

ESTUDIO CORRELACIONAL DE VARIABLES QUE AFECTAN LA SOSTENIBILIDAD EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO

Trabajo Final de Máster

Máster Universitario en Logística, Cadena de Suministros y Negocios Marítimos
Tecnocampus Mataró, Universitat Pompeu Fabra

Autor: Andreea Crisan Voica

Director: María de Lourdes Eguren Marti Ph.D

2022

 **Tecnocampus**
Escola Superior
de Ciències Socials i de l'Empresa

Centre adscrit a:

 **upf.** Universitat
Pompeu Fabra
Barcelona

ÍNDICE

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN | 7 |
| INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO | 9 |
| <i>Introducción</i> | 9 |
| <i>Objetivos generales</i> | 11 |
| <i>Objetivos específicos</i> | 11 |
| HIPÓTESIS..... | 12 |
| MOTIVACIÓN..... | 13 |
| MARCO TEÓRICO..... | 14 |
| 1. <i>Evolución del transporte marítimo y la economía</i> | 15 |
| 2. <i>Contaminación atmosférica del transporte marítimo</i> | 17 |
| 3. <i>Marco regulador sobre la eficiencia energética en el sector marítimo</i> | 20 |
| 3.1. <i>El Pacto Verde Europeo</i> | 20 |
| 3.2. <i>Organización de las Naciones Unidas</i> | 21 |
| 3.3. <i>MARPOL</i> | 22 |
| 4. <i>Combustibles alternativos</i> | 24 |
| 4.1. <i>Metano y metanol</i> | 24 |
| 4.2. <i>Gas Natural Licuado GNL</i> | 25 |
| 4.3. <i>Hidrógeno verde</i> | 27 |
| 4.4. <i>Biocombustibles</i> | 27 |
| 4.5. <i>Pilas de combustible y baterías</i> | 28 |
| 5. <i>Nuevas tendencias</i> | 30 |
| 5.1. <i>Tecnología y electrificación de los muelles</i> | 30 |
| 5.2. <i>Tamaño de los buques</i> | 32 |
| MARCO PRÁCTICO..... | 36 |
| 6. <i>Antecedentes</i> | 37 |
| 7. <i>Indicadores</i> | 38 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8. Marco temporal | 39 |
| 9. Alcance y limitaciones de la investigación..... | 39 |
| 10. Resultados..... | 39 |
| 10.1. Huella de carbono en el sector del transporte marítimo vs la resta de transporte y los objetivos 2030/2050. | 40 |
| 10.2. El crecimiento de la economía y la huella de carbono en transporte marítimo vs la resta de transportes. | 41 |
| 10.3. Inversión en investigación y desarrollo y la huella de carbono en transporte marítimo vs la resta de transportes. | 43 |
| 10.4. Carga total transportada por el transporte marítimo y la huella de carbono en el sector. | 46 |
| 10.6. Normativa que regula el límite del óxido de azufre SO _x 2 en el transporte marítimo y la huella de carbono en el sector. | 48 |
| 10.7. Modelo que explica la huella de carbono en el transporte marítimo. | 49 |
| METODOLOGÍA | 51 |
| CONCLUSIONES DEL ESTUDIO | 52 |
| ANEXOS | 54 |
| ANEXO I | 55 |
| ANEXO II | 56 |
| ANEXO III | 57 |
| ANEXO IV | 58 |
| ANEXO V | 59 |
| ANEXO VI | 60 |
| ANEXO VII | 61 |
| ANEXO VIII | 62 |
| ANEXO IX | 63 |
| ANEXO X | 64 |
| ANEXO XI | 65 |
| BIOGRAFÍA Y RECURSOS WEB | 66 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1.Evolución del transporte marítimo | 16 |
| Ilustración 2. Emisiones 2020 por sector | 17 |
| Ilustración 3. Emisiones de transporte en 2017 | 18 |
| Ilustración 4.Huella de carbono de los transportes de mercancías (g CO2/km tonelada)..... | 19 |
| Ilustración 5. Flota global de buques de abastecimiento de GNL y capacidad por regiones. | 26 |
| Ilustración 6 Conexión para dar electricidad a un buque atracado | 31 |
| Ilustración 7. Evolución del tamaño y carga en teu de los buques portacontenedores | 33 |
| Ilustración 8 Buque Ever Aria de la línea Evergreen con una capacidad de 24.000TEU..... | 34 |
| Ilustración 9.Greenhouse gas EMISSIONS ALL transport and 2030-2050 target. . | 40 |
| Ilustración 10. Greenhouse gas emissions maritim transport and 2050 target.... | 41 |
| Ilustración 11.Greenhouse gas emissions all transport and world GDP. | 42 |
| Ilustración 12.Greenhouse gas emissions all transport (milion tones CO2 equivalent)..... | 42 |
| Ilustración 13. Greenhouse gas emissions maritim transport and world GDP. | 43 |
| Ilustración 14.Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent)..... | 43 |
| Ilustración 15. Greenhouse gas emissions all transport and World expenditure on research and development..... | 44 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Il·lustració 16. Greenhouse gas emissions all transport (milion tones CO2 equivalent). | 44 |
| Il·lustració 17. Greenhouse gas emissions maritim transport and World expenditure on research and development..... | 45 |
| Il·lustració 18.Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent). | 45 |
| Il·lustració 19.Greenhouse gas emissions maritim transport and World annual seaborne of all cargo..... | 46 |
| Il·lustració 20.Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent). | 46 |
| Il·lustració 21.Greenhouse gas emissions maritim transport and World fleet capacity. | 47 |
| Il·lustració 22.Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent). | 47 |
| Il·lustració 23.Greenhouse gas emissions maritim transport and Sox limit..... | 48 |
| Il·lustració 24.Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent). | 48 |

RESUMEN

El transporte marítimo es esencial para el desarrollo económico, por ello que podemos ver la importante expansión que ha tenido el sector en las últimas décadas para poder hacer frente a las necesidades globales. Durante los últimos años, el cambio climático ha pasado a ser uno de los principales temas en las agendas gubernamentales y organizaciones de interés internacional, imponiendo una serie de cambios y retos a futuro. Estos sucesos han hecho que el sector marítimo se vea afectado de forma directa, ya que según la Organización Marítima Internacional OMI mueve una carga que representa el 90% del comercio mundial y su huella de carbono supone más del 3,5% del total.

Para saber cómo actuar frente a este nuevo reto, primero hay que conocer qué variables tienen un mayor impacto y cómo afectan en la huella de carbono. El objetivo final es cumplir con los niveles máximos de CO2 equivalente y frenar el cambio climático.

Palabras clave: huella de carbono, transporte marítimo, transición

ABSTRACT

Maritime transport is essential for economic development, so we can see the significant expansion that the sector has had in recent decades to be able to face global needs. In recent years, climate change has become one of the main issues on the agendas of governments and organizations of international interest, imposing a series of changes and challenges for the future. These events have caused the maritime sector to be directly affected, since according to the IMO it moves a cargo that represents 90% of world trade and its carbon footprint accounts for more than 3.5% of the total.

To know how to act in the face of this new challenge, we must first know which variables have a greater impact and how they affect the carbon footprint. The ultimate goal is to meet maximum levels of CO2 equivalent and curb climate change.

Keywords: carbon footprint, maritime transport, transition

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL TRABAJO

Introducción

El transporte marítimo es clave para la economía moderna, según la OMI el 90% del transporte internacional en la actualidad, es gracias al sector marítimo. Como bien sabemos, la globalización ha generado la necesidad de transportar una mayor cantidad de bienes, siendo el transporte marítimo uno de los sectores que más se ha beneficiado y ha podido crecer en estos últimos años (se espera siga creciendo en los próximos años).

Este crecimiento se traduce en una mayor emisión de gases de efecto invernadero (gases GEI), no obstante, comparándolo con otros medios de transporte, el sector marítimo es uno de los más eficientes, teniendo el menor consumo por distancia recorrida. Aun así, es responsable de más del 3% de las emisiones de gases GEI, y por ello, instituciones como la OMI y la Unión Europea, han intervenido mediante la adaptación de la normativa existente y la creación de convenios con el objetivo de frenar la contaminación atmosférica y conseguir una huella de carbono cero.

“Las reglas de la OMI para reducir las emisiones de óxidos de azufre entraron en vigor en 2005, en virtud del Anexo V del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, más conocido como el Convenio MARPOL. Desde entonces, los límites de los óxidos de azufre han sido progresivamente endurecidos.” (IMO, 2020)

Los objetivos marcados por la Unión Europea en cuanto al nivel de contaminación para el 2030 y 2050, exigen que se realicen una serie de cambios, no solamente en los buques, sino también en los puertos. Reducir las emisiones de gases GEI en el sector marítimo, depende directamente de la disminución del consumo de combustibles fósiles y la sustitución de estos por otros menos dañinos para el medio ambiente y las personas.

En la transición hacia un transporte marítimo más sostenible, existen diferentes factores condicionantes, por ello, antes de intervenir es necesario estudiar cada uno de ellos, para entender que cambios hay que hacer.

Objetivos generales

Dado el interés a nivel europeo i mundial en la reducción de la contaminación, se han planteado unos objetivos a medio y largo plazo para cada sector. Según diferentes estudios, el Informe de Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2022 y el de la Agencia Europea de Medioambiente 2019, podemos ver que el transporte es uno de los sectores que produce más contaminación, y dentro de él, el transporte marítimo.

El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) es realizar un análisis bibliográfico de la literatura del transporte marítimo y cuantitativo sobre los niveles de contaminación en el sector, considerando aquellos elementos que generan contaminación o mitigan dicha contaminación para identificar aquellos factores que pueden ser clave en la transición hacia el objetivo de cero emisiones en el transporte marítimo.

Objetivos específicos

O1- Realizar un análisis cualitativo sobre la bibliografía existente, así como el marco normativo y las instituciones implicadas en la transición hacia la sostenibilidad en el transporte marítimo, para identificar el grado de eficiencia del transporte marítimo respecto otros medios de transporte.

O2- Identificar las variables de estudio y contrastarlas por medio de la opinión de expertos en el sector.

O3- Realizar un análisis cuantitativo sobre las variables de estudio, su grado de relación y la existencia de algún tipo de correlación entre ellos

HIPÓTESIS

H1 –El transporte marítimo es uno de los medios de transporte de mercancía más eficientes.

H2 –Las últimas normativas medioambientales adoptadas en el sector marítimo ayudan a frenar la contaminación atmosférica.

H3 –La tecnología es un punto clave en la transición hacia la neutralidad de la huella de carbono en el sector marítimo.

H4 –Los puertos tienen un fuerte impacto en el cambio hacia un sector más sostenible.

MOTIVACIÓN

Estos últimos años hemos visto una presión por parte de mucha institución hacia el transporte marítimo con la intención de reducir la huella de carbono, pero para ello es fundamental conocer aquellos factores que intervienen y en qué medida lo hacen.

La principal motivación de este trabajo nace de la curiosidad en conocer las variables que tienen un mayor peso en la transición hacia el objetivo de cero emisiones en el transporte marítimo. Conocer cuáles son estas variables, permite entender y explicar mejor la situación actual y cuál es la tendencia en el corto-medio plazo.

Con este trabajo de fin de máster, busco poder focalizar más en algunos conceptos ya vistos durante el curso, conceptos como la transición energética en el sector, la legislación que rige estas prácticas y las nuevas tendencias que buscan la huella de carbono cero.

MARCO TEÓRICO

1. Evolución del transporte marítimo y la economía.

El transporte marítimo tiene su origen 3200 años A.C en Egipto a causa del incremento de la producción de bienes y la necesidad de hacerlos llegar a lugares cada vez más lejanos. La experiencia, la adaptación de técnicas de navegación y los avances tecnológicos han hecho que en la actualidad el sector del transporte marítimo de mercancía sea clave en nuestra economía y siendo considerado como un pilar fundamental en el desarrollo del sector del transporte en países de todo el mundo. (Ramirez Sosa, Quintero Gonzalez, & Cortazar Avila, 2010)

El transporte marítimo de mercancía ha tenido un peso muy importante en la economía durante los últimos siglos, según la OMI actualmente mueve una carga que representa el 90% del comercio mundial.

La demanda del servicio de transporte marítimo depende del consumo, del intercambio de productos entre diferentes regiones, y por lo tanto, está directamente relacionada de forma positiva con la economía.

“Dado que el transporte marítimo prospera y disminuye al ritmo de las condiciones macroeconómicas mundiales, la evolución del comercio marítimo internacional refleja el desempeño de la economía en general.” (UNCTAD, 2011)

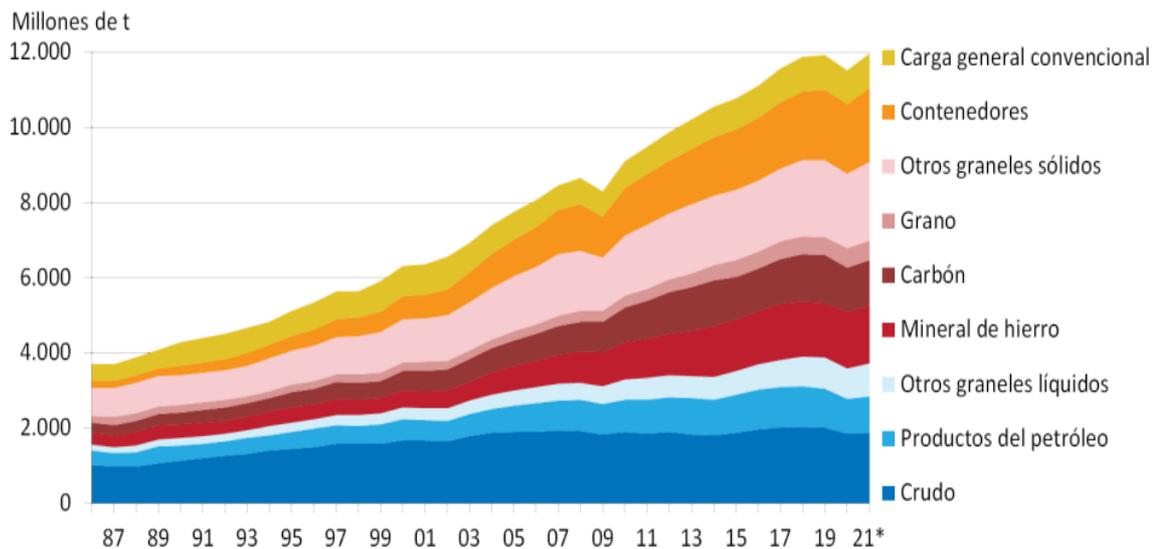


Ilustración 1. Evolución del transporte marítimo
Fuente: Asociación de Navieros Españoles

Desde una visión general podemos ver que la tendencia en el transporte marítimo de mercadería es alcista, en mayor parte gracias a la globalización y la mayor seguridad en el transporte y manipulación de mercancías (Coto Millán & Inglada, 1999)

“Otra consecuencia del modelo actual de producción globalizada, organizado en torno a un número creciente de empresas multinacionales con sucursales situadas en numerosos países, ha sido el crecimiento de movimientos internos de materias primas y bienes intermedios dentro de una misma empresa.” (Castro, 2012)

Por otra parte, los avances tecnológicos también han tenido un papel importante en el crecimiento del sector, permitiendo crear buques cada vez de mayor capacidad, más seguros y eficientes.

Viendo el mercado desde una perspectiva más reducida, podemos ver movimientos contradictorios a la tendencia general, ya que acontecimientos como la crisis financiera asiática, la crisis del 2008, COVID19 etc. frenaron no solamente la economía, sino también el transporte marítimo. (Sánchez & Weikert Bicalho, 2021)

2. Contaminación atmosférica del transporte marítimo

La huella de carbono es uno de los principales indicadores que define la cantidad de gases de efecto invernadero y es utilizada en todos los sectores, incluido en el transporte marítimo. Conocer la huella de carbono nos ayuda a ver la evolución en términos de contaminación atmosférica y medir la eficiencia de las actuaciones que pretenden frenar la contaminación.

