

MAPEO CIENTÍFICO DE LOS FACTORES DETERMINANTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO GLOBAL*

Juan José Espinal Piedrahíta**
Albeiro Aguirre Ríos***

Recibido: 18 de noviembre de 2025 - Aprobado: 31 de diciembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.22395/seec.v29n67a5331>

RESUMEN

El objetivo de este artículo es analizar el impacto de los factores determinantes del cambio climático sobre el transporte marítimo internacional. Se llevó a cabo una búsqueda de la producción científica registrada en WoS y Scopus durante las últimas dos décadas; posteriormente, mediante herramientas bibliométricas y análisis de redes, se presenta la estructura vigente del conocimiento sobre el tema. Como resultado se identifican cuatro corrientes emergentes de investigación relacionadas con políticas comerciales y ambientales: modelos climáticos globales; adaptación de medidas del cambio climático en el transporte marítimo global; efecto de la temperatura y las precipitaciones en la operatividad del transporte marítimo global; e impacto de combustibles alternativos para mitigar la contaminación del transporte marítimo global.

PALABRAS CLAVES

Transporte marítimo internacional, cambio climático, medio ambiente, comercio internacional, bibliometría.

CÓDIGO JEL

C8, N7, Q5, Q54.

CONTENIDO

Introducción; 1. Metodología; 2. Resultados; 3. Conclusiones; Referencias

* Artículo de revisión bibliográfica. Resultado de la investigación "Determinantes del cambio climático en el transporte marítimo global: retos y oportunidades del comercio internacional". Grupo de investigación GESNE, clasificación Minciencias (A1). Entidad financiadora: Universidad Católica Luis Amigó. Periodo 2025.

** Economista, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Magíster en Economía, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Profesor e investigador de la Facultad de Ciencias administrativas, económicas y contables de la Universidad Católica Luis Amigó. Correo electrónico: juan.espinalpi@amigo.edu.co. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5641-139X>.

*** Economista, Universidad de Nacional, Medellín, Colombia. Magíster en Economía, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. Profesor e investigador de la Facultad de Ciencias administrativas, económicas y contables de la Universidad Católica Luis Amigó. Correo electrónico: albeiro.aguirrerri@amigo.edu.co. Orcid: <https://Orcid.org/0000-0002-7436-6625>.

CLIMATE CHANGE IN GLOBAL MARITIME TRANSPORT

ABSTRACT

The objective of this article is to analyze the impact of the determining factors of climate change on international maritime transport. A search was conducted of scientific publications registered in WoS and Scopus over the last two decades; subsequently, using bibliometric tools and network analysis, the current structure of knowledge on the subject is presented. As a result, four emerging research trends related to trade and environmental policies are identified: global climate models; adaptation of climate change measures in global maritime transport; the effect of temperature and precipitation on the operation of global maritime transport; and the impact of alternative fuels to mitigate pollution from global maritime transport.

KEYWORDS

International maritime transport, climate change, environment, international trade, bibliometrics.

JEL CLASSIFICATION

C8, N7, Q5, Q54.

CONTENTS

Introduction; 1. Methodology; 2. Results; 3. Conclusions; References

MAPEAMENTO CIENTÍFICO DOS FATORES DETERMINANTES DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO TRANSPORTE MARÍTIMO GLOBAL

RESUMO

O objetivo deste artigo é analisar o impacto dos fatores determinantes das mudanças climáticas no transporte marítimo internacional. Foi realizada uma pesquisa da produção científica registrada no WoS e no Scopus durante as últimas duas décadas; posteriormente, por meio de ferramentas bibliométricas e análise de redes, é apresentada a estrutura atual do conhecimento sobre o tema. Como resultado, foram identificadas quatro correntes emergentes de investigação relacionadas com políticas comerciais e ambientais: modelos climáticos globais; adaptação de medidas de alterações climáticas no transporte marítimo global; efeito da temperatura e das precipitações na operacionalidade do transporte marítimo global; e impacto dos combustíveis alternativos para mitigar a poluição do transporte marítimo global.

PALAVRAS-CHAVE

Transporte marítimo internacional; mudança climática; meio ambiente; comércio internacional; bibliometria.

CLASSIFICAÇÃO JEL

C8, N7, Q5, Q54.

CONTEÚDO

Introdução; 1. Metodologia; 2. Resultados; 3. Conclusões; Referências

INTRODUCCIÓN

El sector marítimo juega un papel estratégico en la economía mundial, por ello es fundamental hacer seguimiento a los fenómenos cambiantes, dado el desarrollo de esta actividad. Las crisis económicas y sociales tales como la pandemia por covid-19, los conflictos armados que impactan las relaciones internacionales o el cambio climático son fuente de nuevas tendencias relacionadas con la transición de la salud ambiental y humana (Badiola Coca, 2025).

Además, la revolución tecnológica, las fluctuaciones de la economía, las guerras comerciales, el impacto de las enfermedades crónicas no transmisibles debido al comportamiento de las personas por el desarrollo urbano, la salud mental o los procesos de migración. Todo ello está formando una interconexión que afecta las decisiones económicas y, en consecuencia, impacta la logística y el transporte marítimo del comercio internacional (García-Alonso *et al.*, 2025). Estos fenómenos plantean nuevas estrategias para afrontar la correcta solución de estos problemas.

El transporte marítimo es una de las formas más antiguas y seguras para la distribución de mercancías a nivel mundial, se ha llegado a considerar como la columna vertebral del comercio internacional y la economía global. Se supone que alrededor del 90 % del comercio mundial en volumen y el 80 % del comercio mundial por valor se transporta por este medio (Badiola Coca, 2025).

A pesar de su importancia, la contribución del transporte marítimo internacional al cambio climático ha recibido poca atención (Michaelowa & Krause, 2000), más aún cuando es previsible que los cambios en los patrones naturales del clima impacten la economía y la salud del mundo (Miola *et al.*, 2011).

Los fenómenos naturales extremos relacionados con el cambio climático refuerzan la problemática que enfrenta el transporte marítimo, pues es una amenaza creciente sobre el planeta y los seres humanos. El impacto de las emisiones y descarbonización del transporte marítimo en el medio ambiente ha llevado a la Organización Marítima Internacional (OMI) a intervenir mediante la regulación de la industria marina de refinado de petróleo, el volumen de emisiones de los buques y el tipo de combustible utilizado (García-Alonso *et al.*, 2025).

La importancia de realizar estudios sobre el cambio climático y su impacto en el flujo del comercio, basado en el cambio en las temperaturas y los patrones meteorológicos causados por la acción humana relacionada con la quema de combustibles fósiles, como el petróleo, es una preocupación mundial cuyas consecuencias van desde la escasez de agua y la producción de bienes.

