pueden nutrir y aportar al estudio del TM y la sostenibilidad, además pueden ser exploradas con el fin de profundizar aún más en las temáticas presentadas.

Tabla 7. Agenda de investigación

Perspectiva	Línea	Referencias
Eficiencia energética y sostenibilidad ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Evaluación de tecnologías emergentes para mejorar la eficiencia energética en el TM, como sistemas de propulsión avanzados y sistemas de gestión energética. Análisis de los impactos ambientales de las emisiones del sector marítimo y la relación con la eficiencia energética. Investigación sobre la integración de la eficiencia energética en el diseño y construcción de nuevos buques. 	<p>Işıklı <i>et al.</i> (2020), Benamara <i>et al.</i> (2019), Lindstad <i>et al.</i> (2015).</p>
Tecnologías en desarrollo para la descarbonización del TM	<ul style="list-style-type: none"> Investigación sobre la utilización de biocombustibles sostenibles en el TM y su impacto en la descarbonización. Análisis de las tecnologías de propulsión a gas natural licuado (GNL) y su contribución a la descarbonización del sector marítimo. Estudio de sistemas de almacenamiento de energía aplicables a los buques para impulsar la descarbonización. 	<p>Watanabe <i>et al.</i> (2022), Jayasinge <i>et al.</i> (2015). Groppi <i>et al.</i> (2022).</p>
Impacto ambiental de las emisiones de GEI en un futuro sostenible	<ul style="list-style-type: none"> Investigación sobre la viabilidad y eficacia de tecnologías de propulsión eléctrica en el transporte por mar para reducir las emisiones de carbono. Análisis de las políticas y medidas para promover una transición hacia un tráfico marítimo de bajas emisiones de GEI. 	<p>Villacreses <i>et al.</i> (2017), Viana <i>et al.</i> (2014).</p>

Fuente: elaboración propia.

Referencias

- Altarriba, E., Rahiala, S., Tanhuanpää, T. y Piispa, M. (2022). Developing sustainable shipping and maritime transport: Multi-criteria analysis between emission abatement methods. In *Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies* (pp. 77-84). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003358961-11>
- Ampah, J. D., Yusuf, A. A., Afrane, S., Jin, C. y Liu, H. (2021). Reviewing two decades of cleaner alternative marine fuels: Towards IMO's decarbonization of the maritime transport sector. *Journal of Cleaner Production*, 320, 12 p. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128871>
- Aps, R., Fetissov, M., Goerlandt, F., Helferich, J., Kopti, M. y Kujala, P. (2015). Towards STAMP Based Dynamic Safety Management of Eco-Socio-Technical Maritime Transport System. *Procedia Engineering*, 128, 64-73. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.505>
- Aria, M. y Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Arof, A. M. (2015). The application of a combined Delphi-AHP method in maritime transport research-a review. *Asian Social Science*, 11(23), p. 73. <https://doi.org/10.5539/ass.v11n23p73>
- Arvidsson, A. y Caliendo, A. (2015). Brand Public. *The Journal of Consumer Research*, 42(5), 727-748. <https://doi.org/10.1093/jcr/ucv053>
- Bagoulla, C. y Guillotreau, P. (2020). Maritime transport in the French economy and its impact on air pollution: An input-output analysis. *Marine Policy*, 116, 8 p. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103818>
- Bălan, C. (2018). The disruptive impact of future advanced ICTs on maritime transport: a systematic review. *Supply Chain Management. An International Journal*, 25(2), 157-175. <https://doi.org/10.1108/SCM-03-2018-0133>
- Barberi, S., Campisi, T. y Neduzha, L. (2022). *The role of cold ironing in maritime transport emissions*. International conference of computational methods in sciences and engineering (ICCMSE, 2021). <https://doi.org/10.1063/5.0119881>
- Benamara, H., Hoffmann, J. y Youssef, F. (2019). Maritime Transport: The Sustainability Imperative. In H. N. Psaraftis (Ed.), *Sustainable Shipping: A Cross-Disciplinary View* (pp. 1-31). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04330-8_1
- Bistrovic, N. y Bernecic, D. (2017). *Energy efficiency in maritime transport*. MET: Towards Sustainable, Green and integrated maritime Transport, IAMU, p. 47.