La emisión de GEI generada durante el 2020 por el sector del transporte, es la más alta, representando el 27% del total de emisiones a nivel nacional.

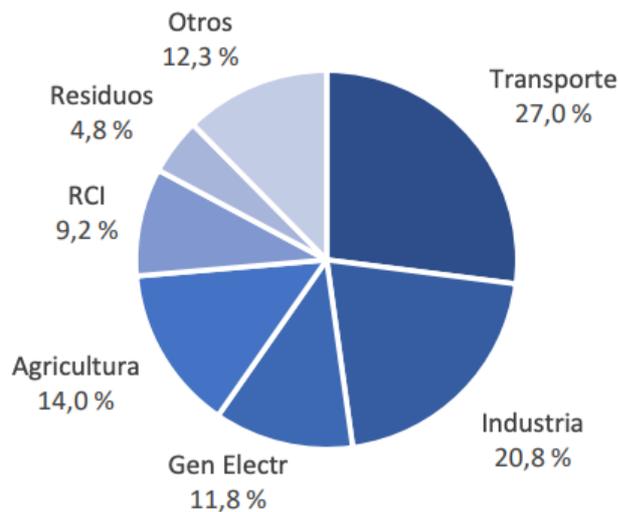


Ilustración 2. Emisiones 2020 por sector

Fuente: Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero Edición 1990-2020

Por otra parte, a nivel internacional podemos ver que la situación es muy parecida, el 27% de los gases de efecto invernadero, corresponden al transporte. Dentro de este porcentaje, la mayor parte es generado por el transporte por carretera, seguido del transporte aéreo y el de menos impacto el transporte marítimo.

El transporte marítimo representa aproximadamente el 3,61% del total de emisiones GEI, aún sin ser uno de los sectores más contaminantes, existe margen de actuación suficiente que permite ayudar a frenar el cambio climático.



Ilustración 3. Emisiones de transporte en 2017
Fuente: Agencia Europea del Medio Ambiente 2019

“Los coches, las furgonetas, los camiones y los autobuses producen más del 70 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero procedentes del transporte. El resto procede principalmente del transporte marítimo y aéreo.”
(Agencia Europea de Medio Ambiente, 2020)

Si realizamos una comparación entre los diferentes medios de transporte de mercancías, podemos observar que, aunque el nivel de emisiones del transporte marítimo y aéreo a nivel global es muy parecido, los g de CO2 por cada tonelada son muy diferentes.

El impacto ambiental se multiplica exponencialmente al transportar la misma mercancía vía aérea en lugar de hacerlo vía marítima. En el caso de los buques mercantes, la IMO afirma que su huella de carbono es de entre 3 y 8 g de CO2 por cada tonelada transportada. (en función de tiempo de buque, ruta, velocidad, etc.)

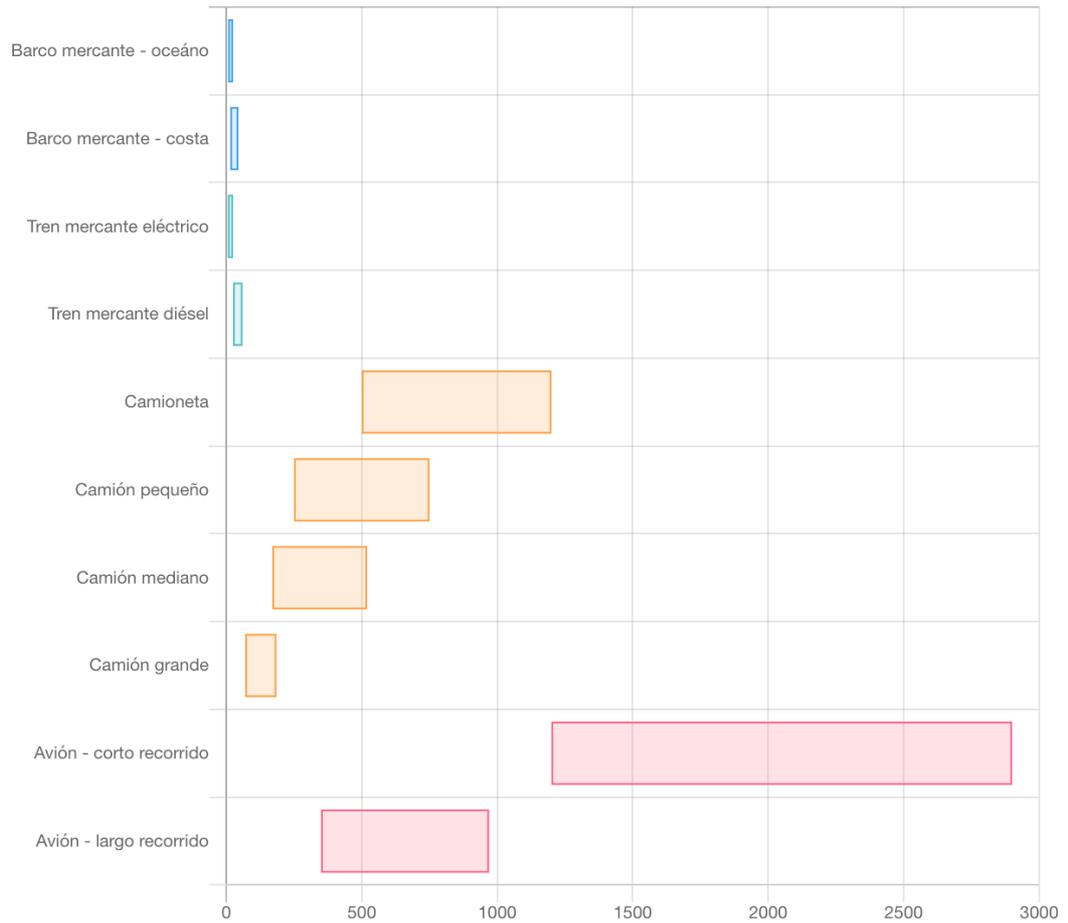


Ilustración 4. Huella de carbono de los transportes de mercancías (g CO₂/km tonelada)

Fuente: Travelinho a partir de datos del informe del IPCC pag610

Dado el importante volumen de mercancía que se transporta a nivel internacional y aun teniendo un impacto reducido en proporción a la cantidad transportada, en total suma unos niveles de contaminación de gases GEI elevados y que hay que reducir, para así poder cumplir con los objetivos de la UE y también con los pactos de reducción de la huella de carbono a nivel internacional.

3. Marco regulador sobre la eficiencia energética en el sector marítimo

En los últimos años, hemos podido ver un especial interés, tanto por parte de la Unión Europea como a nivel internacional, en trazar un plan con el objetivo de alcanzar la neutralidad climática.

El cambio climático es un fenómeno global, por lo tanto, requiere de acuerdos y planes de actuación multilaterales, para así unificar, facilitar y alinear los objetivos hacia el interés general.

3.1. El Pacto Verde Europeo

El Pacto Verde Europeo viene en respuesta a los desafíos climáticos, con el objetivo de proteger, mantener y mejorar el medioambiente y la vida de las personas de los países europeos.

La meta es cero emisiones de gases de efecto invernadero para el 2050 y para el 2030, reducir entre un 50%-55% la emisión de gases de efecto invernadero (respecto a los niveles de contaminación del 1990), pero para ello es necesario la integración y el compromiso de todos los países y sectores de la UE.

“Reducir aún más las emisiones es un reto que exigirá una inversión pública masiva y un mayor esfuerzo para dirigir el capital privado hacia la acción por el clima y el medio ambiente, evitando al mismo tiempo quedar encajonados en prácticas insostenibles.” (Comisión Europea, 2019)

Para que se produzca un cambio, además del compromiso, se necesita una importante inversión en investigación, nuevos modelos y procesos, infraestructuras y activos. Por otra parte, la UE insiste en hacer que paguen aquellos que contaminan e incentivar aquellos que buscan minimizar su impacto medioambiental.

“El precio del transporte debe reflejar el impacto que tiene sobre el medio ambiente y la salud. Al mismo tiempo, la UE debe intensificar la producción y utilización de combustibles alternativos y sostenibles para transporte.” (Comisión Europea, 2019)

Si hacemos referencia al transporte marítimo, este sector hace uso de grandes cantidades de combustible, dada esta situación, su actividad puede verse afectada por las variaciones en el precio del combustible. Por otro lado, el coste que supone cambiar el modelo de propulsión (a combustibles más sostenibles) implica una inversión muy grande (cambio de la flota) que solamente resulta rentable en el largo plazo. (García Olivares, Sole, Samsó, & Ballabrera Poy, 2020)

3.2. Organización de las Naciones Unidas

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) es una organización internacional que se fundó para mantener la paz y la seguridad a nivel global. La principal fuente de ingresos de la organización son las donaciones realizadas por los 193 estados miembros. (ONU, 2022)

Dado que es una de las organizaciones más grandes a nivel mundial, tiene la capacidad de abordar problemas globales, entre ellos, el cambio climático.

El IPCC es un grupo de expertos sobre el cambio climático de la ONU, que con la participación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), hacen informes periódicos informando de la situación climática y su evolución. En el informe publicado el 2021, “Cambio Climático 2021” remarca la urgencia de realizar cambios en toda la sociedad para así frenar el calentamiento global en +1,5 °C en vez de 2°C. (IPCC, 2021)

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en la 21ª conferencia de París del 2015, consiguió un acuerdo, en el que todas las naciones del mundo se comprometían en la luchar contra el cambio global

mediante la puesta en marcha de acciones e inversión tanto pública como privada.
(ONU, 2022)

3.3. MARPOL

El convenio internacional MARPOL fue adoptado en 1973, con la intención de prevenir y reducir la contaminación procedente de la operativa normal de los buques, pero también aquella que se produce a causa de un accidente. El convenio contiene seis anexos, que hacen referencia a diferentes formas de prevenir la contaminación atmosférica y marítima.

El anexo VI contiene diversos puntos para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques, este se adoptó en 1997 y entró en vigor el 19 de mayo del 2005. El anexo hace referencias a la reducción de gases como el óxido de azufre (SOx) y los óxidos de nitrógeno (NOx) y a la creación de zonas ECA (zonas de control de las emisiones).

“El límite máximo del contenido de azufre (SOx) a nivel mundial se reducirá del actual 3,50% al 0,50%, con efectos a partir del 1 de enero de 2020” (MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE, 2019) (OMI, 2019)

En cuanto a las zonas de control de las emisiones (ECA), el límite se redujo al 0,10% a partir de enero del 2005. Con estos nuevos límites, la OMI busca disminuir un 77% las emisiones totales producidas por los buques. En ayuda al sector, la OMI ha publicado una serie de documentos que contienen pautas a seguir para elaborar un plan de implantación de las nuevas medidas y directrices para la supervisión por parte de los estados. (IMO, 2020)

Por otra parte, el convenio MARPOL también marca límites de contaminación atmosférica para los buques en función de su antigüedad.

Se han fijado tres niveles que limitan el grado de emisión en función del año de construcción del buque. Esto contribuye a la construcción de buques cada vez

menos contaminantes. El nivel I es para buques construidos antes del 1 de enero de 2000, el nivel II para los buques construidos el 1 de enero de 2011, o posteriormente y el nivel III para aquellos buques construidos el 1 de enero 2016, o posteriormente. (IMO, 2020)

4. Combustibles alternativos

Uno de los principales combustibles utilizados actualmente por el transporte marítimo son los fuelóleos HFO (hidrofluoroolefinas), que se generan durante la destilación del crudo. Según la normativa ISO 8217 y siguiendo las disposiciones del convenio SOLAS y del anexo VI del MARPOL, los límites permitidos son del 0,5% de contenido en azufre desde el 2020. (ISO, 2017)

Desde la aprobación el 2017, hasta que entró en vigor, se dejó un margen de tiempo para la adaptación de todas aquellas partes implicadas. Aun así, se trata de un período de tiempo bastante corto para realizar modificaciones, pero dado el nivel de emisiones y el crecimiento, es necesario realizar cambios graduales que finalmente permitan eliminar las emisiones de azufre y óxidos de nitrógeno.

En busca de una solución a este problema, se han investigado y probado varios combustibles alternativos para el transporte marítimo. Actualmente, existen diferentes propuestas de combustibles, con el objetivo de alcanzar las cero emisiones. Aunque existen varias opciones, seguimos estando lejos de un combustible que cumpla todas las exigencias.

“Even if all the vessels in the world were able to run on alternative fuels – and the sector is working hard to make that happen – it will make no difference for our climate if that fuel is not available from clean sources.” — John Butler, presidente y director ejecutivo del Consejo Mundial de Transporte Marítimo

A continuación, veremos las diferentes propuestas existentes actualmente en el mercado, analizando cuáles son los pros y contras de cada una de ellas.

4.1. Metano y metanol

“El metano es el principal constituyente del gas natural, mientras que el metanol es empleado como combustible y como materia prima en la industria química.”
(Guerrero-Fajardo & Cortés-Ortiz, 2017)

Si hacemos referencia a los beneficios de utilizar el metano y el metanol como combustibles en el transporte marítimo, podemos destacar que se trata de un combustible más limpio en comparación a los que se utilizan en la actualidad.

También hay que mencionar que posee un mayor rendimiento y que se quema a una temperatura menor, por lo tanto, se pierde menos calor y se consigue una mayor eficiencia.

El principal inconveniente de esta alternativa es el coste de producción, que supone una barrera importante a la hora de hacer el cambio de combustible y al mismo tiempo seguir siendo competitivo en el sector. Otro factor a tener en cuenta es el cuidado requerido, ya que se tratan de combustibles con un punto de inflamación muy bajo.

4.2. Gas Natural Licuado GNL

“El gas natural licuado (GNL) es gas natural sometido a un proceso de licuefacción durante el cual se lo lleva a una temperatura aproximada de -160°C , transformándolo al estado líquido. Al licuar el gas natural y obtener GNL.” (Guerrero, 2014)

Se trata de una variante del metano, ya que se consigue mediante la conversión del gas en líquido. Gracias a esta transformación, se logra reducir el volumen en 600 veces, pudiéndose así transportar y almacenar una mayor cantidad.

El gas natural licuado (GNL), aparte de tener un bajo impacto en el medio ambiente, también tiene un menor coste relativo en comparación al petróleo (respecto al gas natural, este combustible tiene un coste superior, ya que está sometido a un mayor número de procesos para su transformación). También es importante hacer referencia a las reservas naturales, puesto que disponemos de una cantidad significativa, entre 17.600-18.000 millones de metros cúbicos.

“The imposition of a stricter sulphur content cap on marine bunker fuel has spurred the switch to LNG-fuelled vessels, through the installation of new machinery (or conversion where possible) designed to operate on LNG, as well as the construction of related infrastructure. This creates a self-reinforcing feedback loop where the development of an efficient, secure, and competitive LNG supply chain and related bunkering infrastructure drive further adoption of LNG-fuelled vessels.” (IGU, 2021)

Según la International Gas Union (IGU), después de que la IMO anunciara la imposición de un nuevo límite global del 0,50 %, sobre el contenido máximo de azufre permitido en la combustión de los buques, se incrementó y mejoró el número de instalaciones que permiten repostar GNL a los buques. Este hecho ha creado así una cadena de cambios, ya que, con ello, los propietarios de buques que necesitan cambiar su flota optan por este sistema de propulsión.