Sobre el tema se han efectuado pocas revisiones que se aproximan al enfoque de este trabajo. Una de ellas se realizó mediante los incentivos de las empresas marítimas para reducir el impacto climático en diferentes puertos. Ese estudio se llevó a cabo revisando más de ciento treinta fuentes de información, incluyendo portales oficiales de gobiernos, autoridades y organizaciones portuarias, y artículos científicos.

Por lo tanto, los incentivos encontrados se agruparon en tres categorías: financiación de proyectos, tarifas portuarias diferenciadas e incentivos para cubrir las tarifas del servicio de energía terrestre (Camargo-Díaz *et al.*, 2022).

Otra revisión científica se concentró en una revisión sistemática de la literatura basada en treinta y tres publicaciones para investigar las barreras que dificultan la descarbonización de los puertos.

Finalmente, la última revisión sobre el tema se enfocó en una revisión bibliográfica sistemática, basada en Scopus y Web of Science, de publicaciones revisadas por pares que evalúan el diseño legal o los efectos previstos del comercio de derechos de emisión marítimos de la UE. Los hallazgos relevantes de 51 estudios identificados se clasifican según un marco de criterios de evaluación (Giziakis & Christodoulou, 2012).

El objetivo del presente trabajo es analizar el impacto de los factores determinantes del cambio climático sobre el transporte marítimo internacional. Este aporte es vital para fomentar estrategias de política ambiental y comercial que permitan mejorar el vínculo del transporte marítimo con relación al cambio climático.

Por tal razón, conocer la evolución y las tendencias sobre el tema permitirá alcanzar el análisis específico de dicha relación, pues es amplio el vacío que relaciona los determinantes del cambio climático sobre el transporte marítimo internacional, ya que los diferentes estudios relacionan el transporte marítimo como medio de contaminación, no el impacto del cambio climático sobre el flujo del comercio internacional.

Sin embargo, a pesar de la indiscutible relevancia del tema, hasta el momento no se ha identificado una investigación que efectúe un mapeo científico y analice las tendencias de los factores determinantes del cambio climático sobre el transporte marítimo internacional, además, que establezca las líneas de investigación en las que se enmarca este tema.

Es por ello que esta investigación aborda este vacío de conocimiento. Se realiza una revisión de literatura basada en técnicas y herramientas bibliométricas, a partir de la consulta de las publicaciones registradas en Scopus y Web of Science (WoS) entre los años 2019-2025.

La primera sección de este artículo se concentra en la metodología del análisis bibliométrico. Luego se presentan los resultados del estudio, como el número de publicaciones por año, red de autores, red de palabras claves, principales autores y afiliaciones que investigan sobre el tema, árbol de cocitaciones, clúster de la evolución y tendencias sobre el tema. Finalmente, se plantean las conclusiones encontradas.

1. METODOLOGÍA

Este estudio realiza un mapeo científico sobre cómo los factores determinantes del cambio climático afectan el transporte marítimo internacional, utilizando métodos y herramientas bibliométricas. Para ello, se desarrollan dos enfoques: el primero, a través de un análisis bibliométrico que examina la evolución temporal, los países, las revistas de alto impacto y los autores presentes en las bases de datos más reconocidas para revisiones de literatura, Web of Science (WoS) y Scopus, siguiendo las recomendaciones de Zupic y Čater (2015).

El segundo enfoque utiliza la teoría de grafos con los programas R Studio y VOSviewer para crear una red social de investigación basada en cocitaciones y colaboraciones, con el objetivo de identificar las tendencias predominantes y la evolución del tema.

La información utilizada en este estudio proviene de las bases de datos más reconocidas actualmente, WoS y Scopus. El objetivo es recopilar datos que permitan obtener una perspectiva amplia sobre las tendencias del conocimiento relacionadas con el impacto de los factores determinantes del cambio climático en el transporte marítimo internacional (Debie *et al.*, 2022).

Por esta razón, el análisis bibliométrico integra ambas bases, comenzando con una revisión preliminar para eliminar documentos duplicados, debido a la alta coincidencia de publicaciones entre estas fuentes.

A continuación, se describen los criterios definidos para la búsqueda en las bases de datos, los cuales se eligen mediante un proceso de revisión previo (ver tabla 1).

Tabla 1. Criterios de búsqueda

Bases de datos	Web Of Science	Scopus
Espacio temporal	2000-2025	2000-2025
Fecha de consulta	27/07/2025	27/07/2025
Tipo de documento	Artículos, libros, capítulos de libro, ponencias	Artículos, libros, capítulos de libro, ponencias
Tipo de revista	Todos los tipos	Todos los tipos
Campo de búsqueda	Títulos, resumen, palabras claves	Títulos, resumen, palabras claves
Términos de búsqueda	"climate change" AND "Maritime transport" OR "Maritime transport costs"	"climate change" AND "Maritime transport" OR "Maritime transport costs"
Resultados	266	138
Resultados generales	319	

Fuente: Elaboración propia, 2025

La búsqueda contrastó un resultado de 266 registros en WoS y 138 en Scopus, con una producción total de 319 registros. Luego del proceso de contraste y eliminación de estudios duplicados, se logra determinar una intercalación del 79 %, lo cual evidencia la necesidad de usar las bases de datos mencionadas anteriormente, ya que si se toman de manera independiente se dejaría por fuera una quinta parte de los estudios desarrollados sobre el tema.

La metodología empleada en este artículo es cuantitativa y descriptiva, basada en el análisis bibliométrico. Esto facilita la realización de un mapeo de las tendencias en el conocimiento científico del impacto de los factores determinantes del cambio climático en el transporte marítimo internacional, mediante la identificación de clústeres de investigación (Sayuti y Sukeri, 2022).

La herramienta Bibliometrix, incluida en el paquete de RStudio (library(bibliometrix)), es un componente clave para la realización de este estudio. Este paquete fue creado por Massimo Aria y Corrado Cuccurullo de la University of Naples Federico II (Aria y Cuccurullo, 2017). Se seleccionó por su alta compatibilidad con diversas bases de datos, sus variadas funciones analíticas y, especialmente, por facilitar la detección de tendencias científicas.

Para fortalecer los resultados, se realiza un análisis mediante un mapa de cocitaciones, una técnica común en bibliometría que permite visualizar la red de conocimiento sobre el impacto de los factores determinantes del cambio climático en el transporte marítimo internacional. Este enfoque facilita la identificación de

subáreas de investigación relevantes (Su *et al.*, 2021; Zuschke, 2020; Zanghelini *et al.*, 2016).

El análisis de cocitación entre documentos empareja aquellos trabajos que se citan con frecuencia juntos, y destaca los estudios más significativos dentro del tema específico, en este caso, el impacto de dichos factores en el transporte marítimo internacional (McCain, 1991; White, 1983).