- Bond, M., Zawacki-Richter, O. y Nichols, M. (2019). Revisiting five decades of educational technology research: A content and authorship analysis of the British Journal of Educational Technology. *Journal of the Council for Educational Technology*, 50(1), 12-63. <https://doi.org/10.1111/bjet.12730>
- Bosich, D., Vicenzutti, A. y Sulligoi, G. (2020). *Environment-friendliness in Maritime Transport: Designing Smart Recharging Stations in North Adriatic Sea*. 2020 Fifteenth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), 1-5. <https://doi.org/10.1109/EVER48776.2020.9243138>
- Buermann, J., Georgiev, D., Gerding, E. H., Hill, L., Malik, O., Pop, A., Pun, M., Ramchurn, S. D., Salisbury, E. y Stojanovic, I. (2022). *An Agent-Based Simulator for Maritime Transport Decarbonisation*. Proceedings of the 21st International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, 1890-1892.
- Burel, F., Taccani, R. y Zuliani, N. (2013). Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion. *Energy*, 57, 412-420. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.05.002>
- Cheng, M. (2016). Sharing economy: A review and agenda for future research. *International Journal of Hospitality Management*, 57, 60-70. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2016.06.003>
- Cortez, L., Franco, T. T., Valença, G. y Rosillo-Calle, F. (2021). Perspective Use of Fast Pyrolysis Bio-Oil (FPBO) in Maritime Transport: The Case of Brazil. *Energies*, 14(16), 47-79. <https://doi.org/10.3390/en14164779>
- Czermański, E., Pawłowska, B., Oniszczyk-Jastrząbek, A. y Cirella, G. T. (2020). Decarbonization of Maritime Transport: Analysis of External Costs. *Frontiers in Energy Research*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00028>
- Demiroz, F. y Haase, T. W. (2019). The concept of resilience: a bibliometric analysis of the emergency and disaster management literature. *Local Government Studies*, 45(3), 308-327. <https://doi.org/10.1080/03003930.2018.1541796>
- Duru, O., Lee, J. L. S. y Tei, A. (2018). Special issue IAME 2017 conference Maritime Transport Quality in the Evolving World Trade. *International Journal of Transport Economics*, 3, p. 364. <https://doi.org/10.19272/201806703001>
- Fahimnia, B., Sarkis, J. y Davarzani, H. (2015). Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 162, 101-114. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.003>

- Farkas, A., Degiuli, N., Martić, I. y Vujanović, M. (2021). Greenhouse gas emissions reduction potential by using antifouling coatings in a maritime transport industry. *Journal of Cleaner Production*, 295, pp. 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126428>
- Giannopoulos, G. A. y Aifandopoulou-klimis, G. (2004). Inland Maritime Transport in Greece after the Lifting of the Cabotage and Full Liberalization: A Review. Part I: The Situation “before” and Expected Impacts. *Transport Reviews*, 24(4), 465-483. <https://doi.org/10.1080/0144164042000181699>
- Gil-Lopez, T. y Verdú-Vázquez, A. (2021). Environmental Analysis of the Use of Liquefied Natural Gas in Maritime Transport within the Port Environment. *Sustainability: Science Practice and Policy*, 13(21), 1-14. <https://doi.org/10.3390/su132111989>
- Giuffrida, N., Twrdy, E. y Ignaccolo, M. (2023). Special issue on improving the environmental performances of maritime transport and ports. *APPS. Applied Sciences*, 13(3), 17-30. <https://doi.org/10.3390/app13031730>
- Gracia, L. (2014, September 11). *¿Qué es Gephi?* Un poco de Java. <https://unpocodejava.com/2014/09/11/que-es-gephi/>
- Groppi, D., Nastasi, B. y Prina, M. G. (2022). The ePLAN-optMAC model to plan the decarbonisation of the maritime transport sector of a small island. *Energy*, 254, 124-342. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124342>
- Gu, B. y Liu, J. (2023). A systematic review of resilience in the maritime transport. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/13675567.2023.2165051>
- Guerrero, M. I. y Ramírez, Y. M. (2022). Mapeo científico de la cadena de suministro y aplicación tecnológica en la industria automotriz. *Revista Pensamiento Americano*, 15(30), 1-12. <https://doi.org/10.21803/penamer.15.30.497>
- Guerrero, M., Acevedo, J. F. S. y Giraldo, J. T. (2022). Reflections on Brexit and Migration: Literature Review. *Apuntes del Cenes*, 41(74), 111-139. <https://doi.org/10.19053/01203053.v41.n74.2022.13735>
- Gurzki, H. y Woisetschläger, D. M. (2017). Mapping the luxury research landscape: A bibliometric citation analysis. *Journal of Business Research*, 77, 147-166. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2016.11.009>
- Hernández, S. D. (2011). *La energía solar fotovoltaica*. http://www.aegit.es/res/revistas/Antena166_11_Medioambiente.pdf
- Hurtado, P. D. y Ortiz, D. O. (2022). Perspectivas y tendencias de investigación en emprendimiento social. *Desarrollo Gerencial*, 14(1), 1-26. <https://doi.org/10.17081/dege.14.1.5082>
