



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE
MERCANCÍAS Y SOLUCIONES PARA SU
DESCARBONIZACIÓN

Autor: Luis María Sierra Bonilla

Director: Alberto Mascareñas Brito

Madrid

Julio de 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
ANÁLISIS DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE MERCANCÍAS Y SOLUCIONES PARA SU
DESCARBONIZACIÓN

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Luis María Sierra Bonilla

Fecha: 05/ 07/ 2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Alberto Mascareñas Brito

Fecha: 05/ 07/ 2023

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE MARÍTIMO DE MERCANCÍAS Y SOLUCIONES PARA SU DESCARBONIZACIÓN

Autor: Sierra Bonilla, Luis María.

Director: Mascareñas Brito, Alberto.

Entidad Colaboradora: ICAI- Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este trabajo tiene como finalidad analizar el transporte marítimo de mercancías, presentando sus rasgos fundamentales, así como la situación en la que se encuentra. Mediante este análisis se conocerá este medio de transporte y será posible aportar soluciones con las que lograr su descarbonización. Para ello, se contextualiza la situación climática y los objetivos e hitos más importantes que hay actualmente en lo relacionado con esta cuestión de relevancia mundial. Conociendo el estado actual de los dos temas principales del trabajo, transporte marítimo de mercancías y medio ambiente, se podrán definir y aportar la soluciones actuales y futuras que se consideran viables para la consecución de los objetivos marcados. Todo ello se analizará y desarrollará aportando una triple visión: técnica, económica y legal, poniendo el foco en la situación de la Unión Europea y en especial el caso de España.

La importancia del transporte marítimo de mercancías es indiscutible. A lo largo de la historia se ha ido desarrollando y estructurando hasta alcanzar la forma actual, erigiéndose como el principal medio de transporte de mercancías, con un porcentaje de tránsito de mercancías global superior al 80%. Simplemente con observar esta cifra es sencillo vislumbrar la magnitud de este medio de transporte y esto en gran parte es sostenible debido a las características y la estructura que lo definen.

Los rasgos más representativos del sector, como pueden ser el volumen de carga, la relación distancia-precio, la seguridad y versatilidad de la flota permiten que este medio de transporte pueda adaptarse a las diferentes situaciones y superar los obstáculos que se presentan mostrando una gran fiabilidad y normalidad. Estos requerimientos son imprescindibles en un sector en el que un fallo tiene un impacto y repercusión a nivel mundial, pudiendo llegar a provocar la ralentización del comercio y la economía mundial. Estas características también permiten camuflar los puntos débiles, como son la rapidez o la dependencia de otros métodos de transporte. Para ello se cuenta con una definida organización estructural del sector, formado por numerosos agentes que permiten optimizar y agilizar los procesos necesarios para el movimiento de la mercancía, siempre atendiendo y controlando la documentación y tramitación necesaria para ello.

La versatilidad, previamente citada, se logra contando con una amplia flota formada por numerosos tipos de buques que permiten hacer frente a una variedad de carga, en forma, tamaño, volumen y requerimientos, insostenible para cualquier otro tipo de transporte. Dentro de esta flota destacan tres tipos, los portacontenedores - buques de grandes dimensiones que permiten transportar volúmenes de mercancía enormes en contenedores

-, los petroleros - buques que abastecen de petróleo y sus derivados a todo el mundo, una importante parte de la logística que deberán adaptar los combustibles futuros para ser competitivos -, y los graneleros que transportan diferentes tipos de carga suelta imprescindibles para la sociedad.

Para el tránsito de los buques se cuenta con dos elementos imprescindibles, los puertos y las rutas marítimas. Los puertos constituyen una pieza clave en la infraestructura del transporte marítimo, sin ellos sería imposible el tránsito de mercancías. Es por ello por lo que cuentan con una estructura y sistema de funcionamiento que se han desarrollado durante el tiempo, con lo que logran organizar y facilitar el tránsito de mercancías en volúmenes que sin estas estructuras sería imposible de controlar. Europa cuenta con un gran número de puertos entre los que destacan los puertos del Mar del Norte con la mayor actividad de toda Europa, Rotterdam, Amberes y Hamburgo, respectivamente. También cabe citar por su importancia y niveles de comercio, los puertos del Mediterráneo, como el del Pireo o los puertos españoles de Valencia y Algeciras. La importancia de los puertos, en muchos casos, se puede explicar debido a su situación respecto a las principales rutas marítimas. En estas autopistas marítimas se pone en juego no solo la mercancía de todo el mundo, sino también cuestiones económicas, políticas....

Estas rutas se ven definidas por puntos claves como pueden ser el estrecho de Malaca o el de Ormuz, así como canales como el de Suez o el de Panamá. En muchos casos su importancia se debe a ser puntos de paso de la mayor parte del petróleo de las grandes potencias.

Como se ha expresado previamente, el transporte marítimo se sitúa en una posición privilegiada respecto a los otros medios de transporte disponibles. Sin embargo, esto no significa que sea el medio de transporte dominador en todos los aspectos. Los medios de transporte terrestre presentan una rapidez y una independencia superior, así como los medios aéreos. Estos últimos además presentan características y rasgos, como la adaptabilidad o la facilidad de manejo, con los que el transporte marítimo encuentra dificultades para competir.

El transporte marítimo de mercancías no es ajeno a las dificultades, como se ve reflejado en el periodo complicado que ha vivido en los últimos años. La situación sanitaria del COVID19, unida a las guerras y conflictos internacionales, como la invasión rusa de Ucrania, y otros factores como el incremento de la demanda, la inflación o el estado de la flota han provocado que el transporte marítimo haya visto su crecimiento ralentizado e incluso revertido en ciertos momentos de los últimos cinco años. Se han vivido momentos complicados en los que la congestión de los puertos, la falta de mano de obra y de contenedores y el precio de los fletes hacía casi insostenible mantener el equilibrio dentro de la cadena de valor del transporte marítimo de mercancías. Otro de los grandes problemas, es la falta de producción y modernización de una nueva flota que pueda dar respuesta a las exigencias del futuro, ya que no tan solo debe evolucionar para calmar la creciente demanda, además debe adaptarse a las nuevos reglamentos y criterios de diseño y empleo que en su mayoría están alineados con los objetivos de descarbonizar el sector.

Y es que el transporte, en su totalidad, representa un porcentaje entre el 25% y el 30% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero. Siendo el transporte terrestre el más contaminante, tras este se encuentra el marítimo y por último el aéreo. Se debe aclarar

que, en cuanto a las emisiones por cada viaje de cada uno de estos transportes, el transporte terrestre se mantiene como el más contaminante, mientras que los medios aéreos ocupan el segundo lugar y los buques se sitúan como los menos contaminantes. A su vez hay que destacar que el transporte por vías, es decir, los ferrocarriles, se presentan como un medio muy poco contaminante que compite con el medio marítimo.

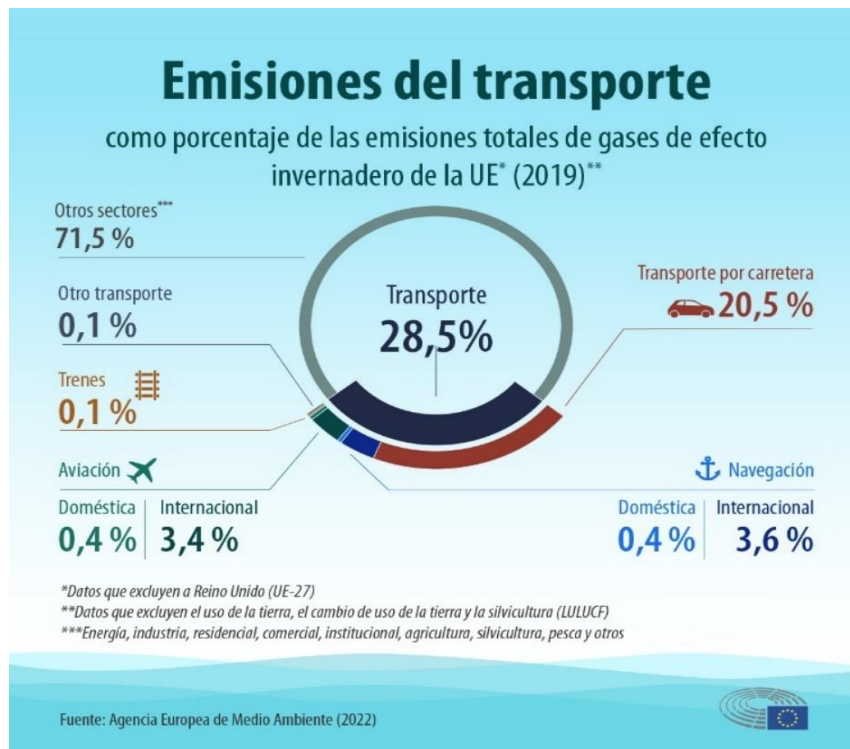


Figura 5: Emisiones del sector transporte en la UE.

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente.

Las emisiones se pueden clasificar en dos grupos: emisiones de gases contaminantes y gases de efecto invernadero. En el transporte marítimo, y en muchos otros sectores, los gases contaminantes principales son los óxidos de azufre y de nitrógeno, acompañados por el material particulado (PM). Mientras que los principales gases de efecto invernadero (GEI) son: el dióxido de carbono, el metano, como principal COV, y el óxido nítrico. Todos ellos presentan efectos perjudiciales para el medio ambiente o para los seres vivos, o en ambos, como es el caso del dióxido de carbono, un gas que afecta a la salud de los seres vivos y contribuye al efecto invernadero y al cambio climático. Esto explica que se ponga el foco en este gas que supone alrededor al 80% de los GEI y supone el mayor obstáculo en la descarbonización del sector.

Para lograr la descarbonización, el transporte marítimo se apoya principalmente en el Convenio MARPOL. Este convenio recoge toda la regulación que se adopta y que se va incluyendo en el transporte marítimo, con el objetivo de prevenir la contaminación por parte de este sector. Es dirigido y redactado por parte de la Organización Marítima Internacional (OMI), que forma parte de la ONU y es uno de los actores principales del

sector. En cuanto al trabajo realizado, destacan las medidas adoptadas como EEDI, SEEMP, EEXI o CII, todas ellas encaminadas a controlar y reducir las emisiones de los buques mediante la mejora del diseño, la eficiencia energética y la limitación de las emisiones mediante el impulso del desarrollo e implementación de nuevas medidas y tecnologías. Además, MARPOL, destaca por los seis anexos en los que se establecen medidas de actuación frente a diferentes contaminantes, teniendo gran relevancia las denominadas zonas ECA, zonas que por su importancia establecen límites estrictos en cuanto a la emisión de contaminantes, principalmente óxidos de azufre y de nitrógeno. En la siguiente imagen se observa de forma breve la hoja de ruta de la OMI.

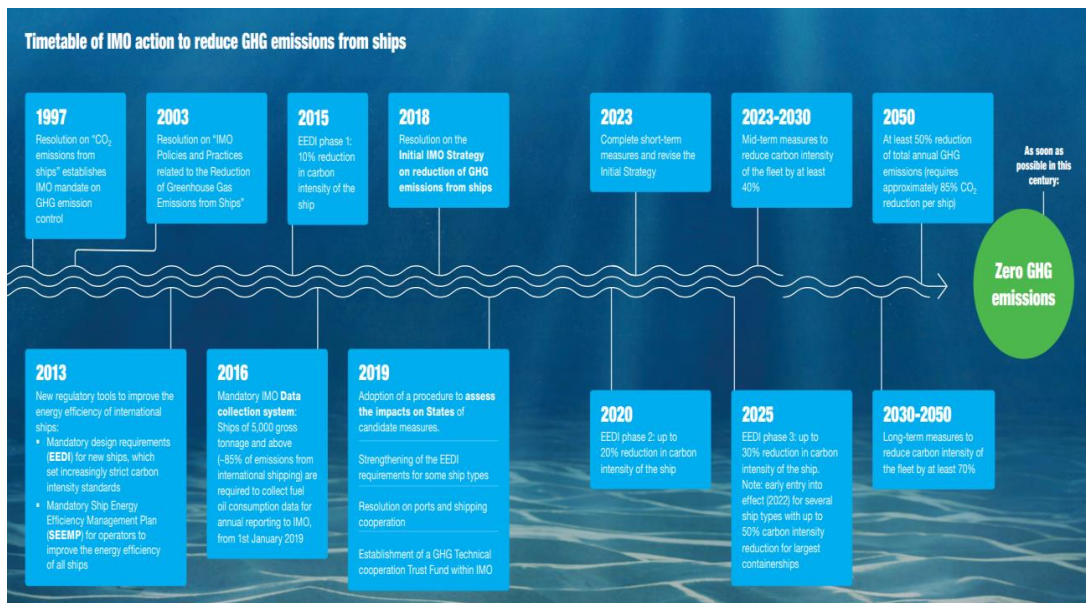


Figura 14: Agenda de actuaciones de la OMI.

Fuente: OMI.

Se puede observar que para lograr descarbonizar el sector se cuenta con una amplia regulación, a nivel global, abarcando toda la cuestión climática y medioambiental, existiendo numerosos acuerdos, convenios, pactos y leyes con los que se rige y se marca el camino a seguir para hacer frente a esta gran problemática. Como referencias mundiales se cuenta con el Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París y el Pacto Verde de la Unión Europea. El Protocolo de Kioto se incluye como pieza fundamental, ya que sienta las bases de la lucha contra el cambio climático, estableciendo la estructura de lo que hoy componen los grandes planes de acción. En este, se encuentran numerosas medidas y protocolos de actuación que adaptarán sus sucesores, como es el Acuerdo de París. El Acuerdo de París es el gran acuerdo en cuestión climática que hoy en día está en marcha y cuenta con mayor participación y relevancia a nivel mundial, tiene como objetivos principales que la temperatura media del planeta no se incremente en más de 2°C, aunque realmente la meta está en 1.5°C, respecto a la época preindustrial, referencia histórica en la que comienzan las emisiones a gran escala de origen antropogénico. Esto se pretende conseguir reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, mediante el trabajo

conjunto de todos los actores de la sociedad e impulsado por los gobiernos de los países mediante la implementación de planes de actuación, conocidos como NDC, que incorporan medidas y mecanismos con los que se impulsa al mundo hacia un desarrollo sostenible, justo y en concordancia con el medio ambiente.

El Pacto Verde es el acuerdo europeo en materia climática, en este caso, se pone el foco en lo referente al transporte marítimo, ya que las medidas y objetivos marcados son en su mayoría compartidos y tomados del Acuerdo de París y el Protocolo de Kioto, así como muchos de los planes y medidas que emplear e incorporar. Destaca el denominado “Objetivo 55” que hace referencia al objetivo de reducir las emisiones de la UE para 2030 en un 55%. Dentro de este objetivo y de las numerosas leyes y medidas adoptadas en este pacto destacan dos, la inclusión del transporte marítimo en el sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea y el proyecto enfocado en los combustibles “FuelEU Maritime”.

La participación del transporte marítimo en el comercio de emisiones se presenta como un paso adelante en la lucha contra la contaminación del transporte marítimo en la Unión Europea. El hecho de que el transporte marítimo vaya a participar dentro de un sistema en el que las emisiones tienen un precio y en el que se tiene que pagar si se sobrepasa un límite, se entiende como un paso adelante en la reducción de las emisiones. Sin embargo, esta medida cuenta con detractores, ya que es un sistema que ya ha sido implementado en otros acuerdos como París o Kioto y ha demostrado no ser una solución definitiva.