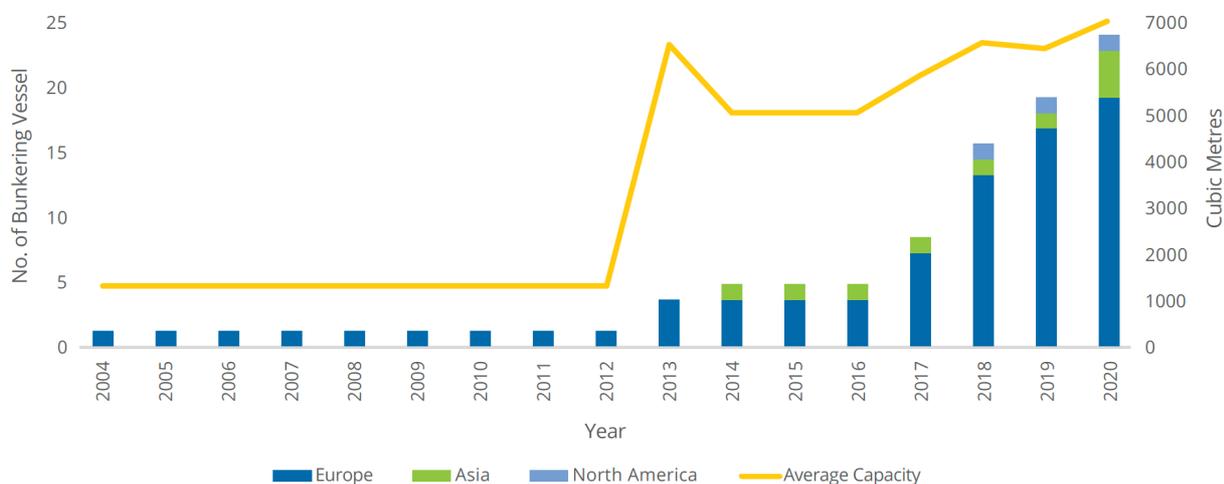


Ilustración 5. Flota global de buques de abastecimiento de GNL y capacidad por regiones.
Fuente: International Gas Union (IGU) reporte 2021

Como inconveniente, la limitación del abastecimiento al número de gaseoductos que hay construido y a los buques capacitados en realizar el transporte. La utilización del GNL como combustible, está limitado a que los buques tengan un sistema de propulsión específico y por lo tanto, no todos pueden hacer uso del

GNL. La construcción de nuevos buques lleva un largo período de tiempo, entre 30-50 meses y también una importante inversión.

4.3. Hidrógeno verde

El hidrógeno es el elemento más simple y abundantes en la naturaleza. Se encuentra en una gran variedad de compuestos químicos como puede ser el agua y para obtenerlo se realiza un proceso químico conocido como electrólisis en el que se separa el hidrógeno del oxígeno.

Es considerado como una muy buena alternativa a tener en cuenta para substituir los combustibles más contaminantes, ya que aparte de ser un combustible renovable, es muy abundante y de todos los combustibles es el que tiene la máxima relación energía/peso. Si lo comparamos con las otras alternativas presentadas anteriormente, este no genera ningún tipo de contaminación, puesto que en su combustión lo único que desprende es vapor de agua.

Los principales inconvenientes del hidrógeno verde son, el alto coste de producción y la seguridad que se requiere a la hora de ser tratado, ya que es un elemento muy volátil e inflamable. Cuando hablamos de combustibles la relación energía/volumen es muy importante, en este caso, se tiene un bajo nivel energía/volumen, por lo tanto, requiere más volumen para producir la misma energía. (comparado con otros combustibles como el metano, que ocupa ocho veces menos volumen) (Peretti & Visintin, 2005)

4.4. Biocombustibles

Conocemos por biocombustibles todos aquellos que se obtengan de la materia orgánica por vía biológica, por lo tanto, quedan excluidos los combustibles fósiles, aunque también tuvieron su origen biológico en épocas remotas.

Si analizamos las ventajas de los biocombustibles podemos destacar que se trata de un recurso inagotable, ya que los campos de cultivo se pueden cosechar todos

los años. También hay que mencionar que existe suelo suficiente para generar una importante cantidad de biocombustible.

La adaptación de los motores actuales es mucho más simple utilizando biocombustibles como los bioaceites, ya que no requiere de tales cambios como en el caso del gas natural licuado GNL.

“Por otra parte, la producción de biocombustibles requiere del empleo de tecnología para cultivarlos a gran escala, situación que está fuera del alcance de los pequeños productores y campesinos, y quienes pudieran hacerlo tendrían que emplear tierras adicionales para seguir produciendo sus propios alimentos.”
(Salinas Callejas & Gasca Quezada, 2009)

Es importante mencionar la crisis alimentaría a nivel mundial, ya que una mayor producción de biocombustibles podría ir acompañada de un incremento de los precios de ciertos productos como pueden ser el azúcar, el trigo, el maíz o los aceites y eso empeoraría aún más la situación actual.

4.5. Pilas de combustible y baterías

Son dispositivos capaces de acumular energía eléctrica y suministrarla en un momento diferente.

Podemos decir que el punto de inflexión en la introducción de las baterías en el sector del transporte marítimo fue el 2020, cuando se empezó aplicar la reducción del 3,5% al 0,5%, contenido máximo de azufre permitido, en masa de combustible.

Actualmente, existen proyectos con mucho potencial como la empresa Stillstrom, una asociación de la empresa naviera Maersk y la de energía eólica Ørsted, que están desarrollando unas plataformas para cargar todo tipo de embarcaciones cerca de la costa y en alta mar. (Marquez, 2022)

Según Corvus Energy, un proveedor líder de baterías marítimas, se ha dado un aumento en la demanda de Offshore Support Vessels OSV (buques de apoyo en alta mar) híbridos, ya que las baterías se han utilizado para reemplazar uno de los

cuatro motores diésel: al reemplazar los motores, se ahorra combustible entre un 15 y un 30 por ciento. (Gear, s.f.)

En cuanto a las desventajas de esta alternativa, podemos mencionar que actualmente no existen baterías con suficiente potencia y energía para las distancias recorridas. Por ello, se requiere de la combinación de las baterías y otras fuentes de energía en el funcionamiento de las embarcaciones. Otra desventaja es el tiempo de recarga y la adaptabilidad de la infraestructura de los puertos para dar este servicio.

5. Nuevas tendencias

Los cambios en el sector requieren de una rápida adaptación a la demanda y cambios en la normativa, por ello que podemos ver una importante diferencia en el transporte marítima de ahora a hace unos años.

La tecnología ha tenido un papel fundamental en esta transición, ya que como veremos a continuación, contribuye en unos de los retos más relevantes en la actualidad dentro del sector.

5.1. Tecnología y electrificación de los muelles

Durante estos últimos años, hemos podido ver como la tecnología ha contribuido de forma significativa en el desarrollo de todos los sectores, incluido el transporte marítimo.

La sostenibilidad en el transporte marítimo se ha visto muy ligada a los avances tecnológicos, sobre todo esta última década, cuando la Organización Marítima Internacional (OMI) ha puesto especial foco en la reducción de gases GEI de los buques.

Las nuevas normativas exigen una reducción de la contaminación en los puertos y cerca de ellos, contribuyendo así a la realización de cambios en las infraestructuras, y esto requiere de investigación y tecnología.

La electrificación de los muelles es uno de los retos actuales en cuanto a la sostenibilidad en el sector marítimo, ya que permitiría eliminar la emisión de gases GEI de todas aquellas embarcaciones mientras estén paradas en el puerto.

“Currently, port electrification strategies are shown to achieve environmental benefits, and port infrastructure has also offered cost-effective pathways to achieve these environmental benefits. However, new investments to implement electrification strategies require resources, and costs can be a barrier.” Schenk, E., Carr, E., Corbett, J. J., & Winebrake, J. J. (2020)

Para alcanzar la transición hacia la electrificación de los muelles, se necesita la implicación de lo puerto, pero también del estado, ya que existen ciertas barreras.

“Gestores de las Autoridades Portuarias confirman que la principal barrera para suministrar energía eléctrica en los atraques es precisamente la falta de adaptación de los buques para poder conectarse a la red; las otras dos dificultades mayores son: la disponibilidad de potencia de la propia red eléctrica necesaria para atender las demandas elevadas de los grandes buques como cruceros, portacontenedores o ferris, y el coste de suministro eléctrico.” (OPS Master Plan for Spanish Ports, 2021)



Ilustración 6 Conexión para dar electricidad a un buque atracado
Fuente: Cavotec

Dada esta situación los puertos intentan ofrecer bonificaciones para así resultar más atractivos frente las navieras. En España se bonifica con un descuento del 50% en la T1, la tasa que graba la estancia de los buques atracados en los puertos mientras que estén conectados a la red eléctrica. (Autoridas Portuaria de Barcelona, 2021)

Al mismo tiempo, si la embarcación está conectada a la red eléctrica le supondría un menor desgaste de los motores auxiliares, traducido en un menor coste.

El entorno no solo se beneficia de una reducción de gases GEI y un aire más limpio, sino también de una disminución de la contaminación acústica y las vibraciones. (Comité de Seguridad Marítima, 2012)

Referente a falta de adaptación de los buques para poder conectarse a la red, en especial de aquellos más antiguos, supone un problema en realizar esta transición en un periodo relativamente corto.

En el caso del puerto de Barcelona, se espera finalizar el plan de electrificación de muelles en 2030, eso supondría que una parte de las embarcaciones que atracarán en el puerto podrían hacer uso de este servicio. (una gran parte estarán excluidas por su inadaptabilidad).

“Contribuirá a reducir el 22% las emisiones de gases de efecto invernadero de sus operaciones en la actualidad, cerca de una cuarta parte” según las estimaciones de la Autoridad Portuaria de Barcelona.

5.2. Tamaño de los buques

Durante estos últimos años, hemos podido ver cómo ha habido cambios progresivos en el tamaño de los buques y en la capacidad de carga, cambios que siempre han ido a más. Actualmente, llegando a una capacidad de 24.000TEU (unidad equivalente a 20 pies).

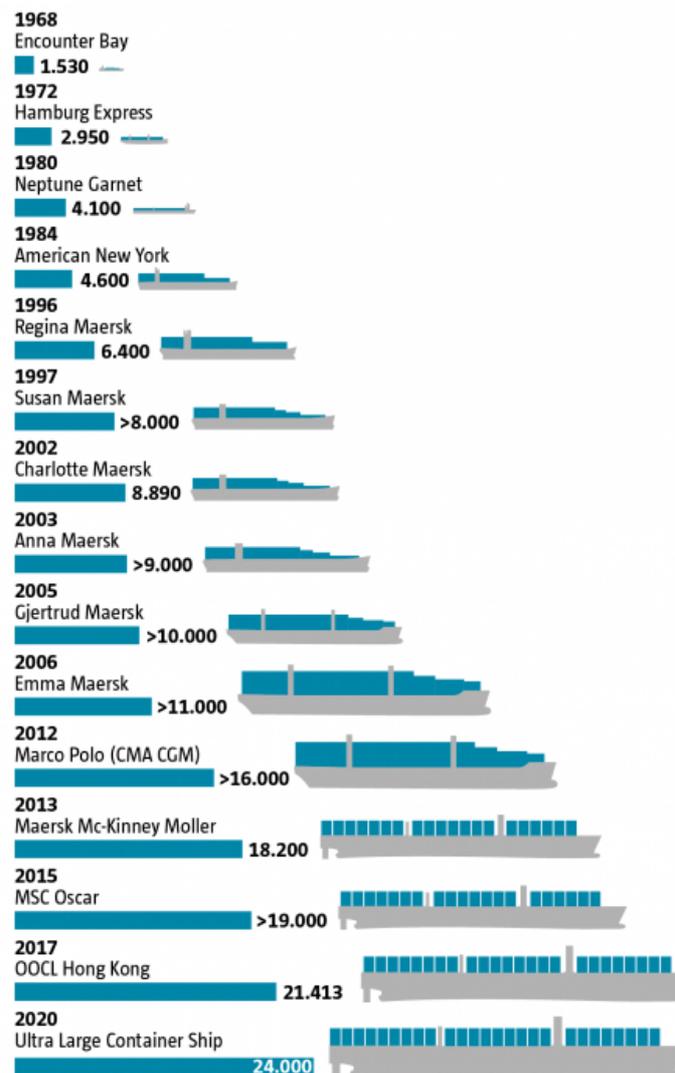


Ilustración 7. Evolución del tamaño y carga en teu de los buques portacontenedores
Fuente: LA VANGUARDIA

“En efecto, desde 2009, las principales navieras se embarcaron en una carrera por construir y operar naves de gran capacidad, llegando algunas a alcanzar más de 20 mil TEU, con el objetivo de generar economías de escala y así aumentar sus ganancias.” (Améstica, 2019)

Cuando hablamos de economía de escala en el sector del transporte marítimo, hacemos referencia a la disminución del coste unitario (en este caso coste unitario por unidad transportada) a medida que incrementa la cantidad transportada. Este concepto puede aplicarse de la misma forma en el consumo de combustible, ya que existe una disminución en el consumo de combustible y emisiones GEI (por

unidad transporta) a medida que se incrementa la cantidad transportada. (Márquez Ramos, Pérez García, Martínez Zarzoso, & Wilmsmeier, 2007)

Podemos pensar que existe una disminución general en la emisión de gases GEI en el sector del transporte marítimo, pero hay que tener en cuenta, aparte de la capacidad máxima a transportar, la capacidad real transportada. La economía de escala y la disminución de gases GEI se produce cuando estos mega buques circulan en su capacidad máxima.

La actual fluctuación entre oferta y demanda de los fletes, los envíos de contenedores vacíos, las restricciones de ciertas rutas y la inhabilidad de muchos puertos en poder recibir estos súper buques, supone un reto para el sector.



Ilustración 8 Buque Ever Aria de la línea Evergreen con una capacidad de 24.000TEU.

“Shipowners control the bigger investments and make the technology choices that determine what fuel a vessel operates on as well as the longer-term drivers of efficiency. Operators are responsible for the day-to-day operations and can influence the operational choices” (World Shipping Council, s.f.)

A la hora de construir una nueva embarcación, el propietario es quien tiene la decisión sobre las características a tener en cuenta, como por ejemplo el tamaño y el tipo de propulsión. Por lo tanto, el propietario de la naviera tiene mucho peso

en la reducción de los gases GEI en el sector. Por otra parte, el armador y los operarios, también influyen en el consumo de combustible y como consecuencia en la emisión de gases GEI, ya que son quienes deciden las rutas que se van a hacer y la velocidad.

MARCO PRÁCTICO

6. Antecedentes

Durante los últimos años el sector del transporte marítimo ha vivido cambios relevantes a causa de la expansión económica y las mejoras tecnológicas. Tal y como afirma la OMI, el crecimiento actual no sería posible sin el sector marítimo, por ello que en este análisis se incluye el PIB como uno de los indicadores a analizar. Sabemos que existe una relación entre el PIB y el transporte marítimo, pero buscaremos saber si está relacionado existe con la contaminación que genera el sector.

Conocemos que la capacidad de la flota no siempre es igual a la carga transportada, por otro lado, en la parte teórica hemos visto la tendencia de fabricar buques de mayor capacidad año tras año, por ello que se añaden estos dos indicadores al estudio, buscando conocer en qué medida afectan los niveles de CO2 equivalentes emitidos por el sector.

Las mejoras requieren de tiempo, pero también de recursos, encontrar nuevas formas, que nos permitan seguir con la actividad marítima actual y reducir la huella de carbono generada por el sector, requiere de inversión en I+D. De acuerdo al estudio GIO de Oxford Economics, el sector portuario junto con el vial, son los que tienen una mayor brecha entre necesidad de inversión y tendencia de gasto.

Las medidas impuestas por la OMI en reducir los niveles de contaminación, han pasado a ser cada vez más estrictas. Con los diferentes límites marcados durante estos últimos años, respecto las emisiones de óxido de azufre, se ha intentado reducir la huella de carbono y los efectos que generan estos gases en la población. Esta variable también ha sido añadida al estudio para ver qué tal eficiente ha sido la imposición de estos límites en sector.