- Işıklı, E., Aydın, N., Bilgili, L. y Toprak, A. (2020). Estimating fuel consumption in maritime transport. *Journal of Cleaner Production*, 275, 124-142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124142>
- Jayasinge, S., Lokuketagoda, G., Enshaei, H., Shagar, V. y Ranmuthugala, D. (2015). *Electro-technologies for energy efficiency improvement and low carbon emission in maritime transport*. 16th Annual General Assembly of the International Association of Maritime Universities, 119-123.
- Jović, M., Tijan, E., Brčić, D. y Pucihar, A. (2022). Digitalization in Maritime Transport and Seaports: Bibliometric, Content and Thematic Analysis. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(4), p. 486. <https://doi.org/10.3390/jmse10040486>
- Jović, M., Tijan, E., Žgaljić, D. y Aksentijević, S. (2020). Improving Maritime Transport Sustainability Using Blockchain-Based Information Exchange. *Sustainability: Science Practice and Policy*, 12(21), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su12218866>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A. y Gawankar, S. A. (2018). Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 408-425. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009>
- Kuntner, T. y Teichert, T. (2016). The scope of price promotion research: An informetric study. *Journal of Business Research*, 69(8), 2687-2696. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.11.004>
- La Scalia, G., Mancini, S., Adelfio, L. y Giallanza, A. (2023). Development of a Vessel Scheduling Optimization Model to improve Maritime Transport sustainability. *Sustainable Futures*, 6, 100-123. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2023.100123>
- Lindstad, H. y Eskeland, G. S. (2015). Low carbon maritime transport: How speed, size and slenderness amounts to substantial capital energy substitution. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 41, 244-256. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.006>
- Markowski, J. y Pielecha, I. (2019). The potential of fuel cells as a drive source of maritime transport. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 214(1), 012-019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/214/1/012019>
- Melynk, O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Shumylo, O., Voloshyn, A., Ocheretna, V. y Fedorenko, O. (2024). Implementation Research of Alternative Fuels and Technologies in Maritime Transport. In S. Boichenko, A. Zaporozhets, A. Yakovlieva y I. Shkiliuk (Eds.), *Modern Technologies in Energy and Transport*

- (pp. 13-21). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-44351-0_2
- Merediz-Solà, I. y Bariviera, A. F. (2019). A bibliometric analysis of bitcoin scientific production. *Research in International Business and Finance*, 50, 294-305. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.06.008>
- Merk, O., Hoffmann, J. y Haralambides, H. (2022). Post-COVID-19 scenarios for the governance of maritime transport and ports. *Maritime Economics & Logistics*, 24(4), 673-685. <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00228-8>
- Mimica, M., Perčić, M., Vladimir, N. y Krajačić, G. (2022). Cross-sectoral integration for increased penetration of renewable energy sources in the energy system - Unlocking the flexibility potential of maritime transport electrification. *Smart Energy*, 8, 89-103. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2022.100089>
- Mondello, G., Salomone, R., Saija, G., Lanuzza, F. y Gulotta, T. M. (2023). Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing for assessing maritime transport: a comprehensive literature review. *Maritime Policy & Management*, 50(2), 198-218. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1972486>
- Monios, J. y Wilmsmeier, G. (2020). Deep adaptation to climate change in the maritime transport sector - A new paradigm for maritime economics? *Maritime Policy & Management*, 47(7), 853-872. <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1752947>
- Nepomuceno de Oliveira, M. A., Szklo, A. y Castelo Branco, D. A. (2022). Implementation of Maritime Transport Mitigation Measures according to their Marginal Abatement Costs and their Mitigation Potentials. *Energy Policy*, 160, 112-699. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112699>
- Novo-Corti, I. y González-Laxe, F. (2009). Maritime transport and trade: The impact of European transport policy. An overview of maritime freight transport patterns. *European Research Studies*, 12(1), p. 131. <https://doi.org/10.35808/ersj/215>
- Orosa, J. A. (2023). Sustainability in Maritime Transport: Advances, Solutions and Pending Tasks. *NATO Advanced Science Institutes Series E: Applied Sciences*, 13(13), 7618. <https://doi.org/10.3390/app13137618>
- Pérez, D. S. (2014). Reducción de emisiones de CO₂ en el sector del transporte marítimo mediante el empleo de la tecnología Cold Ironing. *Dinamo Técnica: Revista Gallega de Energía*, 13, 14-16.