Mientras que “FuelEU Maritime” está encaminada a impulsar la investigación, desarrollo y uso de combustibles alternativos con cero emisiones netas capaces de destronar a los combustibles fósiles. Mediante un cambio gradual en el que se va disminuyendo la contaminación de los combustibles, se pretende alcanzar el objetivo de las cero emisiones netas. Un ejemplo es el empleo de combustibles como el ULSFO, un combustible con un porcentaje muy bajo de azufre que permite navegar reduciendo las emisiones, este se puede emplear para el tránsito por zonas como las ECA.

Como se puede apreciar los combustibles se han convertido en los principales protagonistas en la lucha por la reducción de las emisiones. Existen numerosas soluciones con las que es posible reducir las emisiones del transporte marítimo y concretamente del de mercancías. Entre ellas destacan las que ya han entrado en juego y se están desarrollando como son:

Reducir la velocidad, se ha demostrado que reduciendo la velocidad de los buques se consume menos combustible y esto tiene un gran impacto en las emisiones, las cuales se reducen significativamente. Esto se puede comprobar en la simulación de viaje realizada en el trabajo.

Medidas como las zonas ECA o las rutas verdes, rutas en las que no se emiten gases perjudiciales para el medio ambiente, se convierten en soluciones reales y factibles con las que impulsar la descarbonización, obligando a los buques a adaptarse y buscar nuevas formas para cumplir con las exigencias de estas medidas.

La electrificación y adaptación de toda la infraestructura que compone el sector, desde los puertos hasta la maquinaria que se emplea en ellos. No hay que olvidarse que todo esto también contribuye a la contaminación y por tanto también debe estar a la cabeza de

la transición hacia la neutralidad climática. A la infraestructura también se añade la flota, que como se ha dicho, está necesitada de una modernización y adaptación al futuro más cercano.

Hay otras dos medidas sin las cuales es imposible alcanzar la descarbonización, las cuales son el desarrollo de las fuentes renovables de energía y la inversión.

Sin las fuentes renovables de energía no se puede conseguir, hoy en día, un combustible verde y sin emisiones perjudiciales. Por lo tanto, es necesario que el sector de las energías renovables también se sume al desarrollo y que pueda dar respuesta a la demanda y la capacidad que se supone que se le va a exigir con la implantación de los nuevos combustibles.

La inversión es la otra gran necesidad que encuentra cualquier sector o cuestión cuando trata de llevar a cabo una transición o mejora. Sin inversión en la investigación y desarrollo de todas estas medidas, en las que se suman principalmente los combustibles, la infraestructura y las fuentes renovables, los objetivos marcados son todavía más difíciles de alcanzar y sobre todo los plazos marcados son inaccesibles. En este gráfico se puede observar como gran parte de la inversión va destinada al gran protagonista, el combustible, y en concreto a las dos principales opciones que se van a presentar, el amoníaco y el hidrógeno.

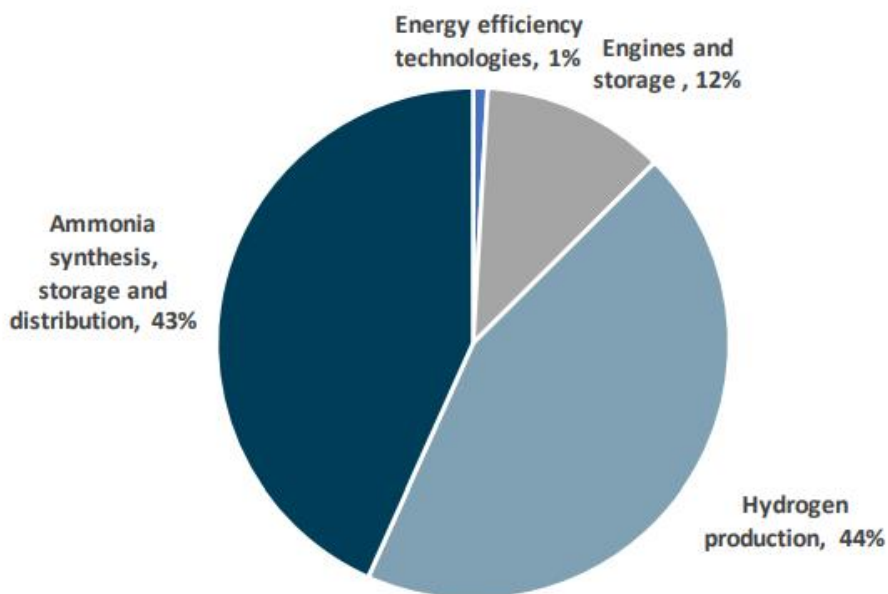


Figura 26: Inversión transporte marítimo.
Fuente: Global Maritime Forum.

El amoníaco y el hidrógeno, en sus variantes verdes, se colocan como las opciones más viables de combustibles capaces de sustituir a los combustibles fósiles. El hidrógeno, en principio, parece ser más difícil de gestionar y de implementar a nivel mundial por sus características y requerimientos en cuanto a su uso, transporte y almacenamiento. Pero

sin duda, va a jugar un papel clave ya que a partir de este se pueden obtener otros combustibles verdes como el amoniaco o el metanol.

El amoniaco parece haber tomado la delantera junto al metanol. Son combustibles que han demostrado que su uso y explotación a nivel mundial es posible y su distribución, almacenamiento y procesos de empleo serían similares a los que existen actualmente. Por lo tanto, parecen las soluciones más viables de implementar con la inversión, investigación y desarrollo adecuados, aunque todavía se demuestra que no están preparados para liderar la transición y alzarse como combustibles plenamente verdes con cero emisiones.

Existen otras muchas soluciones como los biocombustibles y los combustibles sintéticos, pero estos se han quedado un poco atrás en la carrera ya que presentan más problemas para reducir las emisiones y alcanzar las cotas necesarias para su producción y uso global.

El trabajo incluye dos simulaciones.

- Simulación caso real: Huella de carbono de la exportación de mercancías desde el puerto de Algeciras (España) al puerto de Rotterdam (Países Bajos).

Se presenta la huella de carbono de un viaje desde el puerto de Algeciras hasta el puerto de Rotterdam. Para ello, se calculan las toneladas de CO2 equivalente que se emiten. Tomando la velocidad del buque y sus dimensiones es posible conocer el consumo de combustible y con este se puede calcular las emisiones de CO2 equivalente. A partir de un caso base en el que la velocidad es de 21 nudos, se desarrollan dos hipótesis diferentes en las que se reduce la velocidad. En la primera de ellas a una velocidad de 18 nudos y en la segunda a una velocidad de 10 nudos. De este estudio se extrae no solo el CO2 equivalente en cada caso, también se demuestra el poder de reducir la velocidad para reducir las emisiones, una de las soluciones existentes en la actualidad para descarbonizar el sector. Se comprueba el punto óptimo de trabajo en el que se reducen la velocidad y las emisiones sin aumentar demasiado el tiempo de viaje. Se comprueban los resultados con lo expresado en el trabajo, como son los porcentajes de GEI de la Unión Europea o la reducción de velocidad llevada a cabo por los buques que transitan por puertos europeos.

Los resultados son los siguientes:

*Porcentajes en comparación con el caso base.

	<u>Caso base</u>	<u>Primera hipótesis</u>	<u>Segunda hipótesis</u>
CO2 equivalente (toneladas)	1.921,32	1.458,78	500,468
Velocidad de navegación (nudos)	21	18	10
Tiempo de navegación (horas)	65	75,83	136,5
% aumento de tiempo de viaje	-	16,67%	110%
% reducción de emisiones	-	24,07%	73,95%

% reducción de velocidad	-	14,29%	52,38%
% aumento de tiempo de viaje	-	16,67%	110%

Figura 40: Resultados simulación.

Fuente: Elaboración propia.

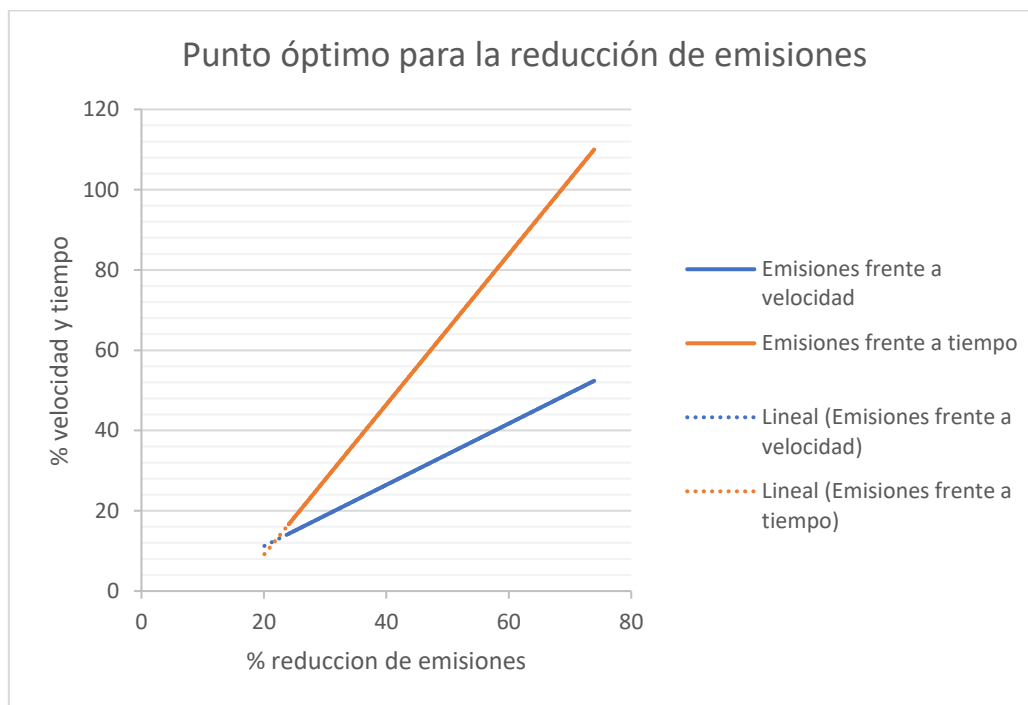


Figura 41: Punto óptimo para la reducción de emisiones.

Fuente: Elaboración propia.

Se comprueba que, al reducir la velocidad en tan solo 3 nudos, un 14,29%, se reducen las emisiones de CO2 equivalente un 24.07%, mientras que el tiempo de viaje aumenta tan solo un 16.7%. En la segunda hipótesis, la reducción de velocidad es más significativa, del 52,38%, provocando que las emisiones se reduzcan un 73,95%, pero tiene como consecuencia un aumento de tiempo de viaje del 110%. Por lo tanto, es una medida con un gran poder para lograr reducir las emisiones, pero hay que encontrar el punto de equilibrio entre reducción de velocidad y emisiones y aumento de tiempo. Este punto se encuentra en torno a una reducción de velocidad del 15%, provocando una reducción de emisiones del 22% y aumentando el tiempo de viaje un 15%, como se observa en la figura 41.

El poder contaminante de los buques es apreciable en esta simulación que, en un viaje de una distancia bastante reducida, en comparación con rutas que conectan puertos mucho más alejados como China y América, demuestra como la cantidad de CO2 equivalente emitida es de una magnitud enorme si se tiene en cuenta que tienen lugar miles de trayectos como este a diario. Se debe luchar para lograr disminuir las toneladas de CO2

equivalente que se emiten en cada uno de estos trayectos y la forma más eficiente es mediante la sustitución de los combustibles fósiles por combustibles sin emisiones.

Los datos obtenidos de GEI en el cálculo del CO2 equivalente, 89,74% CO2, 7,98% CH4 y 2,28% de N2O coinciden con lo expuesto en el trabajo. A su vez se calcula la indemnización a pagar por retraso, hecho que pudiera ocurrir por reducir la velocidad, obteniendo cifras millonarias, como en el caso del Ever Given.

Por último, se incluye en la simulación un cálculo por el cual se demuestra el precio de las emisiones para distintos tipos de combustibles marítimos actuales, pudiéndose hacer una idea del precio que tomarían las emisiones en el sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea. En este caso se toman dos combustibles, IFO380 y VLSFO, el primero de ellos con un poder contaminante mayor, pero con un precio más reducido, mientras que el VLSFO es un combustible con un contenido de azufre menor, es decir, un poder contaminante menor pero cuyo precio es mayor. Con la cantidad de combustible consumido, su precio y las emisiones calculadas se puede extraer el precio de estas emisiones, que rondan los 140\$/ tonelada de CO2 equivalente.

- Simulación de la inversión necesaria para producir hidrógeno renovable en España capaz de reducir las emisiones de CO2 equivalente del transporte marítimo de mercancías español a cero en 2050.

En esta simulación se calcula, a partir de los datos aportados por el Gobierno de España, la inversión necesaria para poder producir hidrógeno renovable capaz de cubrir la reducción de todas las emisiones de CO2 equivalente procedentes del transporte marítimo de mercancías de España. Para ello se calcula la cantidad de emisiones de CO2 equivalente emitidas en España al año. Este dato se transforma a inversión necesaria para producir el hidrógeno renovable suficiente para reducir estas emisiones. Obteniendo que para reducir el CO2 equivalente de 2020-2030 es necesaria una inversión de 162.521,73 millones de euros, mientras que actualmente se está invirtiendo un 5,48 % de esta cifra.

A continuación, estos datos se aplican hasta el 2050, para poder así calcular la inversión necesaria para reducir el CO2 equivalente del transporte marítimo de mercancías español a cero para 2050, el cual es el objetivo marcado a nivel mundial, como se ha explicado en el trabajo.

