



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Administración y Dirección de Empresas

ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE  
REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN EL  
TRANSPORTE MARÍTIMO

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Gestión de Empresas, Productos y  
Servicios

AUTOR/A: Bravo Villar, María Cruz

Tutor/a: Miguel Molina, María Blanca de

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
GESTIÓN DE EMPRESAS, PRODUCTOS Y SERVICIOS

*ANÁLISIS COMPARATIVO DE MODELOS DE REDUCCIÓN DE  
EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO*

ALUMNO: María Cruz Bravo Villar

TUTOR/ES: Blanca de Miguel

VALENCIA, 02 DE SEPTIEMBRE 2022



## Índice de abreviaturas

- Agencia Internacional de la Energía (AIE)
- Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE)
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)
- Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP)
- Directiva sobre techos nacionales de emisión de la UE (NECD)
- European Maritime Safety Agency (EMSA)
- European Monitoring and Evaluation Programme<sup>1</sup> = EMEP
- Fueloil pesado (HFO)
- Gases de efecto invernadero (GEI)
- Índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI)
- Instituto Noruego de Investigación Atmosférica (NILU)
- International Maritime Organization Greenhouse (OMI GHG4)
- Monitoring Atmospheric Composition and Climate (MACC)
- Organización Marítima Internacional (OMI)
- Óxidos de azufre (SOx)
- Óxidos de nitrógeno (NOx)
- Partículas primarias en suspensión (PM).
- Plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP)
- Sistema de recopilación de datos (DCS)
- Sistema de seguimiento, notificación y verificación (MRV)



- The Forum for Air quality Modelling (FAIRMODE)
- Tonelaje de peso muerto (TPM)
- Unión europea (UE)



## Índice

1. Resumen.....	9
2. Introducción .....	12
2.1. Objetivos generales y específicos .....	12
2.2. Justificación .....	13
2.3. Estructura del TFM .....	15
3. Revisión de literatura .....	16
3.1. Búsqueda de la literatura .....	16
3.2. Análisis de <i>keywords</i> .....	19
3.2.1 WoS.....	20
3.2.2 <i>Scopus</i> .....	26
4. Contexto actual de emisiones en el comercio marítimo de mercancías.....	35
4.1. El nivel actual de emisiones .....	35
4.2. Sistemas de recopilación de medición de datos.....	35
4.3. La medición de los niveles actuales de CO2 marítima.....	45
4.3.1. La recogida de datos por los organismos encargados.....	45
4.3.2. Bases de datos que muestran los niveles de emisiones actuales .....	48



● STEAM.....	55
● TNO .....	56
○ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) .....	60
4.3.3. La importancia de la intensidad energética en las emisiones de CO2 .....	61
5. Metodología .....	64
6. Análisis.....	66
6.1. De los datos disponibles en las bases de datos .....	66
6.2. De la actuación de las principales navieras.....	76
6.3. CMA-CGM.....	79
6.4. HAPAG LLOYD.....	81
6.5. MSC .....	83
6.6. MAERSK .....	86
7. Conclusiones.....	88
5. Bibliografía.....	91



Índice de Figuras

<i>Figura 1. Protocolo: recopilación de datos y métodos de análisis</i> .....	18
<i>Figura 2. Protocolo: recopilación de datos y métodos de análisis</i> .....	19
<i>Figura 3. Tree Map Chart</i> .....	20
<i>Figura 4. Resultado de cocurrencia human “performance” y “CO2 emissions”</i> .....	21
<i>Figura 5. Cocurrencias desde 2019 al 2021</i> .....	25
<i>Figura 6. Red de keywords en Europa</i> .....	26
<i>Figura 7. Resultado del primer estudio</i> .....	27
<i>Figura 8. Resultado del primer estudio</i> .....	27
<i>Figura 9. Resultado del primer estudio. Por fecha de publicación</i> .....	32
<i>Figura 10. Resultados totales incluyendo “Europa”</i> .....	33
<i>Figura 11. Evolución de las palabras claves resultantes (incluyendo Europa)</i> .....	34
<i>Figura 12. Emisiones de CO2 (en ton por millón) por actividad económica del 2010-2021</i> .....	37
<i>Figura 13. Comparativa tasa de crecimiento (%) de las emisiones totales de gases de efecto invernadero 2019-2020 vs 2020-2021</i> .....	38
<i>Figura 14. Total, de emisiones de efecto invernadero en España de 1990-2020</i> .....	39
<i>Figura 15. (a). Intensidad energética del transporte marítimo internacional en el escenario Net Zero, 2015-2030(b) 1Intensidad de carbono del transporte marítimo internacional en el escenario Net Zero, 2015-2030</i> .....	44
<i>Figura 16. Pantalla principal de THETIS MRV</i> .....	59
<i>Figura 17. Selección de datos por periodo anual</i> .....	59
<i>Figura 18. Emisiones de CO2 por sector, en España desde 1990-2009</i> .....	60



*Figura 19. a. Transporte de agua - descomposición de CO2 por países seleccionados. b. Transporte de agua - descomposición de CO2 por países seleccionados. c. Transporte de agua - descomposición de CO2 por países seleccionados. .... 62*

*Figura 20. Datos de CO2 (miles de ton) 2001 ..... 63*

*Figura 21. Datos de CO2 (miles de ton) 2008 ..... 63*

*Figura 22. Emisiones de la industria energética mundial por sustancia ..... 67*

*Figura 23. Total, de emisiones CO2 2018-2021 ..... 68*

*Figura 24. Gráfico niveles CO2 2015-2022, Malta ..... 69*

*Figura 25. Gráfico máximo y mínimo valores de CO2 2018-2022, Malta ..... 69*

*Figura 26. Gráfico valores de CO2 2018-2022, Noruega ..... 69*

*Figura 27. Emisiones CO2 2010-2020, International Navigation. .... 70*

*Figura 28. Total de emisiones CO2 según tipo de buque ..... 71*

*Figura 29. Promedio anual de emisiones de CO<sub>2</sub> por distancia [kg CO<sub>2</sub> / n milla] ..... 73*

*Figura 30. Comparativa 2022-promedio por distancia vs carga transportada ..... 74*

*Figura 31. Total de emisiones CO2 (en m ton) 2018-2021 ..... 75*

*Figura 32. Comparativa Total fuel consumption vc Total CO2 emissions 2018-2021) 76*

*Figura 33. Tabla medidas sostenibles de HAPAG ..... 81*

*Figura 34. Tabla medidas sostenibles de MSC ..... 83*



## Índice de Tablas

<i>Tabla 1. Keywords correspondientes a cada cluster de las palabras clave de partida. .</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2. Keywords correspondientes al posterior estudio de navieras. ....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3. Keywords correspondientes a cada cluster de las palabras clave de partida. .</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4. Keywords correspondientes al posterior estudio de navieras. ....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 5. Sistemas de recopilación de datos.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 6. Comparativa de metodologías .....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 7. Tabla comparativa 1 bases de datos .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 8. Tabla comparativa 2 bases de datos. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 9. Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO2)</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 10. Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO2)</i> <i>.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 11. Navieras a analizar .....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 12. Tabla comparativa Navieras.....</i>	<i>78</i>



## 1. Resumen

El transporte de contenedores es el mayor productor de emisiones dentro de la industria marítima. De ahí que se hayan diseñado y aplicado medidas para reducir los niveles de emisiones de los buques. La Organización Marítima Internacional (OMI), institución que regula los límites de las tasas de emisiones, demanda al sector que reduzca en un 11% sus emisiones de carbono para el año 2026.

En el presente Trabajo de Fin de Máster se establecen dos estudios: el primero, basado en un análisis de las palabras clave (*keywords*) encontradas en la literatura relacionada con las emisiones generadas por el transporte marítimo. El segundo, centrado en el análisis de las principales compañías navieras, con el fin de evaluar las similitudes y diferencias en sus estrategias de reducción de emisiones para alcanzar los objetivos de sostenibilidad establecidos para el transporte marítimo.

En conclusión, el objetivo de esta investigación es mejorar la comprensión de la situación actual a la hora de investigar el enfoque sostenible, el cual se ha convertido en tendencia desde hace un tiempo, derivada de la problemática del cambio climático y las consecuencias que conllevan. Se busca revisar las implicaciones del sector y las diversas maneras en que las mismas están volviéndose más eficaces para su desarrollo sostenible.

Palabras clave: naviera, transporte marítimo, emisiones, buques, OMI, gases, industria.



## ABSTRACT

Container shipping is the largest producer of emissions within the maritime industry. Hence, measures have been designed and implemented to reduce the emission levels of ships. The International Maritime Organisation (IMO), the institution that regulates emission rate limits, requires the sector to reduce its carbon emissions by 11% by 2026.

In this Master's Thesis, two studies are established: the first one, based on an analysis of the *keywords* found in the literature related to the emissions generated by maritime transport. The second, focused on the analysis of the main shipping companies, in order to evaluate the similarities and differences in their emission reduction strategies to achieve the sustainability objectives established for maritime transport.

In conclusion, the objective of this research is to improve the understanding of the current situation when investigating the sustainable approach, which has become a trend for some time now, derived from the climate change issue and the consequences it entails. It seeks to review the implications of the sector and the various ways in which they are becoming more effective for its sustainable development.

Key words: shipping, shipping, emissions, ships, IMO, gases, industry.



## RESUM

El transport de contenidors és el major productor d'emissions dins de la indústria marítima. D'ací que s'hagen dissenyat i aplicat mesures per a reduir els nivells d'emissions dels barcos. L'Organització Marítima Internacional (OMI), institució que regula els límits de les taxes d'emissions demanda al sector que reduïska en un 11% les seues emissions de carboni per a l'any 2026.

En el present Treball de Fi de Màster s'establixen dos estudis: el primer, basat en una anàlisi de les paraules clau (*keywords*) trobades en la literatura relacionada amb les emissions generades pel transport marítim. El segon, centrat en l'anàlisi de les principals companyies navilieres, a fi d'avaluar les similituds i diferències en les seues estratègies de reducció d'emissions per a assolir els objectius de sostenibilitat establits per al transport marítim.

En conclusió, l'objectiu d'esta investigació és millorar la comprensió de la situació actual a l'hora d'investigar l'enfocament sostenible, el qual s'ha convertit en tendència des de fa un temps, derivada de la problemàtica del canvi climàtic i les conseqüències que comporten. Es busca revisar les implicacions del sector i les diverses maneres en què les mateixes estan tornant-se més eficaços per al seu desenrotllament sostenible.

Paraules clau: naviliera, transport marítim, emissions, barcos, OMI, gasos, indústria.



## 2. Introducción

### 2.1. Objetivos generales y específicos

El objetivo general del siguiente trabajo es el de realizar un análisis y una evaluación de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera del transporte marítimo de contenedores.

Los objetivos específicos serían

- Análisis de la literatura obtenida
- Analizar los inventarios de emisiones contaminantes a la atmósfera, así como la identificación de bases de datos especializadas.
- Estudio de las metodologías aplicadas para interpretar los datos de las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Comparativas de las alternativas a los combustibles actuales de las cuatro principales navieras.

## 2.2. Justificación

La Comisión Europea declara que "las emisiones del transporte marítimo representan alrededor del 13% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de la UE (2015)", y establece una estrategia creada en 2013 que se utilizará para reducir las emisiones de GEI del sector del transporte marítimo:

- Seguimiento, notificación y verificación (MRV): que se adoptó en 2015, introduciendo normas para el seguimiento, la notificación y la verificación de las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte marítimo. "Las compañías navieras tienen que notificar sus emisiones anuales de CO<sub>2</sub> y otra información pertinente derivada de los viajes de sus buques hacia y desde los puertos del Espacio Económico Europeo (EEE), incluidas las emisiones de CO<sub>2</sub> de estos buques en los puertos. Esto afecta a los buques de más de 5.000 toneladas brutas", mientras que "los buques más pequeños están excluidos de las normas". El seguimiento del consumo de combustible, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la eficiencia energética comenzó en 2018, y las compañías navieras tuvieron que presentar sus primeros informes de emisiones en 2019.

- Definición de objetivos de reducción para el sector del transporte marítimo: para el transporte marítimo internacional de la UE,

- 2030: reducir en un 55% menos de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con 1990. Es decir, 2030, como dices, senda para alcanzar net zero en 2050.



- 2050: objetivo de reducción del 40%-50% para 2050 en comparación con 2005 (Moradi, 2022).

- Aplicación de una medida basada en el mercado: que pondría impuestos relacionados con las emisiones para los productos que se venden en el mercado europeo, por lo tanto, proporcionando incentivos para lograr la reducción de las emisiones.

Durante los últimos años los organismos oficiales han manifestado su creciente preocupación por la emisión de gases de efecto invernadero (Khan, 2012), y, en consecuencia, y como desarrollaremos en el siguiente trabajo el número de medidas para cambiar la situación se ha ido incrementando. No obstante, en el momento de la práctica falta un largo camino por recorrer todavía.

Este TFM trata de analizar la situación actual y la distancia existente hasta alcanzar los objetivos marcados a las navieras y al sector. La importancia de este TFM radica en los dos análisis elaborados, que se complementan. El primero parte desde un enfoque de revisión de literatura y el segundo basado en el análisis de la información de las navieras más destacadas del sector.



### 2.3. Estructura del TFM

La estructura de éste documento es la siguiente. Tras el apartado anterior de Introducción, el apartado 3 se focaliza en el análisis de la literatura para obtener las principales palabras clave relacionadas con las emisiones de CO2 del transporte marítimo.

En el apartado 4 se analiza el contexto actual del sector, las principales bases de datos existentes sobre sus emisiones, así como los *softwares* de los que pueden disponer las empresas para llevar a cabo sus mediciones. El apartado 5 expone la metodología empleada en el análisis de las principales navieras, complementado en el apartado 6 con la presentación del análisis mencionado anteriormente.

Finalmente, el apartado 7 abarca las conclusiones fundamentales de los estudios realizados.

### 3. Revisión de literatura

En este apartado se lleva a cabo una revisión de la literatura, a partir de búsquedas en las bases de datos Web of Sciences y *Scopus*, con el objetivo de localizar las *keywords* relacionadas con las emisiones de CO<sub>2</sub> realizadas por el transporte marítimo. Estas *keywords* servirán de base para los análisis posteriores elaborados en los apartados posteriores

#### 3.1. Búsqueda de la literatura

Para realizar el análisis de literatura, se comenzó con la búsqueda de los trabajos recientes relacionados con las emisiones de CO<sub>2</sub> del transporte marítimo. Para ello, se realizaron búsquedas en las bases de datos Web of Science (WoS) y *Scopus*, siguiendo los pasos siguientes (Figura 1 y Figura 2):

1. Antes de iniciar la investigación, se definieron los criterios de inclusión para la búsqueda y las palabras clave relacionadas con la investigación que pudiesen representar de manera general el ámbito estudiado.
2. Se llevaron a cabo dos búsquedas en las bases de datos de *Scopus* y WoS, para el cual se combinaron los siguientes términos:
  - “*marine*”
  - CO<sub>2</sub>
  - “*emissions*”



- “reduction”
3. Posteriormente se procedió a limitar la búsqueda a los últimos 5 años.
4. El siguiente paso abarcó la selección de las áreas de estudio, que fueron las siguientes:
- Para *Scopus*:
    - Energy
    - Environmental Science
    - Engineering
    - Earth and Planetary Sciences
    - Computer Science
  - Para *WoS*:
    - Environmental Sciences
    - Energy fuels
    - Green Sustainable Science Technology
    - Engineering Enviromental
    - Engineering Marine
    - Environmental Studies

- Meteorology Atmospheric Sciences

5. El último paso fue seleccionar sólo el ámbito de Europa, por un lado, para tratar de detectar si hay diferencias en las *keywords* para Europa o bien, por si sugieren alguna conexión con las exigencias establecidas en la UE.
6. Finalmente, se analizan los resultados con el software WOSviewer, que permite detectar las *keywords* relacionadas.

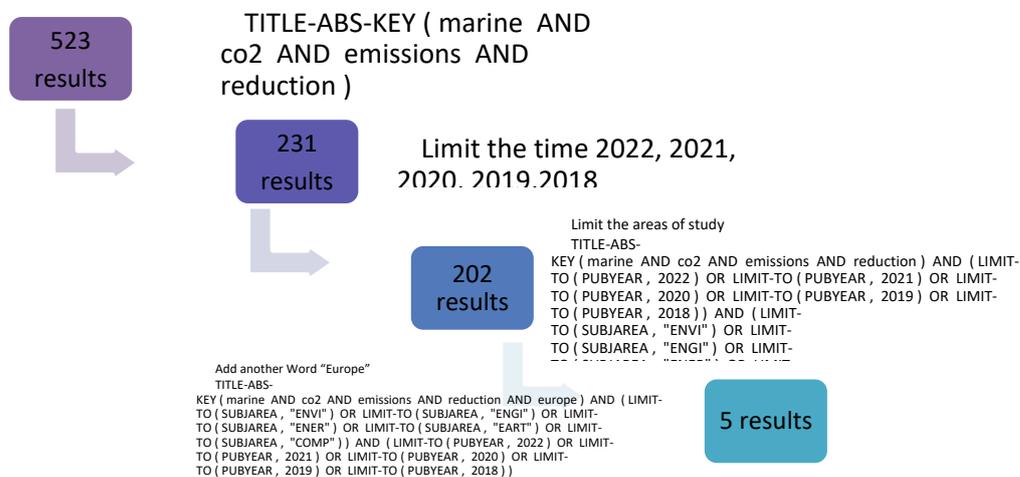


Figura 1. Protocolo: recopilación de datos y métodos de análisis

Fuente: Scopus

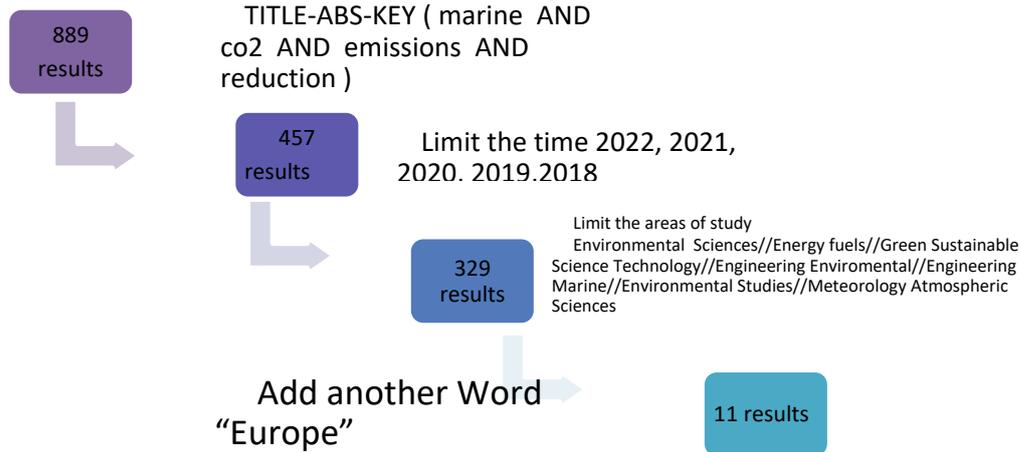


Figura 2. Protocolo: recopilación de datos y métodos de análisis

Fuente: Web of Science

### 3.2. Análisis de *keywords*

A partir de la investigación realizada, mediante el programa VOSviewer se analizan las palabras más relevantes que han resultado de la búsqueda de palabras clave en la base de datos Web of Science, mostrando mapas de conexión entre estos términos importantes.

### 3.2.1 WoS

Se inicia el estudio en WoS con las palabras clave “marine”, “CO2”, “emissions” “reduction”. Como resultado, se ha encontrado un total de 889 publicaciones categorizadas como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Tree Map Chart

Fuente: Web of Science (2022)

Una vez se introducen los datos a VOSviewer y extraemos las palabras clave en cada clúster abajo representado en la Figura 4.