2. RESULTADOS

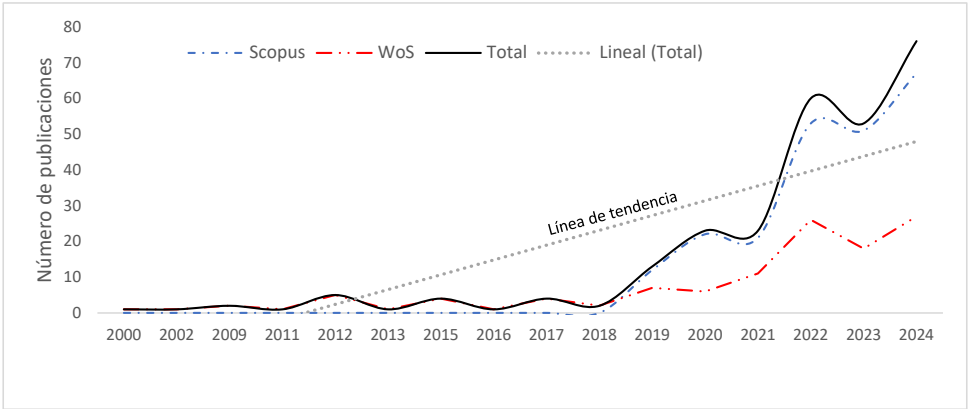
Para validar las tendencias y evolución sobre este tema, no solo por el impacto que pueden los factores determinantes del cambio climático sobre el transporte marítimo internacional, sino para aproximaciones de políticas ambientales y comerciales sobre el flujo de mercancías a nivel global, que permitan realizar evaluación y seguimiento al impacto del cambio climático en el desarrollo de la productividad y distribución de bienes mediante el transporte marítimo internacional, pues las temperaturas extremas, las precipitaciones y la acidificación de los océanos tienden a impactar el comercio internacional y la distribución de bienes de producción, además, a afectar la salud ambiental y humana (Ducruet *et al.*, 2024; Espinal y Restrepo, 2022).

Por tanto, se realiza una comparación del número de publicaciones patentadas en las dos bases de datos manipuladas para este estudio, entre los años 2000 y 2025. Es importante aclarar que se estableció la producción total tomando la eliminación de duplicados, lo cual se puede observar en la figura 1. Este periodo de tiempo es adecuado, ya que permite la disponibilidad de estudios relacionados con el tema.

El primer artículo que abordó el impacto de los factores determinantes del cambio climático en el transporte marítimo internacional fue publicado en el año 2000 (Michaelowa y Krause, 2000). Este trabajo aportó un análisis sobre la contribución del transporte marítimo internacional al cambio climático de origen antropogénico, las tendencias relevantes en el sector, las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por esta actividad y las posibles repercusiones del cambio climático.

A partir del año 2018 se observa un incremento sostenido en el número de publicaciones. En los últimos tres años, la tasa de crecimiento anual de publicaciones alcanzó un 56 %, lo que evidencia la creciente atención que esta temática ha recibido en la comunidad científica y valida la pertinencia actual del análisis del impacto de los factores determinantes del cambio climático en el transporte marítimo internacional (ver figura 1).

Figura 1. Número de publicaciones por año



Fuente: Elaboración propia, 2025

En cuanto a la distribución de la producción en revistas indexadas, se identificó el número de registros o publicaciones presentes en cada base de datos (véase tabla 2). Para calcular el total de registros, se eliminaron las publicaciones duplicadas o repetidas entre las bases de datos Scopus y WoS. Asimismo, se incorporó el indicador SCImago Journal & Country Rank (SJR) 2021, que mide el promedio ponderado de citas recibidas en un año determinado por los documentos publicados en esa revista durante los tres años anteriores.

Se considera que valores más elevados del índice SJR reflejan un mayor prestigio de la revista (SJR - SCImago Journal & Country Rank, 2021). También se registró el índice H, disponible en SJR, reconocido como un indicador que evalúa la producción científica en función de la relación entre el número de publicaciones y las citas recibidas. Finalmente, se especificó el país de origen de cada revista (ver tabla 2).

Tabla 2. principales revistas

Revista	WoS	Scopus	Total	%	SJR 2021	Cuartil	H index (SJR)	País
Sustainability	22	0	22	5%	0,69	Q1	207	Suiza
International journal of climatology	10	0	10	3%	1,16	Q1	201	Reino Unido
Atmospheric research	8	0	8	3%	1,44	Q1	148	Países Bajos
Theoretical and applied climatology	7	0	7	2%	0,79	Q2	124	Austria

Revista	WoS	Scopus	Total	%	SJR 2021	Cuartil	H index (SJR)	País
Maritime economics and logistics	0	6	6	2%	1,22	Q1	60	Reino Unido
Maritime transport research	5	0	5	2%	1,13	Q1	17	Reino Unido
Stochastic environmental research and risk assessment	5	0	5	2%	0,89	Q1	90	Alemania
Science of the total environment		0 5	5	2%	2,14	Q1	399	Países Bajos
Transportation research part d-transport and environment	4	0	4	1%	2,30	Q1	150	Reino Unido
Water	4	0	4	1%	3,84	Q1	396	Reino Unido

Fuente: Elaboración propia, estudio realizado al 27 de julio de 2025

La selección de las diez revistas con mayor impacto se presenta en la tabla 2. La clasificación de las revistas se estableció en función del número de publicaciones registradas hasta la fecha de corte del estudio. En primer lugar se sitúa la revista *Sustainability*, de Suiza, que concentra el 5 % del total de publicaciones, con un total de 22 registros.

No obstante, esta revista ocupa el tercer lugar en cuanto al índice H, la revista *Science of the Total Environment*, cuyo índice H es 399, aunque su participación en el total de publicaciones es apenas del 1 %, porcentaje inferior al de las otras nueve revistas del *ranking*.

Finalmente, se observa que las revistas con mayor presencia pertenecen a países de la Unión Europea, especialmente del Reino Unido, que presenta el mejor índice H dentro del top 10, mientras que el índice H más alto de todas las revistas analizadas corresponde a una publicación de los Países Bajos. En conjunto, la contribución del Reino Unido representa el 9 % del total de publicaciones, seguido por Países Bajos y Suiza, ambos con un 5 %.

La tabla 3 muestra los diez autores con mayor cantidad de publicaciones en WoS y Scopus. Se observa que Shamsuddin Shahid y Mofreh Hamed son los autores con el mayor número de publicaciones. Shahid presenta el mayor número de citas, mientras que Hamed ocupa el octavo lugar en citas dentro de este grupo.

Asimismo, los autores que siguen con los índices H más altos son Zeeshan Ali (14.150) y Elizabeth Lindstad (5.966). Estos dos autores también son los que registran el mayor número de citaciones después de Shahid en ambas bases de datos.

Es importante aclarar que en la elaboración de la tabla 3, se observa que no hay coincidencia entre los 10 primeros autores en las bases de datos, por lo cual la tabla relaciona el top 10 de Scopus con WoS (ver tabla 3).