Se calculan estos datos obteniendo que sería necesario invertir hasta 2050, 487.565,21 millones euros. A continuación, se llevan a cabo una serie de casos en los que atendiendo a diferentes factores se estudia la viabilidad económica de alcanzar este objetivo, obteniendo estos resultados:

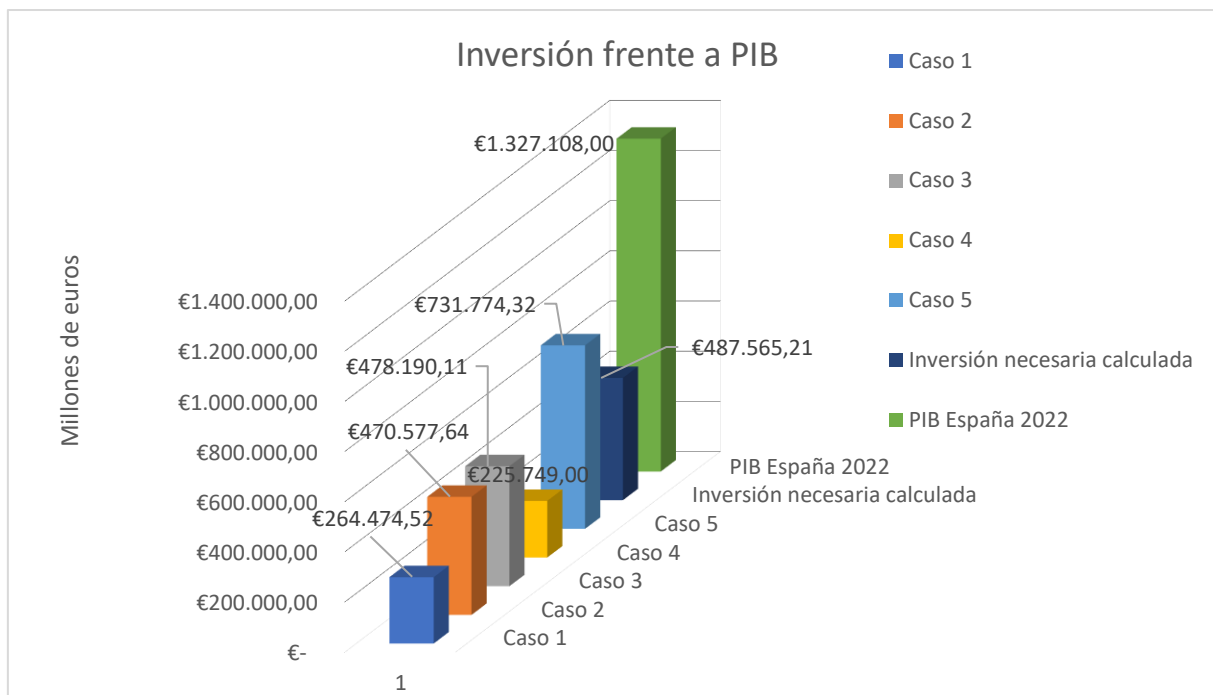


Figura 50: Inversión frente a PIB.

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza una comparación de los diferentes casos con el PIB español en 2022 para poder vislumbrar la dimensión y magnitud de la inversión necesaria para alcanzar el objetivo marcado, teniendo en cuenta que el sector logístico en 2020 representó el 2,8% del PIB español. Se obtienen los siguientes resultados:

Caso 1	19,92%
Caso 2	35,46%
Caso 3	36,03%
Caso 4	17,01%
Caso 5	55,14%
Inversión necesaria calculada	36,74%

Figura 51: Porcentaje de inversión respecto al PIB español en 2022.

Fuente: Elaboración propia.

Las conclusiones son las siguientes:

- El transporte marítimo de mercancías es el medio de transporte más eficiente y completo, en términos generales, y es capaz de mantener esta posición debido a las cualidades y rasgos que lo caracterizan y que ha desarrollado y mantenido en el tiempo.

- Cuenta con una amplia estructura que le permite desarrollar y optimizar el trabajo, facilitando el tránsito por los puertos y las rutas marítimas, dos aspectos de gran importancia dentro del sector.
- Actualmente, el mundo cuenta con una amplia legislación y regulación con la que se guía hacia el camino de la reducción de la contaminación y las cero emisiones netas. Destacan el Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París y el Pacto Verde.
- El transporte marítimo es el medio menos contaminante, aun así, sus niveles de emisiones son más que significativos, por lo que se lucha por la reducción de las emisiones de gases contaminantes y GEI. El gran impulsor de ello es la Organización Marítima Internacional y las medidas y leyes adoptadas en el Convenio de MARPOL.
- Dentro de las medidas más destacadas por la OMI, se encuentran EEDI, SEEMP, EEXI y CII, así como las zonas ECA. Dentro del Pacto Verde, sobresalen el sistema de comercio de emisiones y el programa “FuelEU Maritime”.
- Existen numerosas soluciones para lograr reducir las emisiones en el sector del transporte marítimo de mercancías, como el reducir la velocidad, el desarrollo y modernización de la infraestructura o las medidas previamente citadas. Sin olvidar la importancia de la inversión, no tan solo en estas medidas, también en otros factores como las fuentes de energía renovables, esenciales para el desarrollo y producción de los grandes protagonistas, los combustibles.
- El hidrógeno y el amoníaco han tomado los primeros puestos en cuanto a las opciones de poder utilizarlos como combustibles futuros debido a las características y capacidades que presentan como sustitutos de los combustibles fósiles. Su desarrollo y empleo está todavía en proceso, existiendo numerosas cuestiones todavía por solucionar, pero se han alzado como los grandes competidores. Los derivados del hidrógeno, como el propio amoníaco o el metanol, todos ellos en su variante verde, parecen tener las opciones más claras para su posible uso. Mientras que existen otros muchos combustibles alternativos, como los combustibles sintéticos o los biocombustibles que parecen quedarse atrás por no cumplir con todos los objetivos y requerimientos marcados.
- En la simulación de la huella de carbono de un viaje entre puertos europeos, se demuestra el poder contaminante de los combustibles fósiles como refleja el CO2 equivalente del viaje. Además, se demuestra el impacto de la solución para descarbonizar basada en reducir la velocidad para las diferentes hipótesis presentadas, calculando el punto óptimo que coincide con lo expuesto en el trabajo.
A su vez se comprueban los porcentajes de GEI descritos en el trabajo y se realizan dos estudios en los que se presentan las pérdidas millonarias desencadenadas por un retraso, como el caso del Ever Given, y el precio que podrían tener las emisiones en el sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea.

- En la simulación de la inversión de hidrógeno renovable, se vislumbra la importancia que tiene la inversión, que cuanto mayor sea y se emplee correctamente, antes podrá darse la transición hacia este tipo de combustibles. En los diferentes casos se puede comprobar la magnitud de la inversión necesaria para “tan solo” producir el hidrógeno renovable suficiente para reducir las emisiones del transporte marítimo de mercancías español a cero en 2050. Se observa la dimensión de esta inversión en la comparativa con el PIB español, pudiendo esclarecer los altos porcentajes que representa esta inversión en los diferentes casos. Se comprueba que la inversión para lograr utilizar este tipo de combustibles alternativos es enorme, pero esto solo debería provocar que el trabajo y la implicación de la sociedad sea mayor para alcanzar este objetivo común, la descarbonización del transporte marítimo de mercancías.

- **Bibliografía**

Bibliografía detallada en el trabajo:

[OMI_s.f] Organización Marítima internacional (OMI), “Transporte marítimo de mercancías”.

[UE_s.f] Unión europea (UE), “Transporte marítimo de mercancías”.

[ANAVs.f] Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), “Transporte marítimo de mercancías”.

ANALYSIS OF MARITIME FREIGHT TRANSPORT AND SOLUTIONS FOR ITS DECARBONISATION

The purpose of this work is to analyse the maritime freight transport, presenting its fundamental features, as well as its actual situation. During this analysis it will be possible to understand this transport method, being able to provide solutions to achieve its decarbonisation. To this end, it is necessary to contextualize the current climate situation and the main objectives and milestones relative to this issue of global relevance. Knowing the current situation of the two main topics of the work, maritime freight transport and the environment, it will be possible to define and provide with current and future solutions that are considered viable for the achievement of the objectives set. All of this will be analysed and developed by providing a triple vision: technical, economic and legal, focusing on the situation of the European Union and especially the case of Spain.

The importance of the maritime freight transport is indisputable, along the history it has developed and structured itself until it has achieved its current form, establishing itself as the main means of freight transport, with a percentage of global freight transit of over 80%. Just by looking at this data it is easy to glimpse the magnitude of this mode of transport and this is largely sustainable because of the characteristics and the structure that define it.

The most representative features of this sector, such as the volume of cargo, the distance-price ratio and the security and versatility of the fleet allow this mode of transport to adapt to the different situations and overcome the obstacles that arise, showing a great reliability and normality, indispensable requirements in a sector in which a failure has a global impact and repercussion, being able to cause a slowdown in trade and world economy. These characteristics allow to camouflage the weak points, such as speed or dependence on other transport methods, for which there is a defined structural organisation of the sector, made up of numerous agents that make it possible to optimise and speed up the necessary processes to transport the cargo, always considering and controlling the documentation and requirements necessary for it.

The versatility, previously cited, is achieved by having a large fleet formed by numerous types of vessels that enable to cope with a variety of cargo, in shape, size, volume and requirements, unsustainable for any other type of transport.

There are three main vessels in the fleet: container ships, large vessels that allow the transport of huge volumes of cargo in containers, oil tanker ships, vessels that transport oil and its derivatives all over the world, an important part of the logistics that the new fuels will have to adapt to be competitive; and the bulk carriers that transport different types of loose cargo essential for the society.

For the transit of ships, there are two essential elements, the maritime ports and the maritime corridors. The maritime ports are a key part of the infrastructure of the maritime

transport, without them it will be impossible to transport all the goods. This is why it counts with a structure and an operating system that has been developed over time, that enables them to organise and facilitate the transit of cargo in volumes that without these structures would be impossible to control. Europe counts with a great number of this ports, among which the ports of the North Sea, with the greatest activity of Europe, Rotterdam, Antwerp, and Hamburg, respectively. The ports of the Mediterranean Sea, the Piraeus or the Spanish ports, Valencia and Algeciras are also worth mentioning because of their importance and the levels of trade. The importance of this ports, in many cases, can be explained because of the location in relation to the main maritime corridors. On these maritime highways not only the cargo of all the world is at stake, but also political, economic issues...

These routes are defined by key points, such as the Strait of Malacca or the Strait of Hormuz, as well as canals like Panama or Suez. In many cases their importance is due to fact that the oil of the major powers is transported through them.

As it was previously stated, the maritime transport is in a privilege position with respect to the other modes of transport available. Nevertheless, this does not mean that it is the dominator transport in all the aspects. Land transport is faster and more independent, as well as is air transport. In addition to having characteristics and features, as the adaptability or the ease of handling, with which the maritime transport finds it difficult to compete.

The maritime freight transport is no stranger to difficulties, as reflected in the complicated recent period that has experienced. The health situation of the COVID19, together with the wars and international conflicts, such as the Russian invasion of Ukraine, and other factors like the increase of demand, the inflation or the fleets status have caused that the maritime transport have slowed down or even reversed its growth in the last five years. Difficult moments have been passed in which the congestion of the ports, the lack of manpower and containers and the price of the freight made unsustainable to maintain the equilibrium within the maritime transport value chain. Another great problem is the lack of production and modernisation of the fleet, a fleet that can meet the future demands, as not only the new fleet must evolve to calm the growing demand, but also adapt it to the new regulations and criteria of design and use that are aligned with the decarbonisation objectives of the sector.

Transport, as a whole, represents a percentage between the 25% and the 30% of total emissions of greenhouse gases, being the land means of transport the most polluting, followed by the maritime transport and finally air transport lastly. It should be clarified that in terms of emissions per trip for each mode transport, terrestrial transport is the most polluting, while air transport is in second place and the vessels are the least polluting. It is also important to highlight that rail transport, the trains, is a mode of transport that competes with the maritime sector to be the least polluting.

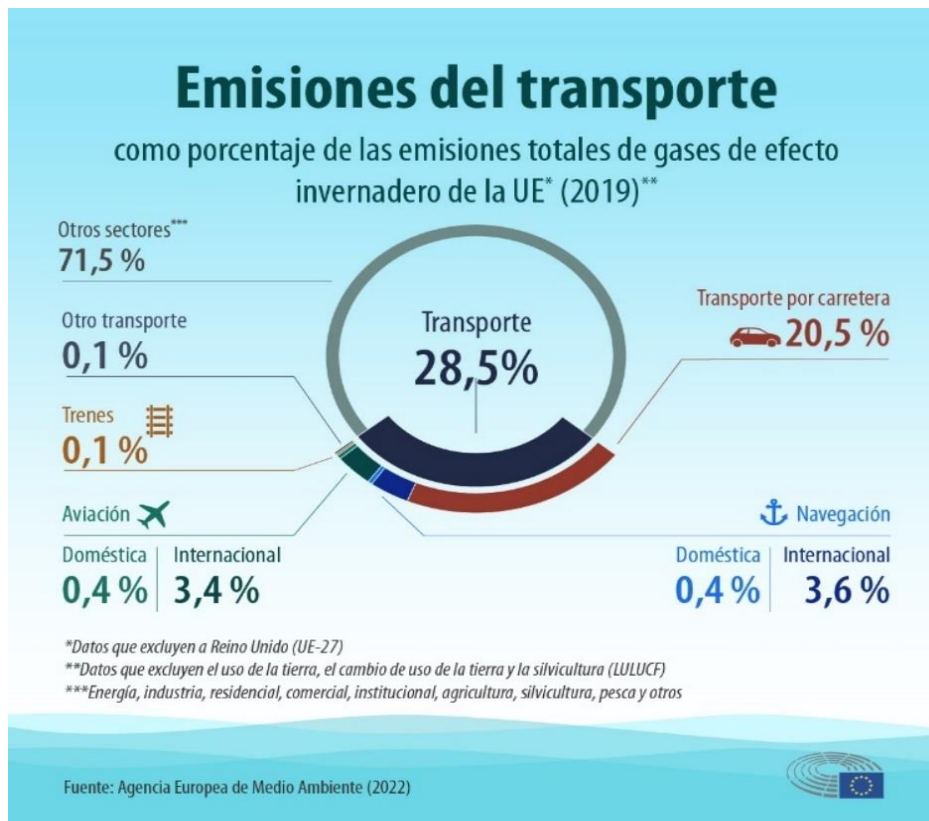


Figure 5: Emissions of the transport sector in the EU.

Source: European Environment Agency

Emissions can be classified into two groups: polluting gases and greenhouse gases. In shipping, and many other sectors, the main polluting gases are sulphur and nitrogen oxides, alongside with the PM. While the main greenhouse gases are the carbon dioxide, methane as the main VOC, and the nitrous oxide. All of them have detrimental effects on the environment, on living beings, especially on human beings, or on both, as in the case of carbon dioxide that affects the health of living beings and contributes to the greenhouse effect and climate change. This explains why the focus is placed on this gas that represents around 80% of the greenhouse gases and is the biggest obstacle towards the decarbonisation of the sector.

To achieve decarbonisation, shipping is mainly supported by the MARPOL Convention. This includes all the regulations that are adopted and being included in maritime matters with the objective of preventing the pollution regarding the maritime transport. It is directed and redacted by the IMO, International Maritime Organisation, that is part of the UN and is one of the main actors of the sector. Regarding the work carried out, some measures stand out, such as EEDI, SEEMP, EEXI or CII, all of them aimed at controlling and reducing vessels emissions through the improvement of the design, the energy efficiency, and the limitation of the emissions by the impulse of the development and

implementation of new measures and technologies. In addition, MARPOL, stands out because of the six annexes that establish action measures against different pollutants, having great relevance the ECA zones, zones which, due to their importance, there are strict limits regarding the emissions of contaminants, especially sulphur and nitrogen oxides. In the next image it can be observed the roadmap establish by IMO.