A	B
Efficiency	Carbon emissions
Zero emissions	Carbon footprint
consumption	NOX
Energy consumption	SOX
Impact-factors	Environmental impact
Renewable energy-consumption	Methane production
Parameters	Greenhouse emissions
Demand	
Container ship	
Route optimization	
IMO regulations	
Speed	
Marine fuels	

(A\*) palabras clave que deben ser medidas previamente a realizar los cálculos correspondientes. (B\*) conceptos que no sólo deben ser medidos, sino que además representan los objetivos que en el transporte marítimo se busca reducir.

Tabla 1. Keywords correspondientes a cada cluster de las palabras clave de partida.

Fuente: Elaboracion propia a a partir de WoS



Hemos elaborado la Tabla 2 que recoge una clasificación de todas las palabras clave que se usarán para el estudio de las navieras en los apartados posteriores. Dicha clasificación recoge un primer grupo A\* de “*keywords*” que reflejan el objetivo de sostenibilidad, y un grupo B\* que incluye todos aquellos conceptos necesarios a tener en cuenta antes de medir las emisiones de gases (desarrolladas en los apartados 4 y 6)



**A**

**B**

Environmental sustainability	Optimization
Sustainability	Design
Sustainable development	Energy system
Renewable energy	Renewable energy
	LNG-fuelled ship
	Bio-oil
	Bioenergy
	Biofuel
	Biogas
	Diesel engine
	Ammonia
	Methanol
	Waste cooking oil biodiesel
	Diesel generator
	Alternative fuel
	Building

A\* "keywords" que reflejan el objetivo de sostenibilidad, y un grupo. B\* todos aquellos conceptos necesarios a tener en cuenta antes de medir las emisiones de gases.

Tabla 2. Keywords correspondientes al posterior estudio de navieras.

Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla del Anexo

En la Figura 5 se establece la búsqueda avanzada donde las fechas son las mismas, pero la diferencia es que las diferencias por los años publicados. Las *keywords* más recientes son las amarillas y verde claro. De la Tabla 2 hay que destacar como con la progresión del tiempo los estudios realizados han ido definiendo cada vez más el ámbito de estudio con palabras clave del tipo “fuels” “ammonia” por ejemplo.

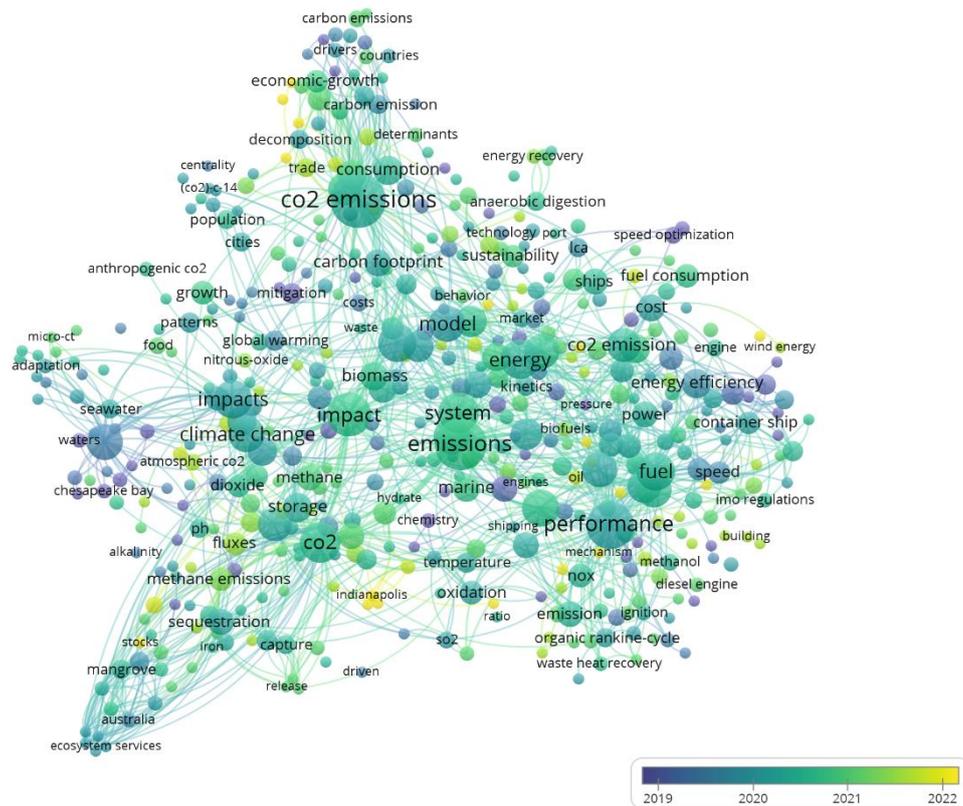


Figura 5. Coocurrencias desde 2019 al 2021

Fuente: VOSviewer (2022)

Por su parte, tras extraer los resultados y analizarlos, la Figura 6 muestra que las palabras identificadas como las más importantes, cuando se incluye en la búsqueda la palabra “Europa”, son “c-14”, “fossil fuel co2”, “gas emissions” or “Ing fuelled ship” .

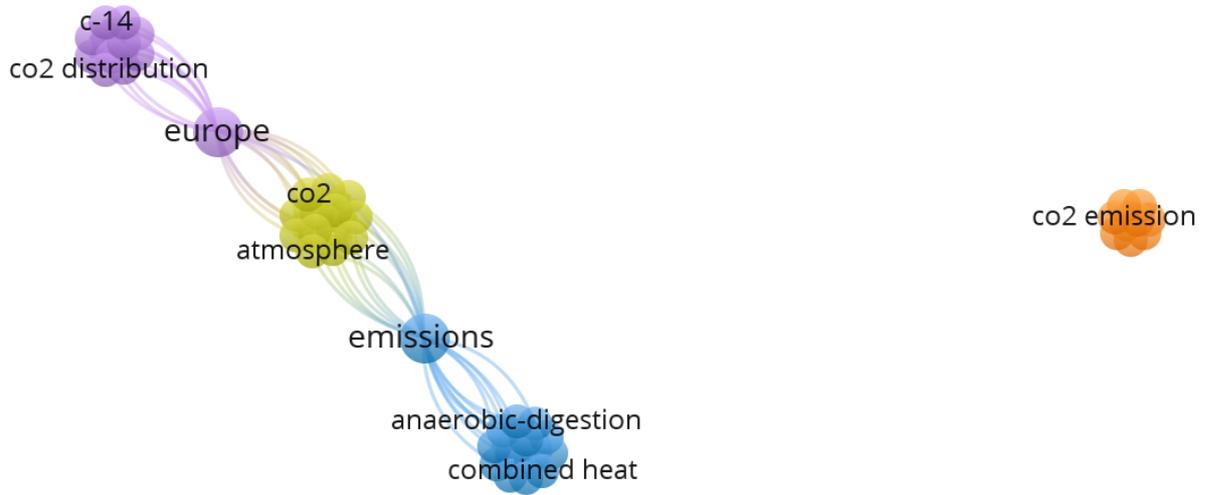


Figura 6. Red de keywords en Europa

Fuente: VOSviewer (2022)

### 3.2.2 Scopus

Al igual que en WoS se inicia el estudio con las palabras clave “marine”, “CO2”, “emissions” “reduction”. Como resultado, se ha encontrado un total de 523 publicaciones categorizadas como se muestra en la Figura 7 expresadas en porcentajes.

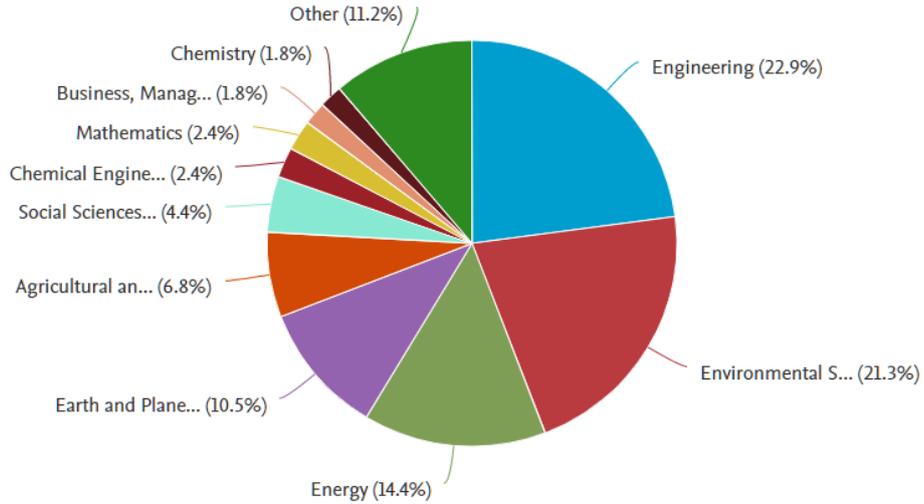


Figura 7. Resultado del primer estudio.

Fuente: Scopus

Tras introducir los datos en VOSviewer, se obtiene como resultado la Figura 8, que muestra la palabra “Carbon dioxide” como la más citada. Le siguen “gas emissions”, “emission control” y “ships” como las siguientes palabras clave más mencionadas.

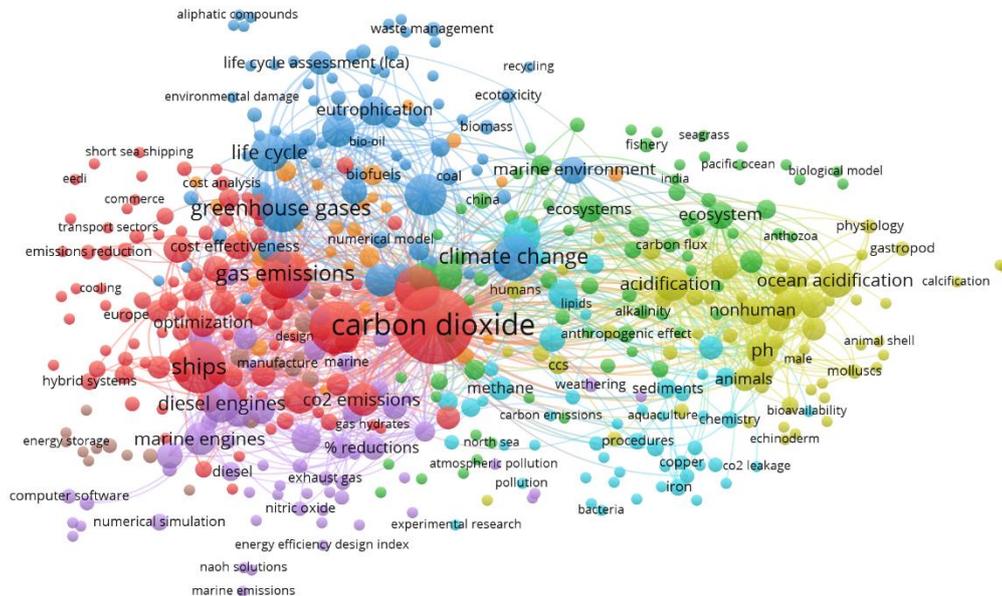


Figura 8. Resultado del primer estudio.

Fuente: Scopus



Al igual que para WoS procedemos a relacionar los clusters con las palabras clave empleadas en la búsqueda inicial, como puede observarse en la obtenida a partir de la Figura 2 del Anexo A1. A partir de dicha tabla, de la misma manera que en el apartado anterior, la Tabla 3 recoge un primer grupo A\* de “keywords” que reflejan todos aquellos conceptos cuya reducción resultará clave para alcanzar el objetivo de 2050 de alcanzar la zero-net. Otro grupo B\*, dónde se reúnen las “keywords” más relacionadas con los factores de estudio de las emisiones de los barcos y que al igual que el grupo C\*, que reúne los conceptos que más preocupan a los puertos, dominan el flujo del desarrollo del siguiente trabajo.

A	B	C
Fossil fuel	Energy efficiency	Carbon neutral
Air pollutants	Container ship	Emission control
NOX	Marine propulsión	Renewable sources
SOX	Ship propulsión	Short-sea shipping
Climate change impact	Waste heat	Air quality
Fuel oils impact		Computer simulation
Traffic emission		Flow of gases
Carbon footprint		Emission inventory
Methane		
Greenhouse gases		

\*A “keywords” que reflejan todos aquellos conceptos cuya reducción resultará clave para alcanzar el objetivo de 2050 de alcanzar la zero-net; B\* “keywords” más relacionadas con los factores de estudio de las emisiones de los barcos; C\* conceptos que más preocupan a los puertos.

Tabla 3. Keywords correspondientes a cada cluster de las palabras clave de partida.

Fuente: Elaboración propia a partir de Scopus



De la misma manera, que en el caso anterior hemos elaborado una nueva Tabla 4 que recoge todas las palabras clave que se usarán para el estudio de las navieras en los apartados posteriores.

NAVIERAS
Alcohol fuels
Alternative fuel
Diesel engines
Fossil Fuels
Hydrogen fuels
Electric utilities
Power system configuration
Ammonia
LNG carrier
Mrine engineering
Fuel oil
bio-oil
Renewable diesels
Bio-energy
Energy systems
Liquid natural gas
Energy system model
Diesel

*Tabla 4. Keywords correspondientes al posterior estudio de navieras.*

*Fuente: Elaboración propia a partir de la tabla del Anexo*

En la Figura 9 se puede visualizar la evolución en los artículos a lo largo de los años desde el 2019 al 2021. A diferencia de los resultados con WoS desde el 2020 se ha incidido en las palabras claves “*biofuels*”, “*energy efficiency*”, “*bio-oil*” y “*short sea shipping*”.

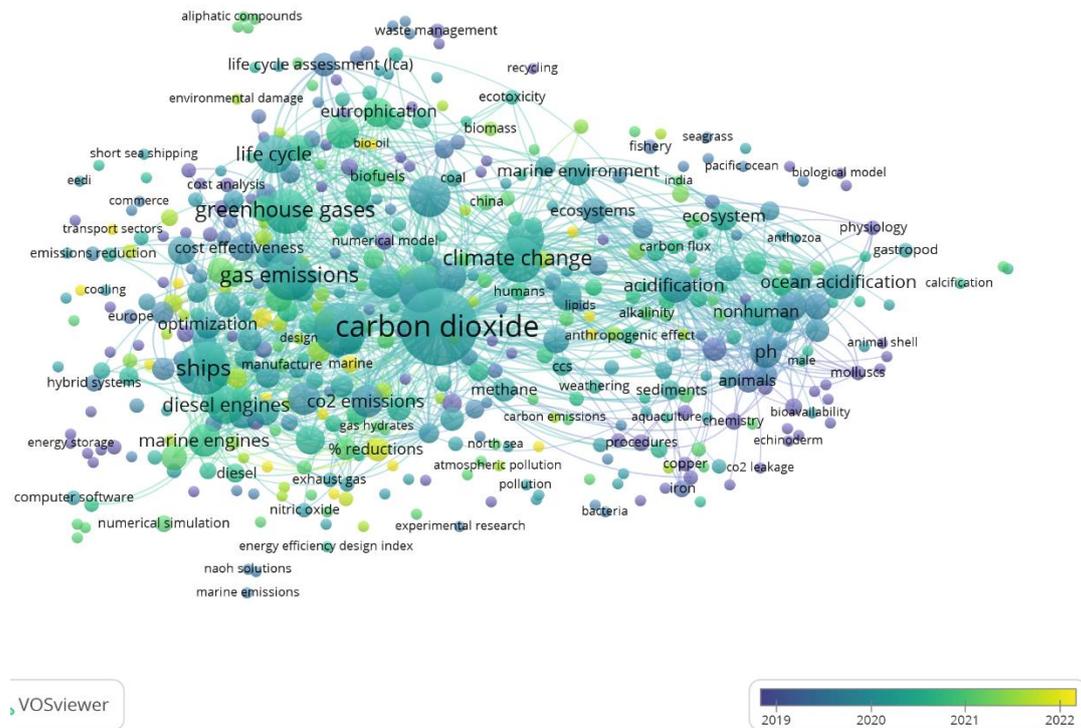


Figura 9. Resultado del primer estudio. Por fecha de publicación

Fuente: Scopus

En base a la Figura 10 se destaca que al incluir la última palabra clave “*Europe*” se observa que se relaciona con términos del cluster 5, (véase Anexo 1) como “*comparative study*”, “*environmental requirement*”, “*exhaust gas emissions*”, “*fuel oils*”, “*maritime transportation*”, “*International Maritime organizations*”, “*traffic emission*” or “*vessel*”. Pero, sin embargo, “*Europe*” se aleja de otras palabras clave como “*climate change*” o

“bio-energy” lo que responde a una falta existente del estudio de las emisiones de gases en Europa.

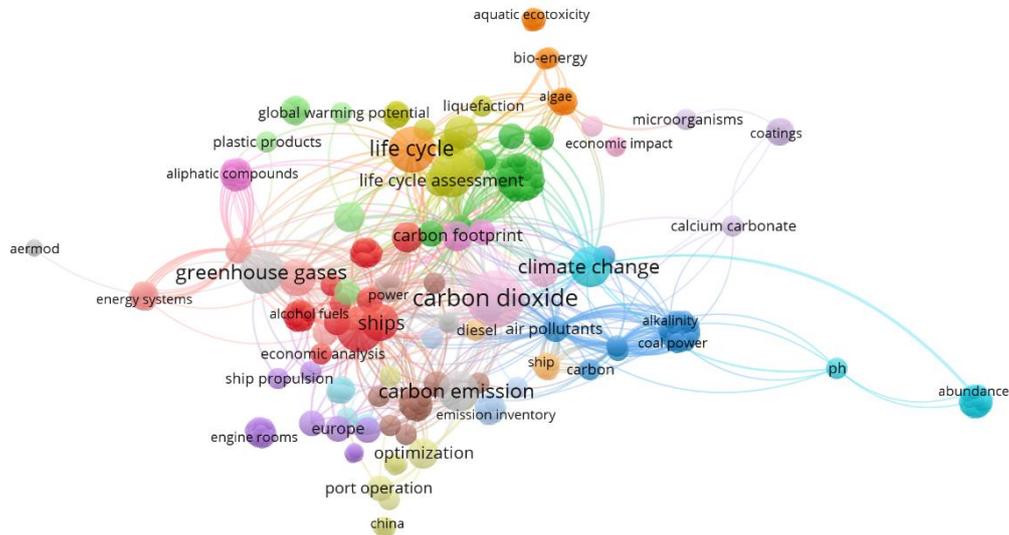


Figura 10. Resultados totales incluyendo “Europa”

Fuente: Scopus

Frente lo mencionado anteriormente la Figura 11 representa que la frecuencia con que se manifiesta la aparición de las palabras clave “european unión”, “ship propulsión” y “alternative fuel” son muy pocos los que corresponden al 2021. Lo más destacable es la introducción en el 2022 del término “comparative study” sin enlace directo con ninguna de las anteriores “keywords”.