7. Indicadores

Para la realización de este estudio se han tenido en cuenta los siguientes indicadores;

- Emisiones de gases de efecto invernadero en el sector del transporte a nivel mundial (millones de toneladas de CO₂ equivalente)
- Emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte marítimo a nivel mundial (millones de toneladas de CO₂ equivalente)
- PIB mundial (billones USD)
- Carga total transportada por el sector del marítimo a nivel mundial (toneladas métricas en millones)
- Capacidad carga flota mundial (millones de toneladas de peso muerto)
- Gasto mundial en investigación y desarrollo (% del PIB)
- Límite marcado del óxido de azufre SO_x en el transporte marítimo

Los datos se han obtenido de las siguientes fuentes:

- The World Bank Data
- European Environment Agency (EEA)
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (1990-2020)
- Organización Marítima Internacional (OMI) según dispuesto en las reglas 14.1 y 14.4
- UNCTADstat United Nations Conference on Trade and Development

8. Marco temporal

Para el modelo de análisis de regresión lineal múltiple se han utilizado 13 observaciones, de los años 2005-2017.

Para el estudio de regresión lineal simple, en donde se observa la relación entre emisiones de gases de efecto invernadero (variable explicada) y los cinco indicadores por separado (variables explicativas) se han utilizado datos entre los años 1990-2018.

9. Alcance y limitaciones de la investigación

En el análisis realizado se ha buscado el tipo y grado de relación entre las variables explicativas y la variable explicada. A continuación, se ha propuesto un modelo que pudiera explicar las emisiones de gases GEI en el sector.

El estudio está limitado por el rango de datos, la falta de información oficial sobre los valores más recientes de algunos de los indicadores estudiados, ha supuesto una barrera para el análisis.

En segundo lugar, la inexistencia de datos sobre algunos indicadores que hubieran sido interesantes estudiar ha limitado el modelo de estudio.

Finalmente, hay que hacer referencia a la rigidez del sector del transporte marítimo, con ello me refiero a la dificultad que conlleva efectuar algunos cambios, ya que se necesita de una importante inversión y tiempo. Esto hace que no podamos ver cambios importantes en un corto período de tiempo.

10. Resultados

A continuación, se explicarán los resultados obtenidos en el análisis individual, en donde se calcula la relación entre la variable explicada (huella de carbono) y las

diferentes variables explicativas. También se analizarán los resultados obtenidos en el modelo planteado, en donde observa la relación conjunta de las diferentes variables con la variable explicada (huella de carbono en el transporte marítimo).

10.1. Huella de carbono en el sector del transporte marítimo vs la resta de transporte y los objetivos 2030/2050.

Como podemos ver en el siguiente gráfico, que muestra la evolución de la huella de carbono en el transporte (excluido el transporte marítimo), existe un crecimiento progresivo entre los años 1990-2007. A partir del 2007 vemos un descenso en el CO2 equivalente, seguido de una pequeña recuperación, pero manteniendo unos niveles por debajo de los máximos alcanzados el 2007. La covarianza nos indica una relación positiva entre la huella de carbono en el sector y el tiempo. El coeficiente de correlación nos confirma esta relación y nos indica la existencia de una correlación fuerte.

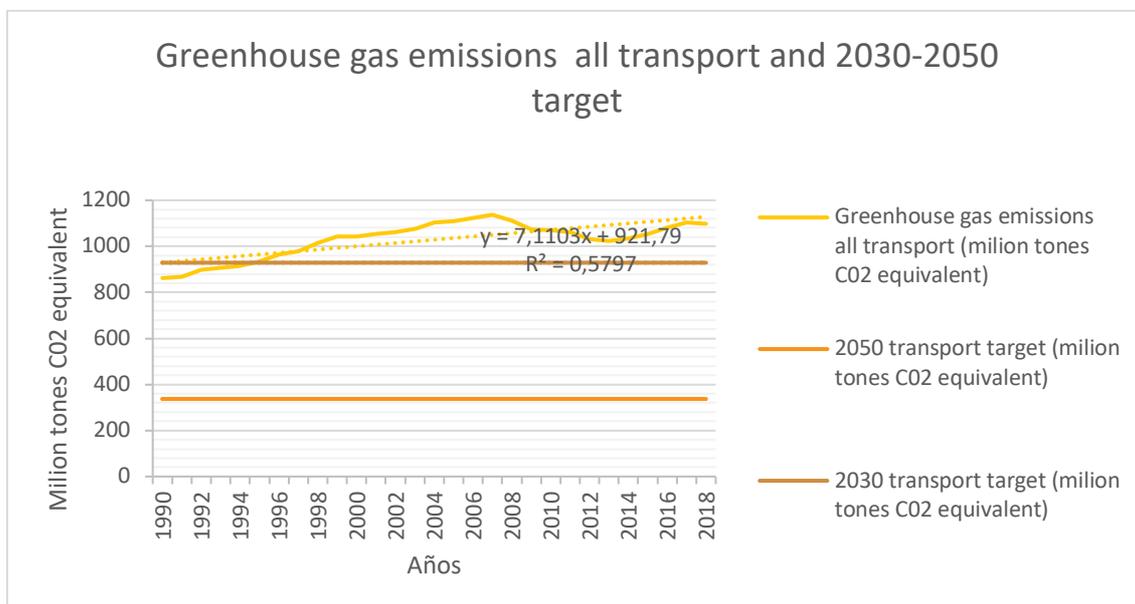


Ilustración 9. Greenhouse gas EMISSIONS ALL transport and 2030-2050 target.

Fuente: Elaboración propia ANEXO I

Por otro lado, analizando el transporte marítimo, podemos ver una evolución muy parecida al conjunto del sector del transporte. Un crecimiento constante desde el 1990-2007, seguido de un descenso más pronunciado y con una recuperación de

los niveles de CO2 equivalente inferior al conjunto del sector del transporte. La covarianza nos confirma la relación positiva entre la huella de carbono y el tiempo, en cuanto al coeficiente de covarianza este nos muestra una correlación moderada.

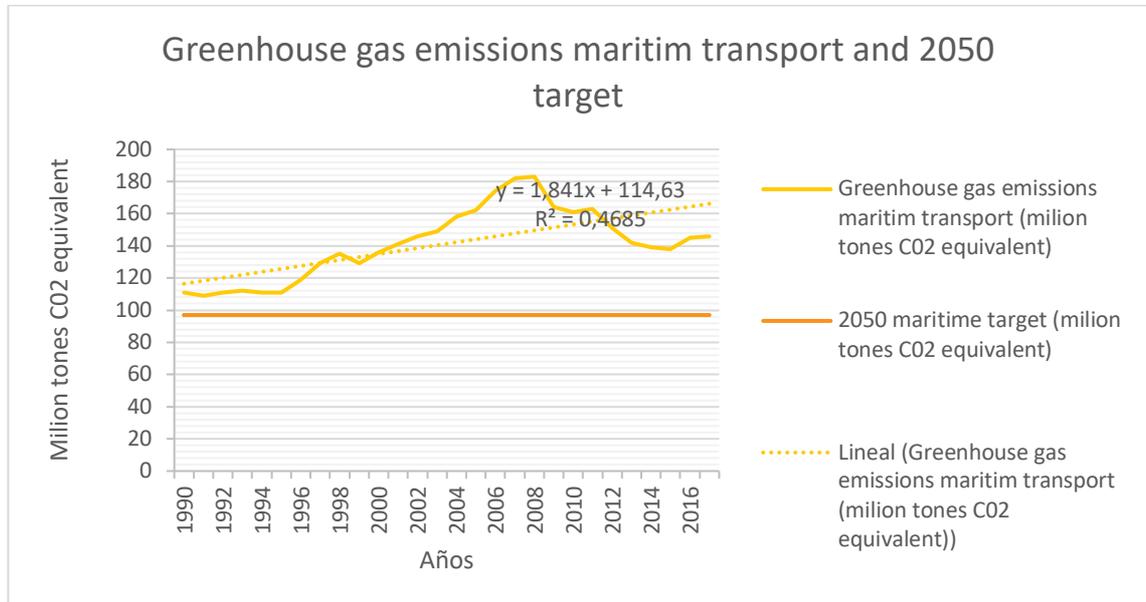
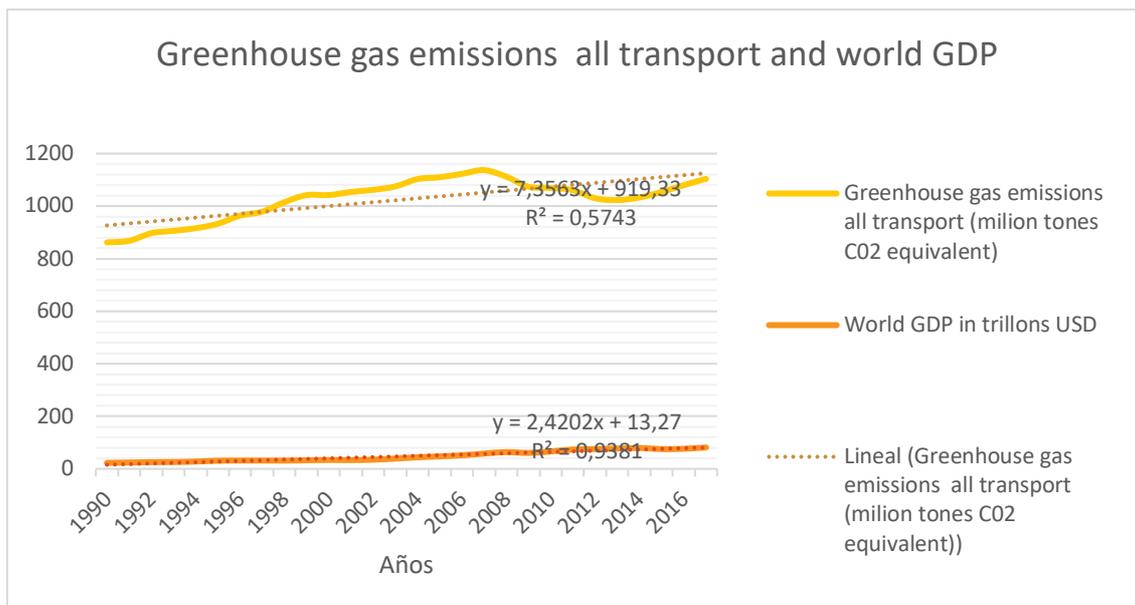


Ilustración 10. Greenhouse gas emissions maritim transport and 2050 target
Fuente: Elaboración propia ANEXOII

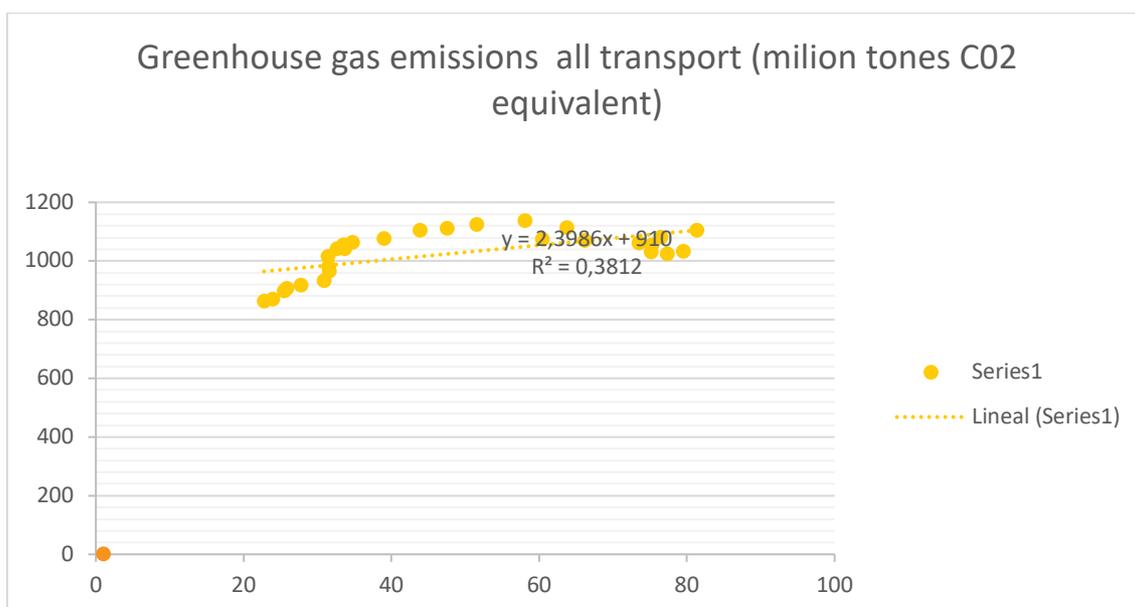
Viendo ambos casos podemos decir que existe una menor relación tiempo-huella de carbono en el transporte marítimo que en el sector del transporte excluido el transporte marítimo).

10.2. El crecimiento de la economía y la huella de carbono en transporte marítimo vs la resta de transportes.

Si analizamos la relación que existe entre el CO2 equivalente en el sector del transporte y el crecimiento de la economía (utilizando el PIB como indicador de crecimiento económico), veremos que existe una relación positiva. El coeficiente de correlación nos muestra una correlación moderada.



Il·lustració 11. Greenhouse gas emissions all transport and world GDP.
Fuente: Elaboración propia ANEXO III



Il·lustració 12. Greenhouse gas emissions all transport (million tones CO2 equivalent).
Fuente: Elaboración propia ANEXO III

En el caso del transporte marítimo el resultado es muy parecido, aunque podemos ver que la relación es algo más significativa en el caso del transporte (excluido transporte marítimo).

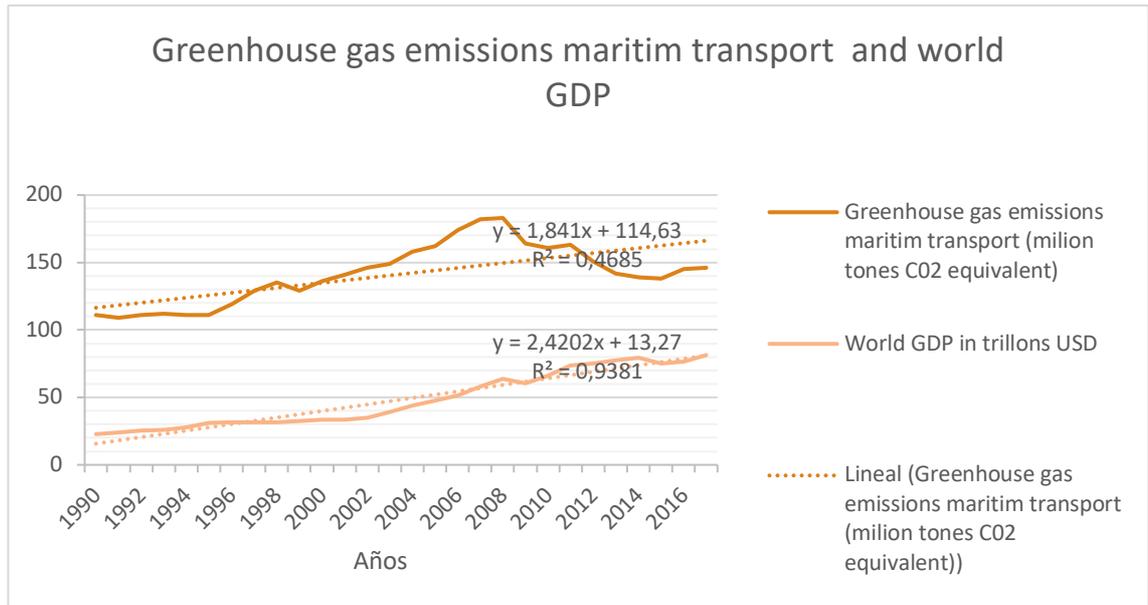


Ilustración 13. Greenhouse gas emissions maritim transport and world GDP.
Fuente: Elaboración propia ANEXOIV

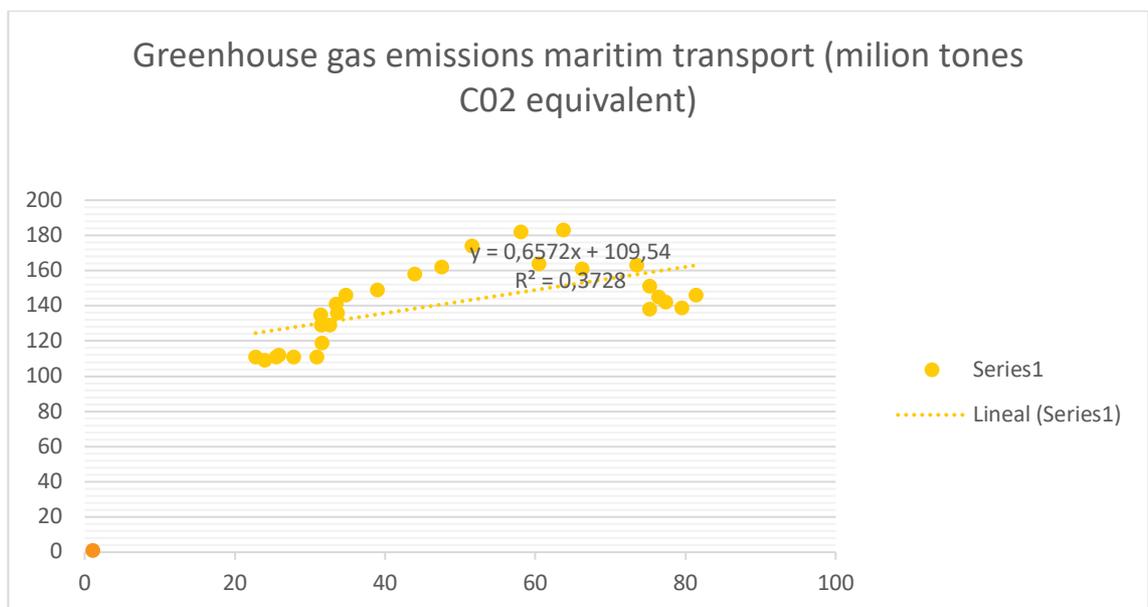


Ilustración 14. Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent).
Fuente: Elaboración propia ANEXOIV

10.3. Inversión en investigación y desarrollo y la huella de carbono en transporte marítimo vs la resta de transportes.

Al analizar el tipo de relación entre el % del PIB dedicado a la investigación y desarrollo y la huella de carbono en el sector del transporte, obtenemos que existe

una relación negativa. El coeficiente de correlación nos indica una leve correlación entre ambas variables.