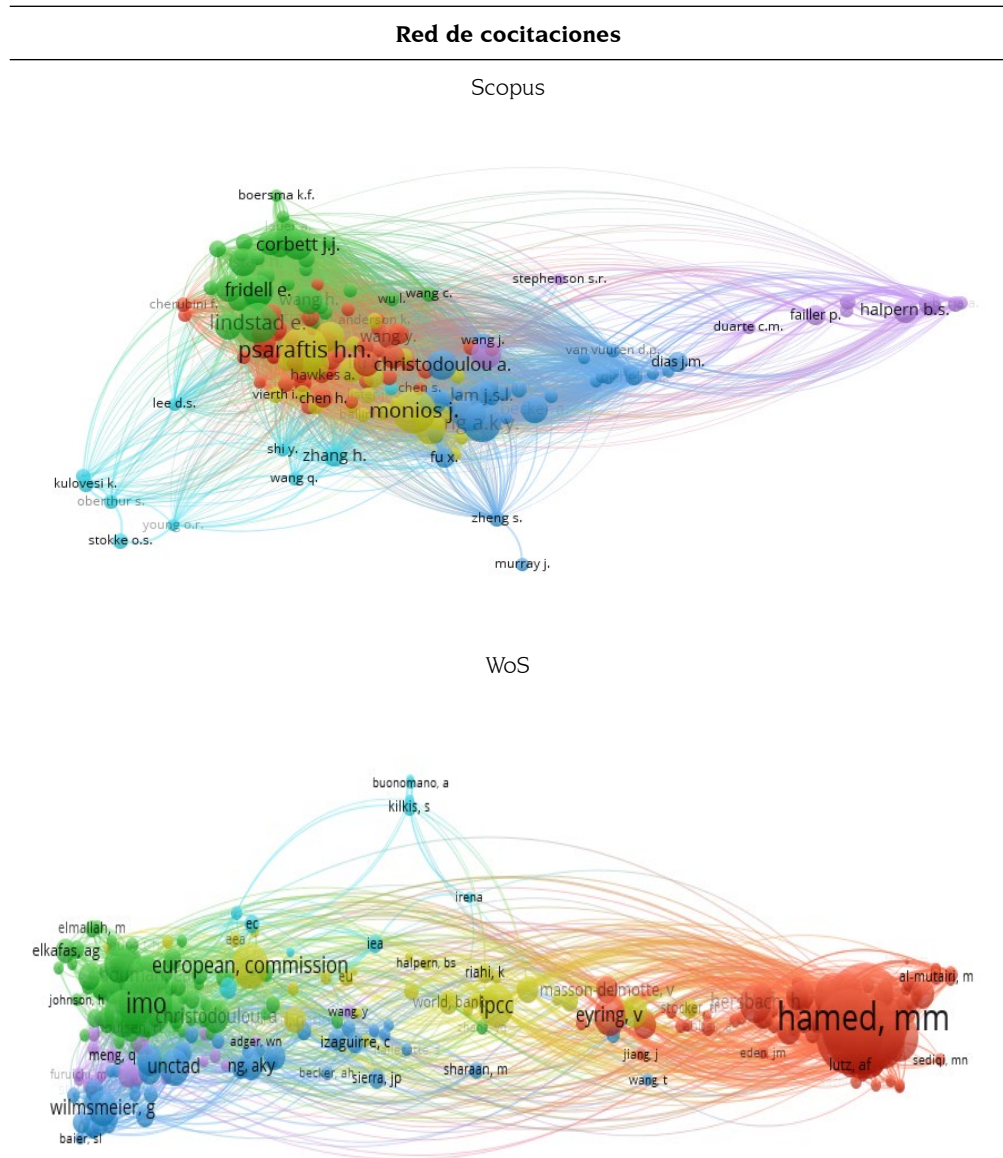
Tabla 3. Principales autores en las bases de datos de Scopus y WoS

Autor	Top 10		
	# Estudios	# Citas	H-Index
Shahid, Shamsuddin	56	26.564	93
Hamed, Mofreh	52	2.533	23
Nashwan, Mohamed	28	2.662	31
Muhammad, Mohd	11	870	14
Lindstad, Elizabeth	8	5.966	32
Ismail, Tarmizi	8	5.029	30
Alasow, Ahmed	8	566	14
Monios, Jason	7	4.335	38
Ali, Zeeshan	6	14.150	47
Shouman, Marwa	6	2.246	13

Fuente: Elaboración propia, estudio realizado al 27 de julio de 2025

En la figura 2 se presentan dos imágenes relacionadas, la primera muestra la red de cocitaciones, y la figura 3, la red de palabras claves entre autores. Para obtenerlas, se utilizó la herramienta VOSviewer 1.6.20, que emplea los registros obtenidos de las bases de datos. Cada nodo lo representa un autor, y se seleccionan los 20 más referenciados. El tamaño del nombre del autor depende de la cantidad de publicaciones (ver figura 2).

Figura 2. Redes de autores¹



Fuente: Elaboración propia, estudio realizado al 27 de julio de 2025

¹ Una red de cocitaciones es una forma de representar cómo se conectan entre sí documentos o autores porque son citados juntos en otros trabajos. Sirve para estudiar la estructura intelectual de un campo científico y sus principales influencias.

Considerando que en las tablas 2 y 3 se observa que los autores publican en las bases de datos Scopus o WoS de acuerdo con el top diez de revistas, se define la red de cocitaciones de manera independiente para cada base.

En la red de cocitaciones correspondiente a Scopus, destaca Harilaos N. Psaraftis, profesor emérito de la Technical University of Denmark, reconocido por sus investigaciones en logística de transporte, logística verde, logística marítima y logística portuaria. Entre sus contribuciones más relevantes se encuentran varios trabajos considerados documentos seminales en el área, como los de Zis *et al.*, (2020), Psaraftis y Kontovas (2013, 2010) y Thompson y Psaraftis (1993). Este último artículo, aunque no se enfocó en transporte marítimo, sino en vehículos de carga, anticipaba ya el análisis del impacto climático asociado.

Destaca también Jason Monios, de la Kedge Business School de Marsella, reconocido por sus investigaciones en transporte intermodal, transporte marítimo, geografía del transporte, transporte de mercancías y logística marítima (Bergqvist y Monios, 2019; Monios *et al.*, 2018; Wilmsmeier y Monios, 2016).

Finalmente, la tercera autora con mayor red de cocitación es Anastasia Christodoulou, del Departamento de Estudios Marítimos de la University of Piraeus, Grecia, quien ha realizado contribuciones relevantes en logística marina, envío sostenible y gestión energética marítima (Christodoulou y Cullinane, 2021; Costas y Christodoulou, 2012).

En la red de cocitaciones de WoS destaca el autor Mofreh Hamed, doctor en ingeniería mecánica por la Faculty of Engineering de Kafrelsheikh University, Egipto. Es un investigador reconocido en áreas como nanofluidos, flujo bifásico, turbomáquinas y desalinización.