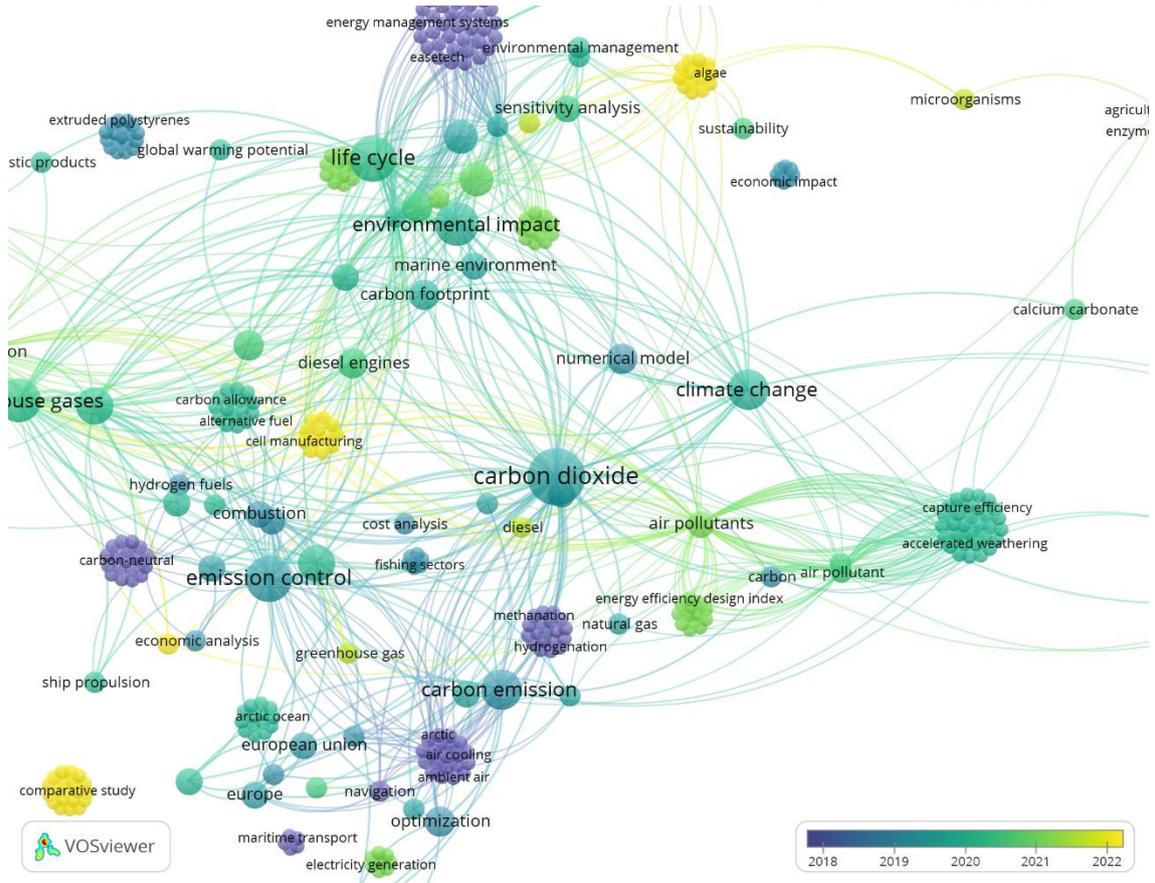


Figura 11. Evolución de las palabras claves resultantes (incluyendo Europa)

Fuente: Scopus

Las *keywords* obtenidas en el análisis de los resultados de Scopus (Figuras 10 a 15), servirán de base para el estudio de las empresas navieras en el apartado 6.



## **4. Contexto actual de emisiones en el comercio marítimo de mercancías**

### **4.1. Sistemas de recopilación de medición de datos**

Con la introducción del Sistema de seguimiento, notificación y verificación (MRV) y del Sistema de recopilación de datos (DCS) tanto la Unión Europea (UE) como la (OMI) tienen la clara ambición de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques y han establecido procesos para alcanzar sus objetivos. Aunque hay algunas similitudes entre los dos sistemas, el enfoque más reciente de la OMI para el seguimiento, notificación y verificación de las emisiones de carbono (CO<sub>2</sub>) tiene algunas diferencias significativas con la legislación MRV de la UE (Boviatsis, 2019). Lo anteriormente mencionado se encuentra brevemente representado en la Tabla 5.

Ambos requisitos, el MRV y el DCS, son obligatorios y constituyen el primer paso de un proceso más amplio de recogida y análisis de datos sobre las emisiones del transporte marítimo.

	MRV (MONITORING, REPORTING AND VERIFICATION)	DCS (DATA COLLECTION SYSTEM)
<b>Se aplica a:</b>	Buques > 5.000 toneladas brutas (GT) que hagan escala en cualquier puerto de la UE.	Buques ≥ 5.000 toneladas brutas (GT) que operan en todo el mundo.
<b>Enfoque de los informes:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia recorrida Tiempo de permanencia en el mar</li> <li>• Cantidad de cada tipo de combustible consumido en puerto/en el mar</li> <li>• Carga transportada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distancia recorrida</li> <li>• Cantidad de cada tipo de combustible consumido en total</li> <li>• Horas de navegación con propulsión propia</li> </ul>
<b>Ruta de los informes:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El Informe Anual de Emisiones debe ser verificado por un verificador acreditado -como DNV- dentro de la base de datos THETIS-MRV de la EMSA</li> <li>• La empresa presenta entonces el Informe de Emisiones verificado a la Comisión Europea a través de THETIS-MRV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El consumo de fueloil debe ser verificado por la administración del pabellón o por la Organización Reconocida (OR) -como DNV- anualmente o cuando haya un cambio de pabellón o de propietario</li> <li>• El Estado de abanderamiento (o la OR) comunica los datos de consumo de fueloil verificados a la base de datos GISIS de la OMI</li> </ul>

Tabla 5. Sistemas de recopilación de datos

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. El nivel actual de emisiones

El comercio de mercancías ha hecho realidad la integración de la economía mundial. En la actualidad, más del 70% del valor del comercio internacional y más del 80% del volumen físico del comercio internacional se realizan mediante el transporte marítimo. Sin embargo, debido a que los buques de gran capacidad tienden a emplear fuel-oil barato con alto contenido de impurezas, el transporte marítimo se ha convertido en una enorme y creciente fuente de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), lo que tiene un grave impacto en el medio ambiente.

De acuerdo con el último informe de Eurostat, (EUROSTAT, 2022) las emisiones de gases de efecto invernadero en el cuarto trimestre de 2021 se incrementaron en un 8% en comparación con el mismo trimestre del año anterior como puede verse en la Figura 12.



Figura 12. Emisiones de CO2 (en ton por millón) por actividad económica del 2010-2021

Fuente: EUROSTAT 2022

Este aumento se debe en gran medida al efecto del repunte económico tras el fuerte descenso de la actividad en el mismo período de 2020 provocado por la crisis de COVID-19. A modo de comparación, las emisiones del mismo periodo de 2019 ascendieron a 1005 millones de toneladas equivalentes de CO2.

En el cuarto trimestre de 2021, los sectores económicos responsables de la mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero fueron los hogares (22 %), la industria manufacturera y el suministro de electricidad (21 %), seguidos de la agricultura (12 %), el transporte y el almacenamiento (11 %).

Las emisiones de gases de efecto invernadero en todos los sectores aumentaron en comparación con el mismo periodo del año anterior (Blunden, 2021) El mayor aumento se registró en las emisiones del transporte y el almacenamiento (18 %), seguido de la

minería y las canteras (11 %) y el suministro de electricidad (10 %). A pesar del efecto de la recuperación económica entre los mismos trimestres de 2020 y 2021, la tendencia a largo plazo de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE muestra una reducción constante.

Las emisiones en el cuarto trimestre de 2021 aumentaron en todos los Estados miembros de la UE en comparación con el mismo trimestre de 2020, lo que refleja la recuperación de la pandemia, como se refleja en la Figura 13.

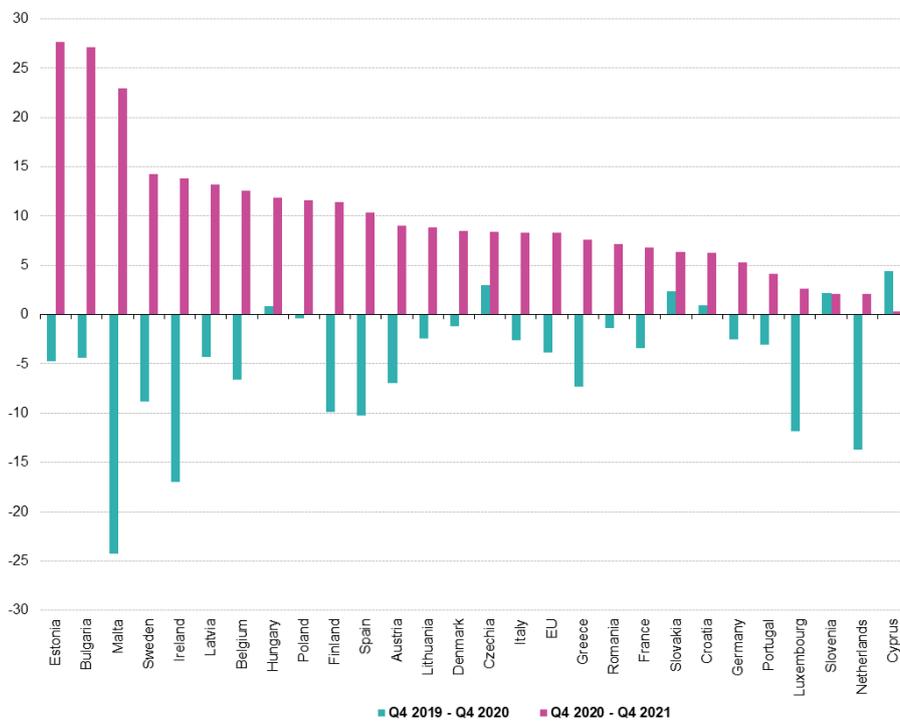


Figura 13. Comparativa tasa de crecimiento (%) de las emisiones totales de gases de efecto invernadero 2019-2020 vs 2020-2021.

Fuente: EUROSTAT 2022

Los puertos representan una fuente de contaminantes atmosféricos que contribuyen de manera significativa a alterar la calidad del aire de las ciudades portuarias, y, por ende,

la calidad de vida de sus habitantes. En la Figura 14 se observa la evolución de las emisiones durante una década.

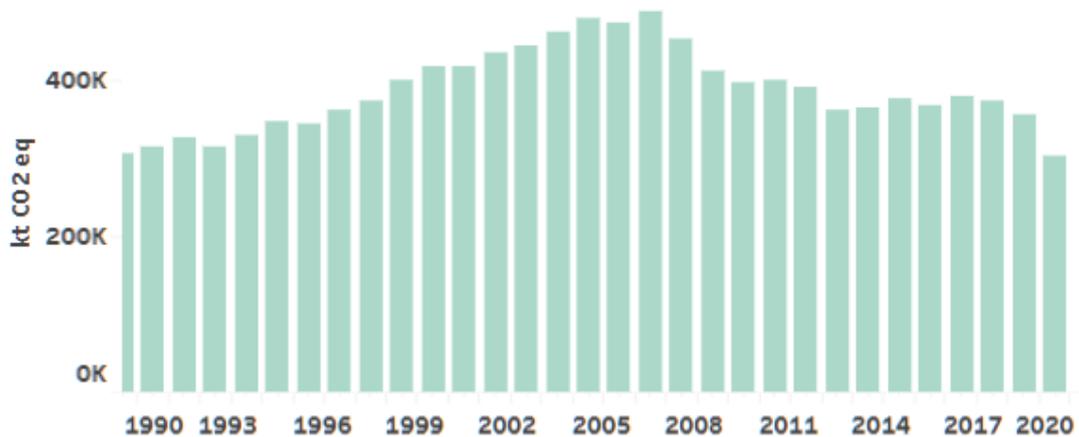


Figura 14. Total, de emisiones de efecto invernadero en España de 1990-2020

Fuente: EEA 2022

Durante las maniobras en puertos, llegada o salida, así como el simple hecho de estar amarrados en los muelles, pero con el motor encendido, los buques emiten Óxidos de nitrógeno (NOx), Óxidos de azufre (SOx), partículas primarias en suspensión (PM).

La flota mundial de transporte marítimo de contenedores constaba de aproximadamente 5600 buques en 2018, lo que representa solo el 8% del tonelaje total de la flota en el transporte marítimo mundial. Sin embargo, en términos de distancia de navegación, los buques portacontenedores son responsables del 17% de todos los tránsitos marítimos. De hecho, más del 80% del comercio mundial por volumen y más del 70% de su valor se transporta a bordo de buques y se gestiona en puertos marítimos de todo el mundo. (Czermański, 2021).



El 1 de enero de 2018, la flota comercial mundial comprendía 94.171 buques, con un tonelaje combinado de 1.920 millones de TPM (tonelaje de peso muerto). Los graneleros de carga seca representan la mayor parte en toneladas de peso muerto y la mayor parte de la capacidad de carga total, con un 42,5%, seguidos por los petroleros, que transportan petróleo crudo y sus productos (29,2%), y los portacontenedores (13,1%). Además, las proyecciones del comercio marítimo mundial a medio plazo también apuntan a una expansión continua, con volúmenes que crecen a una tasa de crecimiento anual compuesta estimada del 3,2% hasta 2022. (Kong, 2022).

La flota de transporte marítimo de contenedores está diversamente estructurada, tanto en términos de tamaño de los buques como de capacidad de transporte de carga, que varían en fuerza numérica y capacidad.

Con respecto al problema del calentamiento global, las emisiones de dióxido de carbono debidas al transporte marítimo se estiman en alrededor de 1.000 millones de toneladas al año, y la contribución de las emisiones globales de gases de efecto invernadero son alrededor del 2,5% del sector de la combustión de combustibles. (Azarkamand, 2020)-

Para 2050, dependiendo del futuro crecimiento económico y de la evolución energética, las emisiones del transporte marítimo pueden aumentar entre un 50% y un 250% (Ogle, 2015). Este incremento no es compatible con el imperativo de reducir las emisiones mundiales para limitar el aumento de la temperatura media global. Por este motivo, la sostenibilidad medioambiental del transporte marítimo es un imperativo de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible (Benamara, 2019) (Roussanaly, 2014).



Para limitar las emisiones de los buques se emiten varias directivas nacionales o internacionales. El estudio de la OMI GHG4 muestra que las emisiones anuales de gases de efecto invernadero del transporte marítimo aumentaron de 978 millones de toneladas a 1.076 millones de toneladas de 2012 a 2018. Debido a que la demanda de transporte marítimo sigue creciendo, se prevé que las emisiones aumenten entre un 90 y un 130 % para 2050 en comparación con 2008.

La OMI ha establecido una serie de líneas de base relativas a la cantidad de combustible que los buques, según el tipo, pueden consumir para una determinada capacidad de carga. Para 2025, todos los nuevos buques serán un 30% más eficientes desde el punto de vista energético que aquellos construidos en 2014. Los reglamentos convirtieron al Índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) en obligatorio para nuevos buques, mientras que el Plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP) es requerido para todos los buques.

En 2016, la OMI adoptó prescripciones con el propósito de obligar a los buques de arqueado bruto igual o superior a 5000 a recopilar datos sobre el consumo para cada tipo de fueloil que emplean a bordo. Ya que éste tipo de buques producen aproximadamente el 85% de las emisiones de dióxido de carbono procedentes del transporte marítimo internacional.

El Anexo VI de MARPOL de la OMI, con su futuro plan de aplicación de los requisitos del Nivel III, el Índice de Diseño de Eficiencia Energética para los buques nuevos y el Plan de Gestión de la Eficiencia Energética de los Buques para todos los buques.



Los contaminantes de gases de efecto invernadero regulados que produce el transporte marítimo son el CO<sub>2</sub>, el SO<sub>x</sub> y el NO<sub>x</sub>.

- En primer lugar, se ha comprobado que el CO<sub>2</sub> contribuye al calentamiento global al atrapar el calor en la atmósfera y afecta negativamente a los ecosistemas, incluidos los marinos, al aumentar la acidez del agua del mar.
- En segundo lugar, las emisiones de dióxidos de azufre SO<sub>x</sub> contribuyen a la lluvia ácida, con un impacto negativo y significativo en la salud.
- Por último, los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son gases que provocan la acidificación y la eutrofización (crecimiento excesivo de la vida de las algas) del agua y del suelo, pero también conducen a la creación de partículas y de ozono troposférico.

En lo que respecta a los **NO<sub>x</sub>**, el Comité de Protección del Medio Marino adoptó enmiendas que designan el Mar del Norte y el Mar Báltico (que son zonas de control de las emisiones de óxidos de azufre) como zonas de control de las emisiones de NO<sub>x</sub> en virtud del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, anexo VI, regla 13. Los motores diésel marinos que funcionen en estas zonas deberán cumplir el límite de emisiones de NO<sub>x</sub> de nivel III, más estricto, cuando se instalen en buques construidos después del 1 de enero de 2021. También se adoptaron directrices sobre los sistemas de reducción catalítica selectiva (OMI 2017, s.f.).

En cuanto al **SO<sub>x</sub>**, según la legislación actual de la OMI y de la UE, los buques que comercien en zonas designadas (Áreas de Control de Emisiones-ECA) a partir del 1 de



enero de 2015 deberán utilizar a bordo fuel oil con un contenido de azufre de hasta el 0,1%, frente al límite del 1% vigente hasta el 31 de diciembre de 2014. Fuera de las ZCE, el límite actual de contenido de azufre en el fueloil es del 3,5%, que se reducirá al 0,5% a partir del 1 de enero de 2020, según lo establecido en el Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques, anexo VI, regla 14.1.3 (OMI 2016, s.f.)

La Directiva 2005/33/CE de la UE sobre las emisiones de azufre de los buques incorpora la normativa de la OMI sobre el azufre, pero exige además que, a partir de enero de 2010, todos los buques atracados en los puertos utilicen combustibles con un contenido de azufre inferior al 0,1 % en peso (Merico, 2017).

De acuerdo con los artículos en los hemos basado éste trabajo el fueloil pesado (HFO) es un combustible marino tradicional, pero cada vez más se destaca el uso de combustibles marinos alternativos como el MGO y el GNL, ya que en las zonas de control de emisiones de azufre (SECA) se exige un combustible con bajo contenido en azufre a partir de enero de 2015. No obstante, el GNL no se ha considerado seriamente como combustible marino para los buques de CO<sub>2</sub> y su viabilidad económica no se ha estudiado hasta ahora.

Las medidas a corto plazo suponen una mejora media anual de la eficiencia de la flota mundial de buques (medida como emisiones por tonelada-kilómetro) de casi el 2% entre 2020 y 2030. Esto es sólo ligeramente mejor que la tasa de mejora anual media histórica del 1,6% entre 2000 y 2017.

Se necesitan mejoras medias anuales de más del 4% hasta 2030 para situar el transporte marítimo internacional en la senda de las emisiones netas cero. Por ello, la Figura 15

representa la evolución hipotética, tanto de la intensidad energética como de carbono, durante el período desde 2015 a 2030 para alcanzar finalmente en 2050 el objetivo Net Zero.

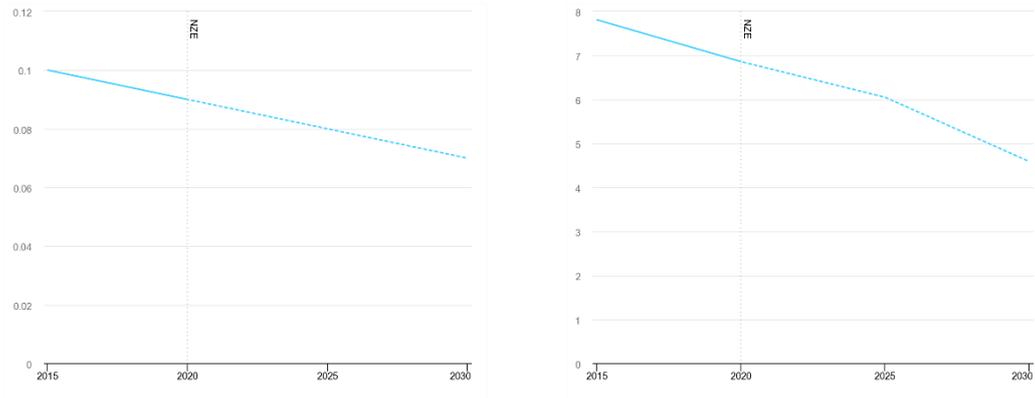


Figura 15. (a). Intensidad energética del transporte marítimo internacional en el escenario Net Zero, 2015-2030(b)

*Intensidad de carbono del transporte marítimo internacional en el escenario Net Zero, 2015-2030*

Fuente: IEA (2022)

En la actualidad, prácticamente no se utilizan combustibles con bajas emisiones de carbono en el transporte marítimo internacional. Los biocombustibles son la única alternativa de combustible no fósil que se ha adoptado hasta la fecha, y sólo representan el 0,1% del consumo final de energía.