- Pizzi, S., Caputo, A., Corvino, A. y Venturelli, A. (2020). Management research and the UN sustainable development goals (SDGs): A bibliometric investigation and systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 276, 22-40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124033>
- Poulsen, R. T., Ponte, S. y Soronn-Friese, H. (2018). Environmental upgrading in global value chains: The potential and limitations of ports in the greening of maritime transport. *Geoforum, Journal of Physical, Human, and Regional Geosciences*, 89, 83-95. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.01.011>
- Psaraftis, H. N. y Kontovas, C. A. (2020). Decarbonization of Maritime Transport: Is There Light at the End of the Tunnel? *Sustainability: Science Practice and Policy*, 13(1), p. 237. <https://doi.org/10.3390/su13010237>
- Puck, J. y Filatotchev, I. (2020). Finance and the multinational company: Building bridges between finance and global strategy research. *Global Strategy Journal*, 10(4), 655-675. <https://doi.org/10.1002/gsj.1330>
- Rehmatulla, N. y Smith, T. (2020). The impact of split incentives on energy efficiency technology investments in maritime transport. *Energy Policy*, 147, 111-721. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111721>
- Remyha, Y., Zaiarniuk, O., Lozova, T., Trushkina, N., Yakushev, O. y Korovin, Y. (2023). Energy-saving technologies for sustainable development of the maritime transport logistics market. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1126(1), 012-037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1126/1/012037>
- Rodríguez, D., González, N., Camarero, A. y Vaca, J. (2023). Development of a “Smart Dry Port” indicator and ranking calculation for Spanish dry ports. *Future Transportation*, 3(4), 1272-1291. <https://doi.org/10.3390/futuretransp3040070>
- Schrooten, L., De Vlieger, I., Panis, L. I., Chiffi, C. y Pasitori, E. (2009). Emissions of maritime transport: a European reference system. *The Science of the Total Environment*, 408(2), 318-323. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.07.037>
- Seithe, G. J., Bonou, A., Giannopoulos, D., Georgopoulou, C. A. y Founti, M. (2020). Maritime Transport in a Life Cycle Perspective: How Fuels, Vessel Types, and Operational Profiles Influence Energy Demand and Greenhouse Gas Emissions. *Energies*, 13(11), 27-39. <https://doi.org/10.3390/en13112739>
- Serrano, B. M., González, N., Soler, F. y Santos, A. E. (2021). Análisis Business Observation Tool de la sostenibilidad portuaria. Aplicación al sistema portuario español. *Revista Transporte y Territorio*, 25. <https://doi.org/10.34096/rtt.i25.8070>
- Shafique, M. (2013). Thinking inside the box? Intellectual structure of the knowledge base of innovation research

- (1988-2008). *Strategic Management Journal*, 34(1), 62-93. <https://doi.org/10.1002/smj.2002>
- Small, H. (1973). Co-citation in the scientific literature: A new measure of the relationship between two documents. *Journal of the American Society for Information Science. American Society for Information Science*, 24(4), 265-269. <https://doi.org/10.1002/asi.4630240406>
- Small, H. G. (1977). A Co-Citation Model of a Scientific Specialty: A Longitudinal Study of Collagen Research. *Social Studies of Science*, 7(2), 139-166. <https://doi.org/10.1177/030631277700700202>
- Small, H. y Griffith, B. C. (1974). The Structure of Scientific Literatures I: Identifying and Graphing Specialties. *Science Studies*, 4(1), 17-40. <https://doi.org/10.1177/030631277400400102>
- Smith, J. R. y Mastorakos, E. (2023). A Systems-Level Study of Ammonia and Hydrogen for Maritime Transport. *Maritime Transport Research*, 5, 99-118. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2023.100099>
- Stopford, M. (2022). Maritime governance: piloting maritime transport through the stormy seas of climate change. *Maritime Economics & Logistics*, 24(4), 686-698. <https://doi.org/10.1057/s41278-022-00227-9>