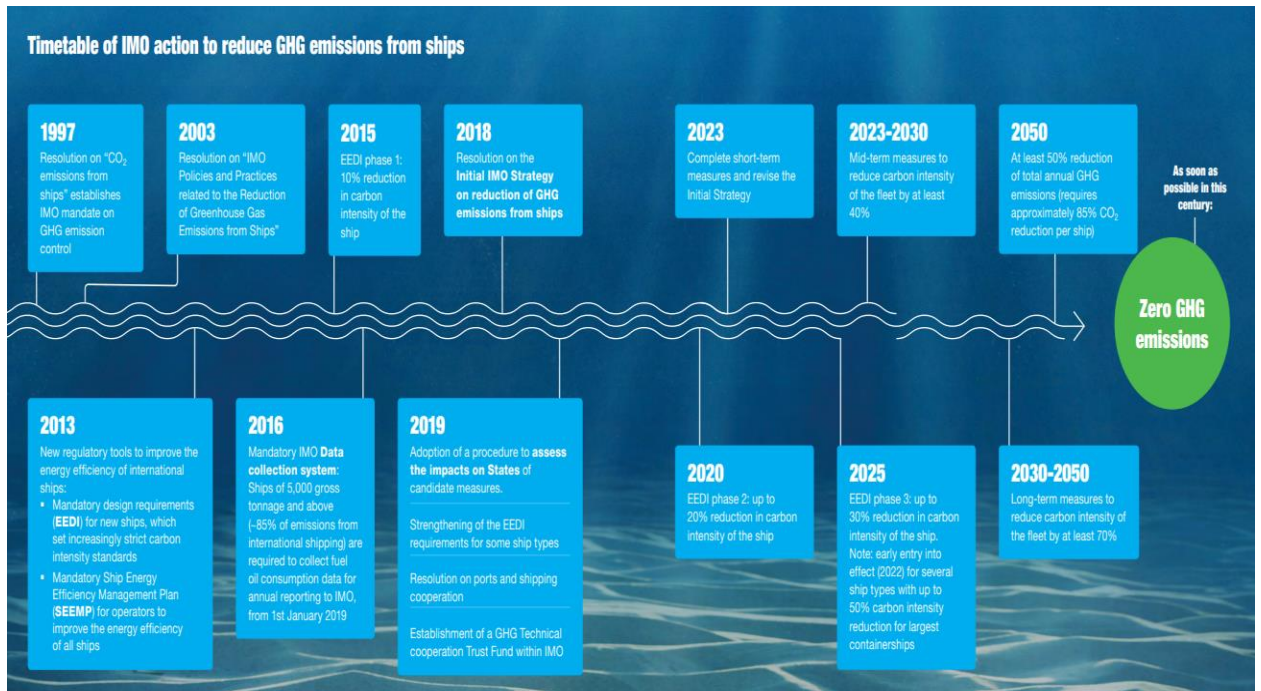


Figure 14: IMO schedule.

Source: IMO

It can be observed that to achieve the decarbonisation of the sector, there is an extensive regulation, globally, covering all the environment and climate issues, with numerous agreements, pacts, and laws with which the path to follow is governed and marked to face this great problem. As global references, there are the Kyoto Protocol, the Paris Agreement, and the Green Deal of the European Union. The Kyoto Protocol is included as a fundamental piece because it lays the foundation of the fight against the climate change, establishing the structure of the current action plans. In this are found numerous measures and action protocols that his successors adapt, the Paris Agreement.

The Paris Agreement is the major agreement on climate issues that is currently underway and has the greatest participation and relevance worldwide, it has as main objectives to not increase the global average temperature by more than 2°C, although the real goal is in 1.5°C, compared to the pre-industrial era, historical reference in which large-scale emissions of anthropogenic origin began. This is intended to be achieved by reducing the greenhouse gases emissions through the work of all the sectors of the society, empowered by the governments of the countries through the implementation of action plans, known

as NDC, that incorporate measures and mechanisms that lead the world towards a sustainable and fair development in accordance with the environment.

The Green Deal is the European agreement in climate matters, in this case, the focus is pointed towards the maritime transport, since the measures and objectives set are mostly shared and taken from the Paris Agreement and the Kyoto Protocol, as well as most of the arrangements to use and incorporate. The known as “Fit for 55” stands out, it refers to the objective of the EU of reducing the emissions by 55 %. Within this project and the large number of measures and laws adopted in this deal, there are two main ones, the inclusion of the maritime transport in the EU emissions trading system, and the project focused on fuels, “FuelEU Maritime”.

The participation of the maritime transport in the emissions trading system is presented as a step forward in the fight against the pollution of the European maritime transport. The fact that the maritime transport is going to participate in this trading system in which the emissions have a price and if a limit is exceeded a payment is required, is understood as a big step to reduce the pollution of this sector. Nevertheless, this measure has many detractors that assure that this system has proven not being efficient enough to reduce the emissions.

“FuelEU Maritime” is aimed at promoting the investigation, development and implantation of the alternative fuels with zero net emissions capable of dethroning fossil fuels. Through a gradual change in which the contamination of the fuels is reduced, the objective of decarbonisation is achieved. An example is the use of fuels such as ULSFO, a fuel with a very low percentage of sulphur that allow to navigate reducing the emissions, being able to be used in the ECA zones.

As can be seen, fuels have become the main protagonists in the fight to reduce the emissions produced in the transport sector. There are a lot of solutions with which the pollution of the maritime transport, and especially the freight transport, can be reduced.

Among them, it is worth highlighting those that have come into play and those that are in development, such as:

By reducing the speed, it has been shown that reducing the speed of the vessels mean a reduction of the fuel consumption, which has a great impact in the emissions that are significantly reduce. This can be seen in the trip simulation done in this work.

Measures like the ECA zones or the green corridors, routes where no harmful gases are emitted to the environment, have become real and feasible solutions that allow the decarbonisation of the sector, forcing the ships to adapt and search for new ways to meet the demands.

The electrification and adaption of all the infrastructure that makes up the sector, from the ports to the machinery that is used there. It should not be forgotten that all of this also

contributes to the pollution, and therefore also must be at the forefront of the transition to the climate neutrality.

By infrastructure, it is also included the fleet, that, as it has been said, is in need of modernisation and adaption to the new era of the sector.

There are two other measures that without them it is impossible to achieve decarbonisation, which are the development of the renewable sources and investment. Without the renewable sources it is impossible to produce a green fuel without harmful emissions. Therefore, it is necessary that the renewable energy sector also joins the development and can respond the demand and the capacity that the introduction of the new fuels would demand and require.

Investment is the other great necessity that any sector encounters when making a transition or improvement. Without investment in investigation and development in fuels, infrastructure and renewable sources, the objectives can not be achieved, especially in the deadlines set. In the next graphic it can be observed that most part of the investment required should be used in fuels, mainly in the two options that will be presented, hydrogen and ammonia.

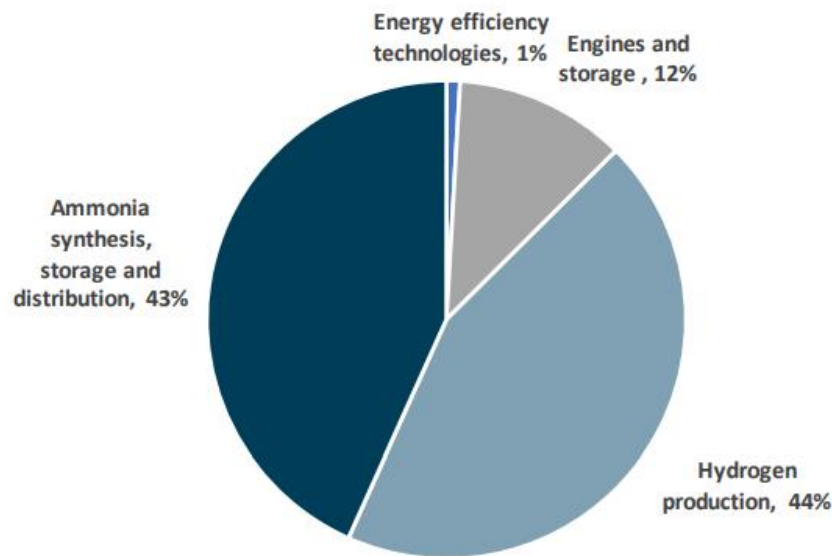


Figure 26: Maritime transport investment.
Source: Global Maritime Forum

Ammonia and hydrogen, in their green variant, are the most viable options of fuels capable of replacing the fossil fuels. The hydrogen, nowadays, seems to be more difficult to manage and to implement because of the characteristics and requirements in terms of its use, transportation, and storage. Nevertheless, hydrogen is going to play a key role in the transition as other fuels can be obtained from it, such as ammonia or methanol (green).

Ammonia seems to have taken the lead along with the methanol, being fuels than have demonstrated that their use and worldwide exploitation is possible and their distribution, storage and use processes are similar to the ones that already exist. They therefore seem to be the most viable options to implement with the adequate investment, investigation, and development, since it is still shown that they are not already prepared to lead the transition and rise like green fuels plenty developed and with zero emissions.

There are many other options, such as the biofuels or the synthetic fuels, but they have stayed in the background because of the problems that they have reducing emissions and to achieving the goals and objectives of production and worldwide use set.

The work includes two simulations:

- Real case simulation: carbon footprint of the export of cargo from the port of Algeciras (Spain) to the port of Rotterdam (Netherlands).

The carbon footprint of a journey from the port of Algeciras to the port of Rotterdam is presented. In order to calculate this, the tonnes of CO2 equivalent are calculated. Taking the speed of the vessel and its dimensions, it is possible to calculate the equivalent CO2 emissions. Starting from a base case where the speed is 21 knots, two different scenarios are developed in which the speed is reduced. In the first the speed is 18 knots and in the second 10 knots. This simulation not only extract the CO2 equivalent in each case, but also the power of reducing the speed to reduce the emissions, one of the solutions currently available to decarbonise the sector. The optimal point at which the speed and emissions are reduced without increasing travel time too much is found. The results are tested against what is expressed in the work, such as the GHG percentages of the EU or the speed reduction of the vessels transiting European ports.

The results are as follows:

*Percentages in comparison to the base case

	<u>Caso base</u>	<u>Primera hipótesis</u>	<u>Segunda hipótesis</u>
CO2 equivalente (toneladas)	1.921,32	1.458,78	500,468
Velocidad de navegación (nudos)	21	18	10
Tiempo de navegación (horas)	65	75,83	136,5
% aumento de tiempo de viaje	-	16,67%	110%
% reducción de emisiones	-	24,07%	73,95%
% reducción de velocidad	-	14,29%	52,38%
% aumento de tiempo de viaje	-	16,67%	110%

Figure 40: Simulation results.

Source: Own elaboration.

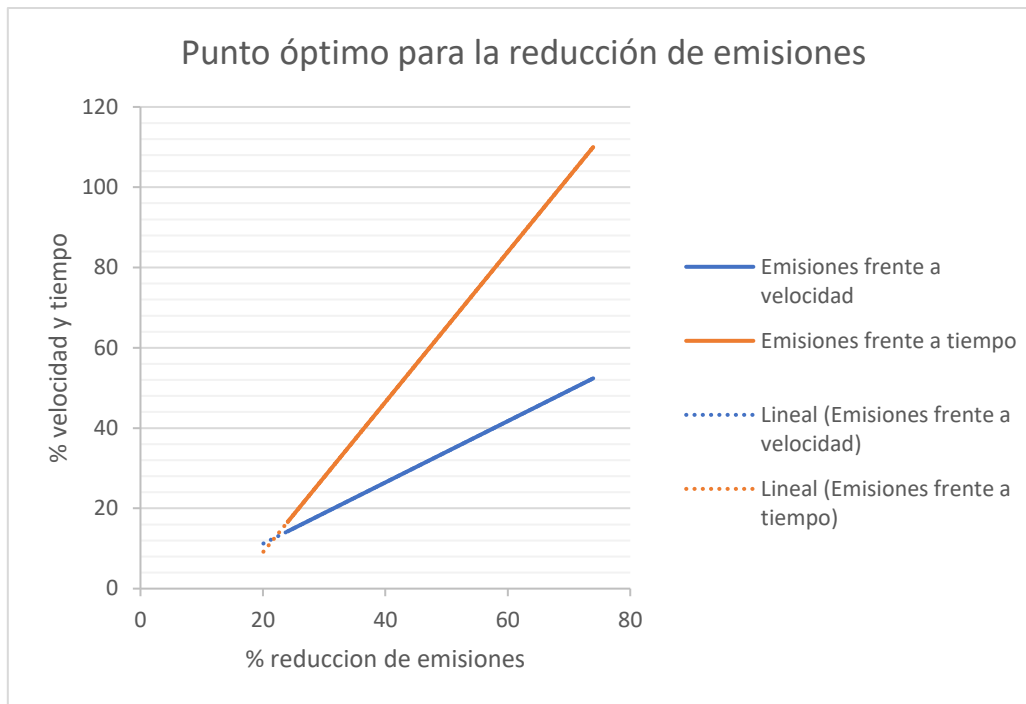


Figure 41: Optimal point for emission reductions.

Source: Own elaboration.

It is found that by reducing the speed by only 3 knots, 14,29%, the CO2 equivalents emissions are reduced by 24,07%, while travel time increases by only 16,7%. In the second scenario, the speed reduction is more significant, 52,38%, causing emissions to be reduced by 73,95%, but it has a time travel increase of 110%. It is therefore a measure with great power to achieve the reduction of the emissions, but a balance point must be found between speed and emission reductions and travel time increases. This balance point is found to be around a 15% reduction of speed, leading to a 22% reduction of emissions and a 15% increase in travel time, as shown in figure 41.

The polluting power of vessels is appreciable in this simulation that, in a short journey, compared to routes connecting much more distant maritime ports such as China and America, shows the enormous magnitude of the CO2 equivalent emitted taking into account the thousands of maritime journeys that take place every day. The fight to reduce the tonnes of CO2 equivalent emitted on each of these journeys must be fought and the most efficient way is by replacing fossil fuels with zero-emission fuels.

The data obtained about the GHG in the calculation of CO2 equivalent, 89,74% CO2, 7,98% CH4, 2,28 % of N2O coincide with the data presented in the work. Also, the compensation paid for delay is calculated, which could occur by reducing the speed, obtaining figures in the millions, as in the case of Ever Given.

Finally, the simulation includes a calculation that demonstrates the price of emissions for different types of current maritime fuels, giving an idea of the price that emissions would take in the European Union's emissions trading system. In this case, two fuels are taken, IFO380 and VLSFO, the former with a higher pollutant power, but with a lower price,

while VLSFO is a fuel with a lower sulphur content, i.e., a lower pollutant power but with a higher price. With the amount of fuel consumed, its price and the calculated emissions, the price of the emissions can be obtained, which is around 140\$/tonne of CO2 equivalent.

- Simulation of the investment needed to produce renewable hydrogen in Spain capable of reducing CO2 equivalent emissions from Spanish maritime freight transport to zero in 2050.

This simulation calculates, based on the data provided by the Spanish Government, the investment required to produce renewable hydrogen capable of covering the reduction of all CO2 equivalent emissions from maritime freight transport. For this purpose, the amount of CO2 equivalent emissions emitted in Spain per year is calculated. This figure is transformed into the investment necessary to produce enough renewable hydrogen to reduce them. The result is that an investment of 162.521,73 million euros is needed to reduce CO2 equivalent in 2020-2030, whereas currently only 5,48% of this figure is being invested.

These data are then applied up to 2050, in order to calculate the investment needed to reduce the CO2 equivalent of Spanish maritime freight transport to zero by 2050, which is the objective set at a global level, as explained in the work.