Entre sus contribuciones más relevantes se encuentran los estudios de Kabeel *et al.* (2017), Abdelgaied *et al.* (2021) y El-Behery *et al.* (2010). Otro autor de notable impacto en esta base de datos es Veronika Eyring, profesora en la University of Bremen, especializada en modelado climático, proyecciones climáticas, aprendizaje automático y cambio climático, con trabajos destacados como los de Corbett *et al.* (2007) y Eyring *et al.* (2006) (ver figura 3).

Combinando Scopus y WoS

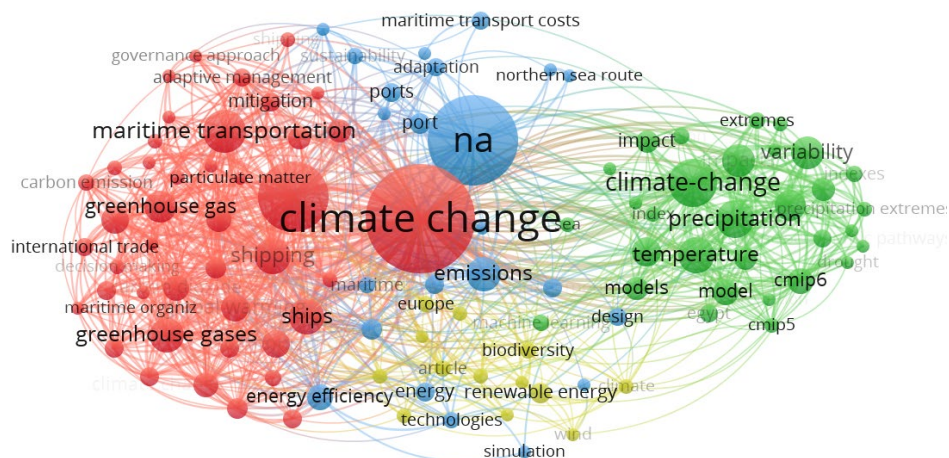


Tabla 4. Afiliación

#	Filiaciones	WoS	Scopus	# publicaciones	País
1	KEDGE Business School	7	9	16	Francia
2	Universidade de Aveiro	5	6	11	Portugal
3	Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet	5	5	10	Noruega
4	Københavns Universitet	3	5	6	Dinamarca
5	Australian Maritime College	3	4	7	Australia
6	Arab Academy for Science, Technology and Maritime Transport	3	4	7	Egipto
7	CNRS Centre National de la Recherche Scientifique	3	4	7	Francia
8	Universitatea Dunarea de Jos din Galati	2	4	6	Rumania
9	Alexandria University	2	4	6	Egipto
10	Universidad de Los Andes	2	4	6	Colombia

Fuente: Elaboración propia, estudio realizado al 27 de julio de 2025

En esta sección se analiza la red de colaboración entre países, las conexiones dentro de las redes de conocimiento sobre el tema. Se consideran ambas bases de datos según la cantidad de registros o publicaciones, el total acumulado y el porcentaje correspondiente al total.

Los resultados indican que los países con mayor número de publicaciones en el *ranking* son Egipto (16 %) y China (7 %), los cuales conjuntamente representan casi una cuarta parte de los registros sobre la temática. Es importante destacar que en el *ranking* figuran cinco países europeos (España, Reino Unido, Italia, Noruega y Francia), que aportan el 22 % del total de publicaciones, mientras que Malasia e Irak contribuyen con el 8 % de la producción científica mundial (véase tabla 5).

Para identificar las redes de colaboración entre países, la herramienta Bibliometrix utiliza los registros base del estudio y representa cada país mediante distintos colores. Se observa una red de colaboración significativa entre China, Arabia Saudita, Noruega y Estados Unidos (color verde).

Otra red de notable impacto está conformada por Finlandia, España, Italia y Portugal (color rojo). Además, existen redes con menor número de nodos, como la integrada por Países Bajos y Reino Unido (color morado), la compuesta por Grecia y Dinamarca (color amarillo), y la que agrupa a Polonia y Turquía (color azul claro).

Finalmente, la red que incluye al único participante latinoamericano está formada por Colombia y Francia (color azul oscuro) (ver tabla 5).

Tabla 5. Red de colaboración y principales países que desarrollan el tema de estudio

Países	Número de publicaciones				Red de colaboración entre países
	WoS	Scopus	Total	% del total	
Egipto	51	3	54	16%	
China	25	10	35	7%	
España	16	10	26	6%	
Malasia	17	5	22	5%	
Reino Unido	16	6	22	5%	
Italia	10	10	20	4%	
Noruega	10	7	17	4%	
Estados Unidos	11	3	14	3%	
Irak	10	4	14	3%	
Francia	7	7	14	3%	

Fuente: Elaboración propia, estudio realizado al 27 de julio de 2025

El mapa de cocitaciones constituye una representación gráfica de los documentos que conforman la red de artículos sobre los factores determinantes del cambio climático y su impacto en el transporte marítimo internacional.

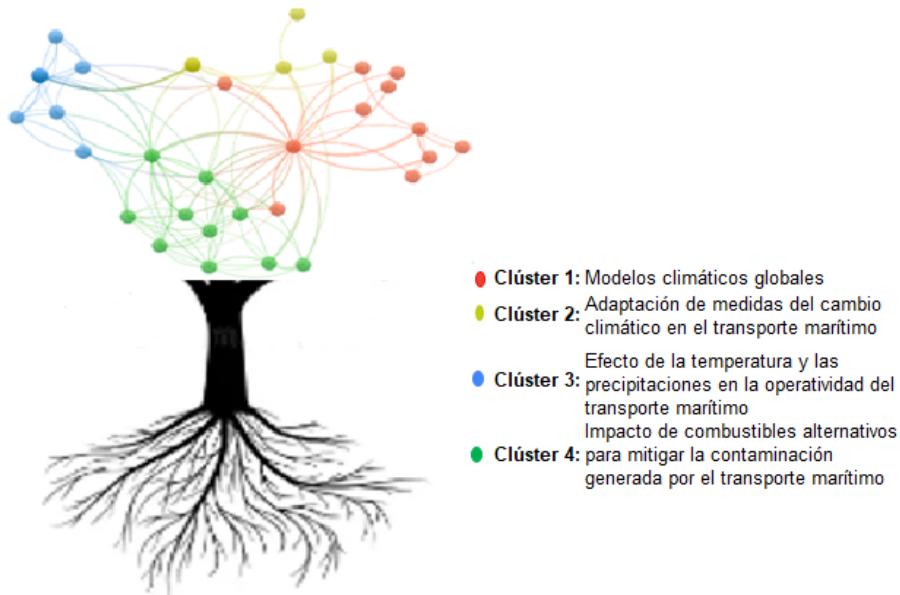
Esta red se construye utilizando la teoría de grafos, una técnica que permite extraer diversas informaciones relacionadas con las características bibliométricas de cada documento y, particularmente, con la forma en que se interrelacionan (Wasserman y Faust, 1994; Yang *et al.*, 2016).