- Tani, M., Papaluca, O. y Sasso, P. (2018). The System Thinking Perspective in the Open-Innovation Research: A Systematic Review. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 4(3), p. 38. <https://doi.org/10.3390/joitmc4030038>
- Viana, M., Hammingh, P., Colette, A., Querol, X., Degraeuwe, B., Vlioger, I. de y van Aardenne, J. (2014). Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe. *Atmospheric Environment*, 90, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.03.046>
- Viana, M., Rizza, V., Tobías, A., Carr, E., Corbett, J., Sofiev, M., Karanasiou, A., Buonanno, G. y Fann, N. (2020). Estimated health impacts from maritime transport in the Mediterranean region and benefits from the use of cleaner fuels. *Environment International*, 138, 105-670. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105670>
- Villacreses, G., Salinas, S. S., Ortiz, W. D., Villacís, S., Martínez-Gómez, J. y Narváez C., R. A. (2017). Environmental Impact Assessment of Internal Combustion and Electric Engines for Maritime Transport. *Environmental Processes*, 4(4), 907-922. <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0270-7>
- Watanabe, M. D. B., Cherubini, F., Tisserant, A. y Cavalett, O. (2022). Drop-in and hydrogen-based biofuels for maritime transport: Country-based assessment of climate change impacts in Europe up to 2050. *Energy Conversion & Management*, 273, 116-403. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116403>
- Wilmsmeier, G., Hoffmann, J. y Sánchez, R. J. (2006). The Impact of Port Characteristics on International Maritime Transport Costs. *Research in Transportation Economics*, 16, 117-140. [https://doi.org/10.1016/S0739-8859\(06\)16006-0](https://doi.org/10.1016/S0739-8859(06)16006-0)
- Wilmsmeier, G. y Monios, J. (2020). Geographies of maritime transport. In *Geographies of Maritime Transport* (pp. 1-15). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781788976640.00005>
- Xing, H., Cao, X. y Su, Z. (2022). The rule of law for marine environmental governance in maritime transport: China's experience. *Frontiers in Marine Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1083420>
- Zanobetti, F., Pio, G., Jafarzadeh, S., Muñoz Ortiz, M. y Cozzani, V. (2023). Decarbonization of maritime transport: Sustainability assessment of alternative power systems. *Journal of Cleaner Production*, 417, 137-989. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137989>
- Zhang, W., Wu, Z., Liu, Y. y Li, Z. (2014). Quantitative analysis for the development of maritime transport efficiency. In *Algorithms and Architectures for Parallel Processing* (pp. 543-552). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11194-0_47
- Zhang, Y., Wang, M., Zipperle, M., Abbasi, A. y Tani, M. (2023). RelRank: A relevance-based author ranking algorithm for individual publication venues. *Information Processing & Management*, 60(1), 103-156. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103156>
- Zhilentkov, A. A. y Kapitonov, A. A. (2017). Assessment of destabilizing factor for automatic control systems in propulsion systems of mechatronic and maritime transport objects. *10P Conference Series: Earth and Environmental Science*, 87(8), 49-55. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/8/082059>
- Zuluaga, M., Robledo, S., Osorio, G. A., Yathe, L., González, D. y Taborda, G. (2016). Metabolómica y pesticidas: revisión sistemática de literatura usando teoría de grafos para el análisis de referencias. *Nova*, 14(25), 121-138. <https://doi.org/10.22490/24629448.1735>
- Zupic, I. y Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472. <https://doi.org/10.1177/1094428114562629>
- Zuschke, N. (2020). An analysis of process-tracing research on consumer decision-making. *Journal of Business Research*, 111, 305-320. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.01.028>