These data are calculated, obtaining that it would be necessary to invest 487.565,21 million euros up to 2050. Next, a series of cases are carried out in which the viability of achieving this objective is studied, taking into account different factors and obtaining these results:

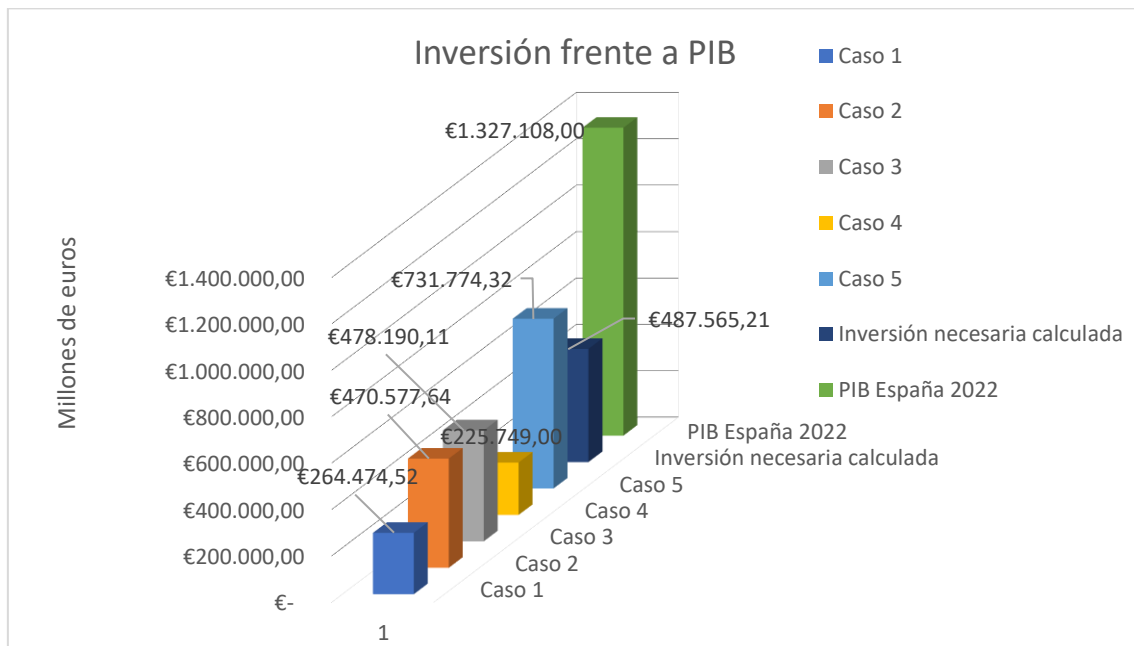


Figure 50: Investment versus GDP.

Source: Own elaboration.

A comparison of the different cases with the Spanish GDP in 2022 is made to be able to glimpse the dimension and magnitude of the investment necessary to achieve the objective set, considering that the logistics sector represented 2,8% of the Spanish GDP in 2020. The results are the following:

Caso 1	19,92%
Caso 2	35,46%
Caso 3	36,03%
Caso 4	17,01%
Caso 5	55,14%
Inversión necesaria calculada	36,74%

Figure 51: Investment as a percentage of Spanish GDP in 2022.

Source: Own elaboration.

The conclusions are the following:

- The maritime freight transport is the most efficient and complete means of transport, in general terms, and can maintain this position because of the qualities and traits that characterise it and that has developed and maintained over time.
- It counts with a vast structure that allows it to develop and optimise the work, facilitating the transit between port and through the maritime corridors, two very relevant aspects of the sector.
- Currently, the world has an extensive legislation and regulation that guides the path to reduce the pollution and to the net zero emissions. Of great importance are the Kyoto Protocol, the Paris Agreement, and the Green Deal.
- The maritime transport is the least polluting mode of transport, even so, the levels of emissions are more than significant, the reason why is striving to reduce emissions of polluting gases and greenhouse gases. The driver of it is the IMO and the actions taken by MARPOL.
- Among the most remarkable measures of the IMO, there are EEDI, SEEMP, EEXI and CII, as well as the ECA zones. Within the European Green Deal, the emission trading system and the program “FuelEU Maritime” stand out.
- There are many existing solutions to reduce the emissions in the maritime freight transport sector, such as reducing the speed, the development and modernisation of the infrastructure or the measures previously explained. Not forgetting the importance of the investment, not only in these solutions, but also in other factors like the renewable sources of energy, indispensable to produce the main protagonists, the fuels.

- Hydrogen and ammonia have taken the first places as the main options to become the future fuels due to their characteristics and capabilities that present them as substitutes of the fossil fuels. Their development and use are still in progress, existing numerous issues to fix, but they have emerged as the major competitors. The derivatives of the hydrogen, as it could be the ammonia or the methanol, all in their green variant, are the most possible options to be used. While there are many other alternative fuels, like the synthetic fuels or the biofuels that seem to be lagging as they do not meet with all the objectives and requirements set.

- In the simulation of the carbon footprint of a journey between European ports, the polluting power of fossil fuels is demonstrated as reflected in the CO2 equivalent of the journey. In addition, the impact of the solution to decarbonised based on reducing the speed of the vessels for the different scenarios presented is demonstrated, calculating the optimum point that coincides with the data exposed at work.
The GHG percentages described during the work are checked and two studies are carried out in which the losses of a delay are explained, such as the Ever Given case, and the price that emissions could have in the European Union emissions trading system are presented.

- In the simulation of the investment in renewable hydrogen, the importance of the investment can be seen: the higher the investment and the better is used, the sooner the transition to this type of fuel can be done. In the different cases studied, the magnitude of the investment needed to produce “just” enough renewable hydrogen to reduce Spanish maritime freight transport emissions to zero can be seen.
The size of this investment can be seen in comparison with the Spanish GDP, and the high percentages that this investment represents in the different cases can be clarified. The investment to achieve the use of this type of alternative fuels is enormous, but this should only lead to greater work and involvement of society to achieve this common goal, the decarbonisation of maritime freight transport,

Bibliography

Bibliography detailed in the work:

[OMI_s.f] International maritime Organisation (IMO). “Maritime freight transport”.

[EU_s.f] European Union (EU), “Maritime freight transport”.

[ANAVs.f] Spanish Shipowners’ Association (ANAVE), “Maritime freight transport”.

Índice

• 1. Introducción	30
• 2. Transporte marítimo de mercancías	34
• 2.1 Principales agentes del transporte marítimo de mercancías	38
• 2.2 Medios de transporte de mercancías marítimo	42
• 2.3 Puertos del transporte marítimo de mercancías	47
• 2.4 Principales puertos de la Unión Europea	49
• 2.5 Principales rutas marítimas de mercancías	52
• 3. Comparativa con otros medios de transporte	55
• 3.1 Impacto medio ambiental	58
• 4. Principales contaminantes, gases de efecto invernadero y su impacto en el transporte marítimo de mercancías	63
• 5. Situación actual	67
• 6. Regulación	79
• 6.1 Convenio de MARPOL	79
• 7. Objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	87
• 7.1 Protocolo de Kioto	87
• 7.2 Acuerdo de Paris	92
• 7.3 Pacto Verde	97
• 8. Soluciones para la descarbonización	101
• 8.1 Rutas verdes	106
• 8.2 Combustibles alternativos.....	111
• 8.2.1 Amoniaco	112
• 8.2.2 Hidrógeno	118
• 8.2.3 Combustibles sintéticos, metanol y biocombustibles	124
• 9. Simulación caso real: Huella de carbono de la exportación de mercancías desde el puerto de Algeciras (España) al puerto de Rotterdam (Países Bajos)	127
• 10. Simulación de la inversión necesaria para producir hidrógeno renovable en España capaz de reducir las emisiones de CO2 equivalente del transporte marítimo de mercancías español a cero en 2050	141

- 11. Conclusiones155
- 12. Bibliografía160
- Anexo I: Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.....168

Índice de Figuras

- Figura 1: Número de buques y contaminación	46
- Figura 2: Cantidad de TEU manipulados en los principales puertos europeos ...	51
- Figura 3: Mapa rutas marítimas	52
- Figura 4: Comparativa medios de transporte	55
- Figura 5: Emisiones del sector transporte en la UE	58
- Figura 6: GEI de los medios de transporte en UE	59
- Figura 7: Emisiones de medios de transporte de mercancías en la UE	61
- Figura 8: Emisiones de los medios de transporte en España	61
- Figura 9: Principales emisiones de GEI en la UE	65
- Figura 10: Variación comercio marítimo y PIB mundial	67
- Figura 11: Tasa de crecimiento de la flota mercante mundial	70
- Figura 12: Mercancía transportada a nivel mundial	71
- Figura 13: Evolución del comercio marítimo de España	72
- Figura 14: Agenda de actuaciones de la OMI	74
- Figura 15: Funcionamiento y cálculo del EEDI	75
- Figura 16: Funcionamiento CII	77
- Figura 17: Resumen medidas OMI	78
- Figura 18: Zonas de actuación Anexos MARPOL	82
- Figura 19: Zonas ECA	83
- Figura 20: Reducción SOx en la UE	84
- Figura 21: Sistema de cálculo de NOx	85
- Figura 22: Emisiones GEI del Anexo B	90
- Figura 23: Variación temperatura mundial	93
- Figura 24: Sistema de adopción de medidas para el desarrollo	94
- Figura 25: Medidas para la reducción de GEI, OMI y UE	100
- Figura 26: Inversión transporte marítimo	102
- Figura 27: Reducción de velocidad en buques	105
- Figura 28: Comparativa de la energía de producción de combustibles	110
- Figura 29: Producción de amoniaco	113
- Figura 30: Sistema de repostaje de amoniaco en alta mar	116
- Figura 31: Estimaciones del coste del hidrógeno	120
- Figura 32: Producción de combustibles sintéticos cero emisiones	124
- Figura 33: Planta de producción de metanol verde	126
- Figura 34: Precio combustible marítimo VLSFO	127
- Figura 35: Precio combustible marítimo IFO380	127
- Figura 36: Factores de emisión GEI	129
- Figura 37: Densidad de conversión de los combustibles	129
- Figura 38: Consumo de combustible según tamaño y velocidad del buque	130
- Figura 39: Combustible consumido según velocidad.....	132
- Figura 40: Resultados simulación	134
- Figura 41: Punto óptimo para la reducción de emisiones	135
- Figura 42: Porcentajes GEI	136
- Figura 43: Índice SCFI	138

- Figura 44: Estimación de producción de hidrógeno para 2050	141
- Figura 45: Primer caso	144
- Figura 46: Segundo caso	146
- Figura 47: Tercer caso	148
- Figura 48: Cuarto caso	151
- Figura 49: Quinto caso	152
- Figura 50: Inversión frente a PIB	154
- Figura 51: Porcentaje de inversión respecto al PIB español en 2022	154

1. Introducción

“La COP es una oportunidad única para acelerar los esfuerzos mundiales para hacer frente al cambio climático. Todas las industrias deben formar parte del viaje para alcanzar las emisiones netas cero y mantener los objetivos de temperatura de París a su alcance. Como presidente de la COP, acojo con satisfacción el Llamamiento a la Acción para la Descarbonización del Transporte Marítimo y su claro mensaje de que los líderes de todo el sector marítimo están dispuestos a trabajar con los gobiernos para descarbonizar totalmente el transporte marítimo internacional para 2050”

Con esta afirmación, el presidente de la COP26, Alok Sharma, invitaba al mundo a escuchar a la cadena de valor del sector del transporte marítimo, haciendo un llamamiento a alcanzar los objetivos impuestos en el Acuerdo de París y mantener una posición firme respecto a la descarbonización total del transporte marítimo internacional.

Estas palabras han sido un pilar fundamental y han marcado una dirección clara en el sector. Fue en 2021 cuando se produjeron y desde entonces el trabajo y la decisión en llevar a cabo este cambio necesario no han cambiado. En la última conferencia sobre el clima, la COP27, celebrada en noviembre de 2022 en Egipto, esta visión no se ha visto reducida o apaciguada. Al contrario, en el marco de una conferencia en donde los acuerdos alcanzados entre los países participantes fueron escasos, las acciones y actuaciones que el sector marítimo está llevando a cabo y propone realizar han sido de los más destacados. No se ha dado un paso atrás en cuanto a enfrentar el problema, ni se ha rebajado la expectativa sobre los acuerdos y objetivos que se han marcado respecto al sector del transporte marítimo. Los países, grandes empresas del sector y las organizaciones de mayor relevancia dentro de este marco, como es la OMI, siguen manteniendo su postura y apuesta en la dirección marcada. Un ejemplo claro es la postura adoptada por la OMI, que ha reafirmado su apuesta, comprometiéndose a tener un carácter más ambiciosa respecto a la descarbonización del transporte marítimo.

La descarbonización juega una parte vital dentro del plan para lograr la neutralidad climática. El cambio climático es una realidad cuya relevancia ha ido aumentando hasta alcanzar las cotas de importancia que tiene hoy. El nivel de alarma ante el que se encuentra el mundo es muy elevado, tratándose de una problemática a nivel global en la que todos los participantes juegan un papel decisivo para poder revertir la situación y poder mantener nuestro planeta en unas condiciones óptimas para el desarrollo de la vida. El objetivo de la descarbonización es reducir las emisiones de carbono a la atmósfera, dentro de estas emisiones se encuentran muchos gases conocidos como gases de efecto invernadero, ocupando el dióxido de carbono un puesto destacado por sus efectos nocivos y la magnitud de sus emisiones. Para poder lograr la descarbonización se debe actuar en un espectro muy amplio, el cual afecta a muchas actividades que se desempeñan hoy en día, afectando a la producción, distribución y consumo de todos los productos. El camino para poder reducir las emisiones a niveles más bajos es llevar a cabo una transición ecológica, en la cual se reduzca la dependencia en las materias que provocan la emisión de estos gases nocivos, poniendo el foco principalmente en los combustibles fósiles.

Ante esta situación, la principal respuesta coordinada e internacional que se ha dado es el Acuerdo de París, el cual tiene como objetivo principal el limitar el aumento de la temperatura global en este siglo en 2°C, tratando que el aumento no llegue a superar los 1,5°C, respecto a la época preindustrial. Sin embargo, la Organización Meteorológica Mundial publicó en un comunicado que en 2020 la temperatura estuvo 1,2°C por encima de las temperaturas de la era preindustrial, y realizó una predicción en la cual estableció un 20% de probabilidad de que el aumento de la temperatura a partir de 2024 sería temporalmente superior a los 1,5°C, cifra marcada en rojo por el Acuerdo de París.

El secretario general de las Naciones Unidas, António Guterres, alzó la voz ante esta situación en la ya citada COP27, con una cita la cual presenta una visión muy pesimista pero que llama a una respuesta inmediata.

“Las emisiones de gases de efecto invernadero siguen creciendo. Las temperaturas globales siguen aumentando. Y nuestro planeta se acerca rápidamente a puntos de inflexión que harán irreversible el caos climático. Estamos en una autopista hacia el infierno climático con el pie en el acelerador.”

A la cual la presidenta de la Comisión Europea, Ursula von der Leyen, parecía responder dejando claro el camino a seguir aprovechando la situación que se vive con los elevados precios de los combustibles fósiles.

“La crisis mundial de los combustibles fósiles debe cambiar el juego. Así que no tomemos la ‘autopista al infierno’, sino que ganemos el billete limpio al cielo.”