Para identificar las áreas de investigación comunes o grupos de documentos citados, se empleó el algoritmo de clusterización. Este método permitió la identificación de cuatro clústeres principales, conformados por 180, 178, 178 y 130 documentos, respectivamente.

De cada clúster se seleccionaron los diez documentos más relevantes para su análisis (véase tabla 6), utilizando como criterio el indicador PageRank (Page *et al.*, 1999). Este indicador cuantitativo facilita la selección de los trabajos más destacados dentro de un grupo, basándose en métricas de citación (Ding *et al.*, 2009; Yan *et al.*, 2010).

Finalmente, como elemento de apoyo para identificar las temáticas de cada clúster, se utilizó minería de texto programada en R a través del paquete WordCloud, con el cual se generan nubes palabras a partir de los títulos y palabras claves de todos los documentos que integran los clústeres. En la tabla 6 se relacionan los clústeres con sus respectivas temáticas (ver figura 4).

Figura 4. Mapa de cocitaciones³



Fuente: Elaboración propia (2025)

Finalmente, como elemento de apoyo para identificar las temáticas de cada clúster se utilizó minería de texto programada en R paquete WordCloud, con el cual se generan nubes de palabras a partir de los títulos y palabras claves de todos los documentos que integran los clústeres. En la tabla 6 se relacionan los clústeres con sus respectivas temáticas.

³ Un mapa de cocitaciones es una representación visual de cómo se relacionan entre sí los documentos o autores que son citados conjuntamente en la literatura científica. Se utiliza dentro de un análisis bibliométrico para mostrar la estructura intelectual de un campo de estudio.

A continuación, se presenta cada clúster, una descripción de las temáticas que abordar y las tendencias de investigación que enmarcan, tales como logística verde, transporte marítimo sustentable, gestión portuaria verde, descarbonización del transporte marítimo.

Clúster 1. Modelos climáticos globales

Constituye un eje fundamental para la comprensión del impacto del cambio climático en el transporte marítimo internacional. Estos modelos permiten simular y proyectar variaciones en variables climáticas clave como la temperatura, los patrones de precipitación y los fenómenos meteorológicos extremos, los cuales inciden directamente en la operatividad y la seguridad del sector marítimo.

Así, los modelos climáticos globales ofrecen una base científica sólida para evaluar cómo las alteraciones climáticas pueden modificar las condiciones marítimas, influir en las rutas de navegación y afectar la infraestructura portuaria y logística, elementos esenciales para el flujo del comercio internacional y la sostenibilidad ambiental del sector.

El empleo de estos modelos facilita la identificación de riesgos futuros y la planificación estratégica orientada a mitigar impactos adversos, la formulación de políticas ambientales y comerciales fundamentadas.

Asimismo, el análisis mediante modelos climáticos globales promueve un enfoque integral que considera tanto la contribución del transporte marítimo a las emisiones de gases de efecto invernadero, como la vulnerabilidad del sector ante los efectos del cambio climático antropogénico.

En síntesis, el clúster de modelos climáticos globales enfatiza la necesidad de integrar conocimientos científicos avanzados para la evaluación y gestión del impacto climático en el transporte marítimo internacional, el marco teórico y metodológico para investigaciones y políticas que propicien un equilibrio entre desarrollo económico, seguridad operativa y protección ambiental.

Esta integración posibilita la detección de tendencias y la generación de respuestas proactivas ante las transformaciones climáticas que afectan el comercio marítimo global.

Clúster 2. Adaptación de medidas del cambio climático en el transporte marítimo global

Se centra en el desarrollo y aplicación de estrategias para afrontar los impactos directos e indirectos del cambio climático en el sector marítimo.

Este clúster resulta fundamental para la sostenibilidad del transporte marítimo internacional, al destacar la relevancia de implementar políticas y tecnologías que permitan a la industria adaptarse a las condiciones climáticas variables, tales como el incremento de temperaturas, la variabilidad en las precipitaciones y la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos.

La adaptación abarca no solo la protección y resiliencia de la infraestructura portuaria y marítima, sino también ajustes operativos en la logística y gestión de flujos comerciales con el fin de minimizar interrupciones y pérdidas económicas.

La importancia de este clúster en el estudio radica en la necesidad de diseñar medidas que reduzcan la vulnerabilidad del transporte marítimo frente al cambio climático y aseguren la continuidad eficiente del comercio internacional.

Entre dichas medidas adaptativas se incluyen el desarrollo de infraestructuras resistentes a las condiciones climáticas cambiantes, la implementación de tecnologías más limpias y seguras, así como la actualización de normativas y regulaciones impulsadas por organismos internacionales como la Organización Marítima Internacional (OMI).

La investigación en esta área contribuye a generar conocimiento orientado a la formulación de políticas ambientales y comerciales que incorporen la adaptación climática como un componente esencial en la gestión del transporte marítimo, promoviendo un equilibrio entre económico, protección ambiental y bienestar social.

En consecuencia, este clúster refleja una tendencia creciente en la literatura científica, también constituye un elemento estratégico para el sector marítimo global, como la logística verde, transporte marítimo sustentable.

Clúster 3. Efecto de la temperatura y las precipitaciones en la operatividad del transporte marítimo global

Este clúster podría tratarse de mejor forma como la evolución de la vulnerabilidad, ya que este se enfoca en examinar cómo las variaciones climáticas, en particular las temperaturas extremas y los patrones de precipitación, inciden en la eficiencia y seguridad del transporte marítimo internacional.

Este clúster es fundamental para entender los desafíos operativos que afronta el sector marítimo ante el cambio climático, dado que las modificaciones en estas variables pueden ocasionar interrupciones en las rutas de navegación, alterar los tiempos de tránsito, comprometer la infraestructura portuaria y afectar la logística de distribución de mercancías.

La relevancia de este clúster radica en su aporte a la evidencia científica que vincula las condiciones climáticas con la dinámica del transporte marítimo, la importancia de tomar en cuenta las fluctuaciones de temperatura y precipitación como factores determinantes en la planificación y gestión marítima.

El aumento en la frecuencia de eventos extremos, tales como tormentas, oleajes intensos y variaciones estacionales en la navegabilidad, demanda la implementación de medidas orientadas a mitigar los riesgos operativos, la protección ambiental y la salud humana, así como la reducción de pérdidas económicas derivadas de retrasos o daños en la cadena de suministro. Este enfoque también orienta la formulación de políticas públicas y regulaciones que promuevan la adaptación climática en el sector marítimo.