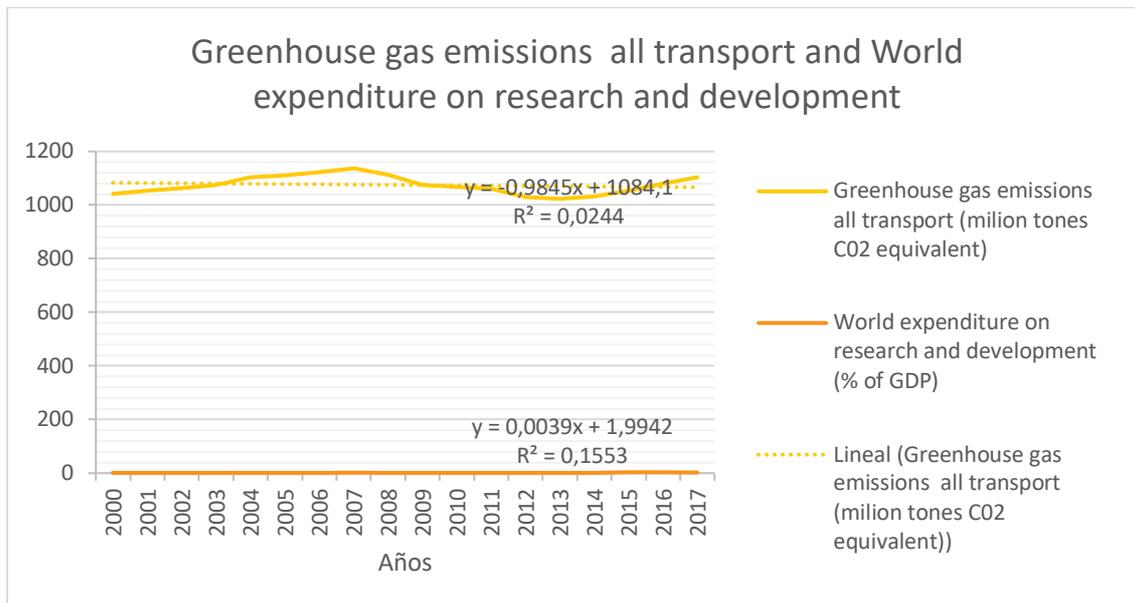


Ilustración 15. Greenhouse gas emissions all transport and World expenditure on research and development
Fuente:Elaboración propia ANEXOV

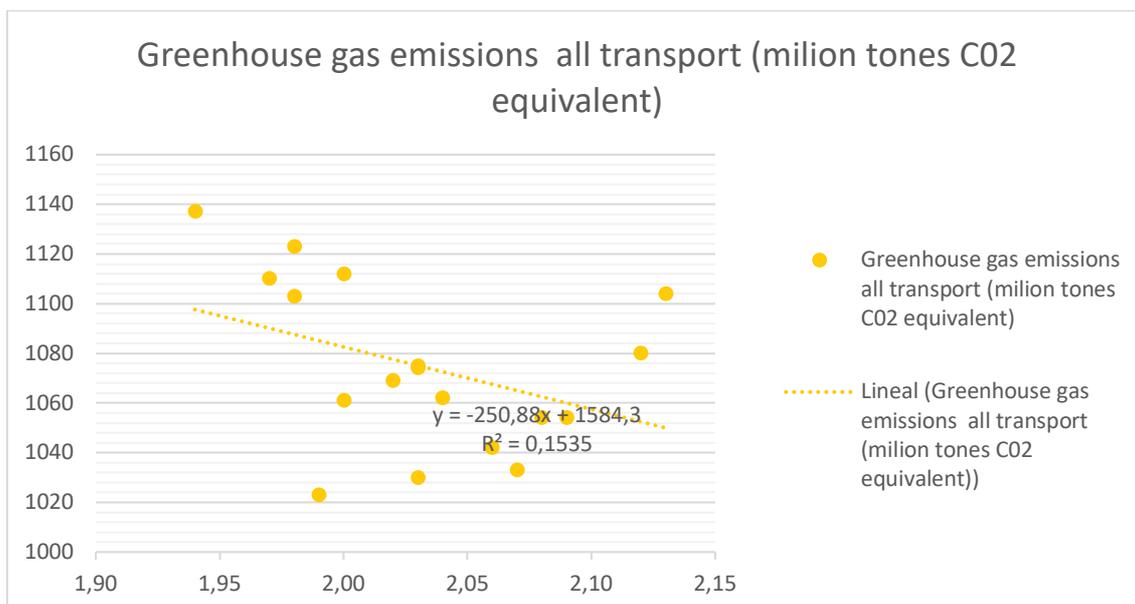


Ilustración 16. Greenhouse gas emissions all transport (million tones CO2 equivalent).
Fuente:Elaboración propia ANEXOV

Al analizar el % del PIB dedicado a la investigación y el desarrollo y la huella de carbono en sector del transporte marítimo vemos que en este caso también existe una relación negativa. El coeficiente de correlación en este caso nos muestra una correlación fuerte entre ambas variables.

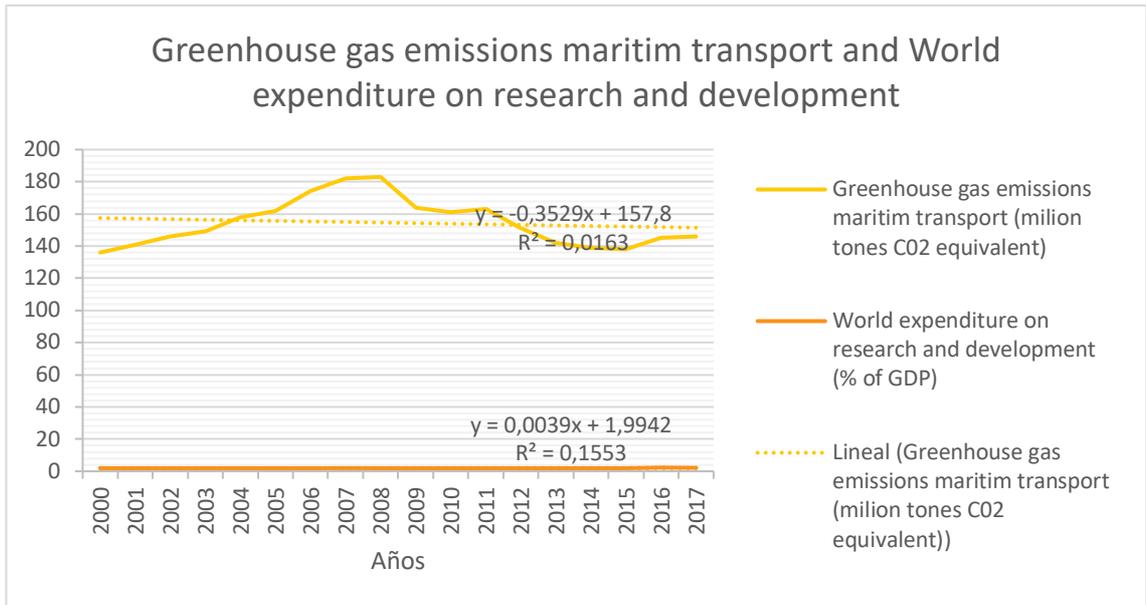


Ilustración 17. Greenhouse gas emissions maritim transport and World expenditure on research and development.

Fuente: Elaboración propia ANEXOVI

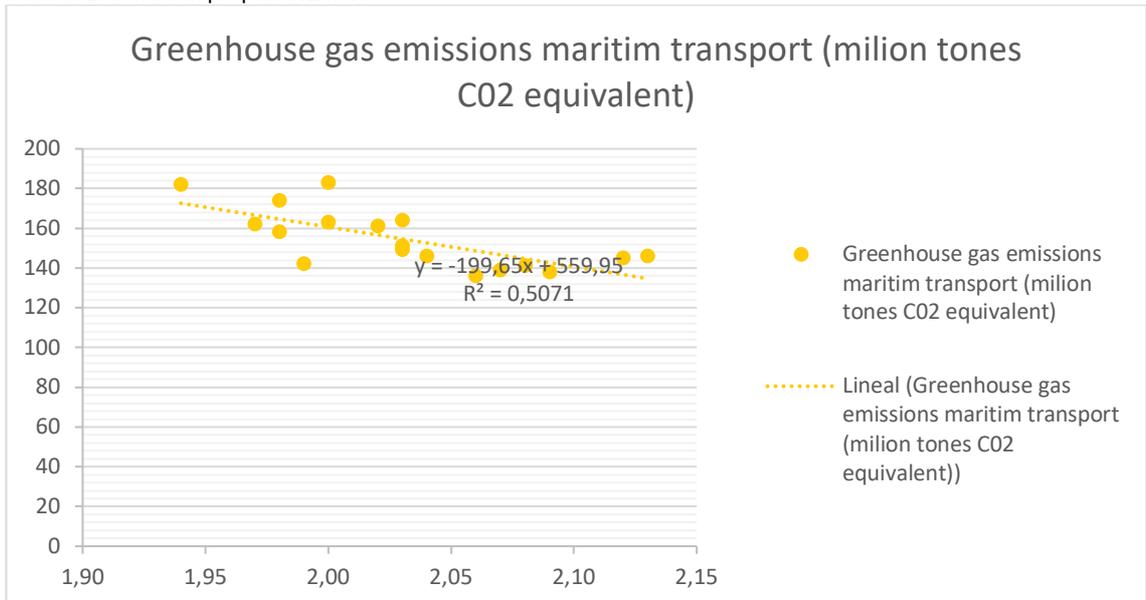
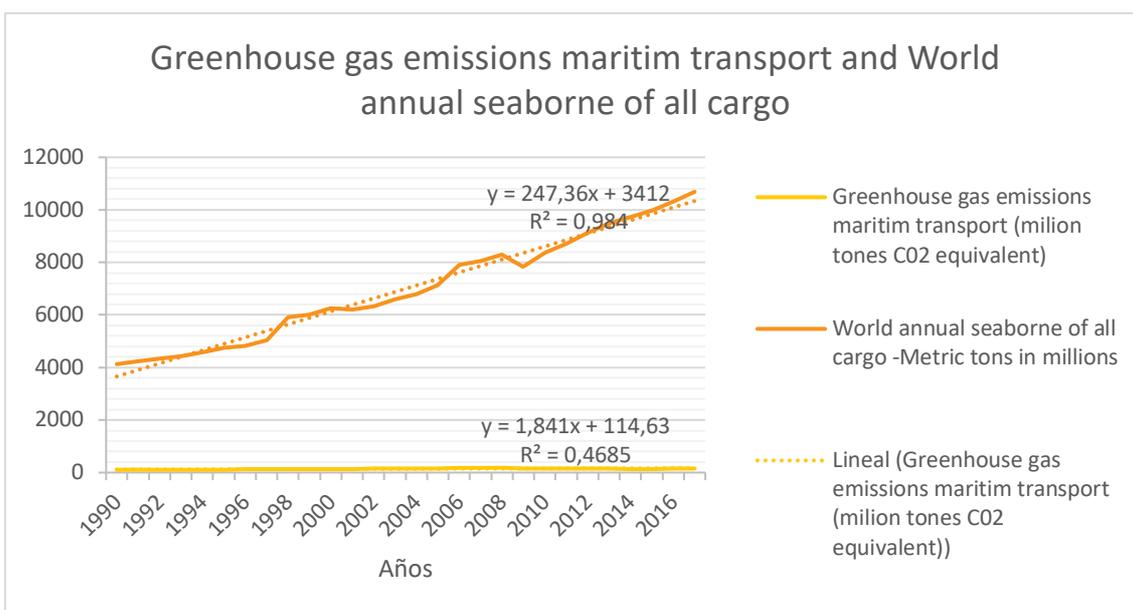


Ilustración 18. Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent).

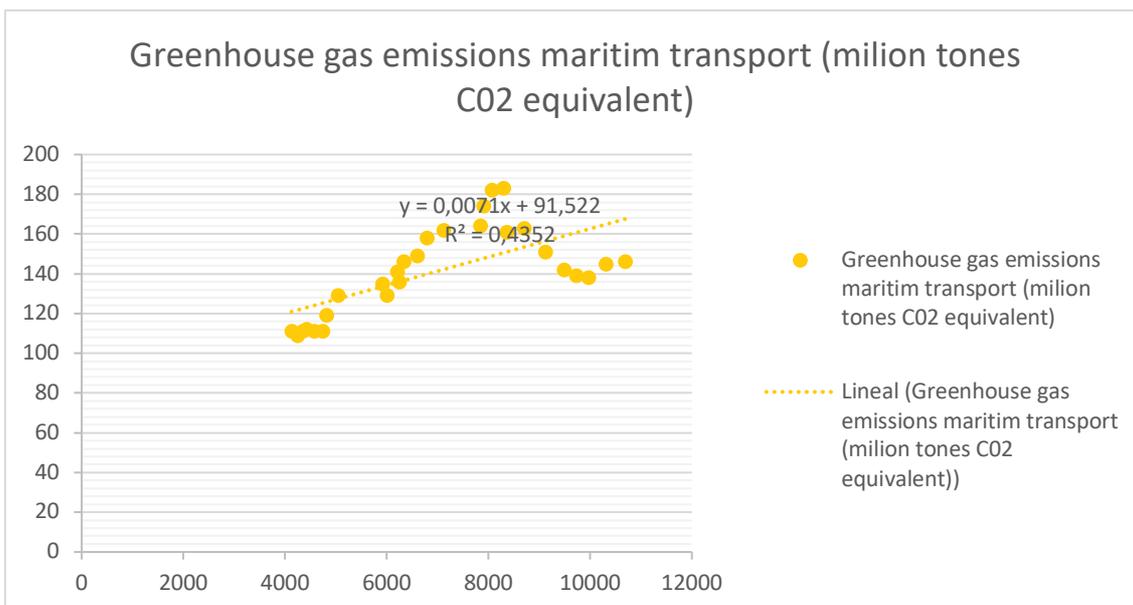
Fuente: Elaboración propia ANEXOVI

10.4. Carga total transportada por el sector del transporte marítim y la huella de carbono en el sector.

En el análisis entre la huella de carbono del sector del transporte marítimo y el total de carga transportada, tenemos una covarianza positiva que nos indica una relación positiva entre ambas variables. Esta relación es moderada y nos la indica el coeficiente de correlación.