Como se puede observar se trata de un tema del que nadie escapa y el cual necesita una respuesta inmediata. Esta respuesta parece estar siendo bien escuchada por el transporte marítimo de mercancías, el cual ya ha comenzado a ganarse “ese billete limpio” y parece ser un sector puntero en el que los actores principales se han visto apelados y llamados a la acción. Y es que, aunque el sector del transporte marítimo haya sido cómplice y actor en la polución y en la emisión de gases de efecto invernadero, no quiere permanecer como causa y perpetrador del cambio climático, sino más bien convertirse en herramienta y brújula en la búsqueda de soluciones viables y posibles para reducir las emisiones y lograr la descarbonización. Siendo un ejemplo de cómo un sector puntero, con gran peso en la economía mundial, es capaz de dar respuesta a este llamamiento.

La industria del transporte marítimo de mercancías lleva ya varias décadas poniendo el foco en reducir las emisiones contaminantes de la totalidad de la cadena que configura este sector. Ya en 1997, la OMI estableció una resolución para controlar la emisión de gases GEI, este primer aviso ha ido elevando su nivel de aviso y de actuación en concordancia al incremento del nivel de importancia que ha ido adquiriendo los temas relacionados con el medio ambiente y su estado de la mano con los datos y conclusiones que se han podido extraer recientemente. En 2013 se introducían nuevas herramientas regulatorias con las cuales poder hacer frente y controlar las emisiones y la eficiencia dentro del sector. Se introducían requerimientos obligatorios en lo relacionado al diseño de nuevos buques, estableciendo unos estrictos límites para la intensidad de carbón, los denominados EEDI. A su vez, para incrementar la eficiencia de todos los buques se introduce SEEMP.

En los siguientes años se continuó con el trabajo, concretando y aumentando los objetivos, fortaleciendo los requerimientos establecidos, marcando límites y objetivos cuantificables y obligando a ciertos buques a la recolección de datos respecto al consumo de combustibles fósiles para su estudio y análisis.

Los EEDI, se han ido fortaleciendo y han visto como se han ido sucediendo diferentes fases. Desde la fase 1 en la que se buscaba la reducción en un 10% de la intensidad de carbono de los buques hasta el 20% de 2020.

Se puede observar que muchas de las medidas tomadas hasta ahora se enfocan en reducir la cantidad de emisiones de CO₂, pero también se ha comenzado la reducción de otros grandes contaminantes como son los óxidos de azufre y nitrógeno, los aceites o las partículas que los buques desprenden.

Pero, los buques comparten el foco con otro actor que tiene también una importancia mayúscula para poder hacer frente a los gases y emisiones que contribuyen al efecto invernadero y la contaminación en este sector. Se trata de los puertos, se deben analizar todas las actividades que se desarrollan en él y todos los agentes que los componen para poder así entender de una forma más completa el transporte marítimo. Si tan solo se centrara el trabajo en los buques, se estaría dejando de lado una parte más que significativa del transporte marítimo de mercancías. Dentro de los puertos se encuentran causas y causantes de emisiones, no tan solo de una gran cantidad de gases nocivos, sino de partículas, líquidos y contaminantes de otro tipo, como es la contaminación acústica y submarina.

Todos estos objetivos y metas que se marca el sector están muy relacionados y se ven alineados con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible que Naciones Unidas con la colaboración de la gran mayoría de los líderes mundiales adoptaron con el objetivo de poder asegurar un progreso en materias esenciales como la pobreza, la prosperidad de los seres vivos y la protección del planeta. En ellos se encuentran metas con las cuales tienen gran afinidad los objetivos marcados por el transporte marítimo de mercancías, como son la acción por el clima, la producción y consumo responsable y debido al medio en el que se da la actividad del transporte marítimo de mercancías, la protección de la vida submarina.

Pero, como se puede observar, el transporte marítimo de mercancías, aun siendo una pieza indispensable no puede englobar a toda una industria como es la del transporte y mucho menos a todos los sectores e industrias que componen el tejido comercial y mercantil mundial. Es por ello por lo que hay que tratar de entender este problema y el foco en el que ponemos a este sector, desde la magnitud que tiene este método de transporte y la problemática que se está abordando. A su vez, también cabe citar que se emplea una visión global e internacional pero muy marcada por la situación y el contexto de la Unión Europea y en especial de España.

En este proyecto se analizará el transporte marítimo de mercancías, desde sus características principales, agentes y mecanismos de funcionamiento, pasando por los rasgos más significativos como son los puertos o las rutas marítimas, analizando la regulación principal del sector y los objetivos medioambientales marcados en el transporte marítimo y a nivel global, dando un contexto y una explicación de ellos, hasta

alcanzar las soluciones en forma de medidas, regulaciones, leyes y nuevas tecnologías con los que lograr el objetivo de descarbonizar todo el sector marítimo del transporte y en especial el de las mercancías. Mediante el estudio de este método de transporte se dará a conocer su impacto en el cambio climático y en la emisión de gases de efecto invernadero. Conociendo las causas, analizándolas y entendiéndolas se podrán extraer conclusiones con las cuales aportar soluciones empleando los métodos que ya se están utilizando y proponiendo posibles soluciones y mecanismos futuros con los que lograr alcanzar los grandes objetivos acordados como son los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Acuerdo de París y poniendo la vista en el objetivo fijado de cero emisiones netas para 2050, es decir, la descarbonización completa del transporte marítimo de mercancías para dicha fecha.

Se estudiará la viabilidad del proyecto desde tres puntos de vista conjuntos. Se analizará de forma técnica tanto el transporte marítimo como las posibles medidas para alcanzar los objetivos, complementando esta visión con una mirada económica y legal con la que poder discernir la viabilidad real del trabajo. No quedándose tan solo en los datos más puros y en las propuestas técnicas, sino aportando un estudio económico y apoyándose en los aspectos legales con los que poder dar explicaciones y conclusiones ajustadas con la realidad.

Mediante la investigación que se ha llevado a cabo, aplicando una visión clara y alineada con la realidad, se presenta el estado en el que se encuentra el transporte marítimo de mercancías, la relación que mantiene con la emisión de gases de efecto invernadero y el cambio climático y las posibles medidas a adoptar para reducir su repercusión en el medio ambiente. Para poder realizarlo, se emplearán informes y documentación aportada por medios acreditados como las Naciones Unidas, diferentes organismos de la Unión Europea, OMI, ANAVE y otras fuentes especializadas en el sector marítimo y del medio ambiente.

2. Transporte marítimo de mercancías

El transporte marítimo es el medio de transporte más utilizado para el comercio de mercancías a nivel mundial, convirtiéndolo en el principal eslabón del comercio internacional representando desde el 80% al 90% del movimiento de mercancías alrededor del planeta.

A continuación, se llevará a cabo un análisis del sector del transporte de mercancías marítimo, se expondrán las principales características del sector, desde los agentes que lo componen a los principales puertos y rutas empleadas por los diferentes buques que se emplean hoy en día. Para analizar este transporte se pone el foco en los tres aspectos con los que se analiza cualquier proceso: tiempo, dinero y calidad.

Las principales características que le convierten en un método de transporte tan atractivo y empleado son las siguientes:

- **Relación distancia – precio:**
Se trata de un medio de transporte muy competitivo en el aspecto económico. Se puede pensar que los gastos de enviar la mercancía por mar serán mucho más elevados que otros transportes ya que hay que tener en cuenta los gastos del combustible, la tripulación, el mantenimiento de los buques, los precios de atraque o los diferentes costes que se deben pagar en cuestión medioambiental o de uso de diferentes rutas. Sin embargo, el coste de los fletes marítimos es muy competitivo con respecto a los métodos terrestres o aéreos. Especialmente cuando se trata de llevar gran cantidad de mercancías a destinos alejados del emisor, en este caso, no se encuentra competidor que pueda disputarles la superioridad a las embarcaciones.
- **Volumen de mercancía:**
Este aspecto es en el que más se distingue el transporte marítimo frente a sus competidores, no hay otro medio capaz de transportar el volumen de mercancía que pueden cargar buques como los portacontenedores. La capacidad de carga de las embarcaciones lo convierte en la única forma de poder alimentar una demanda creciente a nivel mundial.
- **Versatilidad y adaptabilidad de la flota:**
Hoy en día, se dispone de una flota que permite adaptarse a los diferentes requerimientos de carga que se presentan. Se analizará la flota con la que las navieras son capaces de dar respuesta a los diferentes tipos de carga que se transportan. No hay otro medio de transporte capaz de adaptarse a la carga de la manera que permiten los buques, capaces de transportar gases, líquidos, sólidos y seres vivos, permitiendo transportar sustancias con características y especificaciones propias, como es el caso de sustancias nocivas o del gas natural.

- Seguridad y fiabilidad:
Se trata de un método de transporte en el que los accidentes son muy poco comunes, por lo tanto, la perfecta condición de la mercancía esta siempre asegurada. La mercancía llega a tiempo en la mayoría de los casos, sin embargo, como se verá a continuación, se trata de un método de transporte en el que el apartado climatológico y logístico juegan un papel muy relevante, es por ello por lo que, aunque es un transporte seguro y fiable puede sufrir de congestión y retrasos.

Como se puede observar el sector marítimo cuenta con unas características con las que la competitividad económica y técnica están aseguradas. Pero también cuenta con ciertas desventajas:

- Tiempo de transporte:
El transporte marítimo es un medio lento, todo lo que lo rodea implica un importante consumo de tiempo, desde los trámites necesarios para el atraque y navegación, los permisos necesarios, la carga de la mercancía hasta la velocidad que llevan los buques. No se trata de un medio en el que los tiempos sean cortos, por lo que si se necesita que la entrega sea rápida seguramente este método de transporte no sea el indicado para ello. También, hay que aclarar, que esto se debe a la cantidad de carga que es capaz de transportar, lo que provoca que todo lleve más tiempo y principalmente a toda la documentación y regulación que lo caracteriza pero que permite que sea un transporte seguro y organizado.
- Tramitación:
Como se expresaba en el anterior punto, los trámites necesarios para poder enviar la mercancía por mar son numerosos y complejos. Es necesario cumplir con todos los procesos de embarcación y envío de la mercancía, así como con los procesos y regulación de seguridad y medioambientales, lo que conlleva el empleo de mucho tiempo. Estos tiempos se han ido recortando y el sector se ha ido optimizando y agilizando, un ejemplo es la aparición de la figura del agente de operaciones logística, el cual es el encargado de tratar de acelerar estos procesos, haciéndolos más eficientes y optimizando todos los procesos propios del transporte de mercancías, asesorando y trabajando junto a los principales agentes del transporte marítimo.
- Retrasos y congestiones:
Como aspecto positivo de enviar mercancía por mar se ha citado la seguridad y fiabilidad de este método de transporte. Pero también hay que destacar que los buques tienen ciertas limitaciones e inconvenientes en cuanto al medio que emplean, el mar. Están condicionados por la climatología, es decir, dependen en gran parte de las mareas, los flujos de aire y las condiciones climatológicas, esto provoca que puedan sufrir importantes retrasos, siendo las cancelaciones muy pocos probables. A su vez, es un medio que este sujeto al mar es por lo que las rutas marítimas y los puertos juegan un papel crucial, si no hay un puerto o una

ruta marítima por los que transitar no se puede llevar a cabo el trabajo, provocando las ya nombradas congestiones.

- Dependencia:

Esta cuestión está muy ligada a la anterior, al ser un medio que se desenvuelve en el medio marítimo, depende en la mayoría de los casos de otros medios de transporte para llegar al receptor final y para poder llevar a cabo procesos como la carga y descarga de mercancías. Lo que lo convierte en dependiente de, principalmente, el transporte terrestre para abastecerlo en los puertos y para llevar la mercancía al punto final.

En resumen, en una visión global y aplicando los tres criterios expuestos se puede extraer:

Se trata de un método de transporte en el que el apartado de competitividad económica alcanza cotas muy altas debido a la capacidad de transportar todo tipo de mercancías, en grandes volúmenes a distancias muy amplias. En cuanto a la calidad, la seguridad y la fiabilidad son dos aspectos claves en los que el sector cumple ampliamente. Pero, sin embargo, en el tiempo se encuentra el gran lastre de este sector, un sector en el que los tiempos son mayores que en la competencia, siendo necesario una gran tramitación y con un alcance e independencia limitado.

El transporte marítimo es un sistema para la distribución de mercancías asentado en rutas comerciales centenarias. El papel fundamental que juegan los buques mercantes queda fuera de toda duda, para poder asegurar el correcto funcionamiento de la cadena de suministro, el engranaje del sector marítimo debe estar totalmente engrasado. El retraso de un buque o el bloqueo de una ruta comercial puede acarrear consecuencias que llegan a afectar las vidas de personas a miles de kilómetros. Un ejemplo reciente es el encallamiento de un gran portacontenedores, el Ever Given, en uno de los puntos más críticos de las rutas navieras, el canal de Suez.

Se trataba de un portacontenedores que trasladaba mercancía desde Asia al puerto de Rotterdam (Países Bajos). El enorme buque de bandera panameña, pero propiedad de la naviera taiwanesa Evergreen, se encontraba atravesando los estrechos canales del canal de Suez cuando debido a una serie de calamidades quedó encallado en mitad del canal tras chocar con las dos orillas, quedando en una posición diagonal bloqueando por completo una de las principales rutas mundiales. Quedó encallado desde el 23 de marzo hasta el 29 del mismo mes de 2021, apenas 6 días en los que el mundo pudo observar la fragilidad de la cadena de suministro y de un sector que quedaba avergonzado. El buque con una carga de 20.000 contenedores interrumpía el tránsito en ambos sentidos. Una serie de factores comunes, como son la mala climatología y una serie de infortunios, en las que se pone el foco en las cuestionables maniobras de los operarios del canal y del barco, provocaban la parada de casi todo un medio de transporte.

El bloqueo provocado por el Ever Given provocaba el atasco de más de 100 buques, que esperaban una respuesta rápida y eficiente, respuesta que no llegó, provocando la parada, en medio del canal, de mercancías con un valor cercano a los 10.000 millones, produciendo retenciones y retrasos a nivel mundial. La magnitud de las consecuencias

eran tales, que el precio de la electricidad llego a verse afectado aumentando su valor a nivel mundial por la situación que se estaba dando en un estrecho canal de Egipto.

Con esta situación queda claro la grandiosidad del transporte marítimo, pero también muchos de los inconvenientes que tiene. Los buques han ido aumentando de tamaño de manera más que considerable en las últimas décadas tratando de dar respuesta al incesante aumento de producción y de demanda. La globalización de la economía provoca que se necesiten buques cada vez más grandes que permitan el transporte de más mercancías. Sin embargo, como en este caso, el avance de los buques a veces no se ve reflejado en la adaptación de puertos y rutas que ven como estos gigantes cada vez son más complicados de manipular.

En este contratiempo que se vivió en 2021 podemos extraer varios de los grandes inconvenientes que tiene este método de transporte y que han sido expuestos previamente.

Las condiciones climatológicas es uno de los inconvenientes principales, si es verdad que la climatología afecta a todos los métodos de transporte, pero el marítimo se ve espacialmente afectado, provocando retrasos, retenciones y numerosos problemas tanto para el tránsito como para la carga y descarga de la mercancía. Pudiendo llegar a accidentes como el explicado previamente, siendo los encallamientos y los hundimientos los casos más extremos y menos probables.