De acuerdo con el marco político actual, se prevé que los combustibles de baja y nula emisión de carbono representen aproximadamente el 2% del consumo total de energía en el transporte marítimo internacional en 2030 y el 5% en 2050. Sin embargo, esta cifra es muy inferior al 15% en 2030 y al 83% en 2050 que el escenario Net Zero estima necesario.



Por lo tanto, es necesario ampliar cuanto antes las tecnologías vitales que se encuentran actualmente en fase de demostración y de prototipo, y desarrollar la infraestructura de apoyo. Debe prestarse mayor atención al amoníaco en particular, ya que se prevé que sea el principal combustible con bajas emisiones de carbono para los viajes transoceánicos en el Escenario de Emisiones Netas Cero, aunque todavía está en fase de prototipo.

El transporte marítimo es un importante emisor de CO<sub>2</sub>, con más de 138 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas en 2018, lo que supone el 3% del total de las emisiones de la UE, comparable al total de las emisiones de Bélgica, y es probable que crezca en el futuro.

### **4.3. La medición de los niveles actuales de CO<sub>2</sub> marítima**

#### **4.3.1. La recogida de datos por los organismos encargados**

En el siguiente apartado, como se representa en la Tabla 6. procedemos a explicar las diferentes metodologías que se aplican sobre los datos obtenidos a partir de las bases de datos mencionadas anteriormente.

METODOLOGÍAS	Bases de datos	QUÉ datos se recogen
<b>Descendente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy Information Administration (EIA)</li> <li>- International Energy Agency (IEA)</li> <li>- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)</li> </ul>	Las emisiones contaminantes se estiman sin tener en cuenta la ubicación del buque.
<b>Ascendente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lloyd's Marine Intelligence Unit (LMIU)</li> <li>- Automatic Identification System (AIS)</li> <li>- Statistical trends in transport (ECMT-CEMT),</li> </ul>	Contaminantes analizados (NOx, NO2, SOx, SO2, HC, VOC, PM2.5, PM10, NMVOC, CO2, CH4)

*Tabla 6. Comparativa de metodologías*

*Fuente: Elaboración propia*

Las metodologías para la evaluación de las emisiones de los buques van desde: el enfoque completo descendente hasta el enfoque completo ascendente. En el **enfoque completo descendente**, las emisiones totales se calculan a gran escala, generalmente nacional, y luego se reducen geográficamente a una escala más pequeña (regional o urbana) utilizando variables indirectas. (Miola, 2011).

El efecto a **escala global** depende principalmente de las emisiones durante la navegación entre puertos, mientras que los **efectos locales** dependen principalmente de las emisiones en los puertos o en su proximidad. Las emisiones de CO2 contribuyen significativamente al efecto de calentamiento global, mientras que las emisiones de NOx, SOx, PM y COV repercuten principalmente en la salud humana de las ciudades portuarias.



En el **enfoque completo ascendente**, se estiman los contaminantes atmosféricos emitidos por cada buque en su posición específica y durante una actividad concreta. A continuación, los datos se agregan en el tiempo y en el espacio.

De acuerdo con los diferentes estudios científicos contrastados, se concluye que el enfoque descendente puede ser muy útil para obtener una estimación preliminar de las emisiones locales, no obstante los resultados deben confirmarse mediante estudios ascendentes (Faber, 2009) (Tzannatos, 2010).

A causa de la mayor disponibilidad de datos de los buques y, en particular, tras la introducción del (AIS), los estudios ascendentes son hoy en día más populares que los descendentes. (Calvo Surià, 2020).

El AIS fue introducido por el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) de la OMI para mejorar la seguridad y la eficiencia de la navegación (Tichavska, 2015). Pero ahora se utiliza a menudo para estimar las emisiones de los buques porque transmite para cada buque información útil:

- número de identificación de la OMI
- tamaño
- peso
- nombre
- tipo
- posición
- rumbo

Los métodos ascendentes estiman las tasas de emisión durante cada actividad específica (calentamiento, maniobras y navegación) como el producto de un factor de emisión (EF) multiplicado por la producción de energía del motor o el consumo de combustible. La producción de energía se estima generalmente utilizando la potencia nominal máxima continua del motor multiplicada por un factor de carga.

Los factores de emisión se expresan en términos de masa de contaminante por unidad de potencia [g/kWh] o masa de contaminante por masa de combustible [g/g de combustible].

Los FE dependen de varios parámetros (Endresen, 2005) (Wang, 2007)

- Categoría del buque,
- Tipo de combustible,
- Tipo y factor de carga del motor (principal y auxiliar),
- Velocidad
- Las condiciones ambientales, en particular la velocidad del viento y la altura de las olas y la dirección media de las olas (Jalkanen, 2009)

#### **4.3.2. Bases de datos que muestran los niveles de emisiones actuales**

Los inventarios de emisiones son la columna vertebral de las políticas de control de la contaminación atmosférica y del cambio climático. En la comunidad del cambio climático, (Winiwarter, 2009), la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) se basa en los inventarios de emisiones para proporcionar



información sobre la reducción de las emisiones y el progreso hacia futuros compromisos de reducción relacionados con el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París.

(Dios, 2013)

En la comunidad europea de la contaminación atmosférica, el Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (CLRTAP) de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) y la Directiva sobre techos nacionales de emisión de la UE (NECD) establecen compromisos de reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos.

A continuación, desarrollaremos cada una de las bases de datos empleadas (Tabla 7 y Tabla 8) así como las metodologías que se siguen en el momento de analizar las emisiones de CO<sub>2</sub>, entre otros gases de efecto invernadero.

Cabe mencionar que dichas bases de datos son las que emplean los organismos que se encargan de evaluar las emisiones y el alcance de los objetivos para 2030. Son bases de datos que agregan todos los datos existentes, para evaluar los progresos hacia el Zero Neto.

BASE DE DATOS	QUIÉN recoge los datos	QUÉ datos se recogen
ENTEC	- Lloyd's Marine Intelligence Unit (LMIU)	Emisiones individualmente para cada buque usando factores de emisión ponderados.
STEAM	- European Environment Agency (EEA)	El método aplica un sistema de información geográfica (SIG) y calcula las rutas de los buques de forma automática a escala global siguiendo las rutas comerciales del transporte marítimo, caracterizando el tráfico y evaluar los impactos del transporte marítimo.
TNO	- EMEP	Proporciona factores de emisión de contaminante y consumo de combustible según el año construcción y tipo de motor, tipo de combustible con correcciones por carga de motor desde 10% al 85%.

Tabla 7. Tabla comparativa 1 bases de datos

Fuente: Elaboración propia

BASE DE DATOS	QUIÉN recoge los datos	QUÉ datos se recogen
EDGAR	- CCI (Centro Común de Investigación de la Comisión Europea) - PBL (Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos)	- estimaciones independientes de las emisiones en comparación con las notificadas por los Estados miembros europeos o por las Partes en la (CMNUCC), utilizando estadísticas internacionales y una metodología coherente del IPCC.  - Proporciona emisiones totales/nacionales como mapas de cuadrícula con una resolución de 0,1 x 0,1 grados a nivel global, con datos anuales, mensuales y hasta horarios
EMEP-WebDab	- CEIP (Centre on Emission Inventories and Projections)	Emisiones de los principales contaminantes, metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes y partículas presentado a la Secretaría del Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia (Convenio LRTAP) por las Partes del Convenio
EMEP-EBAS	- CCC (Chemical Coordinating Centre)	Datos de medición atmosférica.
EMEP MSC-W	EMEP MSC-W (Meteorological Synthesizing Centre WEST)	Deposiciones de azufre (S) y nitrógeno (N), y las concentraciones en el aire de ozono (O3) y partículas (PM) disponibles
EMEP MSC-E	EMEP MSC-W (Meteorological Synthesizing Centre EAST)	Deposiciones de metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes
E-PRTR	los Estados Miembros tienen un plazo de 15 meses una vez finalizado del año de referencia, por lo que deberán reportar los datos antes del 30 de marzo del año siguiente.  El registro se actualiza cada año con los datos que comunican unas 34.000 instalaciones industriales que abarcan 65 actividades económicas en toda Europa.	emisiones de determinadas sustancias contaminantes al aire, agua y suelo,  transferencias de residuos fuera de los complejos industriales,  emisiones de carácter accidental  emisiones de fuentes difusas

Tabla 8. Tabla comparativa 2 bases de datos.

Fuente: Elaboración propia



- EDGAR

EDGAR (<https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>) es una base de datos mundial, independiente y polivalente sobre las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero y la contaminación atmosférica en la Tierra.

Una de las principales ventajas de EDGAR es que proporciona datos de emisiones, para todos los países, determinados a partir de una clasificación desglosada en base a cada sector de los países incluidos en dicho inventario.

El enfoque EDGAR es una combinación de métodos ascendentes y descendentes. Para determinar las emisiones totales de los buques se utilizan los factores de emisión y las estadísticas de combustible de la AIE. Pueden observarse en la Tabla 9 los datos de las emisiones extraídas. Para lo cual se tienen en cuenta los siguientes factores:

- Uso de combustible de los distintos tipos de buques,
- Las actividades portuarias
- Los tipos de buques.

Año de estudio	Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO <sub>2</sub> )
1990	275610
1991	281700,0122
1992	291549,9878



1993	276739,9902
1994	289649,9939
1995	303380,0049
1996	296700,0122
1997	317950,0122
1998	327480,011
1999	352140,0146
2000	369369,9951
2001	367790,0085
2002	384450,0122
2003	393429,9927
2004	409540,0085
2005	424160,0037
2006	418149,9939
2007	434489,9902
2008	401190,0024
2009	364429,9927
2010	349269,989
2011	348739,9902
2012	342350,0061

2013	315989,9902
2014	314690,0024
2015	325279,9988
2016	315700,0122
2017	332220,0012
2018	324880,0049
2019	306950,0122

Tabla 9. Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO<sub>2</sub>)

Fuente: EDGAR

- EMEP

El programa de cooperación para el control y la evaluación de la transmisión a larga distancia de los contaminantes atmosféricos en Europa a través de EMEP (<https://www.emep.int/>) es un programa con base científica y orientado a la política en el marco del (CLRTAP) para la cooperación internacional en la resolución de los problemas de contaminación atmosférica transfronteriza.

Se centra en tres actividades principales:

- la recogida de datos de emisiones.
- las mediciones atmosféricas y de precipitaciones.



- la modelización de la calidad del aire.

EMEP abarca varias bases de datos dónde cada una recoge datos característicos de su grupo de trabajo:

- **WebDab** (<https://www.ceip.at/webdab-emission-database>) es la base de datos de emisiones de EMEP (Programa de cooperación para la vigilancia y evaluación de la transmisión a larga distancia de los contaminantes atmosféricos en Europa) y está abierta al público para su uso interactivo a través de Internet. Las emisiones de los principales contaminantes, los metales pesados, los contaminantes orgánicos persistentes y las partículas están disponibles como totales/sectores, tanto para los datos comunicados oficialmente como para las emisiones que presentan lagunas.

WebDab contiene todos los datos de emisión presentados oficialmente a la Secretaría del (Convenio LRTAP) por las Partes del Convenio.

- **EBAS** (<https://ebas.nilu.no/>) tiene como objetivos el manejo, el almacenamiento y la difusión de los datos de composición atmosférica generados por marcos internacionales y nacionales como los programas de seguimiento a largo plazo y los proyectos de investigación. (EBAS, s.f.)

Además, alberga los datos enviados por los emisores de datos en apoyo de una serie de programas nacionales e internacionales que van desde las actividades de seguimiento hasta los proyectos de investigación. Finalmente, está



desarrollado y operado por el Instituto Noruego de Investigación Atmosférica (NILU).

- E-PRTR

El Registro Europeo de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (E-PRTR) (<https://prtr-es.es/>) es un registro basado en la web que incluye los valores de las emisiones anuales de varios contaminantes emitidos en los 28 Estados miembros de la UE, así como en Islandia, Liechtenstein, Noruega, Serbia y Suiza. Este conjunto de datos incluye no sólo los contaminantes atmosféricos, sino también información sobre, por ejemplo, las emisiones al agua y al suelo, en una cuadrícula de 5 km × 5 km, aproximadamente (0,047° - 0,183°) × 0,045°.

En la documentación metodológica del E-PRTR se encuentra un informe metodológico completo y detallado que cubre cada contaminante y sector. Los totales nacionales del sector del transporte marítimo incluye tanto el transporte marítimo internacional como la circulación en vías navegables interiores, derivados de las siguientes categorías de fuentes: 1A3di(i) y 1A3di(ii) (sectores NFR) y 1C1b (sectores CRF). Para más detalles sobre la metodología aplicada a este y otros sectores pueden encontrarse en <http://prtr.ec.europa.eu/> y (Russo, 2018).

- STEAM

Se trata de un inventario de emisiones del tráfico de buques en las zonas marítimas europeas, desarrollado mediante la aplicación del modelo de evaluación de las emisiones del tráfico de buques (STEAM). El modelo STEAM emplea como valores de

entrada los informes de posición generados por el sistema de identificación automática (AIS) y el conocimiento técnico detallado de los buques.

También se tienen en cuenta los datos técnicos de cada buque, y la última actualización del modelo incluye las emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub>, así como las emisiones másicas de partículas (PM) y monóxido de carbono (CO). De acuerdo con (Castells-Sanabra, 2020) se sugiere que la metodología STEAM podría utilizarse para realizar un seguimiento a través de la modelización. De ésta manera, el seguimiento se llevaría a cabo desde el buque hasta la costa y los armadores sólo tendrían que verificar los resultados obtenidos. Además de acuerdo con los estudios bibliográficos en los que se basa éste estudio, éste método tiene el potencial de obtener los resultados más realistas al compararlos con los datos reales.

- TNO

La TNO-MACC\_III (en adelante, TNO) (<https://topas.tno.nl/emissions/>) es una base de datos de emisiones antropogénicas cuadrículada de 0,125° x 0,0625° que se desarrolló principalmente para apoyar los estudios de modelos de calidad del aire de varios proyectos europeos, como el proyecto MACC del Séptimo Programa Marco de la UE o el marco FAIRMODE.

Ésta herramienta proporciona datos coherentes de emisiones antropogénicas por país y por categoría de fuente. El inventario de emisiones combina los datos de emisiones comunicados oficialmente por los países al EMEP (EMEP, s.f.) (seleccionados tras un

control de calidad), la información a nivel de país del modelo GAINS de la IIASA y las estimaciones de los expertos. Tabla 10.

COUNTRY: **ESP** Pollutant: **tsp** SNAP Level: **1**

SNAP Level 1 Name	1995 Emission (Mg/year)
<b>01: COMBUSTION IN ENERGY AND TRANSFORMATION INDUS</b>	37211.26
<b>02: NON-INDUSTRIAL COMBUSTION PLANTS</b>	29894.71
<b>03: COMBUSTION IN MANUFACTURING INDUSTRY</b>	43014.47
<b>04: PRODUCTION PROCESSES</b>	50007.39
<b>05: EXTRACTION AND DISTRIBUTION OF FOSSIL FUELS A</b>	1443.09
<b>06: SOLVENT AND OTHER PRODUCT USE</b>	12006
<b>07: ROAD TRANSPORT</b>	122104.33
<b>08: OTHER MOBILE SOURCES AND MACHINERY</b>	20168.72
<b>09: WASTE TREATMENT AND DISPOSAL</b>	20872.95
<b>10: AGRICULTURE</b>	29771.29
<b>12: Excluded from national total</b>	<b>(17686.58)</b>
<b>Grand Total</b>	<b>366494.21</b>

*Tabla 10. Emisiones de gases de efecto invernadero totales (kt de equivalente de CO<sub>2</sub>)*

*Fuente: TNO-CEPMEIP data base 2021*



Con el desarrollo de las capacidades informáticas, los métodos de medición de emisiones basados en el movimiento fueron ampliamente adoptados por las investigaciones y los informes técnicos. Este método requiere una gran cantidad de datos de movimiento del buque e información sobre el buque y su motor, para obtener resultados más precisos.

- THETIS MRV

THETIS-MRV (<https://mrv.emsa.europa.eu/#public/eumrv>) permite a las empresas responsables de la explotación de grandes buques que utilizan los puertos de la UE notificar sus emisiones de CO<sub>2</sub> en virtud del Reglamento (UE) 2015/757 sobre seguimiento, notificación y verificación del CO<sub>2</sub> procedente del transporte marítimo.

A través de esta aplicación basada en la web, todas las partes relevantes previstas por el Reglamento pueden cumplir con sus obligaciones de seguimiento y notificación de forma centralizada y armonizada. En las Figura 16 y Figura 17 se visualiza como obtuvimos los datos directamente de la web.

EMSA THETIS-MRV EU MRV CO<sub>2</sub> EMISSION REPORT REGISTER FAQ Login

Publication of information in accordance with Article 21 of Regulation (EU) 2015/757 on the monitoring, reporting and verification of CO<sub>2</sub> emissions from maritime transport. Information is accessible through the search tool or can be exported in a spreadsheet for further analysis. Since 30 June 2020, all the verified information submitted by companies to the European Commission for the reporting year 2019 is accessible. It should be noted that 2021 is the first year for which THETIS-MRV data reflect the impact of the United Kingdom's withdrawal from the EU (see [notice to stakeholders](#)).

IMO Number  Ship Name  Reporting Period  Ship type

**Search** **Reset**

	IMO ↑	Name	Ship Type	Technical efficiency		Reporting Period	Total CO <sub>2</sub> emissions [m tonnes]	CO <sub>2</sub> emis. per distance [kg CO <sub>2</sub> / n mile]	CO <sub>2</sub> emis. per transp. work
				Type	(gCO <sub>2</sub> /t·nm)				
<b>Actions</b>	5383304	ASTORIA	Passenger ship	EIV	169.16	2019	24512.83	502.27	2115.78 g CO <sub>2</sub> / pax · n miles
<b>Actions</b>	5383304	ASTORIA	Passenger ship	Not Appl...		2018	20080.25	442.71	993.14 g CO <sub>2</sub> / pax · n miles
<b>Actions</b>	6417097	MARCO POLO	Passenger ship	EIV	68.95	2019	26799.64	474.29	652.52 g CO <sub>2</sub> / pax · n miles
<b>Actions</b>	6417097	MARCO POLO	Passenger ship	Not Appl...		2018	25689.03	454.65	639.96 g CO <sub>2</sub> / pax · n miles
<b>Actions</b>	6511128	RED STAR 1	Ro-pax ship	EIV	23	2019	4909.30	198.04	474.94 g CO <sub>2</sub> / pax · n miles 511.21 g CO <sub>2</sub> / m tonnes · n miles
<b>Actions</b>	6511128	RED STAR 1	Ro-pax ship	EIV	45.57	2018	6941.34	171.31	2.07 g CO <sub>2</sub> / pax · n miles 2.60 g CO <sub>2</sub> / m tonnes · n miles

Figura 16. Pantalla principal de THETIS MRV

Fuente: EMSA 2022

	Reporting Period ↓	Version	Generation Date	File
<b>Actions</b>	2021	25	05/08/2022	<a href="#">2021-v25-05082022-EU MRV Publication of information</a>
<b>Actions</b>	2020	166	26/07/2022	<a href="#">2020-v166-26072022-EU MRV Publication of information</a>
<b>Actions</b>	2019	208	29/06/2022	<a href="#">2019-v208-29062022-EU MRV Publication of information</a>
<b>Actions</b>	2018	267	24/06/2022	<a href="#">2018-v267-24062022-EU MRV Publication of information</a>

Figura 17. Selección de datos por periodo anual

Fuente: EMSA 2022

Desde el 1 de enero de 2015, THETIS EU sirve como plataforma para registrar e intercambiar información sobre los resultados de las verificaciones individuales de cumplimiento realizadas por los Estados miembros, tal como se prevé en la Directiva (UE) 2016/802 sobre la reducción del contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo, (Friedrich, 2003) y desde abril de 2016 sirve como plataforma para registrar e intercambiar información sobre los resultados de las inspecciones previstas en la Directiva 2000/59/CE sobre instalaciones portuarias receptoras.

○ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA)

La AIE (<https://www.iea.org/>) recoge, evalúa y difunde estadísticas energéticas sobre la oferta y la demanda, recopiladas en balances energéticos. Asimismo, incluye otros indicadores clave relacionados con la energía, tales como los precios de la energía, la I+D pública y las medidas de eficiencia energética, con otras medidas en desarrollo.

El objetivo es el de proporcionar una plataforma única para el trabajo de modelización y el seguimiento tanto de los cambios a corto plazo como de las tendencias a largo plazo en las transiciones energéticas de los diferentes países, en particular para las energías limpias. Figura 18.

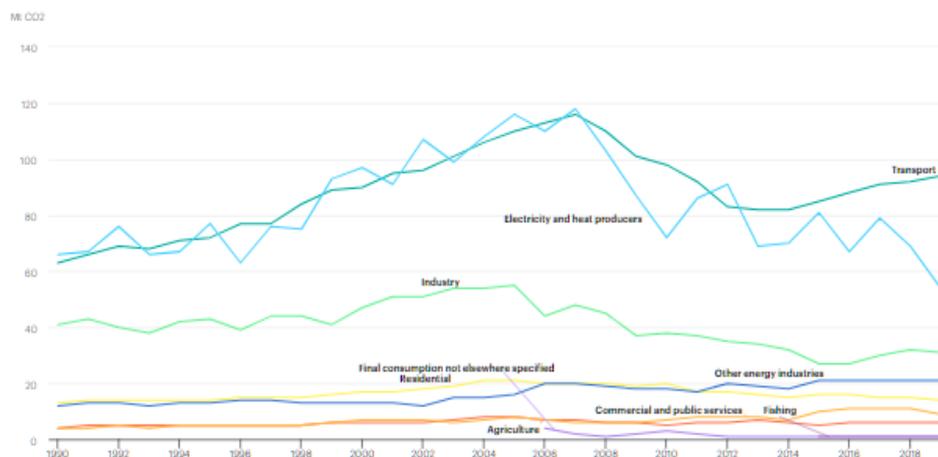


Figura 18. Emisiones de CO2 por sector, en España desde 1990-2009

Fuente: IEA 2022

### 4.3.3. La importancia de la intensidad energética en las emisiones de CO<sub>2</sub>

De acuerdo con (Andreoni, 2012) quién realizó un análisis de descomposición para investigar los principales factores que influyen en las emisiones de CO<sub>2</sub> de las actividades de transporte europeas para el periodo 2001-2008. Nos hemos basado en sus cálculos para investigar la intensidad de las emisiones de dióxido de carbono y la intensidad energética. El análisis ha recopilado datos de Eurostat y los resultados se presentan para 14 Estados miembros, Noruega y la UE27

Para cuantificar la contribución de los cuatro componentes analizados en la Figura 19. se definen de la siguiente manera:

- **Cleffect** Efecto de intensidad de CO<sub>2</sub> (o efecto de coeficiente de contaminación). También denominado como “índice de carbonización”. Se define por la relación entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el uso de energía. Refleja los cambios en la tecnología de reducción, la calidad de los combustibles y el cambio de combustible.
- **Eleffect** Efecto de la intensidad energética. Hace referencia al consumo de energía por unidad de producción y se define por la relación entre el consumo de energía y el Producto Interior Bruto (PIB). Además, representa los cambios en la estructura y en la eficiencia de los sistemas energéticos.
- **ESeffect** Efecto de los cambios estructurales. Se calcula como la relación entre el Producto Interior Bruto (PIB) de un sector específico y el Producto Interior Bruto

(PIB) añadido. Refleja los cambios en la posición relativa de un sector en una economía

- **Geffect** Efecto de crecimiento de la actividad económica. Al reflejar los cambios en el PIB de una economía, mide las emisiones teóricas de CO<sub>2</sub> causadas por las actividades económicas

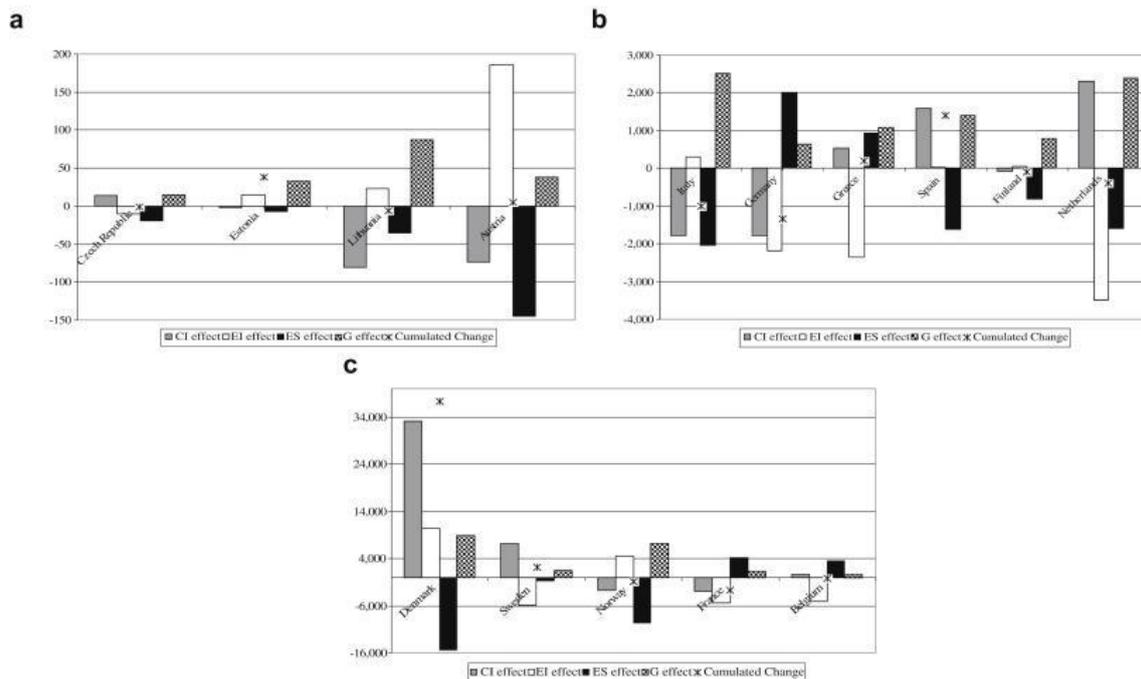


Figura 19. a. Transporte de agua - descomposición de CO<sub>2</sub> por países seleccionados. b. Transporte de agua - descomposición de CO<sub>2</sub> por países seleccionados. c. Transporte de agua - descomposición de CO<sub>2</sub> por países seleccionados.

Fuente: (Andreoni, 2012)

Para todos los países considerados, el efecto del crecimiento económico (G) es el factor que siempre contribuye a aumentar las emisiones de dióxido de carbono entre 2001 y 2008. El aumento del PIB y la consiguiente demanda de actividades de transporte acuático contribuyeron a aumentar la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en la UE27 y en los 15 países considerados Figura 20 y Figura 21.

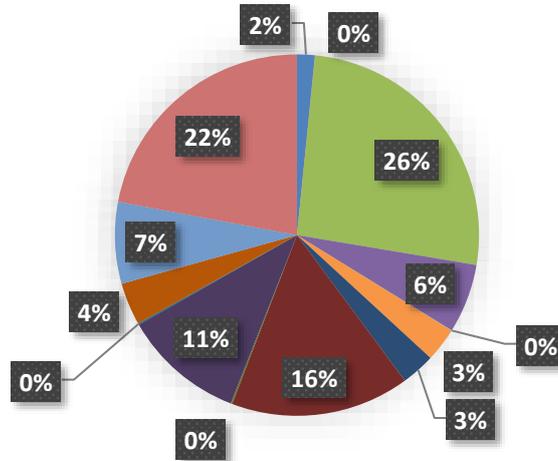
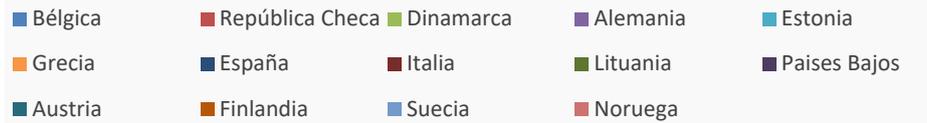


Figura 20. Datos de CO2 (miles de ton) 2001

Fuente: (Andreoni, 2012)

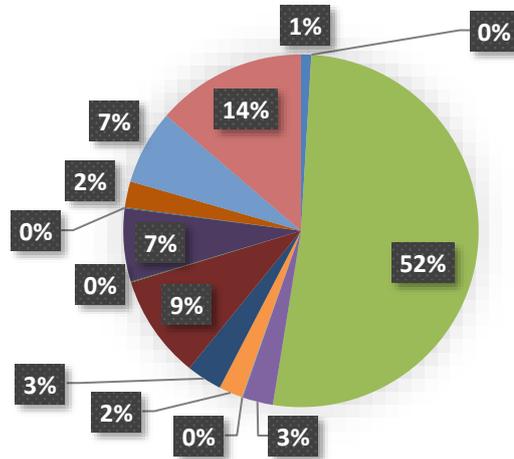
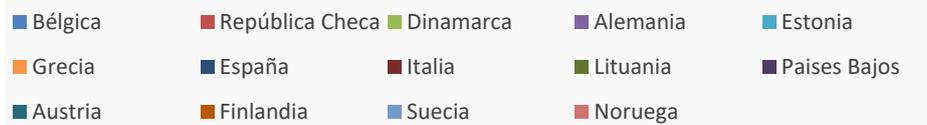


Figura 21. Datos de CO2 (miles de ton) 2008

Fuente: (Andreoni, 2012)



## 5. Metodología

El siguiente trabajo recoge dos análisis, los datos para ambos estudios se han obtenido de fuentes secundarias. El primer análisis, apartado 6.1 utiliza la información de las bases de datos incluidas en el apartado 4.3.2.

El segundo análisis se basa en la información disponible en las páginas web de las principales navieras. En este apartado se explica la metodología utilizada para analizar la situación de las principales navieras respecto a su nivel de emisiones y sus objetivos para reducirlas. Para ello se han seleccionado cuatro navieras Tabla 11 de entre las más importantes del mundo, según datos de Statista (<https://es.statista.com/estadisticas/633961/principales-operadores-buques-maritimos-cuota-de-transatlanticos/>):

NAVIERA	ENLACE A INFORMACIÓN	PAÍS
CMA-CGM	<a href="https://www.cmacgm-group.com/api/sites/default/files/2022-07/CMACGM_Rapport_2021_Web_UK_BAT_0.pdf">https://www.cmacgm-group.com/api/sites/default/files/2022-07/CMACGM_Rapport_2021_Web_UK_BAT_0.pdf</a> <a href="https://cmacgm-group.com/en/sustainability-and-innovation">https://cmacgm-group.com/en/sustainability-and-innovation</a>	Francia
HAPAG LLOYD	<a href="https://www.hapag-lloyd.com/en/company/responsibility/sustainability/strategy.html">https://www.hapag-lloyd.com/en/company/responsibility/sustainability/strategy.html</a>	Alemania
MSC	<a href="https://www.msc.com/en/sustainability">https://www.msc.com/en/sustainability</a> <a href="https://www.msc.com/en/sustainability/enabling-logistics-decarbonisation/journey-to-net-zero">https://www.msc.com/en/sustainability/enabling-logistics-decarbonisation/journey-to-net-zero</a>	Suiza
MAERSK	<a href="https://www.maersk.com/sustainability">https://www.maersk.com/sustainability</a> <a href="https://www.maersk.com/sustainability/reports-and-resources">https://www.maersk.com/sustainability/reports-and-resources</a>	Dinamarca

Tabla 11. Navieras a analizar

Fuente: Elaboración propia

La información utilizada para el análisis de cada naviera procede de sus páginas web y de los informes de sostenibilidad en ellas alojados. Para cada una de las navieras, se ha extraído la información relacionada con las emisiones y con las *keywords*

relacionadas, a partir del análisis realizado en el apartado de revisión de literatura. Para encontrar la información requerida, se ha leído:

- en los informes de responsabilidad, los apartados relacionados con el impacto en el planeta.
- en las páginas web de las empresas, la información relacionada con sostenibilidad, planeta, energía utilizada o planificada (como biofuel, por ejemplo.)

El análisis realizado es cualitativo, ya que se utiliza el texto en los informes y páginas web para encontrar la información relacionada con la estrategia de reducción de emisiones.

## 6. Análisis

### 6.1. De los datos disponibles en las bases de datos

A partir de todos los datos recopilados de cada una de las bases de datos, así como tras la aplicación de las metodologías correspondientes se han obtenido una serie de gráficas que nos van a permitir analizar de manera descriptiva cada uno de los resultados.

Todos los estudios sobre las emisiones de los buques que hemos visto (Saxe, 2004) utilizan la modelización para estimar el consumo de combustible a bordo de un buque, principalmente para convertir la potencia del motor en consumo de combustible. El enfoque de nuestro estudio fue intentar utilizar la información sobre la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> generada directamente como dato de entrada.

### Resultados EDGAR

En base a la Figura 22, se puede afirmar que la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> es mucho mayor que la de los otros dos gases, que también se incluyen en el gráfico, aunque apenas se notan.

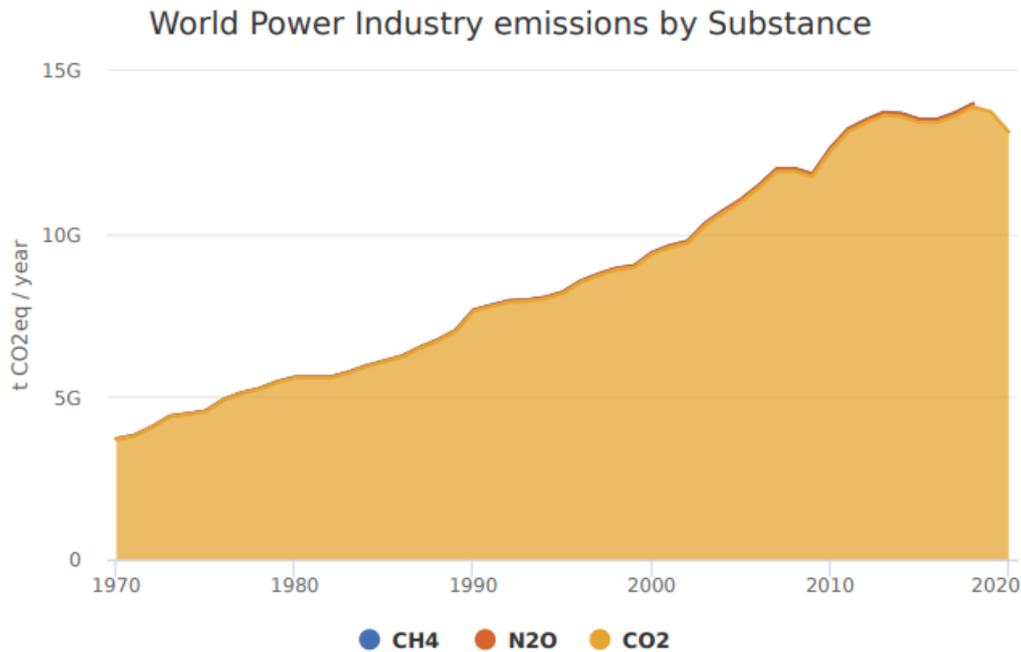


Figura 22. Emisiones de la industria energética mundial por sustancia

Fuente: EDGAR (2019)

La Figura 23 abarca un período de estudio en España de las emisiones totales de gases de efecto invernadero desde 1990 hasta el 2018. En dicha gráfica, elaborada a partir de los datos extraídos de EDGAR, se observa un positivo descenso de las emisiones de efecto invernadero totales lo que reafirma que las medidas que se están tomando realmente están siendo efectivas.

Emisiones de gases de efecto invernadero totales  
(kt de equivalente de CO<sub>2</sub>)

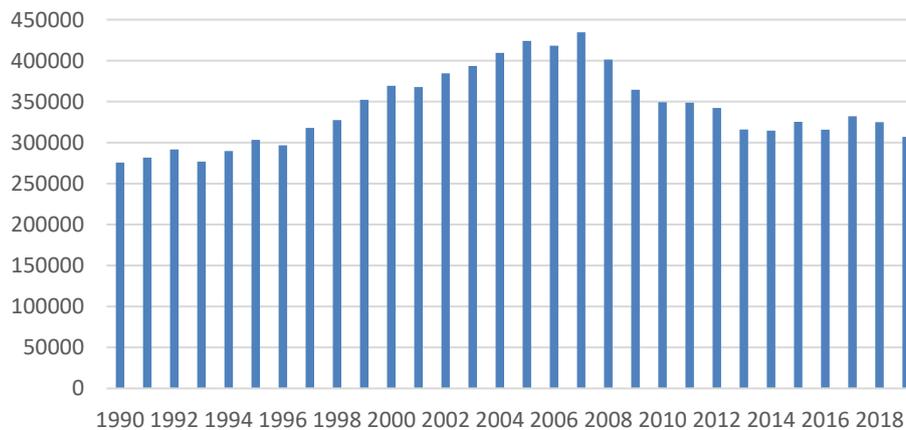


Figura 23. Total, de emisiones CO<sub>2</sub> 2018-2021

Fuente: EDGAR (2019)

### **Resultado EBAS**

En éste caso, EBAS a partir de un software que tiene incluido, vuelca los datos de la propia base de datos directamente de manera que nos permite obtener las Figuras 24,25 y 26. A diferencia de otras bases de datos el sistema no permite representar la evolución, un período de 7 años desde el 2015 al 2022, directamente lineal de los datos volcados por el centro de recopilación de emisiones correspondiente. E incluso podemos obtener el valor *máximo* y *mínimo* como se puede ver en la Figura 25.

Es llamativo, que al filtrar por “Carbon dioxide” tan sólo han salido 2 países con datos: Malta y Noruega. EBAS es una infraestructura de bases de datos desarrollada y operada por NILU - Instituto Noruego de Investigación Atmosférica, lo que responde a

porqué sólo el centro Noruego y el de Malta han volcado datos de las emisiones.

Recordemos que EBAS recopila los datos en base a cada uno de los centros de investigación de cada país.