Il·lustració 19.Greenhouse gas emissions maritime transport and World annual seaborne of all cargo.
Fuente: Elaboración propia ANEXO VII



Il·lustració 20.Greenhouse gas emissions maritime transport (milion tones CO2 equivalent).
Fuente: Elaboración propia ANEXO VII

10.5. Capacidad carga flota mundial y la huella de carbono en el sector.

Analizando la capacidad de carga del sector marítimo y la huella de carbono, se ha visto una relación positiva entre ambos indicadores, con un coeficiente de correlación que nos indica una leve correlación entre ambas variables.

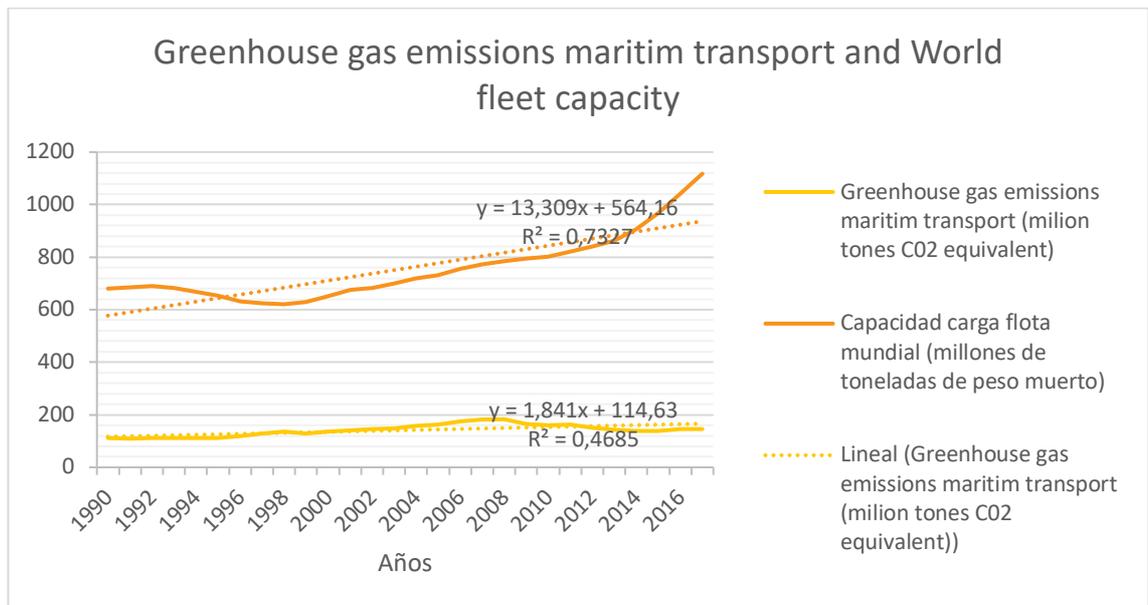


Ilustración 21. Greenhouse gas emissions maritim transport and World fleet capacity.
Fuente: Elaboración propia ANEXO VIII

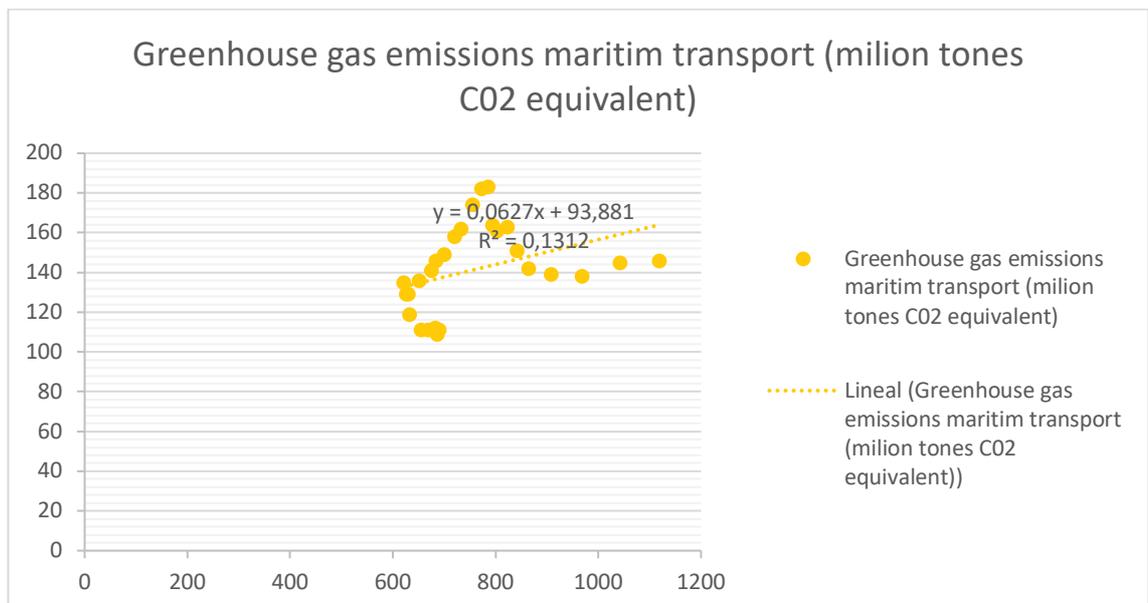
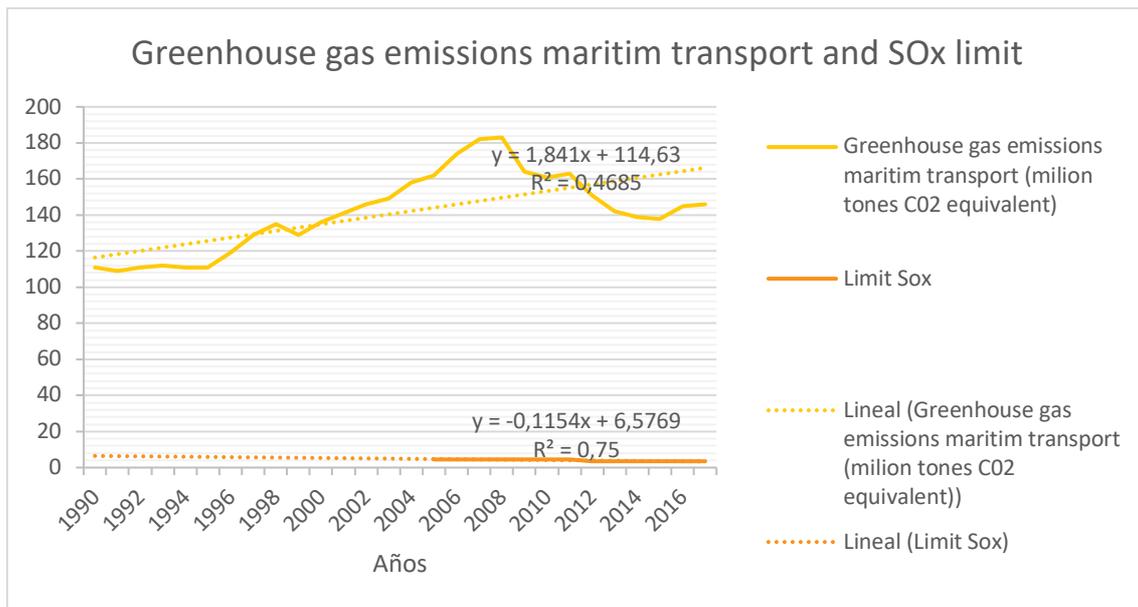


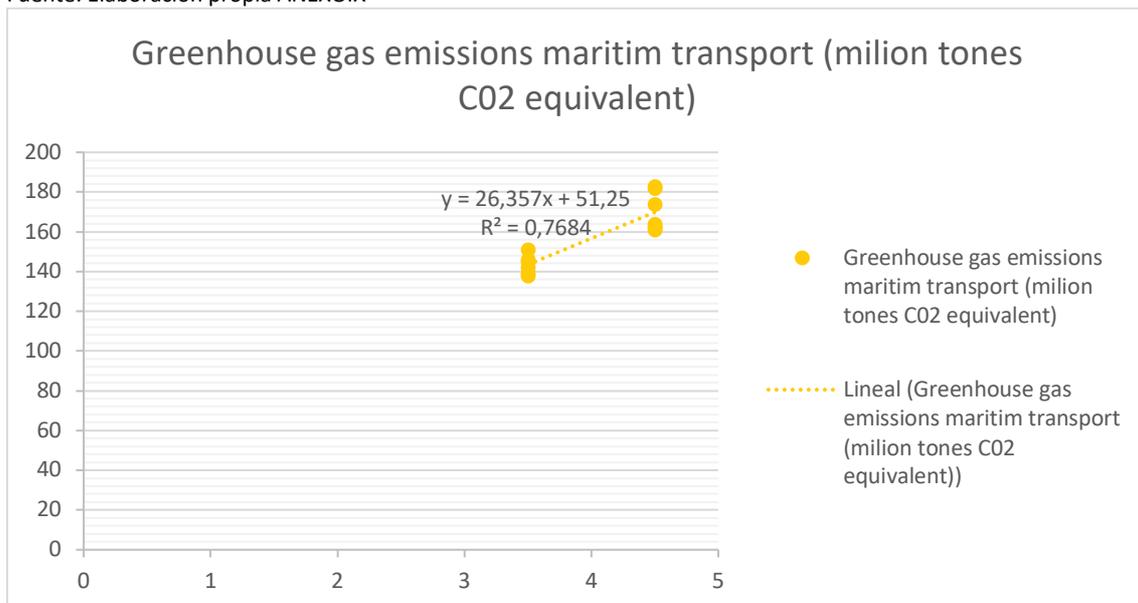
Ilustración 22. Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent).
Fuente: Elaboración propia ANEXO VIII

10.6. Normativa que regula el límit del óxido de azufre SO_{x2} en el transporte marítim y la huella de carbono en el sector.

Al estudiar la relación entre la evolución en el límite del óxido de azufre SO_x en el transporte marítimo y la huella de carbono en el sector, se ha obtenido que existe una relación positiva. Viendo el coeficiente de correlación podemos decir que existe una fuerte correlación entre ambas variables.



Il·lustració 23. Greenhouse gas emissions maritim transport and Sox limit.
Fuente: Elaboración propia ANEXOIX



Il·lustració 24. Greenhouse gas emissions maritim transport (milion tones CO2 equivalent).
Fuente: Elaboración propia ANEXOIX

10.7. Modelo que explica la huella de carbono en el transporte marítimo.

Para el modelo estudiado, se ha tenido en cuenta las variables analizadas anteriormente. Mediante un análisis de regresión múltiple, se ha obtenido los siguientes resultados:

Un coeficiente de determinación del 0,8293 y un coeficiente de determinación ajustado del 0,7073.

El nivel de confianza seleccionado ha sido del 90%.

El valor crítico muestra un punto en la distribución del estadístico de prueba bajo la hipótesis nula que define un conjunto de valores que apoyan el rechazo de la hipótesis nula. El valor crítico de F ha resultado ser 0,0128, siendo este inferior al 0,05 y con ello podemos decir que aceptamos el modelo.

Entre los indicadores analizados todos han resultado significativos menos uno, la capacidad de carga de la flota con una probabilidad de 0,8101 (al ser superior al coeficiente de determinación ajustado) resulta no ser significativa para este modelo. Si tuviéramos en cuenta el coeficiente de determinación (no ajustado) el indicador de capacidad de carga de la flota mundial sería significativo y lo tendríamos en cuenta.

El modelo nos dice que la normativa que limita óxido de azufre tiene una relación positiva sobre la huella de carbono en el transporte marítimo. Una disminución en los niveles permitidos de óxido de azufre supone una disminución del CO₂ equivalente en el transporte marítimo. Este indicador resulta ser el más significativo para el modelo.

En segundo lugar, está la carga total transportada por el sector, en este caso también hablamos de una relación directa. Podemos decir que, a mayor carga transportada a nivel mundial, un mayor nivel de CO₂ equivalente generado por el sector.

El % del PIB dedicado a la investigación y desarrollo también resulta ser un indicador significativo para el modelo, mostrando una relación inversa que nos confirma que a mayor % del PIB dedicado a investigación y desarrollo menores niveles de CO2 equivalente emitidos por el sector.

Por último, el indicador del PIB mundial en este modelo tiene una relación negativa con el nivel de CO2 equivalente emitido. En este modelo a medida que mejora la actividad económica mundial disminuye el nivel de CO2 equivalente.

En el caso de tener como referente el coeficiente de determinación (no ajustado) también resultaría significativa la capacidad de carga de la flota mundial. Esta variable explicativa, tendría una relación negativa con la variable explicada, eso se traduce que a mayor capacidad de carga de la flota un menor CO2 equivalente emitido por el transporte marítimo.

En este modelo Y (variable explicada) sería el nivel de CO2 equivalente emitido por el transporte marítimo y las variables explicativas que serían las siguientes:

XA: PIB mundial

XB: total carga transportada por el sector del transporte marítimo

XC: capacidad de la carga de la flota mundial

XD: % del PIB dedicado a investigación y desarrollo

XE: límites de emisiones de óxido de azufre por el transporte marítimo

El modelo se representaría de la siguiente forma.

$$Y = 166,6071 - 0,6769XA + 0,0152XB - 0,0285XC - 95,7901XD + 29,8835XE$$

Datos en los ANEXOS X Y XI

METODOLOGÍA

El trabajo se divide en dos partes, para empezar, una breve introducción en el tema del transporte marítimo y la huella de carbono en el sector, haciendo referencia a la situación actual del transporte marítimo, las principales instituciones, pactos para frenar el cambio climático y nuevas tendencias. La primera parte del trabajo tiene una visión más cualitativa, ya que se centra en conocer el marco general del sector a partir de investigaciones anteriores.

El segundo bloque de trabajo, es el punto principal, siendo aquel que ocupará la mayor parte del cuerpo del trabajo. Esta parte estará basada en el estudio cuantitativo de datos, con el principal objetivo de valorar la relación entre la variable explicada (CO₂ equivalente en el sector del transporte marítimo) y las diferentes variables explicativas seleccionadas en bases a estudios previos. A continuación, se propone un modelo que explique la huella de carbono en el sector del transporte marítimo utilizando el método de regresión lineal múltiple.

La conclusión del trabajo está basada en los resultados obtenidos en el estudio cuantitativo, dando respuesta a las preguntas planteadas al inicio, principalmente a cuáles son los principales indicadores en la transición hacia la huella de carbono cero en el transporte marítimo.

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

La reducción de la contaminación, se ha vuelto uno de los principales temas a abordar en los últimos años. Dado los importantes efectos negativos que genera el exceso de gases GEI y los irreversibles efectos durante milenios, hace que se requieran cambios de inmediato.

Conocemos que el sector del transporte el 2020 representaba aproximadamente el 27% del CO₂ equivalente emitido, del cual más del 3,5% era generado por el sector marítimo. Aun reconociendo que se trata de una cifra significativa, hay que mencionar que el sector del transporte marítimo es unos de los sectores menos contaminantes por tonelada transportada.

Con la intención de parar el cambio climático y frenar la subida de temperatura en el +1,5C°, organizaciones entre ellas, la Organización Marítima Internacional (OMI) han adoptado medidas como la limitación del azufre en el combustible (ajustando los límites permitidos cada cierto tiempo dando un margen de adaptación gradual al sector). Viendo los resultados obtenidos en el análisis realizado, podemos llegar a la conclusión que los límites impuesta han tenido una fuerte relación en la reducción de la huella de carbono. A límites más bajos impuestos, menos CO₂ equivalente emitido.