Los tiempos de transporte también suponen una desventaja frente a otros métodos en los cuales la rapidez de entrega de mercancías juega un papel crucial. Cuando se compara los buques con los aviones o con el transporte terrestre, una de las bazas principales que juega en contra de los buques es la lentitud, no tan solo se debe a la velocidad de los barcos, otra parte muy importante son los procesos de carga y descarga de la mercancía, así como los ya nombrados, procesos y trámites necesarios que conllevan retrasos y tiempos de espera más que considerables. Aun así, la rapidez del transporte marítimo ha ido aumentando y perfeccionándose para ser lo más competitivo posible.

2.1 Principales agentes del transporte marítimo de mercancías

Dentro de la cadena del transporte marítimo de mercancías sobresalen varias figuras sin las cuales es difícil de mantener en funcionamiento este sector. Para el correcto funcionamiento de la cadena debe haber una comunicación fluida entre todas las partes. Como se ha expresado, el tiempo es uno de los hándicaps de este método de transporte, estos son los encargados de tratar de acelerar todos los procesos y lograr que la cadena no sufra retrasos, así como cumplir con sus obligaciones.

Los principales actores son los siguientes:

1. Expedidor: empresa interesada en exportar mercancías. El expedidor se pone en contacto con el transitario para que este gestione el proceso.
2. Transitario: es una figura que actúa como intermediario, se encarga de gestionar la mercancía de su cliente, organizándola para su correcto tránsito desde la salida de la mercancía hasta el destino final.
3. Armador y empresa naviera: el armador es el responsable de la gestión operativa del buque, explota y fleta el buque y en muchos casos es también el poseedor del buque, pero también lo puede arrendar. Tiene ciertas connotaciones que lo diferencian del naviero que se pueden encontrar en la Ley de Navegación Marítima (LNM) y que hacen referencia a explotación y pertenencia de los buques. La empresa naviera realiza la gestión comercial del buque.
4. Estibador: operario que se encarga de llevar a cabo la carga y descarga de la mercancía en el puerto, lo llevan a cabo mediante el uso de maquinaria.
5. Consignatario marítimo: es la representación del armador o de la compañía naviera en el puerto. Su función es hacerse cargo de los trámites administrativos y supervisar los movimientos de la mercancía en el puerto.
6. Representante de aduanas: es un operario portuario encargado de llevar a cabo los trámites aduaneros para la importación o exportación de mercancía.

Existen más figuras como son el remolcador, ayuda a los buques en los puertos, el práctico que asesora al capitán o el operador logístico, previamente citado, que se encarga de asesorar al resto de actores para tratar de optimizar los procesos y reducir los tiempos.

Cabe destacar que la primera persona a la que el expedidor reclamará responsabilidades ante cualquier circunstancia que tenga relación con la mercancía será el transitario, el cual tendrá que responder y discernir de quien es la responsabilidad dentro de la cadena de agentes del sector. Es por ello por lo que dentro de la cadena de responsabilidades se cuenta con una gran normativa que se acompaña con numerosos seguros de responsabilidad y pólizas de seguros.

A su vez, hay que aclarar que existe diferencia entre el armador y el fletador, el fletador es parecido al transitorio, es el encargado de controlar la carga y pagar, mientras que el armador ha sido previamente descrito. Estas figuras son de gran importancia para entender las modalidades del transporte de mercancías marítimo.

Las principales organizaciones en las que se encuentran representados los principales agentes del transporte marítimo son los siguientes:

- Organización Marítima Internacional (OMI): se trata del organismo perteneciente a las Naciones Unidas que se encarga de establecer el marco institucional de la navegación marítima internacional. Esta condición le convierte en la máxima autoridad encargada del transporte marítimo y por ello establece la regulación por la cual se rige la navegación marítima internacional. Estableciendo las normas a seguir para alcanzar la sostenibilidad, eficacia, seguridad y justicia dentro de este sector, trazando la hoja de ruta y estableciendo la forma de actuar de este para poder adaptarse a las diferentes necesidades del sector y a los retos que se presentan, como es convertir el transporte marítimo en un sector con cero emisiones netas.
- International Chamber of Shipping (ICS): la Cámara Naviera Internacional es una institución independiente en la que está reflejada más del 80 % de la flota mercante mundial, se presenta como uno de los principales organismos del transporte marítimo que se encarga de representar a los armadores y defender sus intereses ante las diferentes instituciones y organismos a nivel mundial, como puede ser ante la UE o OMI.
- Foro Marítimo Global: es una organización independiente en el que los agentes del sector tratan los temas más representativos y de mayor trascendencia para el desarrollo y mejora del transporte marítimo. Dentro de esta organización nace la denominada “Getting to zero Coalition”, la cual congrega más de 200 participantes de diferentes partes de la sociedad que se unen para lograr el objetivo de cero emisiones en el transporte marítimo para 2050 mediante el uso de buques y combustibles con cero emisiones.
- World Shipping Council (WSC): es el principal organismo mundial de transporte marítimo en línea regular, método de transporte que se explicará en el apartado de medios de transporte de mercancías marítimos. Su labor es la representación de este sector del transporte marítimo.

- Baltic and International Maritime Council (BIMCO): es una organización internacional independiente formada por más de 2.000 miembros del sector del transporte de mercancías marítimo, en ella se apoya el desarrollo del sector, a la vez que se impulsa y se ayuda al desarrollo de sus miembros, mediante la creación de contratos, regulación del sector y la búsqueda de soluciones para los problemas actuales y futuros que se presentan al sector. BIMCO aglomera a más del 60 % de la flota mundial.
- International Shipping Federation (ISF):
Forma parte de ICS, en un inicio estaban separadas y finalmente se unieron bajo ICS, se encarga de representar a todos los empleadores del transporte marítimo.

A nivel nacional destaca:

- ANAVE: se trata de la Asociación de Navieros Españoles, esta se encarga de representar y defender los intereses de las empresas navieras españolas, para ello participa a nivel estatal e internacional en todo aquello relacionado con el sector, como es BIMCO, ICS o ISF.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana: como se indicará más adelante en el apartado de puertos marítimos, en España este ministerio es el encargado de la gestión del transporte marítimo y lo relacionado con este, como son los puertos nacionales.

Para conocer el trabajo que llevan a cabo los agentes es importante conocer los principales documentos que deben adquirir, manejar y presentar para poder transportar la mercancía de puerto a puerto. En estos documentos se ve reflejada mucha de la tramitación que es necesaria llevar a cabo y la regulación con la que cuenta este tránsito de mercancías.

1. Lista de contenido o Packing List:

Es una lista en la que se declara todo el inventario que va a ser transportado en el buque. En este se detallará de la forma más precisa posible la mercancía que se transporta, así como, su peso, volumen y cantidad.

En este documento debe quedar contemplada toda la mercancía que se va a transportar pudiendo así comprobar y verificar fácilmente dicha mercancía, facilitando así la labor del resto de la cadena de transporte.

2. Bill of landing (B/L):

Se trata de un documento con el que la naviera afirma y verifica el haber recibido de forma correcta la mercancía para ser transportada. A su vez, también debe ser presentada por parte de la naviera para poder descargar la mercancía, por lo que, a grandes rasgos, se puede decir que es un comprobante con el que la naviera da cuenta del tránsito de la mercancía desde su carga hasta su descarga. En el B/L se

indica información esencial que debe corresponderse a su vez con lo indicado en el Packing List, como el expedidor, el buque empleado, la mercancía a transportar o el consignatario.

3. Certificado de origen:

En este documento se especifica el país del cual procede la mercancía. No es solo útil para identificar el origen de la carga, sino principalmente para determinar los impuestos y aranceles a los que estará expuesta esta mercancía, ya que según los acuerdos entre los países y la regulación aduanera el precio variará. Son documentos estandarizados que serán entregados por parte de la Cámara de Comercio Internacional, existiendo diferentes tipos según el origen.

4. Factura comercial:

Es una factura del proceso en la que también se detallan las características de la mercancía a transportar, así como detalles del acuerdo que se tiene con los agentes de la cadena de transporte. Es un documento necesario para obtener el Despacho de Aduanas.

5. Despacho de aduanas:

Hace referencia a toda la documentación que hay que tener y aportar para poder importar o exportar mercancía, es el caso de todos los documentos anteriores. Este proceso se realiza en las aduanas portuarias y es en este proceso en el que se determinan los aranceles impuestos según el certificado de origen y en que aparece la figura del representante de aduanas.

6. Carta de crédito:

Es un documento que hace referencia al pago del proceso. Por lo tanto, no es como los anteriores documentos que serán necesarios para lograr que la mercancía llegue a su destino. Mediante este documento el vendedor se compromete a pagar siempre que se cumplan con las diferentes cláusulas impuestas entre vendedor y comprador.

Se comprueba la gran tramitación y documentación que hay que aportar para poder transportar mercancía por vía marítima, se invierte mucho tiempo en este aspecto y da valor a la figura del operador logístico. A su vez, esta documentación es un reflejo de la gran seguridad que caracteriza este método de transporte, en el que todo está debidamente regulado y controlado, conformando un sector organizado que pueda hacer frente al gran peso que tiene en el comercio.

2.2 Medios de transporte de mercancías marítimo

Según el tipo de mercancías que se vaya a transportar se empleará un tipo de buque que cumpla con las necesidades para el transporte de dicha materia. A través de un estudio de ANAVE se anunciaba que la flota mercante en 2018 estaba formada por 58.329 buques, según la empresa VesselsValue, esta cifra en 2022 disminuía hasta los 58.067, aunque aclaraban que había sufrido un aumento respecto a 2018, año en el que la flota estaba constituida por 51.651 naves. Como se puede comprobar, las cifras no están muy claras y dependen de los criterios que se empleen, aunque los de VesselsValue concuerdas más con los datos que se ofrecerán en el apartado del trabajo “Situación actual” en la figura 11.

La flota mundial está compuesta por diferentes tipos de buques, los principales son los siguientes:

-Buques de carga general: son buques básicos cuyo uso ha disminuido con la llegada de los contenedores, se caracterizan por el transporte de bolsas o pallets (no contenedores) que se manipulan con grúas que suelen ir incorporadas en el propio buque.

-Portacontenedores: son los buques más utilizados actualmente para el transporte de mercancías por mar, si la carga no va suelta. Se caracterizan por el transporte de contenedores, los contenedores se caracterizan por su facilidad de manipulación y almacenamiento y su gran volumen para transportar mercancía. Se emplean grúas para su carga y descarga.

-Graneleros: Buques especializados en el transporte de cargas secas y sueltas como son el grano, el carbón, minerales. Estas materias se caracterizan por su relación peso/precio. Se descargan mediante tolvas o grúas con extremos pala a silos o almacenes. Actualmente son los buques más empleados.

-Buques Roll On- Roll Off: son buques especializados en el transporte de mercancía con ruedas, de coches a grandes camiones. Están especialmente acondicionados para la carga y descarga de estos.

-Buques frigoríficos: buques acondicionados para poder mantener unas condiciones térmicas óptimas para el transporte especialmente de alimentos, principalmente alimentos perecederos como carne, pescado, fruta y verdura. Su uso es cada vez menor debido a la llegada de los contenedores frigoríficos que permiten mantener las condiciones térmicas necesarias y son transportados en portacontenedores.

-Petroleros y metaneros: son buques especializados en el transporte de petróleo y gas natural licuado, respectivamente. Los petroleros son buques cisterna que transportan grandes cantidades de petróleo y sus derivados, debido a sus dimensiones muchos deben atracar en alta mar. Los metaneros están especializados en el transporte de gas natural que transportan en tanques esféricos.

Buques para ganado: son buques acondicionados y especializados en el transporte de ganado vivo.

-Buques de cargas químicas: buques utilizados por la industria química caracterizados por tener numerosos tanques para que las sustancias químicas no se mezclen.

Los buques más utilizados para el transporte de mercancías, para materias que no necesitan un tratamiento o manipulación específico y que no se llevan sueltas, son los portacontenedores. Los contenedores se comienzan a emplear en los años setenta y supusieron una gran revolución en el sector ya que permitía reducir el coste y el espacio empleado para el transporte de la mercancía. Se emplea mejor el espacio, aprovechando el volumen de los contenedores que eran más fáciles de manipular en los puertos para la carga y descarga. El uso de grúas se convirtió en la práctica más eficiente y común que permiten una rapidez y facilidad para el tratamiento de los contenedores, esto no lo permiten otras formas de almacenar carga como son los pales, las bolsas o las jaulas. En el mundo naviero se utiliza una medida específica para medir los contenedores, es la unidad TEU (Twenty-foot Equivalent Unit), y los contenedores más empleados son los de 20 pies, 20', que equivale a 1 TEU y los de 40 pies, 40', que equivale a 2 TEU. Para dar una dimensión de la carga que pueden transportar los portacontenedores, estos pueden llegar a cargar entre 3.000 a 15.000 desde los portacontenedores pequeños a los grandes, los portacontenedores más grandes y modernos pueden llegar a cargar como máximo 24.000 TEU. Un TEU se considera que este alrededor de los 22.000 kg.

Dentro de la carga de contenedores, se distinguen dos prácticas que tiene que ver con la mercancía que transportan y el propietario de esta. Esto da lugar a que se puedan distinguir los denominados FCL's, en los cuales toda la mercancía pertenece a un único expedidor, y los LCL's en los que los contenedores son compartidos entre diferentes expedidores. Serán empleados según las necesidades del expedidor y del volumen de la carga, así como de la disponibilidad de contenedores. Lo más común es el LCL.

La materia que transportan estos barcos se puede clasificar en carga general a granel y carga convencional. Dentro la carga general a granel, se distingue la carga líquida, sólida y gaseosa. En el apartado de los sólidos se encuentran minerales, carbón, cereales, grano, fertilizantes, grava, materiales de construcción...Estas mercancías son las que se encargan de transportar los nombrados graneleros, los cuales cuentan con numerosos compartimentos en lo que se disponen las diferentes materias y son los buques más numerosos dentro de la flota mundial, como se observa en la figura 1.

La carga líquida y sólida, como puede ser el petróleo, el gas natural o las sustancias químicas se trasladan en tanques que se cargan y descargan mediante un sistema de tuberías. Estas mercancías son las que transportan, por ejemplo, los petroleros, los metaneros y los buques de cargas químicas.

Mientras que la carga general o convencional es la mercancía que se distribuye introducida en contenedores, pales, sacos, empaquetados, en bolsas o envueltos. Esta mercancía se distribuye en los portacontenedores, en los buques frigoríficos, en los Roll On-Roll Off o en los buques de carga general.

Por último, cabe resaltar un apartado especial en el que la OMI pone especial atención, se trata de las mercancías peligrosas. Estas mercancías se consideran peligrosas por diferentes aspectos entre las que están sus características, inflamabilidad, radioactividad....

Para poder clasificar estas mercancías se distinguen 9 grupos, son fácilmente reconocibles los contenedores que portan estas mercancías ya que deben contar con 4 etiquetas, cada una en un costero del contenedor, con forma de rombo y de un tamaño mínimo de 100x100 mm. En esta etiqueta se podrá observar fácilmente a que grupo pertenecen y a que categoría dentro de este grupo.