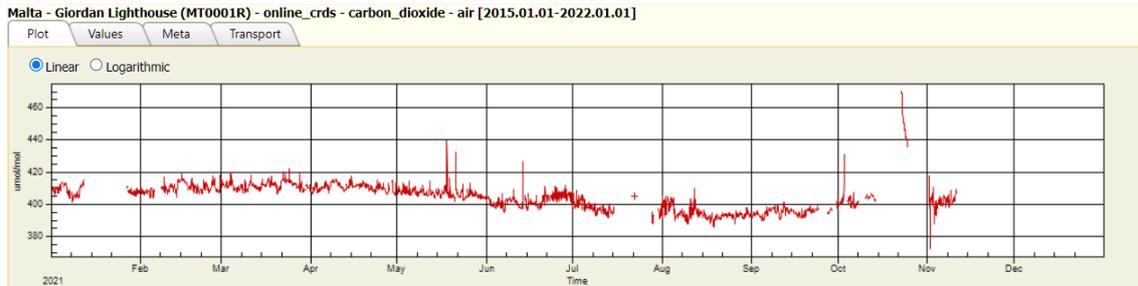


Figura 24. Gráfico niveles CO2 2015-2022, Malta

Fuente: EBAS 2021

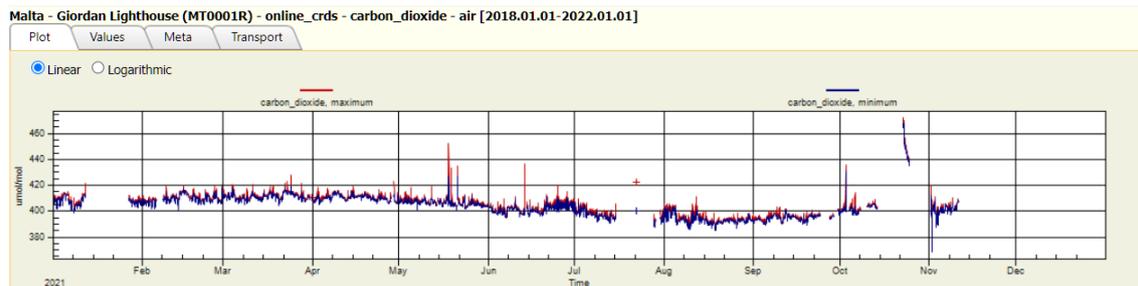


Figura 25. Gráfico máximo y mínimo valores de CO2 2018-2022, Malta

Fuente: EBAS 2021

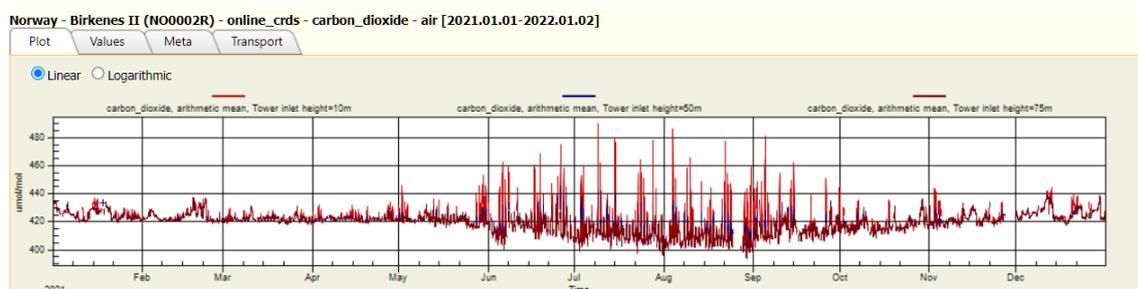


Figura 26. Gráfico valores de CO2 2018-2022, Noruega

Fuente: EBAS 2021

### Resultados E-PRTR

Tras recargar los datos en formato Excel, cribamos la información hasta ajustarla con los factores que deseamos. No olvidemos que como hemos mencionado anteriormente, ésta base de datos proporciona los datos de todos los miembros de la UE. Además, de acuerdo con la Figura 27 podemos analizar los resultados en función del sector que en éste caso se corresponde con “*International Navigation*”. Si comparamos los resultados 2020 con los de 2019 se justifica el valor de éste último como consecuencia del estallido del Covid-19, que causó la paralización de la mayoría de las actividades del transporte marítimo casi en su totalidad. No obstante 2020 ya muestra la reactivación de dichas actividades, pero resaltando que el % de emisiones generados es inferior al de otros años anteriores, tales como 2013 o 2014.

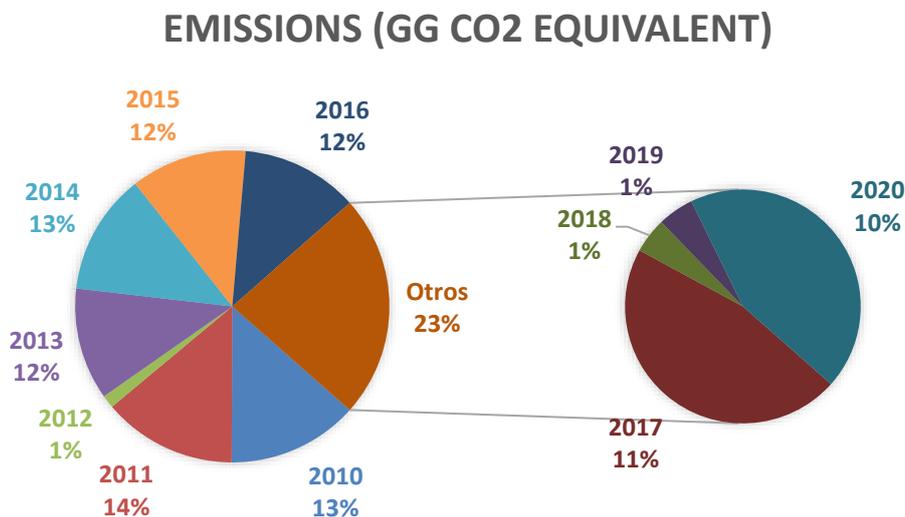


Figura 27. Emisiones CO2 2010-2020, International Navigation.

Fuente: EEA 2021

## Resultados MRV THESIS

Se ha determinado de forma mensual y por tipo de buque la emisión a la atmósfera de CO<sub>2</sub>. Tal y como se refleja en la Figura 28 se puede confirmar que los *container ship* o buques de contenedores son lo que, con gran diferencia con el resto de buques estudiados, generan un mayor nivel de emisiones.

Esto se debe a que los buques portacontenedores, en general tienen motores mucho más potentes que el resto de barcos ya que navegan a velocidades más altas y las emisiones de dióxido de carbono van directamente relacionadas con el consumo del combustible. Los buques no sólo emiten emisiones de CO<sub>2</sub> cuando navegan, también emiten emisiones cuando están atracados en el puerto.

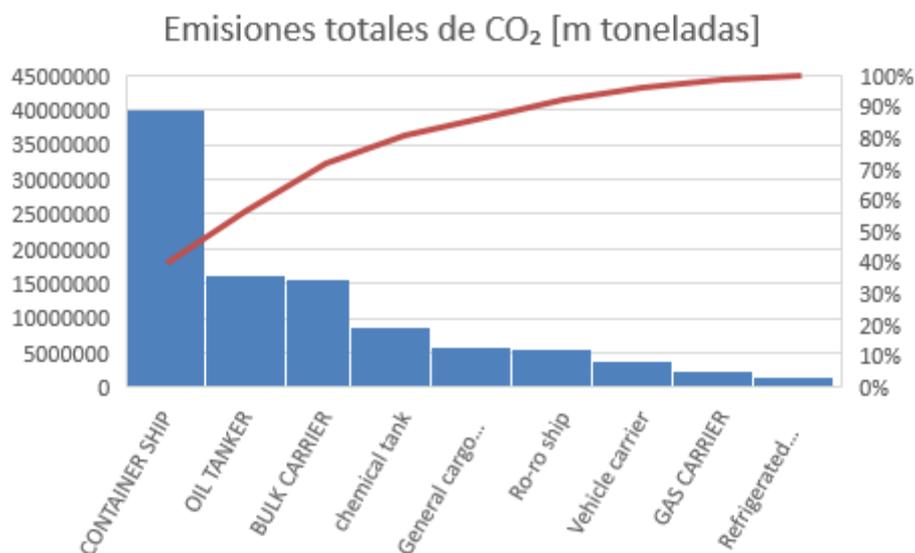


Figura 28. Total de emisiones CO<sub>2</sub> según tipo de buque

Fuente: EU MRV Publication of Information (2021)



Existe una duda generalizada sobre la fiabilidad de las estadísticas sobre el combustible búnker como indicador del combustible real utilizado en el transporte marítimo. En base a los resultados obtenidos de la Figura 28 el primer problema que se pone de manifiesto al comparar estos conjuntos de datos es que las estimaciones de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> del transporte marítimo derivadas de las estadísticas energéticas difieren sustancialmente de las estimaciones basadas en la actividad.

Se ha realizado un estudio por tipo de buque para los principales factores como los resultados de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Figura 31), la distancia recorrida (Figura 29) y la carga transportada (Figura 30). La relevancia del tipo de buque recae en la carga de transportada. Para cada tipo de buque, hay una definición según el Reglamento (UE) 2015/757.

Una vez obtenidos los gráficos correspondientes a todos estos componentes, se han analizado y se han sacado conclusiones. En la Figura 29 puede apreciar que el Oil tanker, también conocido como petrolero es el tipo de buque que más emisiones genera, al menos durante el año 2021. Hay que considerar que los datos corresponden únicamente a los puertos de España.

## Promedio anual de emisiones de CO<sub>2</sub> por distancia [kg CO<sub>2</sub> / n milla]

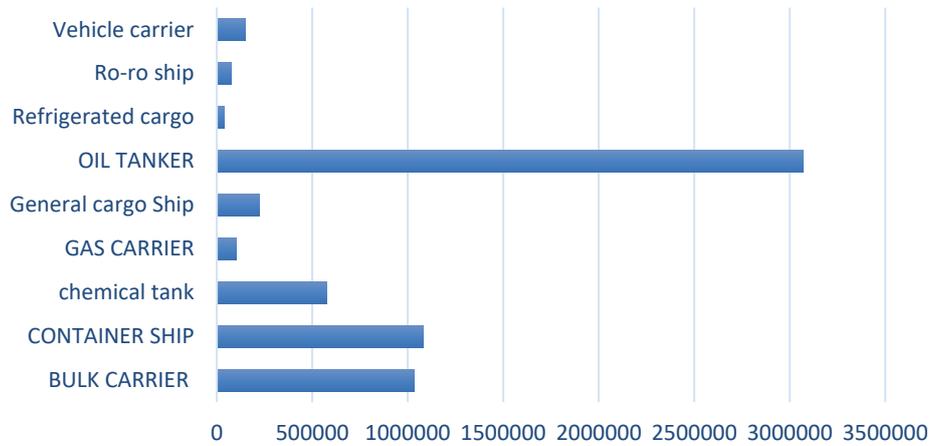


Figura 29. Promedio anual de emisiones de CO<sub>2</sub> por distancia [kg CO<sub>2</sub> / n milla]

Fuente: EU MRV Publication of Information (2021)

La Figura 30 compara las emisiones generadas tomando de factores para la comparativa la distancia recorrida y la carga transportada, ya que como hemos observado anteriormente ni todos los buques son del mismo tamaño, ni el hecho de que tengan una capacidad de carga implica que siempre se lleve toda la carga al completo. Por lo que a la hora de comparar y estudiar los datos es imprescindible considerar la carga transportada real. En éste caso, los resultados concluyen al igual que en el estudio de la Figura 29, con que los petroleros fueron los buques con la mayor tasa de emisiones.

### Comparativa 2022-promedio por distancia vs carga transportada

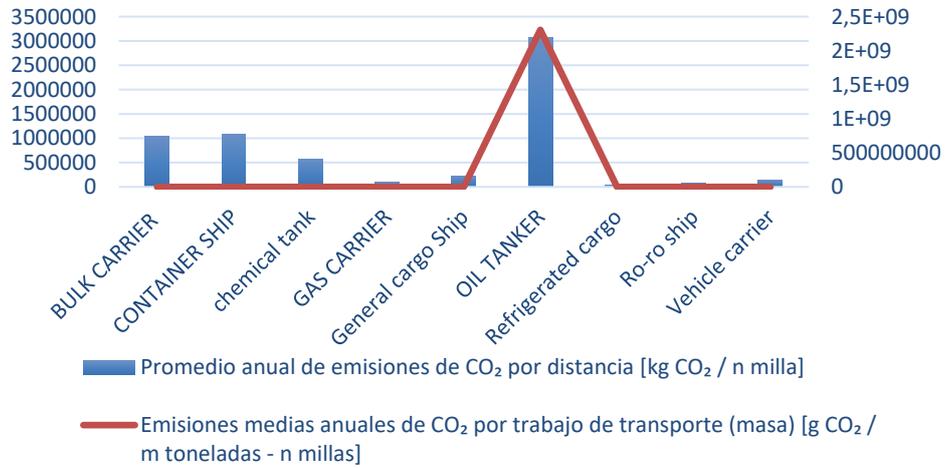


Figura 30. Comparativa 2022-promedio por distancia vs carga transportada

Fuente: EU MRV Publication of Information (2022)

No obstante, queríamos reflejar la evolución de las emisiones de gases en España durante los últimos cuatro años, por ello elaboramos la Figura 31, que refleja de manera visual el evidente descenso de las emisiones de CO<sub>2</sub> con respecto a los años anteriores.

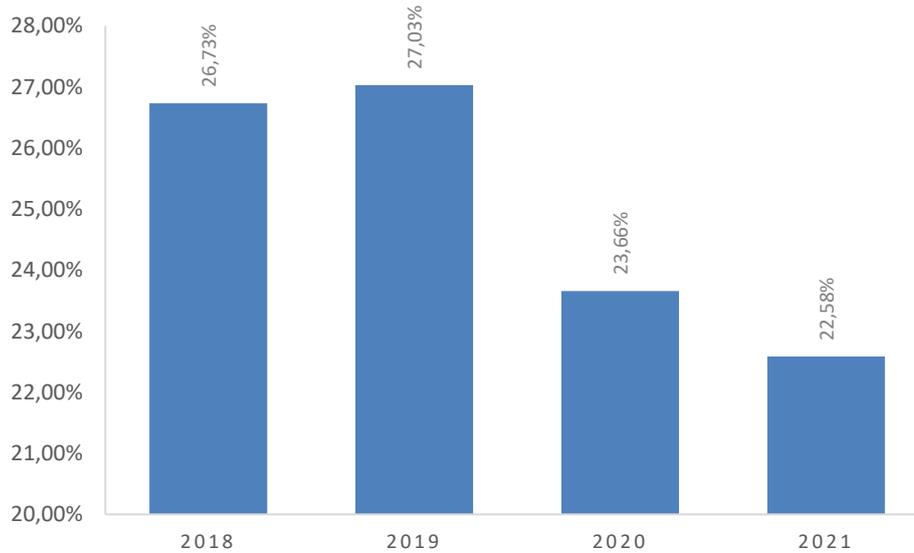


Figura 31. Total de emisiones CO<sub>2</sub> (en m ton) 2018-2021

Fuente: EU MRV Publication of Information (2021)

Los datos facilitados por la AESM en su página THETIS-MRV no mencionan qué tipo de combustible utiliza cada buque.

A partir de los datos recogidos del MRV se visualiza la progresión del consumo de combustible frente a las emisiones emitidas, como puede observarse en la Figura 32. Éstos resultados sostienen la razón de por qué una de las estrategias que proponen para alcanzar la reducción de las emisiones es el uso de gas natural licuado (GNL).

Cabe añadir que esta alternativa está limitada por el precio del combustible, el volumen del contenedor, la capacidad de combustible del volumen del contenedor, la capacidad de combustible del buque y la tasa de impuesto sobre el carbono (Yoo, 2017)

El principal parámetro que afecta a la competitividad de los costes de los buques de CO<sub>2</sub> que funcionan con GNL es el **precio del combustible marino**, el cual está fuertemente

correlacionado con el precio del petróleo crudo. En la Figura 32. nos servimos de los datos extraídos de MRV para representar la evolución durante los últimos 4 años: por un lado, del total de emisiones de CO<sub>2</sub> donde se puede afirmar que las medidas dispuestas realmente están siendo efectivas ya que se refleja una clara disminución. Y, por otro lado, las cantidades de combustible anuales que han sido necesarios consumir para realizar los transportes marítimos

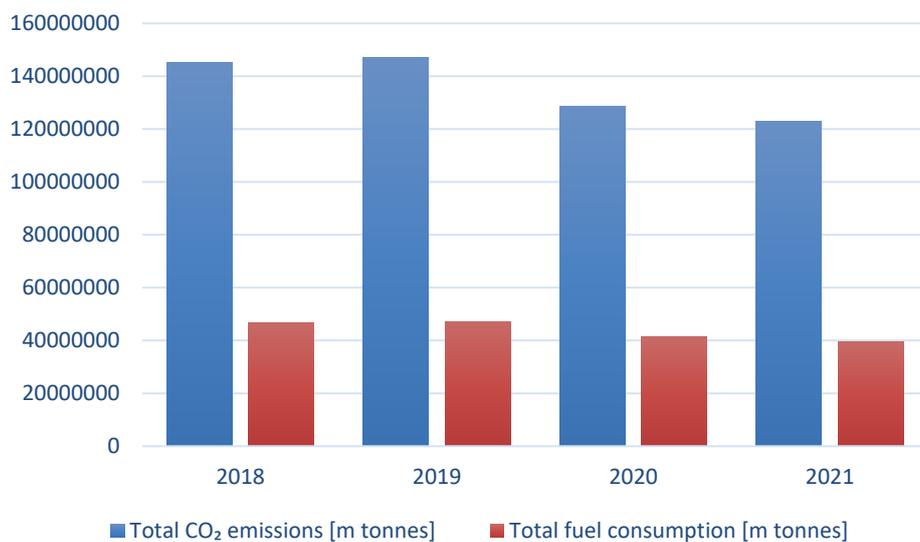


Figura 32. Comparativa Total fuel consumption vc Total CO<sub>2</sub> emissions 2018-2021)

Fuente: EU MRV Publication of Information (2021)

## 6.2. De la actuación de las principales navieras

Para el análisis de las navieras, se ha procedido a recolectar de los Planes de Mejora ambiental, las medidas que las cuatro navieras más importantes, (CMA, HAPAG, MSC y MAERSK) en el tráfico marítimo han implementado y lo siguen haciendo para



alcanzar los objetivos en los límites de emisiones de gases marcados por los organismos oficiales a corto plazo para el 2030 y con vistas más a futuro al 2050.

La Tabla 12 muestra los temas encontrados en la información analizada que coinciden con *keywords* encontradas en la revisión de literatura, tomando como referencia los resultados alcanzados con la base de datos *Scopus* y *WoS*. En especial en la tabla se recogen los nuevos combustibles que las navieras han comenzado a utilizar y que pretenden alcanzar así la reducción deseada. Muchas de éstas medidas ya se han comenzado a implementar, y otras están en proceso. Además, todas las navieras coinciden en la mayor parte de las medidas determinadas.

No obstante, cabe destacar que entre las medidas adicionales que las navieras se han marcado se encuentra la de modificar el diseño de los motores, por ejemplo, cambiando las turbinas por otras que permitan reducir su huella en el transporte marítimo.