En conclusión, el clúster que se ocupa del efecto de la temperatura y las precipitaciones en la operatividad marítima internacional constituye un eje central para el análisis del impacto del cambio climático en el transporte marítimo global. Su estudio permite reconocer la relación directa entre las condiciones climáticas y la funcionalidad del transporte marítimo, la necesidad de desarrollar políticas de adaptación y resiliencia que sostengan el flujo eficiente del comercio internacional frente a las crecientes variaciones climáticas y sus consecuencias asociadas.

Clúster 4. Impacto de combustibles alternativos para mitigar la contaminación del transporte marítimo global

Se adapta a la promoción de los combustibles sostenibles o alternativos como estrategia central de la mitigación de emisiones de gas efecto invernadero en el transporte marítimo, por lo cual es fundamental para abordar uno de los principales factores determinantes del cambio climático en el sector marítimo: las emisiones derivadas del uso de combustibles fósiles convencionales.

Este clúster examina cómo la adopción de combustibles alternativos, tales como hidrógeno, biocombustibles, amoníaco o gases naturales licuados, puede contribuir significativamente a la reducción de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos generados por la industria marítima. La investigación en esta área resulta crucial para el diseño de estrategias y políticas orientadas a la descarbonización del transporte marítimo, sector responsable de una proporción considerable de las emisiones globales de carbono.

La importancia de este clúster en el estudio reside en demostrar la viabilidad de mitigar la contaminación sin comprometer la eficiencia y operatividad del transporte marítimo internacional. La transición hacia combustibles más limpios implica no

solo innovaciones tecnológicas en motores y sistemas de propulsión, sino también transformaciones estructurales en la cadena de suministro, infraestructura portuaria y regulaciones internacionales impulsadas por organismos como la Organización Marítima Internacional (OMI).

Este enfoque configura una ruta clara para conciliar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental en el comercio global, la adopción de combustibles alternativos como una medida estratégica indispensable para reducir el impacto ambiental del transporte marítimo.

En síntesis, sobre el impacto de los combustibles alternativos juega un papel central en la investigación de los factores determinantes del cambio climático en el transporte marítimo global, al abrir posibilidades para la innovación tecnológica y la formulación de políticas efectivas para la reducción de emisiones.

Este clúster contribuye a identificar tendencias emergentes en la descarbonización del sector, la transición hacia prácticas más sostenibles que permitan al transporte marítimo mantener su papel fundamental en el comercio internacional sin comprometer el planeta ni la salud pública.

3. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este estudio evidencian la creciente importancia del análisis de los factores determinantes del cambio climático en el transporte marítimo internacional, un sector estratégico para la economía y el comercio global, que, hasta la fecha, ha recibido una atención limitada desde esta perspectiva.

El análisis bibliométrico realizado confirma un aumento significativo en el interés científico sobre esta temática en los últimos años, la necesidad urgente de integrar estrategias ambientales y comerciales que permitan mitigar los impactos del cambio climático en las operaciones marítimas y en el flujo global de mercancías. La identificación de clústeres temáticos clave como modelos climáticos globales, adaptación a los cambios, impactos climáticos en la operatividad, y combustibles alternativos, proporciona un marco claro para orientar futuras investigaciones y formulación de políticas públicas.

Asimismo, resalta la relevancia de la adaptación como un componente esencial para fortalecer la resiliencia del transporte marítimo frente a fenómenos climáticos extremos y cambios en los patrones meteorológicos, la continuidad de la cadena logística global y los riesgos económicos y sociales.

La interacción entre variables climáticas y la operatividad marítima debe ser considerada en el diseño de infraestructuras, la planificación de rutas y el desarrollo tecnológico, incluyendo la implementación de combustibles alternativos que contribuyan a la descarbonización del sector. Este enfoque facilita un equilibrio entre la eficiencia del comercio internacional y la sostenibilidad ambiental, elementos imprescindibles en el contexto actual y futuro.

Finalmente, la colaboración internacional y entre organismos, instituciones académicas y el sector privado son factores clave para avanzar en soluciones integrales que reduzcan la huella ambiental del transporte marítimo, a la vez que los desafíos derivados del cambio climático.

El estudio destaca el papel central de los países y entidades con mayor producción científica en esta área, así como la necesidad de fortalecer las políticas regulatorias y los incentivos para fomentar la innovación tecnológica y el uso de energías limpias.

En suma, se recomienda profundizar en investigaciones que integren el impacto del cambio climático en la estructura y funcionamiento del transporte marítimo internacional, enfocándose en medidas concretas de mitigación y adaptación que aseguren la viabilidad y sostenibilidad del comercio mundial en escenarios climáticos variables.

Los hallazgos del artículo implican que organismos como la OMI deben profundizar y acelerar la actualización de estándares sobre emisiones, tipos de combustibles permitidos y requisitos de eficiencia energética de los buques, incorporando explícitamente escenarios de cambio climático y metas de descarbonización alineadas con las corrientes científicas identificadas.

Para los puertos, los resultados respaldan la necesidad de adaptar infraestructura y operación frente a temperaturas extremas, variabilidad en precipitaciones y acidificación de los océanos, mediante inversiones en resiliencia física, sistemas de gestión del riesgo climático y esquemas de incentivos que premien el uso de combustibles alternativos y tecnologías limpias.

En el caso de las navieras, el mapeo científico sugiere la conveniencia de reconfigurar rutas, flota y decisiones de renovación tecnológica considerando no solo los riesgos operativos derivados del clima, sino también las oportunidades de competitividad asociadas a la reducción de emisiones y al cumplimiento anticipado de regulaciones ambientales más estrictas.

Finalmente, para los entes ambientales nacionales e internacionales, el estudio ofrece un marco empírico para diseñar políticas integradas de mitigación y adaptación que articulen regulación, incentivos económicos e investigación aplicada, de forma que el transporte marítimo pueda mantener su papel central en el comercio internacional sin comprometer la salud ambiental y humana.