La importante inversión en los puertos y buques, necesaria para aptarse a los nuevos requerimientos y objetivos a corto y largo plazo, supone un gasto significativo en I+D y adaptación de las infraestructuras y naves. Todo esto, junto con la falta de tiempo, representa un reto para el sector. A partir de los resultados obtenidos en el modelo planteado, podemos decir que se trata de unos de los indicadores más significativos en la reducción de la huella de carbono en el sector. Hemos podido ver que existe una fuerte relación, de sentido negativo, indicando que a mayor inversión en I+D menor CO₂ equivalente emitido.

El total de carga transportada también ha resultado tener un impacto positivo y significativo sobre la huella de carbono en el transporte marítimo, por lo tanto, a mayor cantidad transportada mayor CO₂ equivalente emitido por el sector.

Finalmente, el PIB ha resultado tener una relación negativa con la huella de carbono para el sector, aunque no sea uno de las variables más significativas para el modelo. Esta variable resulta tener una relación positiva y de intensidad moderada si se estudia de forma individual (considerándose como la única variable explicativa de la huella de carbono. Por otra parte, el modelo considera que la capacidad de la flota es significativa, dependiendo del coeficiente de determinación que elijamos, el ajustado o no ajustado. En caso de basarnos en el coeficiente de determinación (no ajustado) la flota tendría una relación negativa con la huella de carbono, representado que a mayor capacidad de la flota menor CO2 equivalente emitido.

Dado las limitaciones encontradas a la hora de obtener datos recientes sobre los diferentes valores estudiados, sería interesante para próximos estudios analizar si la bajada del límite aplicado el 2020 (en cuanto al óxido de azufre en el transporte marítimo) ha afectado en mayor proporción la huella de carbono en el sector.

ANEXOS

ANEXO I

| YEAR (X) | GREENHOUSE GAS EMISSIONS ALL TRANSPORT (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) (Y) | 2050 TRANSPORT TARGET (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) | 2030 TRANSPORT TARGET (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) |
|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1990 | 862 | 337 | 929 |
| 1991 | 868 | 337 | 929 |
| 1992 | 897 | 337 | 929 |
| 1993 | 906 | 337 | 929 |
| 1994 | 916 | 337 | 929 |
| 1995 | 933 | 337 | 929 |
| 1996 | 964 | 337 | 929 |
| 1997 | 979 | 337 | 929 |
| 1998 | 1015 | 337 | 929 |
| 1999 | 1042 | 337 | 929 |
| 2000 | 1042 | 337 | 929 |
| 2001 | 1054 | 337 | 929 |
| 2002 | 1062 | 337 | 929 |
| 2003 | 1075 | 337 | 929 |
| 2004 | 1103 | 337 | 929 |
| 2005 | 1110 | 337 | 929 |
| 2006 | 1123 | 337 | 929 |
| 2007 | 1137 | 337 | 929 |
| 2008 | 1112 | 337 | 929 |
| 2009 | 1074 | 337 | 929 |
| 2010 | 1069 | 337 | 929 |
| 2011 | 1061 | 337 | 929 |
| 2012 | 1030 | 337 | 929 |
| 2013 | 1023 | 337 | 929 |
| 2014 | 1033 | 337 | 929 |
| 2015 | 1054 | 337 | 929 |
| 2016 | 1080 | 337 | 929 |
| 2017 | 1104 | 337 | 929 |
| 2018 | 1097 | 337 | 929 |

| | |
|------------|-------------------|
| Sxy | 497,724138 |
| Sx | 8,36660027 |
| Sy | 78,1314481 |
| Rxy | 0,76140164 |

ANEXO II

| YEAR (X) | GREENHOUSE GAS EMISSIONS MARITIM TRANSPORT (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) (Y) | 2050 MARITIME TARGET (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1990 | 111 | 97 |
| 1991 | 109 | 97 |
| 1992 | 111 | 97 |
| 1993 | 112 | 97 |
| 1994 | 111 | 97 |
| 1995 | 111 | 97 |
| 1996 | 119 | 97 |
| 1997 | 129 | 97 |
| 1998 | 135 | 97 |
| 1999 | 129 | 97 |
| 2000 | 136 | 97 |
| 2001 | 141 | 97 |
| 2002 | 146 | 97 |
| 2003 | 149 | 97 |
| 2004 | 158 | 97 |
| 2005 | 162 | 97 |
| 2006 | 174 | 97 |
| 2007 | 182 | 97 |
| 2008 | 183 | 97 |
| 2009 | 164 | 97 |
| 2010 | 161 | 97 |
| 2011 | 163 | 97 |
| 2012 | 151 | 97 |
| 2013 | 142 | 97 |
| 2014 | 139 | 97 |
| 2015 | 138 | 97 |
| 2016 | 145 | 97 |
| 2017 | 146 | 97 |

| | |
|------------|-------------------|
| Sxy | 120,125 |
| Sx | 8,07774721 |
| Sy | 21,725649 |
| Rxy | 0,68449516 |

ANEXO III

| YEAR | GREENHOUSE GAS EMISSIONS ALL TRANSPORT (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) (Y) | WORLD GDP IN TRILLONS USD (X) |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1990 | 862 | 22,76 |
| 1991 | 868 | 23,93 |
| 1992 | 897 | 25,44 |
| 1993 | 906 | 25,85 |
| 1994 | 916 | 27,77 |
| 1995 | 933 | 30,88 |
| 1996 | 964 | 31,57 |
| 1997 | 979 | 31,46 |
| 1998 | 1015 | 31,4 |
| 1999 | 1042 | 32,58 |
| 2000 | 1042 | 33,65 |
| 2001 | 1054 | 33,45 |
| 2002 | 1062 | 34,72 |
| 2003 | 1075 | 38,95 |
| 2004 | 1103 | 43,88 |
| 2005 | 1110 | 47,54 |
| 2006 | 1123 | 51,52 |
| 2007 | 1137 | 58,06 |
| 2008 | 1112 | 63,71 |
| 2009 | 1074 | 60,44 |
| 2010 | 1069 | 66,16 |
| 2011 | 1061 | 73,48 |
| 2012 | 1030 | 75,17 |
| 2013 | 1023 | 77,33 |
| 2014 | 1033 | 79,47 |
| 2015 | 1054 | 75,23 |
| 2016 | 1080 | 76,42 |
| 2017 | 1104 | 81,33 |

| | |
|------------|-------------------|
| Sxy | 977,229643 |
| Sy | 78,4137379 |
| Sx | 20,1845379 |
| Rxy | 0,61742707 |

ANEXO IV

| YEAR | GREENHOUSE GAS EMISSIONS MARITIM TRANSPORT (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) (Y) | WORLD GDP IN TRILLONS USD (X) |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| 1990 | 111 | 22,76 |
| 1991 | 109 | 23,93 |
| 1992 | 111 | 25,44 |
| 1993 | 112 | 25,85 |
| 1994 | 111 | 27,77 |
| 1995 | 111 | 30,88 |
| 1996 | 119 | 31,57 |
| 1997 | 129 | 31,46 |
| 1998 | 135 | 31,4 |
| 1999 | 129 | 32,58 |
| 2000 | 136 | 33,65 |
| 2001 | 141 | 33,45 |
| 2002 | 146 | 34,72 |
| 2003 | 149 | 38,95 |
| 2004 | 158 | 43,88 |
| 2005 | 162 | 47,54 |
| 2006 | 174 | 51,52 |
| 2007 | 182 | 58,06 |
| 2008 | 183 | 63,71 |
| 2009 | 164 | 60,44 |
| 2010 | 161 | 66,16 |
| 2011 | 163 | 73,48 |
| 2012 | 151 | 75,17 |
| 2013 | 142 | 77,33 |
| 2014 | 139 | 79,47 |
| 2015 | 138 | 75,23 |
| 2016 | 145 | 76,42 |
| 2017 | 146 | 81,33 |

| | |
|------------|-------------------|
| Sxy | 267,739554 |
| Sy | 21,725649 |
| Sx | 20,1845379 |
| Rxy | 0,61054962 |

ANEXO V

| YEAR | GREENHOUSE GAS EMISSIONS ALL TRANSPORT (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) (Y) | WORLD EXPENDITURE ON RESEARCH AND DEVELOPMENT (% OF GDP) (X) |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 2000 | 1042 | 2,06 |
| 2001 | 1054 | 2,08 |
| 2002 | 1062 | 2,04 |
| 2003 | 1075 | 2,03 |
| 2004 | 1103 | 1,98 |
| 2005 | 1110 | 1,97 |
| 2006 | 1123 | 1,98 |
| 2007 | 1137 | 1,94 |
| 2008 | 1112 | 2,00 |
| 2009 | 1074 | 2,03 |
| 2010 | 1069 | 2,02 |
| 2011 | 1061 | 2,00 |
| 2012 | 1030 | 2,03 |
| 2013 | 1023 | 1,99 |
| 2014 | 1033 | 2,07 |
| 2015 | 1054 | 2,09 |
| 2016 | 1080 | 2,12 |
| 2017 | 1104 | 2,13 |

| | |
|------------|-------------------|
| Sxy | -0,6547531 |
| Sy | 32,7084012 |
| Sx | 0,05108695 |
| Rxy | -0,3918395 |

ANEXO VI

| YEAR | GREENHOUSE GAS EMISSIONS MARITIM TRANSPORT (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) (Y) | WORLD EXPENDITURE ON RESEARCH AND DEVELOPMENT (% OF GDP) (X) |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 2000 | 136 | 2,06 |
| 2001 | 141 | 2,08 |
| 2002 | 146 | 2,04 |
| 2003 | 149 | 2,03 |
| 2004 | 158 | 1,98 |
| 2005 | 162 | 1,97 |
| 2006 | 174 | 1,98 |
| 2007 | 182 | 1,94 |
| 2008 | 183 | 2,00 |
| 2009 | 164 | 2,03 |
| 2010 | 161 | 2,02 |
| 2011 | 163 | 2,00 |
| 2012 | 151 | 2,03 |
| 2013 | 142 | 1,99 |
| 2014 | 139 | 2,07 |
| 2015 | 138 | 2,09 |
| 2016 | 145 | 2,12 |
| 2017 | 146 | 2,13 |

Sxy **-0,5210494**

Sy **14,3225627**

Sx **0,05108695**

Rxy **-0,7121118**

ANEXO VII

| YEAR | GREENHOUSE GAS EMISSIONS MARITIM TRANSPORT (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) (Y) | WORLD ANNUAL SEABORNE OF ALL CARGO - METRIC TONS IN MILLIONS (X) |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 1990 | 111 | 4126 |
| 1991 | 109 | 4245 |
| 1992 | 111 | 4345 |
| 1993 | 112 | 4422 |
| 1994 | 111 | 4573 |
| 1995 | 111 | 4743 |
| 1996 | 119 | 4815 |
| 1997 | 129 | 5037 |
| 1998 | 135 | 5918 |
| 1999 | 129 | 6007 |
| 2000 | 136 | 6242 |
| 2001 | 141 | 6201 |
| 2002 | 146 | 6335 |
| 2003 | 149 | 6603 |
| 2004 | 158 | 6787 |
| 2005 | 162 | 7122 |
| 2006 | 174 | 7902,684369 |
| 2007 | 182 | 8063,302394 |
| 2008 | 183 | 8294,945704 |
| 2009 | 164 | 7841,411695 |
| 2010 | 161 | 8364,156594 |
| 2011 | 163 | 8702,357029 |
| 2012 | 151 | 9115,300826 |
| 2013 | 142 | 9483,251022 |
| 2014 | 139 | 9719,953716 |
| 2015 | 138 | 9964,726496 |
| 2016 | 145 | 10303,15487 |
| 2017 | 146 | 10686,99925 |

| | |
|------------|-------------------|
| Sxy | 28871,3129 |
| Sy | 21,725649 |
| Sx | 2014,32008 |
| Rxy | 0,65972857 |

ANEXO VIII

| YEAR | GREENHOUSE GAS EMISSIONS MARITIM TRANSPORT (MILION TONES CO2 EQUIVALENT) (Y) | CAPACIDAD CARGA FLOTA MUNDIAL (MILLONES DE TONELADAS DE PESO MUERTO) (X) |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1990 | 111 | 679,704794 |
| 1991 | 109 | 686,02891 |
| 1992 | 111 | 690,093141 |
| 1993 | 112 | 681,538852 |
| 1994 | 111 | 668,140139 |
| 1995 | 111 | 654,327406 |
| 1996 | 119 | 632,237783 |
| 1997 | 129 | 625,045767 |
| 1998 | 135 | 620,73424 |
| 1999 | 129 | 629,977 |
| 2000 | 136 | 651,282 |
| 2001 | 141 | 674,421074 |
| 2002 | 146 | 683,639046 |
| 2003 | 149 | 699,744505 |
| 2004 | 158 | 719,216174 |
| 2005 | 162 | 731,870459 |
| 2006 | 174 | 755,297943 |
| 2007 | 182 | 772,801179 |
| 2008 | 183 | 785,331072 |
| 2009 | 164 | 793,770794 |
| 2010 | 161 | 802,771487 |
| 2011 | 163 | 822,011459 |
| 2012 | 151 | 841,734975 |
| 2013 | 142 | 863,66746 |
| 2014 | 139 | 907,474308 |
| 2015 | 138 | 967,172474 |
| 2016 | 145 | 1042,327622 |
| 2017 | 146 | 1117,778564 |

| | |
|------------|-------------------|
| Sxy | 988,381747 |
| Sy | 21,725649 |
| Sx | 125,597106 |
| Rxy | 0,36221991 |

ANEXO IX

| YEAR | GREENHOUSE GAS EMISSIONS MARITIM TRANSPORT (MILION TONES C02 EQUIVALENT) (Y) | LIMIT SOX (X) |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1990 | 111 | |
| 1991 | 109 | |
| 1992 | 111 | |
| 1993 | 112 | |
| 1994 | 111 | |
| 1995 | 111 | |
| 1996 | 119 | |
| 1997 | 129 | |
| 1998 | 135 | |
| 1999 | 129 | |
| 2000 | 136 | |
| 2001 | 141 | |
| 2002 | 146 | |
| 2003 | 149 | |
| 2004 | 158 | |
| 2005 | 162 | 4,5 |
| 2006 | 174 | 4,5 |
| 2007 | 182 | 4,5 |
| 2008 | 183 | 4,5 |
| 2009 | 164 | 4,5 |
| 2010 | 161 | 4,5 |
| 2011 | 163 | 4,5 |
| 2012 | 151 | 3,5 |
| 2013 | 142 | 3,5 |
| 2014 | 139 | 3,5 |
| 2015 | 138 | 3,5 |
| 2016 | 145 | 3,5 |
| 2017 | 146 | 3,5 |
| Sxy | 6,55029586 | |
| Sy | 21,725649 | |
| Sx | 0,49851852 | |
| Rxy | 0,87660244 | |

ANEXO X

| YEAR | Greenhouse gas emissions maritime transport (million tones CO2 equivalent) (y) | PIB mundial billones USD (x1) | World annual seaborne of all cargo -Metric tons in millions (X2) | Capacidad carga flota mundial (millones de toneladas de peso muerto) (X3) | World expenditure on research and development (% of GDP) (x4) | Límit Sox2 (X5) |
|------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------|
| 2005 | 162 | 47,54 | 7122 | 731,870459 | 1,97 | 4,5 |
| 2006 | 174 | 51,52 | 7902,684369 | 755,297943 | 1,98 | 4,5 |
| 2007 | 182 | 58,06 | 8063,302394 | 772,801179 | 1,94 | 4,5 |
| 2008 | 183 | 63,71 | 8294,945704 | 785,331072 | 2,00 | 4,5 |
| 2009 | 164 | 60,44 | 7841,411695 | 793,770794 | 2,03 | 4,5 |
| 2010 | 161 | 66,16 | 8364,156594 | 802,771487 | 2,02 | 4,5 |
| 2011 | 163 | 73,48 | 8702,357029 | 822,011459 | 2,00 | 4,5 |
| 2012 | 151 | 75,17 | 9115,300826 | 841,734975 | 2,03 | 3,5 |
| 2013 | 142 | 77,33 | 9483,251022 | 863,66746 | 1,99 | 3,5 |
| 2014 | 139 | 79,47 | 9719,953716 | 907,474308 | 2,07 | 3,5 |
| 2015 | 138 | 75,23 | 9964,726496 | 967,172474 | 2,09 | 3,5 |
| 2016 | 145 | 76,42 | 10303,15487 | 1042,327622 | 2,12 | 3,5 |
| 2017 | 146 | 81,33 | 10686,99925 | 1117,778564 | 2,13 | 3,5 |