NAVIERA	Medidas para reducir las GHG
CMA-CGM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gas Natural Licuado</li> <li>- Combustibles Alternativos (biometano, metano sintético, e-metano)</li> <li>- Biocombustibles de segunda generación</li> </ul>
HAPAG LLOYD	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GNL</li> <li>- Biocombustible</li> </ul>
MSC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amoníaco verde</li> <li>- GNL</li> <li>- Metanol verde*</li> <li>- Propulsión Nuclear</li> </ul>
MAERSK	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodiesel</li> <li>- Amoníaco verde</li> <li>- Metanol verde*</li> </ul>

(\* ) Metanol verde: (bioetanol y e-etanol incluidos los combustibles mejorados con lignina)

Tabla 12. Tabla comparativa Navieras

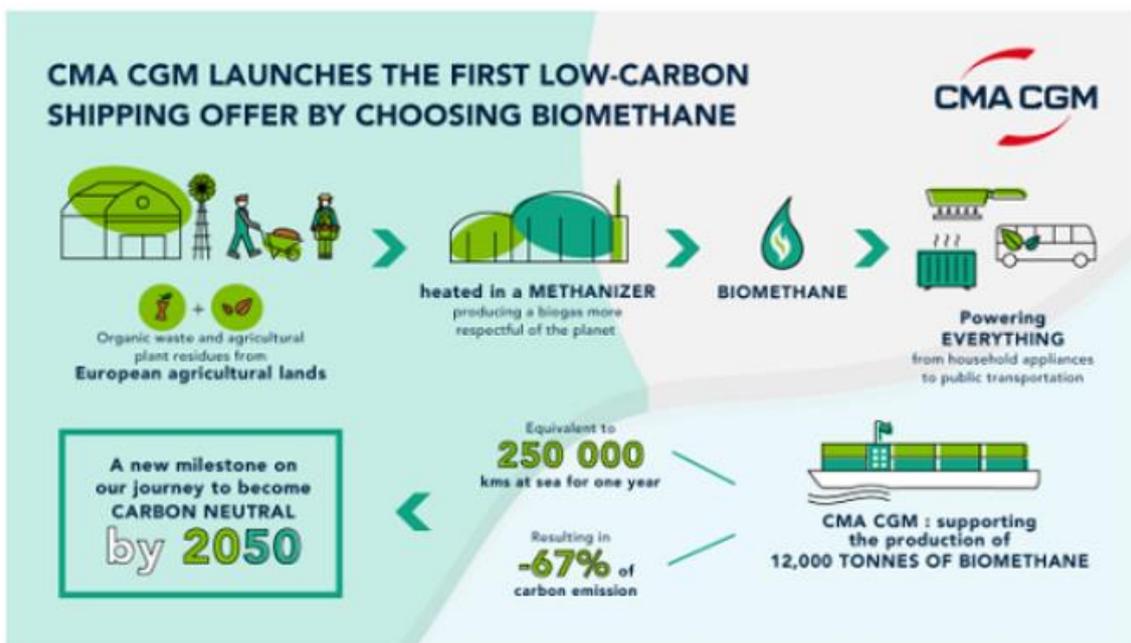
Elaboración propia.

A continuación, se describe la información encontrada para cada una de las navieras, en las que se puede observar que las medidas en las que se centran las empresas para reducir sus emisiones son, principalmente, los tipos de combustible utilizados.

### 6.3. CMA-CGM

En noviembre de 2017, CMA CGM tomó la decisión de construir una flota de buques propulsados por gas natural para ayudar a reducir las emisiones del Grupo.

El GNL es la tecnología más avanzada disponible actualmente y la más eficaz para preservar la calidad del aire (las emisiones de óxido de azufre se reducen en un 99%, las de partículas finas en un 91% y las de óxido de nitrógeno en un 92%) y representa un primer paso útil hacia la descarbonización. Actualmente, el Grupo cuenta con una flota de 27 buques de doble combustible con GNL, que aumentará a 44 en 2024. En septiembre de 2020 la flota de CMA incorporó a su flota el primer portacontenedores propulsado por gas natural licuado con una capacidad de 23000 TEU.



Un buque propulsado por GNL emite hasta un 20% menos de CO<sub>2</sub> que un sistema que un sistema normal alimentado por petróleo. La propulsión de GNL también permite



lograr importantes reducciones en términos de contaminantes atmosféricos, permitiendo una reducción del 99% del dióxido de azufre.

Para 2022, 26 buques equipados con esta tecnología de vanguardia se habrán incorporado a la flota.

CMA CGM está desarrollando la generación y distribución de las energías renovables del futuro: biometano (emisiones de GEI un 67% más bajas), metano sintético (emisiones de GEI un 80% más bajas) y e-metano (casi neutro en carbono). Estos combustibles alternativos ya son compatibles con la flota del Grupo propulsada por GNL. En 2023, los combustibles alternativos representarán al menos el 10% de nuestra combinación energética.

En 2019 se inició el uso de biocombustibles de segunda generación. Producido a partir de aceite de cocina usado, se trata de la fuente de biocombustibles más prometedora en términos de rendimiento medioambiental. De ésta manera se consigue una reducción del 85% de los gases de efecto invernadero. Los biocombustibles de segunda generación disponibles hoy en día se destinan a la carretera y a la aviación, por lo que CMA CGM, como parte de la Coalición para la Energía del Futuro, está trabajando con sus socios para crear un Combustible Marino Sostenible con propiedades adaptadas a los motores de los barcos y más barato de producir.

## 6.4. HAPAG LLOYD

Hapag Lloyd como una de las navieras clave del transporte marítimo, tiene como objetivo alcanzar una reducción del 20% en las emisiones de CO<sub>2</sub>/TEU-km. Además, la mayor parte de sus medidas objetivo se llevarán a cabo antes del 2025. En la Figura 33 se exponen algunas de las medidas que se van a establecer para alcanzar dicho objetivo de sostenibilidad.

LOGÍSTICA Y DIGITALIZACIÓN	HIDRODINÁMICA	INSTALACIONES	COMBUSTIBLES Y FUENTES DE ENERGÍA
Tamaño del barco Capacidad Eficiencia del puerto y de la terminal Diseño de la red	Optimización del diseño del casco y de las hélices y timones Revestimiento del casco Limpieza	Mejoras en el motor Aprovechamiento del calor residual y generación eficiente de energía a bordo Energía en tierra	GNL Biocombustible Power-to-X

Figura 33. Tabla medidas sostenibles de HAPAG

*Elaboración propia.*

A la hora de construir nuevos buques o modernizar los existentes, nos guiamos por las últimas normas de eficiencia técnica y medioambiental. El Índice de Diseño de Eficiencia Energética es un método internacionalmente reconocido para evaluar y comparar la eficiencia de las nuevas construcciones. El índice pone en relación las emisiones de CO<sub>2</sub>



resultantes de la potencia y el consumo específico de combustible de los motores con la capacidad y la velocidad del buque.

En cuanto a la descarbonización, adaptaron el gran buque portacontenedores "Brussels Express" para que funcionase con un sistema de propulsión de doble combustible, reduciendo así su intensidad de CO<sub>2</sub> entre un 15 y un 25%. El GNL es objeto de un debate crítico debido al "deslizamiento de metano" (cuando el metano se escapa a la atmósfera). Para minimizar las emisiones de metano a bordo, el motor principal se equipó con un sistema de inyección de gas a alta presión que permite que el motor diésel funcione sin emisiones significativas de metano. Hasta la fecha, esta tecnología es la única opción disponible en el mercado para reducir hasta este punto el deslizamiento de metano durante las operaciones.

También se realizaron pruebas adicionales con una mezcla de biocombustible para la propulsión de una de sus clases de buques. Esto significa que ahora son capaces de alimentar un total de 16 buques de las clases A19 y A15 con biocombustible, reduciendo significativamente sus emisiones de gases de efecto invernadero. En 2023 y 2024 entrarán en funcionamiento 12 buques nuevos con más de 23.500 TEU de capacidad cada uno. Como el motor principal estará equipado con un sistema de inyección de gas a alta presión, el deslizamiento de metano del motor principal se reducirá prácticamente a cero.

Para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la explotación de los buques, uno de ellos repostó recientemente en Rotterdam con un nuevo biocombustible ecológico. Por primera vez, el "Montreal Express" está siendo propulsado por el llamado combustible "B20", que consiste en un 80% de fuel-oil de bajo contenido en azufre y un

20% de biodiésel basado en aceites y grasas de cocina que se habían utilizado anteriormente en la industria de servicios alimentarios/catering. El biodiésel genera hasta un 90% menos de emisiones de CO<sub>2</sub> que los combustibles convencionales. Los biocombustibles como el "B20" pueden ayudarnos a alcanzar este objetivo. Esto se debe a que, además de tener un bajo contenido de azufre, el combustible también emite menos CO<sub>2</sub> perjudicial para el clima durante la combustión".

## 6.5. MSC

La naviera más grande después de MAERSK tiene su foco puesto en la decarbonización y para alcanzar su objetivo han apostado por el cambio a los biocombustibles sostenibles tales como el Amoníaco verde o el GNL. Figura 34.

NAVEGACIÓN EN ALTA MAR	TRANSPORTE MARÍTIMO DE CORTA DISTANCIA
Amoníaco verde GNL sintético GNL biológico Methanol Propulsión Nuclear	Baterías eléctricas Pilas de combustible de hidrógeno

Figura 34. Tabla medidas sostenibles de MSC

*Elaboración propia.*



MSC aboga por la utilización de combustibles con menos emisiones de carbono, incluidos los biocombustibles y las alternativas ecológicas derivadas de los hidrocarburos, en sustitución de los combustibles convencionales. En 2022, MSC pondrá en funcionamiento sus primeros buques con capacidad de GNL, mientras que a partir de 2025 se incorporarán a la flota buques preparados para el uso de amoníaco. MSC se ha comprometido a tener su primer de combustible neto cero en servicio para 2030. Entre los combustibles que estarán disponibles a más corto plazo, MSC está desplegando biodiésel (biocombustible) a través de su programa de inserción de carbono lanzado a finales de 2021.

También están desarrollando futuras cadenas de suministro con proveedores de energía para el biometano y el bioetanol, así como para el GNL biológico y sintético, aunque estos combustibles siguen planteando retos en términos de disponibilidad de infraestructuras a nivel portuario, y la necesidad de un aumento significativo de la producción global.

MSC prevé un futuro en el que el transporte marítimo recurrirá a una combinación de combustibles netos de carbono a largo plazo. El amoníaco verde y el metanol verde se convertirán probablemente en las opciones de combustible dominantes para los buques oceánicos más grandes, mientras que el hidrógeno verde podría utilizarse para una serie de buques más pequeños con ciclos de repostaje más cortos, además de ser una materia prima fundamental para otras opciones de combustible. Se prevé que las baterías y las pilas de combustible se utilicen sobre todo para el transporte marítimo de corta distancia, los buques más pequeños y para complementar el almacenamiento y la generación de energía existentes.



La energía nuclear se ha utilizado en diversos buques de la marina durante muchas décadas, con ventajas que van desde una mayor eficiencia, una densidad de potencia extremadamente alta y unos intervalos entre repostajes mucho más largos (en algunos casos, toda la vida útil del combustible puede estar a bordo en el momento de la entrega). La última generación de reactores de energía atómica podría tener cierto potencial a largo plazo para los buques portacontenedores.

Además de las cuestiones técnicas y de seguridad que hay que abordar, estos combustibles sin carbono también tienen implicaciones para el diseño de los buques que alimentarán en el futuro. La menor densidad energética de la mayoría de los combustibles del futuro, como el metanol, el GNL y el amoníaco, implicaría un mayor número de depósitos a bordo (y en tierra), lo que dejaría menos espacio para los contenedores y, en consecuencia, disminuiría la eficiencia energética por unidad de carga transportada.

MSC ha estado invirtiendo en una serie de tecnologías como parte de la transición energética para lograr nuestros objetivos de descarbonización. MSC está colaborando con sus socios en proyectos de modernización de los buques existentes

- incluyendo el desarrollo de sistemas de captura y almacenamiento de carbono a bordo
- así como cooperando con otros en el diseño de los buques del futuro.



## 6.6. MAERSK

Es la naviera más grande de todas, por lo que todos los cambios que proponen no sólo supondrán un gran impacto para el medioambiente sino también para la economía de su empresa.

En base al análisis de la ruta de los futuros combustibles viables de combustibles viables para el transporte marítimo neto cero, MAERSK propone tres tipos de combustible:

- El biodiesel que utiliza ésta naviera se vende con la etiqueta Maersk ECO Delivery. Puede utilizarse como combustible de sustitución en los buques y motores existentes. No obstante, su disponibilidad es limitada como materia prima de biomasa adecuada.
- Metanol verde, con el fin de asegurar un impacto en la sostenibilidad de las cadenas de suministro globales en esta década.
- El amoníaco verde, que puede ser una solución de cero gases de efecto invernadero de gases de efecto invernadero a largo plazo, pero aún está aún está muy lejos de estar listo para para su aplicación.

En los próximos años Maersk sustituirá sus buques más antiguos y contará con una innovadora configuración de motor de doble combustible que puede funcionar con metanol y con combustible convencional bajo en azufre. Maersk tiene previsto que los buques funcionen con etanol o biometanol verde lo antes posible. El abastecimiento de



cantidades adecuadas de combustible ecológico para estos buques será un reto crítico, ya que requiere un aumento significativo de la capacidad de producción mundial.



## 7. Conclusiones

Inicialmente se partió de una premisa que a medida que se ha ido desarrollando el siguiente trabajo se ha visto modificado debido a varios factores. En primer lugar, los estudios realizados en Europa eran bastante menos abundantes de lo que esperábamos. Por otro lado, mencionar que el foco de nuestro trabajo se encuentra en las “emisiones de CO<sub>2</sub>” no en todos los gases que componen “los gases de efecto invernadero”. En segundo lugar, este documento recoge las bases de datos accesibles para extraer las emisiones de CO<sub>2</sub> como uno de los gases de efecto invernadero que más contaminan. Finalmente se realizaron dos análisis, el primero de ellos se servía de los datos extraídos de las bases previamente mencionadas y se interpretaron sus resultados. El segundo, se basó en el análisis de las medidas que las cuatro principales navieras del sector marítimo bien han empezado a aplicar, bien están dentro de sus propósitos para alcanzar su objetivo de reducción de emisiones.

De los análisis realizados en este TFM se pueden extraer tres importantes conclusiones.

La primera conclusión es que, en los últimos años, todas las navieras y por ende los puertos han empezado a calcular su huella de carbono y a informar sobre ella. Sin embargo, en algunos de los casos, no se tienen en cuenta todas las fuentes de gases de efecto invernadero que se producen realmente por los barcos en los puertos como las emisiones procedentes de las operaciones de tratamiento de residuos y los desplazamientos de los empleados.



En otras ocasiones los alcances no se definen siguiendo directrices estándar. Además, cada autoridad u operador utiliza su propio método para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo que dificulta la comparación de los resultados.

La segunda conclusión es que la gran variabilidad de los impulsores de las emisiones de dióxido de carbono entre países y actividades pone de manifiesto la importancia de un análisis factorial de las contribuciones específicas por sectores y por países. En términos generales, debe prestarse una atención creciente a las políticas orientadas a promover el progreso tecnológico, la calidad y la eficiencia de los combustibles, considerando también los efectos globales generados por el crecimiento económico. Esto se debe a que, si por un lado el crecimiento económico puede sostener las inversiones de tecnología y eficiencia, con el fin de reducir las emisiones generadas por t/km (o pasajero/km), por otro lado, el aumento de la producción contribuye en gran medida a aumentar la demanda de transporte y, por tanto, las emisiones totales generadas por el transporte.

La tercera conclusión es que teniendo en cuenta el análisis del apartado 6.1 se proclama la necesidad de que haya un seguimiento de los centros de estudio de cada país. El objetivo sería poder sacar una ventaja real de la base de datos EBAS, dónde el simple hecho de que exista la herramienta no resulta útil, si luego no hay datos del país o parámetro que se pretende investigar.



La cuarta conclusión es que las navieras están estableciendo medidas de decarbonización que contempla opciones de combustible cada vez más sostenibles, siendo el GNL y el biodiesel las dos fuentes de energía alternativas más empleadas.

Finalmente, por las razones recién mencionadas, este documento sugiere la necesidad de crear una herramienta estandarizada para calcular la huella de carbono en puertos, que permita establecer un punto de referencia y una posible comparación de resultados entre puertos. Ya que para mejorar las estrategias de reducción de los gases de efecto invernadero y alcanzar los objetivos marcados por las organizaciones oficiales, deberían considerarse políticas integradas, orientadas a incluir los factores tecnológicos, económicos y energéticos que influyen en las emisiones.

## 5. Bibliografia

- Andreoni, V. &. (2012). European CO2 emission trends: A decomposition analysis for water and aviation transport sectors. *Energy*, 45(1),595-602.
- Azarkamand, S. W. (2020). Review of initiatives and methodologies to reduce CO2 emissions and climate change effects in ports. *International journal of environmental research and public health*,, 17(11),3858.
- Benamara, H. H. (2019). Maritime transport: The sustainability imperative. *In Sustainable Shipping*, (pp. 1-31).Springer Cham.
- Blunden, J. &. (2021). State of the climate in 2020. *Bulletin of the American Meteorological Society*,, 102(8),1-481.
- Boviatsis, M. &. (2019). A comparative analysis between EU MRV and IMO DCS—the need to adopt a harmonised regulatory system. *In 16th international conference on environmental science and technology*, (pp. 2018-2019).
- Calvo Surià, X. (2020). Ship emission study based on Automatic Identification System (AIS) data . (*Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya*).
- Castells-Sanabra, M. &. (2020). Existing emission calculation methods applied to monitoring, reporting and verification (mrv) on board. *NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo*,, 67(2),163-171.
- Czermański, E. C.-J. (2021). An energy consumption approach to estimate air emission reductions in container shipping. *Energies*, 278, 14(2).
- Dios, M. M. (2013). PRTRVal: A Software tool for the validation of European pollutant release and transfer register emissions data. *In Proceedings of the 15th International Conference on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes*.
- EBAS. (n.d.). Retrieved from <http://ebas-data.nilu.no/Pages/Plot.aspx?key=9AE3357351FF4A2EBEFD62A90276F2>
- EMEP. (n.d.). Retrieved from <https://www.emep.int/>
- Endresen, Ø. B. (2005). Improved modelling of ship SO2 emissions—a fuel-based approach. *Atmospheric Environment*,, 39(20),3621-3628.
- EUROSTAT. (2022). Retrieved from [https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database?p\\_p\\_id=NavTreeportl](https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database?p_p_id=NavTreeportl)



etprod\_WAR\_NavTreeportletprod\_INSTANCE\_nPqeVbPXRmWQ&p\_p\_lifecycle  
=0&p\_p\_state=normal&p\_p\_mode=view

- Faber, J. M. (2009). Technical support for European action to reducing Greenhouse Gas. *Emissions from international maritime transport*.
- Friedrich, R. F. (2003). Temporal and spatial resolution of greenhouse gas emissions in Europe. *MPI fuer Biogeochemie, Jena,, 36*.
- Jalkanen, J. P. (2009). A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area. *Atmospheric Chemistry and Physics, 9(23), 9209-9223*.
- Khan, M. Y. (2012). Greenhouse gas and criteria emission benefits through reduction of vessel speed at sea. *Environmental science & technology,, 46(22)*.
- Kong, X. F. (2022). Steel stocks and flows of global merchant fleets as material base of international trade from 1980 to 2050. *Global Environmental Change, 73*.
- Merico, E. G.-J. (2017). Atmospheric impact of ship traffic in four Adriatic-Ionian port-cities: Comparison and harmonization of different approaches. *Transportation Research Part D: Transport and Environment,, 50,*
- Miola, A. &. (2011). Estimating air emissions from ships: Meta-analysis of modelling approaches and available data sources. *Atmospheric environment,, 45(13),2242-2251*.
- Moradi, M. H. (2022). Marine route optimization using reinforcement learning approach to reduce fuel consumption and consequently minimize CO2 emissions. *Ocean Engineering(111882), 259*.
- Ogle, S. M. (2015). An approach for verifying biogenic greenhouse gas emissions inventories with atmospheric CO2 concentration data. *Environmental Research Letters,, 10(3)*.
- OMI 2016, s. 6. (n.d.). Retrieved from [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-6446](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2018-6446)
- OMI 2017, a. 1. (n.d.). Retrieved from [https://www.boe.es/diario\\_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-377](https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2017-377)
- Roussanaly, S. B. (2014). Benchmarking of CO2 transport technologies: Part II–Offshore pipeline and shipping to an offshore site. . *International Journal of Greenhouse Gas Control,,, 28,283-299*.