REFERENCIAS

- Abdelgaied, M., Kabeel, A. E., Kandeal, A. W., Abosheish, H. F., Shalaby, S. M., Hamed, M. H., Yang, N., & Sharshir, S. W. (2021). Performance assessment of solar PV-driven hybrid HDH-RO desalination system integrated with energy recovery units and solar collectors: Theoretical approach. *Energy Conversion and Management*, 239(114215), 114215. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114215>
- Aria, M., & 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>
- Badiola Coca, S. (2025). Decarbonization of maritime transport and the problem related to proving greenhouse emissions in the EU. *Cuadernos de Derecho Transnacional*, 17(1), 249–268.
- Bergqvist, R., & Monios, J. (2019). Green ports in theory and practice. In *Green Ports* (pp. 1–17). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814054-3.00001-3>
- Camargo-Díaz, C. P., Paipa-Sanabria, E., Zapata-Cortes, J. A., Aguirre-Restrepo, Y., & Quiñones-Bolaños, E. E. (2022). A review of economic incentives to promote decarbonization alternatives in maritime and inland waterway transport modes. *Sustainability*, 14(21), 14405. <https://doi.org/10.3390/su142114405>
- Christodoulou, A., & Cullinane, K. (2021). Potential for, and drivers of, private voluntary initiatives for the decarbonisation of short sea shipping: evidence from a Swedish ferry line. *Maritime Economics & Logistics*, 23(4), 632–654. <https://doi.org/10.1057/s41278-020-00160-9>
- Corbett, J. J., Wang, H., & Winebrake, J. J. (2009). The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research. Part D, Transport and Environment*, 14(8), 593–598. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2009.08.005>
- Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2007). Mortality from ship emissions: a global assessment. *Environmental Science & Technology*, 41(24), 8512–8518. <https://doi.org/10.1021/es071686z>
- Debie, A., Khatri, R. B., & Assefa, Y. (2022). Successes and challenges of health systems governance towards universal health coverage and global health security: a narrative review and synthesis of the literature. *Health Research Policy and Systems / BioMed Central*, 20(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s12961-022-00858-7>
- Ding, Y., Yan, E., Frazho, A., & Caverlee, J. (2009). PageRank for Ranking Authors in Co-citation Networks. *Journal of the American Society for Information Science. American Society for Information Science*, 60(11), 2229–2243. <https://doi.org/10.1002/asi.21171>

- Ducruet, C., Polo Martin, B., Sene, M. A., Lo Prete, M., Sun, L., Itoh, H., & Pigné, Y. (2024). Ports and their influence on local air pollution and public health: A global analysis. *The Science of the Total Environment*, 915, 170099. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170099>
- El-Behery, S. M., Hamed, M. H., Ibrahim, K. A., & El-Kadi, M. A. (2010). CFD evaluation of solid particles erosion in curved ducts. *Journal of Fluids Engineering*, 132(7), 071303. <https://doi.org/10.1115/1.4001968>
- Espinal-Piedrahíta, J. J. y Restrepo-Zea, J. H. (2022). Financiamiento del sistema de salud colombiano: Tendencias y desafíos. *Revista de Salud Pública*, 24(1), 1–8. <https://doi.org/10.15446/rsap.v24n1.103057>
- Eyring, V., Butchart, N., Waugh, D. W., Akiyoshi, H., Austin, J., Bekki, S., Bodeker, G. E., Boville, B. A., Brühl, C., Chipperfield, M. P., Cordero, E., Dameris, M., Deushi, M., Fioletov, V. E., Frith, S. M., Garcia, R. R., Gettelman, A., Giorgetta, M. A., Grewe, V., & Yoshiki, M. (2006). Assessment of temperature, trace species, and ozone in chemistry-climate model simulations of the recent past. *Journal of Geophysical Research*, 111(D22). <https://doi.org/10.1029/2006jd007327>
- García-Alonso, L., González-Laxe, F., & Sánchez, R. J. (2025). Sustainability, externalities and ocean grabbing: Pressing challenges for maritime transport. *Marine Policy*, 174(106598), 106598. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2025.106598>
- Giziakis, C & Christodoulou, A (2012) Environmental awareness and practice concerning maritime air emissions: the case of the Greek shipping industry, *Maritime Policy & Management*, 39:3, 353-368, <https://doi.org/10.1080/03088839.2012.671543>
- Kabeel, A. E., Hamed, M. H., Omara, Z. M., & Kandeal, A. W. (2017). Solar air heaters: Design conGráficasotctions, improvement methods and applications – A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 1189–1206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.021>
- Michaelowa, A., & Krause, K. (2000). International maritime transport and climate policy. *Inter Economics*, 35(3), 127–136.
- Miola, A., Marra, M., & Ciuffo, B. (2011). Designing a climate change policy for the international maritime transport sector: Market-based measures and technological options for global and regional policy actions. *Energy Policy*, 39(9), 5490–5498. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.013>
- McCain, K. W. (1991). Core journal networks and cocitation maps: New bibliometric tools for serials research and management. *The Library Quarterly*, 61(3), 311–336. <https://doi.org/10.1086/602370>
- Monios, J., Bergqvist, R., & Woxenius, J. (2018). Port-centric cities: The role of freight distribution in defining the port-city relationship. *Journal of Transport Geography*, 66, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.11.012>
- Page, L., Brin, S., Motwani, R., & Winograd, T. (1999). The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. <http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf>
- Psaraftis, H. N., & Kontovas, C. A. (2010). Balancing the economic and environmental performance of maritime transportation. *Transportation Research. Part D, Transport and Environment*, 15(8), 458–462. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.05.001>

- Psaraftis, H. N., & Kontovas, C. A. (2013). Speed models for energy-efficient maritime transportation: A taxonomy and survey. *Transportation Research. Part C, Emerging Technologies*, 26, 331–351. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.09.012>
- Sayuti, M., & Sukeri, S. (2022). Assessing progress towards Sustainable Development Goal 3.8.2 and determinants of catastrophic health expenditures in Malaysia. *PloS One*, 17(2), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264422>
- Su, X., Hu, H.-Y., & Xu, C. (2021). Global Research on Neuropathic Pain Rehabilitation over the Last 20 Years. *Neural Plasticity*, 2021, 5594512. <https://doi.org/10.1155/2021/5594512>
- Thompson, P. M., & Psaraftis, H. N. (1993). Cyclic transfer algorithm for multivehicle routing and scheduling problems. *Operations Research*, 41(5), 935–946.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/social-network-analysis/90030086891EB3491D096034684E8FB8>
- White, H. D. (1983). A cocitation map of the social indicators movement. *Journal of the American Society for Information Science*. American Society for Information Science, 34(5), 307–312. <https://doi.org/10.1002/asi.4630340502>
- Wilmsmeier, G., & Monios, J. (2016). Institutional structure and agency in the governance of spatial diversification of port system evolution in Latin America. *Journal of Transport Geography*, 51, 294–307. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.02.004>
- Yan, E., Ding, Y., & Sugimoto, C. (2010). P-Rank: An Indicator Measuring Prestige in Heterogeneous Scholarly Networks. *Journal of the American Society for Information Science*. American Society for Information Science, 56. <https://doi.org/10.1002/asi.21461>
- Yang, S., Keller, F., & Zheng, L. (2016). *Social Network Analysis: Methods and Examples*. SAGE Publications.
- Zanghelini, G. M., de Souza Junior, H. R. A., Kulay, L., Cherubini, E., Ribeiro, P. T., & Soares, S. R. (2016). A bibliometric overview of Brazilian LCA research. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(12), 1759–1775. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1132-7>
- Zis, T. P. V., Psaraftis, H. N., & Ding, L. (2020). Ship weather routing: A taxonomy and survey. *Ocean Engineering*, 213(107697), 107697. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107697>
- 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.2019.01.02>
- Zupic, I., & Čater, T. (2015). Bibliometric Methods in Management and Organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429–472. <https://doi.org/10.1177/109442811456262>