ANEXO XI

| <i>Estadísticas de la regresión</i> | |
|----------------------------------------------|------------|
| Coefficiente de correlación múltiple | 0,91065352 |
| Coefficiente de determinación R ² | 0,82928983 |
| R ² ajustado | 0,70735399 |
| Error típico | 8,43974455 |
| Observaciones | 13 |

ANÁLISIS DE VARIANZA

| | <i>Grados de libertad</i> | <i>Suma de cuadrados</i> | <i>Promedio de los cuadrados</i> | <i>F</i> | <i>Valor crítico de F</i> |
|-----------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------|------------|---------------------------|
| Regresión | 5 | 2422,16421 | 484,432843 | 6,80103446 | 0,01288855 |
| Residuos | 7 | 498,605016 | 71,2292881 | | |
| Total | 12 | 2920,76923 | | | |

| | <i>Coefficientes</i> | <i>Error típico</i> | <i>Estadístico t</i> | <i>Probabilidad</i> | <i>Inferior 95%</i> | <i>Superior 95%</i> | <i>Inferior 90,0%</i> | <i>Superior 90,0%</i> |
|--------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| Intercepción | 166,607189 | 221,680236 | 0,75156538 | 0,47681569 | -357,58327 | 690,79765 | -253,38344 | 586,597821 |
| Variable X 1 | -0,6769529 | 0,72260812 | -0,9368189 | 0,38003848 | -2,3856496 | 1,03174376 | -2,0459908 | 0,69208496 |
| Variable X 2 | 0,01524091 | 0,0166355 | 0,91616787 | 0,39004956 | -0,0240958 | 0,05457762 | -0,0162764 | 0,04675817 |
| Variable X 3 | -0,0285983 | 0,11464552 | -0,2494494 | 0,81017477 | -0,2996918 | 0,24249531 | -0,2458032 | 0,18860669 |
| Variable X 4 | -95,790103 | 111,817493 | -0,8566647 | 0,41998705 | -360,19646 | 168,616253 | -307,63713 | 116,056927 |
| Variable X 5 | 29,8835792 | 10,8235853 | 2,76096861 | 0,02805679 | 4,28986697 | 55,4772914 | 9,3774461 | 50,3897123 |

BIOGRAFÍA Y RECURSOS WEB

Agencia Europea de Medio Ambiente. (2020). *Transporte*. Obtenido de EEA EUROPA:
<https://www.eea.europa.eu/es/themes/transport/intro>

Améstica, R. A. (2019). EL FIN DE LAS ECONOMÍAS DE ESCALA EN LA INDUSTRIA NAVIERA MUNDIAL. *Revista de Marina*, 38-41.

Autoridas Portuaria de Barcelona. (29 de 12 de 2021). *Tasas-Repertorio de bonificaciones para 2022*. Obtenido de Port de Barcelona:
<https://www.portdebarcelona.cat/es/web/Port-dels-Negocis/taxes1>

BIBLIOGRAPHY Martínez de Oses, X., & Sin, M. (2011). Improvement of the energy efficiency of vessels as a measure for the reduction of greenhouses gases emission from sea shipping. *Journal of marine technology and environment*.

Castro, J. V. (2012). *PAPELES DE ECONOMIA ESPAÑOLA*. Fundación de las Cajas de Ahorros.

Comisión Europea. (2019). *El Pacto Verde Europeo*. Bruselas.

Comité de Seguridad Marítima. (30 de 11 de 2012). Código sobre niveles de ruido a bordo de los buques. *Adaptación del código sobre niveles de ruido a bordo de los buques ANEXO 1*.

Cullinane, K., & Bergqvist, R. (2013). Emission control areas and their impact on maritime transport. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*.

García Olivares, A., Solé, J., Samsó, R., & Ballabrera Poy, J. (2020). Sustainable European Transport System in a 100% Renewable Economy. *Sustainability*, 3.

García Olivares, A., Solé, J., Samsó, R., & Ballabrera Poy, J. (2020). Sustainable European Transport System in a 100% Renewable Economy. *International Journal of Sustainable Transportation*.

Guerrero-Fajardo, C., & Cortés-Ortiz, W. (2017). "Oxidación catalítica selectiva para la conversión de metano a metanol: Una revisión. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2.

- Guerrero, A. L. (2014). El gas natural licuado y su impacto en la circulación de la energía. *Análisis multiescalar. revista Transporte y Territorio*, 4-5.
- IGU. (2021). *2021 WORLD LNG REPORT*.
- IMO. (2020). *Organización Marítima Internacional*. Obtenido de Azufre 2020: reduciendo las emisiones de óxidos de azufre: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Sulphur-2020.aspx>
- IMO. (2020). *Organización Marítima Internacional*. Obtenido de OMI 2020: el límite de azufre en el combustible entra en vigor el 1 de enero: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/34-IMO-2020-sulphur-limit-.aspx>
- IMO. (2020). *Organización Marítima Internacional*. Obtenido de Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques: <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Air-Pollution.aspx>
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- ISO. (2017). *Petroleum products — Fuels (class F) — Specifications of marine fuels*. ISO/TC 28/SC 4.
- Koilo, V. (2019). Sustainability issues in maritime transport and main challenges of the shipping industry. *Environmental Economics*.
- Lia, K., Wub, M., Guc, X., Fai Yuend, K., & Xiaoa, Y. (2020). Determinants of ship operators' options for compliance with IMO 2020. *Transportation Research Part D*.
- Lindstad, H., E. Asbjornslett, B., & Tore Pedersen, J. (2012). Green Maritime Logistics and Sustainability. *Maritime Logistics*.
- Lindstada, E., & Ingebrigtsen Boa, T. (2018). Potential power setups, fuels and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements. *Transportation Research Part D*, 276– 290.

- M. Martinez, L., Merk, O., Kirstein, L., & A. Halim, R. (2018). Decarbonization Pathways for International Maritime Transport: A Model-Based Policy Impact Assessment. *Sustainability*.
- Mac Kinnon, M., Razeghi, G., & Samuelsen, S. (2021). The role of fuel cells in port microgrids to support sustainable goods movement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- MARINE ENVIRONMENT PROTECTION COMMITTEE. (2019). *2019 GUIDELINES FOR CONSISTENT IMPLEMENTATION OF THE 0.50% SULPHUR LIMIT UNDER MARPOL ANNEX VI*.
- Márquez Ramos, L., Pérez García, E., Martínez Zarzoso, I., & Wilmsmeier, G. (2007). Determinantes de los costes de transporte marítimos: el caso de las exportaciones españolas. *COMERCIO INTERNACIONAL Y COSTES DE TRANSPORTE ICE*, 7-12.
- Merico, E., & Contini, D. (2021). Recent Advances in Studying Air Quality and Health Effects of Shipping Emissions. *Atmosphere*.
- Michaelowa, A., & Krause, K. (2020). International maritime transport and climate policy. *Intereconomics*.
- Miola, A., Ciuffo, B., Giovine, E., & Marra, M. (2010). Regulating air emissions from ships: The state of the art on methodologies, technologies and policy options. *Environment and Quality of Life- Office for Official Publications of the European Communities*.
- Miola, A., Marra, M., & Ciuffo, B. (September 2011). Designing a climate change policy for the international maritime transport sector: Marketbased measures and technological options for global and regional policy actions. *Energy Policy*.
- OMI. (2019). *Implantación uniforme del Anexo VI del Convenio MARPOL*.
- ONU. (2022). *Naciones Unidas*. Obtenido de Cambio climático: <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
- ONU. (2022). *ONU*. Obtenido de La Organización: <https://www.un.org/es/about-us>
- OPS Master Plan for Spanish Ports. (20 de 11 de 2021). *La falta de adaptación de los buques para conectarse a la red eléctrica es la principal barrera para la electrificación de los muelles*. Obtenido de Power at Berth: <http://poweratberth.eu/?p=2310&lang=es>

- Peretti, H., & Visintin, A. (2005). Hidrógeno, combustible del futuro:¿ Por qué, cómo y dónde? *Carbón Vol.8*, 1-4.
- Repka, S., & Makkonen, T. (2016). The innovation inducement impact of environmental regulations on maritime transport: A literature review. *Innovation and Sustainable Development*.
- Sanchez- Gonzalez, P.-L., Díaz- Gutiérrez, D., J.Leo, T., & R.N.Rivas, L. (2019). Toward Digitalization of Maritime Transport? *Sensors*.
- Schenk, E., Carr, E., Corbett, J. J., & Winebrake, J. J. (2020). Macroeconomic And Environmental Impacts of Port Electrification: Four Port Case Studies. US Maritime Administration, Department of Transportation, August, 2020-09.
- Tae-Woo Lee, P., Kyoung Kwon, O., & Ruan, X. (2019). Sustainability Challenges in Maritime Transport and Logistics Industry and Its Way Ahead. *Research in Transportation Business & Management*,.
- Tilligb, F., W.Ringsbergb, J., N.Psaraftisa, H., & P. V. Zisa, T. (2020). Decarbonizing maritime transport: A Ro- Pax case study. *Research in Transportation Business & Management*.
- Tokuslu, A., Bayirhan, I., & Gaziglu, C. (2020). Investigation the effect of sox emission reduction on transit ships emissions. *Thermal Science*,.
- UNCTAD. (2011). EL TRANSPORTE MAR TIMO.
- Viana, M., Rizza, V., Tobías, A., Carr, E., Corbett, J., Sofiev, M., . . . Fann, N. (2020). Estimated health impacts from maritime transport in the Mediterranean region and benefits from the use of cleaner fuels. *Environment international*.
- World Shipping Council. (s.f.). *The EU ETS can accelerate the transition to zero carbon shipping*. Obtenido de World Shipping: <https://www.worldshipping.org/the-eu-ets>
- Zhu, S., Mac Kinnon, M., Soukup, J., Paradise, A., Dabdub, D., & Samuelsen, S. (2022). Assessment of the greenhouse gas, Episodic air quality and public health benefits of fuel cell electrification of a major port complex. *Atmospheric Environment*.

| Títol | Autor | Año | Revista | Cualificación |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Designing a climate change policy for the international maritime transport sector: Market-based measures and technological options for global and regional policy actions | A.Miola M.Marra B.Ciuffo | September 2011 | Energy Policy Volume 39, Issue 9 | Energía;2011Q1 Gestión, Seguimiento, Política y Derecho;2011Q1 |
| Potential power setups, fuels and hull designs capable of satisfying future EEDI requirements | Elizabeth Lindstada Torstein Ingebrigtsen Boa | August 2018 | Transportation Research Part D 63 (2018) 276– 290 | Ciencias Ambientales; 2019Q1 Transporte; 2018Q1 |
| Sustainable European Transport System in a 100% Renewable Economy | Antonio García Olivares Jordi Solé Roger Samsó Joaquim Ballabrera Poy | June 2020 | International Journal of Sustainable Transportation 2020 | Renewable Energy, Sustainability and the Environment;2021 Q1 Transportation;2008Q2 |
| Assessment of the greenhouse gas, Episodic air quality and public health benefits of fuel cell electrification of a major port complex | Shupeng Zhu Michael Mac Kinnon James Soukup Andre Paradise | February 2022 | Atmospheric Environment 275 (2022) | Atmospheric Science;2021Q1 Environmental Science;2021Q1 |

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| | Donald Dabdub | | | |
| | Scott Samuelsen | | | |
| The role of fuel cells in port microgrids to support sustainable goods movement | Michael Mac Kinnon Ghazal Razeghi Scott Samuelsen | May 2021 | Renewable and Sustainable Energy Reviews | Renewable Energy, Sustainability and the Environment;2021Q1 |
| Determinants of ship operators' options for compliance with IMO 2020 | Kevin Lia Min Wub Xiaohan Guc Kum Fai Yuend Yi Xiaoa | July 2020 | Transportation Research Part D 86 2020 | Ciencias Ambientales; 2020Q1 Transporte; 2020Q1 |
| Estimated health impacts from maritime transport in the Mediterranean region and benefits from the use of cleaner fuels | Mar Viana V.Rizza Aurelio Tobías E.Carr J.Corbett M.Sofiev A.Karanasiou G.Buonanno N.Fann | May 2020 | Environment international 138 | Environmental Science;2020Q1 |
| Recent Advances in | Eva Merico | January 2021 | Atmosphere 2021, 12 | Atmospheric Science;2020Q1 |

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Studying Air Quality and Health Effects of Shipping Emissions | Daniele Contini | | | |
| Toward Digitalization of Maritime Transport? | Pedro-Luis Sanchez-Gonzalez David Díaz-Gutiérrez Teresa J. Leo Luis R. Núñez-Rivas | February 2019 | Sensors 2019, 19 | |
| Emission control areas and their impact on maritime transport | Kevin Cullinane Rickard Bergqvist | May 2014 | Transportation Research Part D 28 | Ciencias Ambientales; 2014Q1 Transporte; 2014Q1 |
| The Energy Efficiency Gap in Maritime Transport | Michele Acciaro Peter Nyegaard Hoffmann Magnus Strandmyr Eide | February 2013 | Journal of Shipping and Ocean Engineering, 3 | |
| Sustainability Challenges in Maritime Transport and Logistics Industry and Its Way Ahead | Paul Tae-Woo Lee Oh Kyoung Kwon Xiao Ruan | March 2019 | Sustainability, 11 | Renewable Energy, Sustainability and the Environment; 2019Q2 |
| Decarbonizing maritime transport: A Ro-Pax case study | Thalys P. V. Zisa Harilaos N.Psarftisa | December 2020 | Research in Transportation Business & Management, 37 | Transportation; 2020Q2 |

| | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| | Fabian Tilligb Jonas W.Ringsberg | | | |
| International maritime transport and climate policy | Axel Michaelowa Karsten Krause | May 2000 | Intereconomics volume 35 | Economics, Econometrics and Finance; 2000Q4 |
| The innovation inducement impact of environmental regulations on maritime transport: A literature review | Teemu Makkonen Sari Repka | January 2016 | Innovation and Sustainable Development, 10 | Renewable Energy, Sustainability and the Environment; 2016Q4 |
| Investigation the effect of sox emission reduction on transit ships emissions | A. Tokuslu I. Bayirhan C. Gaziglu | January 2020 | Thermal Science, 24 | Renewable Energy, Sustainability and the Environment; 2020Q3 |
| Improvement of the energy efficiency of vessels as a measure for the reduction of greenhouses gases emission from sea shipping | Mihaela Sin F.Xavier Martínez de Oses | January 2011 | Journal of marine technology and environment, 1 | |
| Regulating air emissions from ships: The state of the art on methodologies, | A. Miola B. Ciuffo E. Giovine M. Marra | September 2010 | Environment and Quality of Life- Office for Official Publications of the | |

| | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| technologies and policy options | | | European Communities | |
| Sustainability issues in maritime transport and main challenges of the shipping industry | Viktoria Koilo | September 2019 | Environmental Economics | Management, Monitoring, Policy and Law;2019Q1 Economics and Econometrics;2019 Q1 |
| Decarbonization Pathways for International Maritime Transport: A Model-Based Policy Impact Assessment | Ronald A. Halim Lucie Kirstein Olaf Merk Luis M. Martinez | June 2018 | Sustainability, 10 | Renewable Energy, Sustainability and the Environment;2019Q2 |
| Green Maritime Logistics and Sustainability | Haakon Lindstad Bjorn E. Asbjornset Jan Tore Pedersen | January 2012 | Maritime Logistics | |