- Russo, M. A. (2018). Shipping emissions over Europe: A state-of-the-art and comparative analysis. *Atmospheric environment*, 177.
- Saxe, H. &. (2004). Air pollution from ships in three Danish ports. *Atmospheric environment*, 38(24),4057-4067.
- Tichavska, M. C. (2015). Use of the Automatic Identification System in academic research. *In International Conference on Computer Aided Systems Theory*, (pp. 33-40).
- Tzannatos, E. (2010). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus–Greece. *Atmospheric Environment*, 44(3),400-407.
- Wang, C. &. (2007). The costs and benefits of reducing SO<sub>2</sub> emissions from ships in the US West Coastal waters. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 12(8).
- Winiwarter, W. K. (2009). Quality considerations of European PM emission inventories. *Atmospheric Environment*, 43(25),3819-3828.
- Yoo, B. Y. (2017). Economic assessment of liquefied natural gas (LNG) as a marine fuel for CO<sub>2</sub> carriers compared to marine gas oil (MGO). *Energy*, 121,772-780.

<b>ETIQUETA</b>	<b>CLUSTER</b>
aggregate	1
allocation	1
behavior	1
carbon emission	1
carbon emissions	1
carbon-dioxide emissions	1
china	1
china cement industry	1
co2 emission reduction	1
co2 emissions	1
competition	1
compressive strength	1
concrete	1
consumption	1
cost analysis	1
cost-benefit analysis	1
countries	1
decomposition	1
decomposition analysis	1
degradation	1
determinants	1
dioxide emissions	1
drivers	1
driving factors	1
driving forces	1

dynamic game modeling	1
economic-growth	1
economy	1
electricity	1
energy-consumption	1
environmental impacts	1
generation	1
global value chains	1
greenhouse-gas	1
impact	1
impact factors	1
income	1
industry	1
input-output-analysis	1
intensity	1
international-trade	1
life-cycle	1
lmdi decomposition	1
model	1
perspective	1
population	1
provinces	1
renewable energy-consumption	1
research-and-development	1

scenario analysis	1
scenarios	1
sector	1
stirpat	1
stirpat model	1
target	1
trade	1
urbanization	1
abatement	2
aluminium	2
anaerobic digestion	2
anaerobic-digestion	2
bio-oil	2
biochar	2
bioenergy	2
bioethanol production	2
biofuel production	2
biofuels	2
biomass	2
biorefinery	2
carbon capture and storage	2
carbon-dioxide capture	2
cement	2
centrality	2
circular economy	2
climate	2
co2 capture	2
co2 reduction	2
decarbonization	2

dissolution	2
energy modeling	2
energy recovery	2
enhancement	2
environmental impact	2
environmental sustainability	2
feasibility	2
fermentation	2
footprint	2
framework	2
fuels	2
gasification	2
hydrogen-production	2
impact assessment	2
investment	2
kinetics	2
lca	2
life cycle assessment	2
life-cycle assessment	2
lignocellulosic biomass	2
market	2
methane production	2
monitoring	2
negative emission technologies	2
power-generation	2

size	2
small-scale fisheries	2
steel	2
sustainability	2
systems	2
technoeconomic analysis	2
transportation	2
wate management	2
waste-water treatment	2
whiskey by-products	2
absorption	3
ammonia	3
biodiesel	3
biofuel	3
biogas	3
challenges	3
chemical absorption	3
combustion	3
combustion characteristics	3
diesel	3
diesel engine	3
dual-fuel engine	3
egr	3
emission	3
emission characteristics	3
ethanol	3

exergy	3
exhaust emissions	3
ferry	3
fuel	3
ignition	3
ignition delay	3
marine diesel engine	3
marine propulsion	3
maritime transportation	3
mechanism	3
methanol	3
nitrogen	3
nox	3
nox emission	3
nox emissions	3
oxidation	3
oxygen reduction	3
parameters	3
particle	3
performance	3
performance and emissions	3
ports	3
pressure	3
ratio	3
reduction	3
removal	3
selective catalytic reduction	3
so2	3
soot	3

supercharging	3
temperature	3
transport	3
waste cooking oil biodiesel	3
(co2)-c-14	4
anthropogenic co2	4
atmospheric co2	4
balance	4
budget	4
carbon footprint	4
carbon reduction	4
ch4	4
cities	4
city	4
climate mitigation	4
costs	4
delta-c-14	4
demand	4
dioxide	4
earth system model	4
ecosystems	4
eddy covariance	4
emissions	4
europa	4
fertilizer	4
fluxes	4
fossil fuel co2	4
gas emissions	4
greenhouse gases	4

greenhouse-gas emissions	4
intensification sri	4
level	4
management	4
measurements	4
mitigation	4
modeling	4
n2o emissions	4
network	4
nitrous-oxide	4
ocean	4
pathways	4
pm2.5	4
radiocarbon	4
recovery	4
sediments	4
simulations	4
soil organic- matter	4
stabilization	4
sugarcane	4
targets	4
waste	4
xi'an	4
benefits	5
california	5
co2 emission	5
container ship	5
cost	5
cost-effectiveness	5
cycle	5
decarbonisation	5

diesel generator	5
economic analysis	5
eedi	5
eediinland	5
eeoi	5
emission reduction	5
emissions reduction	5
emphasis	5
energy consumption	5
energy efficiency	5
energy efficiency design index	5
energy management	5
energy system	5
engine	5
fuel consumption	5
gas	5
imo	5
imo regulations	5
international maritime organization	5
international shipping	5
multi-objective optimization	5
multiobjective optimization	5
natural-gas	5
options	5

port	5
prediction	5
route optimization	5
selection	5
ship emission reduction	5
ships	5
slow steaming	5
sox	5
speed	5
speed optimization	5
system	5
thermodynamic analysis	5
turbine power-plant	5
vessel	5
waste heat	5
wind energy	5
alternative fuel	6
alternative fuels	6
building	6
buildings	6
cascade utilisation	6
combined heat	6
design	6
diesel-engine	6
dimethyl ether (dme)	6
dual-fuel (df) engine	6
economic-analysis	6
efficiency	6

energy	6
extraction	6
flow	6
fuel cell	6
green port	6
health	6
heat-exchanger	6
high-efficiency	6
hybrid system	6
implementation	6
liquefied natural gas	6
liquefied natural-gas	6
marine fuels	6
mediterranean sea	6
numerical simulation	6
offshore wind	6
operation	6
optimization	6
orc	6
organic rankine-cycle	6
performance analysis	6
power	6
power-system	6
renewable energy	6
resistance	6
seaports	6
ship	6
shipping	6

simulation	6
sustainable development	6
thermal performance	6
turbine	6
validation	6
waste heat recovery	6
waste heat-recovery	6
wind	6
working fluid	6
zeotropic mixture	6
acidification	7
adaptation	7
alkalinity	7
baltic sea	7
biodiversity	7
calcification	7
carbonate chemistry	7
carbonic-acid	7
chesapeake bay	7
climate change	7
co2 leakage	7
coral	7
dissociation	7
elevated-temperature	7
eutrophication	7
fish	7
food	7
gas-exchange	7

gastropod	7
global warming	7
growth	7
impacts	7
limecola balthica	7
micro-ct	7
mytilus- galloprovincialis	7
ocean acidification	7
ocean warming	7
ocean- acidification	7
oxidative stress	7
patterns	7
pco(2)	7
ph	7
population- dynamics	7
pteropods	7
reduced calcification	7
responses	7
salinity	7
sea	7
seawater	7
seawater acidification	7
surface sediments	7
thermodynamics	7
total alkalinity	7
waters	7
accumulation	8
blue carbon	8

carbon	8
carbn cycling	8
carbon sequestration	8
climate change policy	8
climate-change driven	8
ecosystem services	8
estuaries	8
forests	8
greenhouse-gas fluxes	8
land-use	8
mangrove	8
mangrove forests	8
matter	8
methane emissions	8
organic-carbon	8
payments for ecosystem services	8
photosynthesis	8
plantations	8
policy	8
productivity	8
restoration	8
sea-level	8
seagrass	8
sequestration	8
stocks	8
storage	8

tidal marsh	8
variability	8
water	8
wetland	8
wetlands	8
zostera marina	8
zostera-marina	8
anaerobic oxidation	9
anaerobic oxidation of methane	9
carbon dioxide	9
carbon emission reduction	9
carbon-dioxide	9
chemistry	9
co2 sequestration	9
coal	9
denitrification	9
dispersion	9
dynamics	9
flue-gas	9
fresh-water	9
geological storage	9
greenhouse gas emissions	9
heterogeneity	9
hydrate	9
indianapolis	9
lipid	9
<b>marine</b>	9
marine microalgae	9
mechanisms	9

methane	9
methanogenesis	9
methanotrophs	9
microalgae	9
microbial communities	9
migration	9
new york city	9
paddy soil	9
province	9
reservoir	9
sensitivity	9
urban emissions	9
waste-water	9
air pollution	10
air-quality	10
covid	10
cruise	10
electrification	10
energy use	10
engines	10
exchange	10
ghg emissions	10
global warming potential	10
guangdong	10
gulf	10
hydrogen	10
lng	10
natural gas	10
offshore wind farm	10
oil	10

paris agreement	10
particulate matter	10
pollutant emissions	10
pollution	10
road	10
ship emissions	10
shipping emissions	10
social cost	10
spatial analysis	10
sulfur-dioxide	10
technologies	10
technology	10
transport sector	10
trends	10
uncertainty	10
bubbles	11
capture	11
ccs	11
<b>co2</b>	<b>11</b>
geologic storage	11
greenhouse gas	11
iron	11
marine carbon capture and storage	11
marine-sediments	11
mineralization	11
noise	11
north sea	11
organic-matter	11
oxygen	11

quantification	11
release	11
sediment	11
strategies	11
sulfate reduction	11
underwater acoustics	11

*Tabla 1. clusters y palabras clave*

*Fuente: WoS*

ETIQUETA	CLUSTER
alcohol fuels	1
alternative fuel	1
alternative fuels	1
anthropogenic climate changes	1
carbon allowance	1
carbon allowances	1
carbon neutrals	1
carbon-neutral	1
combustion	1
combustion equipment	1
cost effectiveness	1
cost estimating	1
costs	1
croatia	1
diesel engines	1
economyc analysis	1
economic conditions	1
economic criteria	1
electric utilities	1
emission control	1
emissions reduction	1
fleet operations	1
fossil fuel	1
fuel cells	1
gas fuel analysis	1
gas fuel purification	1
hydrogen economy	1
hydrogen fuels	1

"lca, lcca"	1
marine propulsion	1
<b>marine transportation</b>	<b>1</b>
power system configuration	1
reduction of emissions	1
renewable sources	1
ro-ro passenger ships	1
ships	1
short-sea shipping	1
short sea shipping	1
synfuel	1
techno-economic analysis	1
transportation technology	1
vehicle electrifications	1
acidification	2
air quality	2
alternative scenarios	2
computer simulation	2
cost	2
development scenarios	2
easetech	2
ecotoxicity	2

energy management systems	2
energy recovery	2
energy yield	2
environmental assessment	2
environmental impact assessment	2
environmental management	2
environmental performance	2
hazardous waste site	2
heating	2
incineration	2
irkutsk [russian federation]	2
landfill	2
leachate	2
leachate treatment	2
life cycle analysis	2
life-cycle assessment	2
municipal solid waste	2
petrochemical industry	2
priority journal	2
recycling	2
refuse disposal	2
russia	2
russian federation	2

sensitivity analysis	2
siberia	2
soil amendment	2
source separation	2
static electricity	2
waste disposal	2
waste disposal facilities	2
waste disposal facility	2
wate management	2
wate management systems	2
accelerated weathering	3
air pollutant	3
air pollutants	3
alkalinity	3
article	3
bicarbonate	3
capture efficiency	3
carbon	3
carbon sequestration	3
chemical weathering	3
coal	3
coal fueled fuernaces	3
coal power	3
coal-fired power plant	3
desulfurization	3
effluent	3

effluents	3
electric power plant	3
environmental concerns	3
environmental protection	3
environmental safety	3
flow of gases	3
flow rate	3
flue gases	3
fossil fuel power plants	3
gas flow	3
germany	3
heavy metals	3
lime	3
limestone	3
limestone particles	3
nitrogen oxides	3
power plants	3
<b>reduction</b>	<b>3</b>
waste heat	3
water availability	3
weathering	3
ammonia	4
binary alloys	4
bismuth alloys	4
climate change impact	4
consumable materials	4

electric consumption	4
environmental benefits	4
environmental impact	4
environmental issues	4
environmental technology	4
eutrophication	4
eutrophication potentials	4
functional units	4
gallium alloys	4
life cycle assessment	4
life cycle assessment (lca)	4
liquefaction	4
liquefaction systems	4
lng carrier	4
lng re-liquefaction system	4
mammals	4
manufacture	4
marine engineering	4
marine industry	4
mitigation strategy	4
particulate matter formations	4

photochemical	
ozone creation	4
potentials	
pig farm	4
removal	
efficiencies	4
scrubbers	4
sulfur dioxide	4
wet acid scrubber	4
comparative study	5
concentration	
(composition)	5
engine room and	
nautical simulator	5
engine rooms	5
environmental	
requirement	5
<b>europe</b>	<b>5</b>
european union	5
exhaust gas	
emission	5
exhaust gas	
emissions	5
exhaust gases	5
exhaust systems	
(engine)	5
fuel oils	5
fuels oil	5
international	
maritime	5
organizations	
lubricating oils	5
marine engines	5
marine policy	5

maritime transport	5
maritime	
transportation	5
on board	
measurements	5
on-board	
measurements	5
ports of call	5
regulation (ec)	
no.2015/757	5
regulatory	
framework	5
ro-pax vessel	5
ship propulsion	5
simulators	5
stringents	5
traffic emission	5
vessel	5
abundance	6
adaptation	6
biodiversity	6
carbonate	6
climate change	6
corallinales	6
coralline alga	6
ecosystem	6
ecosystem	
engineering	6
ecosystem	
engineers	6
evolutionary	
history	6
hydrogen-ion	
concentration	6

macroalga	6
macroalgae	6
mediterranean sea	6
ocean acidification	6
oceans and seas	6
pacific ocean	6
pacific ocean (northwest)	6
ph	6
psba	6
red alga	6
rhodophyta	6
sea	6
sea water	6
seawater	6
seaweed	6
seaweeds	6
species diversity	6
algae	7
algal biomass	7
aquatic ecotoxicity	7
aqueous phasis	7
assessment and improvement	7
bio-energy	7
bio-oil	7
bio-oils	7
bioenergy	7
biomass	7
coal briquettes	7
damage detection	7

environmental impact assessments	7
grape stalk	7
hydrothermal liquefactions	7
inventory analysis	7
lca	7
life cycle	7
oil-production	7
ore pellets	7
pelletizing	7
pellets	7
potential production	7
renewable diesels	7
sustainable development	7
wastewater grown microalga biomass	7
wastewater grown microalgae biomass	7
wood	7
air cooling	8
air navigation	8
air temperature	8
air-cooling	8
ambient air	8
arctic	8
asia	8
atmospheric temperature	8

co2 emission reduction	8
co2 emission reductions	8
container ship	8
cooling	8
cooling systems	8
efficiency	8
energy efficiency	8
exploitation	8
freight transportation	8
marine navigation	8
navigation	8
organic rankine cycle	8
organic rankine cycles	8
rankine cycle	8
shipping	8
thermodynamics	8
waste heat recovery systems	8
waste heat utilization	8
aliphatic compounds	9
biococcus	9
carbon footprint	9
chlorine compounds	9
elastomers	9
ethylene	9

ethylene production	9
expanded polystyrene	9
high density polyethylene(hdpe)	9
high density polyethylenes	9
industrial chemistry	9
<b>marine applications</b>	<b>9</b>
marine environment	9
marine pollution	9
material constructions	9
plastic bottles	9
plastics	9
plastics applications	9
polyethylene terephthalates	9
polyethylene terephthalates (pet)	9
polyvinyl chloride (pvc)	9
polyvinyl chlorides	9
sugarcane	9
waste incineration	9
absolute reduction	10
air pollution	10

case study analysis	10
cost benefit analysis	10
electric lines	10
energy systems	10
gas emissions	10
hydrogen	10
investment costs	10
investments	10
local renewable	10
marine transport	10
<b>maritime sector</b>	<b>10</b>
operation cost	10
renewable energy resources	10
renewable energy sources	10
service industry	10
service vessels	10
smart islands	10
transport electrification	10
zero emission vessels	10
zero-emission vessels	10
aluminium	11
aluminum	11
automobile manufacture	11
containers	11
extruded polystyrene	11

extruded polystyrenes	11
fast food	11
global warming	11
global warming potential	11
life cycle impacts	11
light duty vehicles	11
marine biology	11
ozone layer	11
packaging	11
packaging manufacturers	11
plastic products	11
plastic recycling	11
polypropylene	11
polypropylene containers	11
polypropylenes	11
polystyrenes	11
recycling of wastes	11
biomass potential	12
co2 utilization	12
cost analysis	12
demand analysis	12
electricity grids	12
emission inventory	12
energy system model	12
energy transitions	12
gases	12
hydrogenation	12
methanation	12
methane	12

natural gas	12
performance assessment	12
platinum compounds	12
power generation	12
power to gas	12
power-to-gas	12
spatial resolution	12
times	12
underground storage	12
china	13
comprehensive efficiency	13
construction	13
efficiency measurement	13
electricity generation	13
emission reduction	13
energy choice	13
energy conservation	13
energy savings	13
epsilon con-straint	13
government subsidy	13
green port	13
greenhouse gas	13
optimization	13
port development	13
port operation	13

project management	13
project scheduling	13
shore power construction	13
subsidy system	13
sustainable transportation system	13
trade-off	13
agricultural robots	14
bacillus species	14
bacteriology	14
beneficial microorganisms	14
bioactive coatings	14
calcium carbonate	14
coatings	14
cultivation	14
dust formation	14
enzyme inactivation	14
enzymes	14
fracture mechanics	14
granulation	14
heat inactivation	14
lignosulfonates	14
marine carbonates	14
microorganisms	14
plasticity	14
soils	14
solvents	14
sugar substitutes	14
arctic ocean	15

<b>co2 emission</b>	<b>15</b>
co2 emissions	15
container ships	15
cost effective	15
economic feasibilities	15
economic feasibility	15
feasibility study	15
liquefied natural gas	15
liquid natural gas	15
lng-fuelled ship	15
northern sea route	15
northern sea routes	15
tankers (ships)	15
transit time	15
transportation economics	15
atmospheric pollution	16
cost-effectiveness	16
diesel	16
energy efficiency design index	16
exhaust gas	16
gasoline	16
imo regulations	16
impact analysis	16
nitrogen oxide	16
particulate matter	16
pollutant removal	16
pollutant source	16

ship	16
ship emissions reduction	16
vehicle emissions	16
cell manufacturing	17
decarbonisation	17
<b>emission</b>	<b>17</b>
fuel supply	17
greenhouse gas emission	17
hydrogen fuel cells	17
photochemical oxidation	17
power	17
reduction potential	17
toxic substances	17
tugboat	17
tugboats	17
<b>carbon dioxide</b>	<b>18</b>
economic impact	18
fishery	18
fishing industry	18
input-output analysis	18
input-output model	18
numerical model	18
social impact	18
socioeconomic impact	18
spain	18
sustainability	18
sustainable fisheries	18
carbon emission	19

catch per unit effort	19
co2 emissions per unit of catch	19
fishing sectors	19
fuel	19
fuel use intensity	19
industrial fisheries	19

small-scale fisheries	19
aermod	20
arima	20
greenhouse gases	20
<b>marine emissions</b>	<b>20</b>
nox	20
sox	20

*Tabla 2. Clusters y palabras clave*

*Fuente: Scopus*