Las nueve clases son las siguientes:

1. Clase 1: Explosivos
2. Clase 2: Gases
3. Clase 3: Líquidos inflamables
4. Clase 4: Sólidos inflamables
5. Clase 5: Comburentes y peróxidos orgánicos
6. Clase 6: Tóxicos
7. Clase 7: Material radioactivo
8. Clase 8: Corrosivos
9. Clase 9: Objetos peligrosos diversos

Es una medida más que demuestra el compromiso y la fuerte regulación que adopta el transporte marítimo para la sostenibilidad y la seguridad.

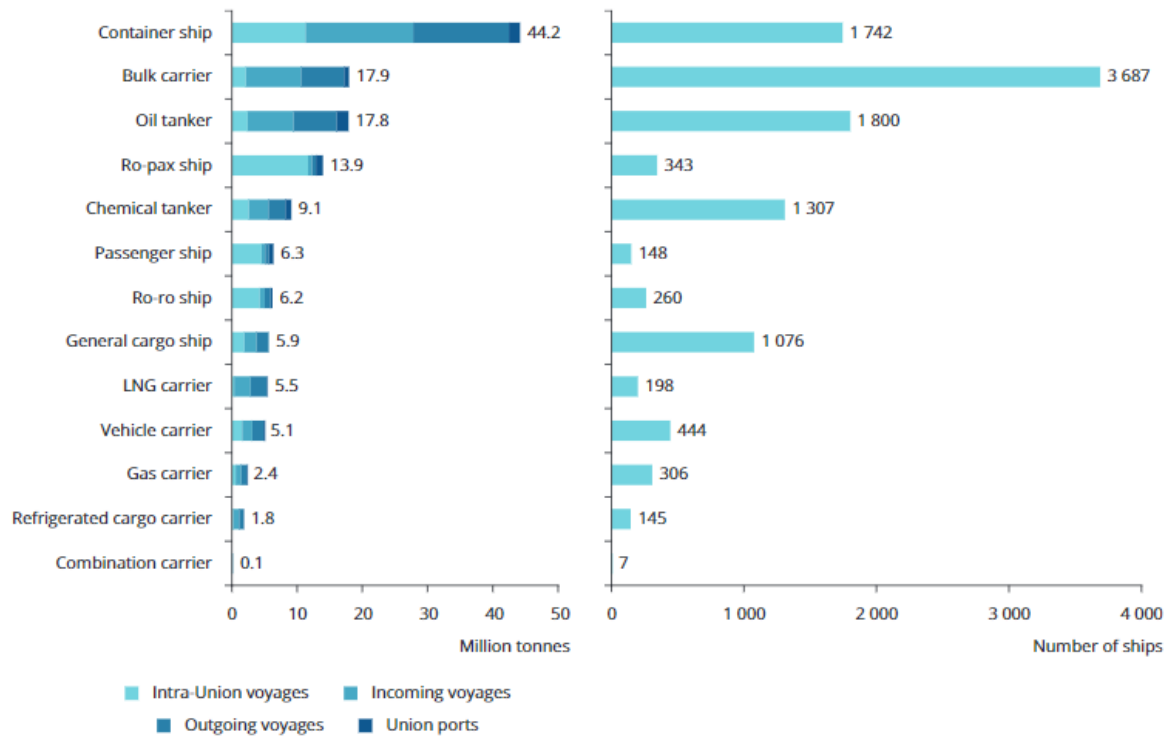
Por otro lado, los agentes del transporte marítimo cuentan con dos formas principales de llevar a cabo los negocios, esto depende principalmente de la cantidad necesaria de carga a transportar y de las necesidades propias de cada envío. Como se ha explicado anteriormente, el expedidor se pondría en contacto con la cadena de agentes comenzando por el transitario, haciéndole saber los requerimientos y el volumen de su carga. Conociendo estas especificaciones se toma la decisión de que modalidad emplear. Lo más común es, si es posible, enviar la mercancía en un contenedor que formará parte de la carga total del buque. Se puede distinguir:

- Transporte marítimo en línea regular:
Se trata de rutas frecuentes entre puertos fijados, es decir, esta modalidad es la más común y la que más se emplea, presentando una gran cantidad de vías de transporte de mercancías regulares, en la que los tiempos y costes están establecidos previamente y son fácilmente previsibles. Es este método en el que se transporta carga de tamaño y volumen más reducido, como pueden ser contenedores de diferentes expedidores, productos generales y algunas mercancías más específicas de carácter industrial.
- Transporte marítimo en régimen de fletamentos:
Se caracteriza por transportar volúmenes de carga mayores, se trata de un régimen de transporte más especial y personalizada para la carga y las necesidades del expedidor, es por ello por lo que también son conocidos como “tramp” o de navegación libre. Al contratar este método se presentan tres opciones, cuyas principales diferencias residen en la responsabilidad que adquiere la persona que emplea el barco y el propietario del barco.

1. Fletamento por tiempo: se establece una cantidad de tiempo en el que se requerirá del uso del buque o de parte del buque y en base a esto se establece el precio. En este caso el armador asume toda la responsabilidad.
2. Fletamento por viaje: se contrata un buque para su uso en una cantidad de viajes estipulados. Se caracteriza por el hecho de que el fletador tiene la responsabilidad durante el viaje, mientras que el armador se hace responsable de todo lo relacionado con el buque, tripulación, equipamiento, mantenimiento...
3. Fletamento a casco desnudo: en este caso el armador “entrega” el buque a la empresa que va a utilizarlo, está adquiriendo todas las responsabilidades, incluso la tripulación, el mantenimiento... En este caso el buque suele contratarse en su totalidad para poder transportar una gran cantidad de mercancía de un expedidor.

Por último, en un pequeño apartado dedicado al impacto medioambiental de estos buques, se presenta una tabla en la que se recoge el impacto medioambiental que tuvo cada tipo de buque en cuanto a sus emisiones de CO₂ en la Unión europea en el año 2018, así como el número de buques en tránsito.

Con ello, se puede observar cómo los buques más empleados fueron los graneleros, los petroleros y los portacontenedores, respectivamente, seguidos por los buques de cargas químicas y los buques de carga general. Un dato interesante y que hay que resaltar es observar cómo los portacontenedores, no son los buques más numerosos en este caso, pero, sin embargo, si son, con una amplia diferencia, los que más huella de carbono han dejado con 44.2 millones de toneladas, frente por ejemplo a las 17.9 millones de toneladas de los graneleros, buques más empleados. Para poder entender que los portacontenedores sean los buques más contaminantes hay que fijarse, por ejemplo, en el hecho de que son los que más toneladas de carga transportan y a mayor peso más combustible habrá que emplear para poder transportarlo y por tanto más emisiones.



Note: Ro-ro, roll-on roll-off.

Source: EMSA/THETIS-MRV (2018).

Figura 1: Número de buques y contaminación.

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente.

2.3 Puertos del transporte marítimo de mercancías

Los puertos son la conexión entre el medio marítimo y terrestre, permitiendo facilitar y agilizar todas las gestiones y operaciones que se llevan a cabo en ellos. Existen numerosos tipos de puertos según la función que desempeñen y los requerimientos que presenten. Pudiendo así diferenciar los puertos turísticos, los puertos pesqueros, los puertos militares y los puertos comerciales e industriales. En este caso, se tratan los puertos comerciales e industriales que son los encargados de dar soporte al transporte marítimo de mercancías.

Los puertos comerciales e industriales son la base del transporte marítimo de mercancías, en ellos es donde tiene lugar la carga y descarga de mercancía, así como los procesos administrativos y aduaneros necesarios, como se ha visto, para permitir el tránsito de la carga.

Los puertos pueden estar asentados en la orilla de los mares y océanos o también en ríos y lagos, aunque esto es menos común en los puertos comerciales debido a la dimensión que requieren. A su vez, también existen los denominados puertos secos, estos están colocados en el interior de los países sin salida al mar, pero están fuertemente conectados con estos puntos, permitiendo aliviar la concentración y el tránsito que se da en los puertos marítimos, especialmente en los puertos más grandes o con mayor volumen de carga, permitiendo realizar las mismas funciones en lugares más alejados.

Dentro de los puertos destaca la figura de la autoridad portuaria, son organismos públicos de carácter gubernamental los cuales se dedican a la gestión de los puertos y todo lo que concierne a estos, mantenimiento, obra, planificación, sostenibilidad....

Por otro lado, también destaca el papel de las empresas privadas las cuales llevan a cabo funciones y operaciones dentro de los puertos.

Según como se gestione el puerto y las responsabilidades y funciones que adquieran estos agentes se pueden distinguir las siguientes clasificaciones de puertos de mercancías:

1. Operating Port:
La autoridad portuaria concentra la gestión plena del puerto, encargándose de la explotación del puerto y siendo propietario de la infraestructura necesaria para ello.
2. Tool Port:
La autoridad portuaria, al igual que en el caso anterior, es la encargada de la gestión del puerto. Sin embargo, en este caso las empresas privadas llevan a cabo funciones en el puerto con el consentimiento de la autoridad portuaria.
3. Landlord Port:
Los Landlord Port se caracterizan por que la autoridad portuaria lleva a cabo una función más orientada a la supervisión y la comprobación de que los procesos y la gestión del puerto se lleva a cabo correctamente y cumpliendo con la

regulación. Mientras tanto, son las empresas privadas las que llevan a cabo la explotación del puerto.

Como se observa, las diferencias que se dan tienen que ver con la responsabilidad de gestionar y explotar el área portuaria. El área portuaria está compuesta por varias zonas en las que se realiza todas las operaciones relativas al transporte de mercancías. Es por ello por lo que dentro de los puertos se pueda diferenciar las siguientes zonas:

a. Zona marítima:

Es la parte de la infraestructura portuaria que se encuentra en el mar y que permite a las embarcaciones atracar y maniobrar en el puerto con la mayor facilidad posible. Por ejemplo, se refiere a las estructuras artificiales construidas para que el puerto no se vea afectado por el oleaje y tenga aguas tranquilas, las llamadas escolleras.

b. Zona terrestre:

En esta zona es en la que tiene lugar la conexión del buque con el puerto, permitiendo realizar todas las operaciones entre ellos. La componen sobre todo los muelles y la maquinaria e infraestructura que los componen. En estos es donde tiene lugar la carga y descarga de la mercancía por parte de los estibadores, estas instalaciones se denominan terminales. A su vez, cuentan con zonas de almacenamiento de la mercancía por si fuera necesario.

c. Zona de conectividad:

Como se ha explicado el transporte marítimo no es independiente y necesita de otras formas de transporte para poder alcanzar todos los puntos terrestres, para ello cuentan con esta zona en la que se permite una salida y entrada de mercancía del puerto mediante carreteras y vías de ferrocarril.

A su vez muchos puertos, especialmente los puertos industriales, cuentan con una zona donde se asienta la industria, como pueden ser refinerías, siderúrgicas, astilleros, facilitando así el tránsito de los productos y su comercialización.

2.4 Principales puertos de la Unión Europea

Como se ha podido observar la importancia del sector marítimo es incuestionable, dentro de la Unión Europea esta relevancia no se reduce. El transporte marítimo supone el 35% del comercio dentro de la Unión Europea y el 73% con países fuera de la Unión Europea según el informe “European Maritime Transport Environmental Report”, realizado por la Agencia Europea de Medio Ambiente y la Agencia Europea de Seguridad Marítima. Y es que el 17.6 % de la flota global tiene bandera europea en sus embarcaciones y el 36.4% tienen a sus dueños o empresas dueñas domiciliadas en Europa. Europa cuenta con puertos muy longevos y con gran tradición e importancia histórica, estos puertos se han ido modernizando hasta el día de hoy, convirtiendo a Europa en una de las regiones con mayor densidad de puertos del mundo, contando con más de 1000 puertos que permiten un comercio fluido y accesible con y entre los países europeos. Hoy en día, Europa cuenta con puertos de vital importancia para el correcto funcionamiento de la cadena de exportaciones e importaciones. Cabe destacar por importancia y tamaño los siguientes.

- Alemania:

La importancia de los puertos alemanes es fácilmente entendible ya que son la mayor industria del continente europeo, lo que explica los grandes niveles de producción y de materias que comercian. El puerto de Hamburgo es el más importante del país, con una capacidad que solo supera en Europa el puerto de Rotterdam y en algunos casos el puerto de Amberes, es capaz de albergar 320 barcos de mercancías en sus muelles de carga. Por otro lado, el puerto de Bremen se erige como principal puerto para el comercio con Europa y el mundo de uno de los sectores punteros alemanes, el sector automovilístico.

- Francia:

Localizado al sur de Francia, el puerto de Marsella es un punto estratégico del comercio del Mediterráneo y de numerosas rutas internacionales, es un referente mundial en la industria petroquímica. Al otro lado del país, al norte, se encuentra el puerto de Dunkerque, especializado en numerosos sectores como son la industria siderúrgica, la textil o las frutas.

- Países Bajos:

Holanda cuenta con el mayor puerto europeo, el puerto de Rotterdam se trata de un puerto con una gran tradición histórica que se ha modernizado aglutinando el peso de numerosas industrias y siendo una de las mayores puertas por vía marítima de gas y petróleo de Europa.

- Bélgica:

El país donde reside la Unión Europea cuenta con el puerto de Amberes, un puerto con numerosas conexiones a nivel terrestre con toda Europa convirtiéndolo en un puerto muy accesible y el podio de tránsito de mercancías europeo.

- Grecia:

La República Helénica cuenta con uno de los puertos con mayor tránsito de contenedores de Europa, el Pireo, compartiendo hegemonía el mar Mediterráneo con los grandes puertos españoles y franceses, pero por detrás de los tres grandes puertos.

- Italia:

El puerto de Génova es el puerto más importante de Italia y uno de los más prósperos del Mediterráneo con una gran capacidad para el tránsito de contenedores.

- España:

El caso de España es un caso singular ya que se trata de una península y esto permite que sea el país europeo con mayor cantidad de costa, a su vez como se verá a continuación España forma parte de numerosas rutas marítimas y esta cercana y cuenta con importantes puntos estratégicos para el desarrollo del transporte marítimo de mercancías.

Es por todo ello que España cuenta con 46 puertos que están gestionados por 28 autoridades portuarias diferentes. El control de estos puertos está bajo la responsabilidad de Puertos del Estado que este depende del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Según las cifras que aporta este ministerio los puertos de España manejan el 60 % de las exportaciones y el 85% de las importaciones, lo que se traduce en un 53 % del comercio con países de la Unión Europea y el 96% con países fuera de este organismo. Toda la actividad que se da en estos 46 puertos constituye el 1,1 % del PIB español y se traduce en unos 175.000 puestos de trabajo, según los portales oficiales del ministerio.

De todos los puertos, hay que destacar tres puertos principales en los que el volumen de mercancías es mayor. El puerto de Barcelona, un puerto con un flujo de mercancías muy considerable y con más de un centenar de conexiones marítimas con puertos de todo el mundo, aunque en los últimos años haya perdido importancia debido a las cuestiones políticas que rodean Cataluña, sigue siendo un punto estratégico de tránsito de mercancías en Europa.

El puerto de Valencia que es el puerto español con mayor tránsito de contenedores. Destaca por sus conexiones marítimas con Asia, convirtiéndose en una de las puertas de entrada en Europa de las mercancías asiáticas.

Por último, hay que destacar el papel del puerto de Algeciras, situado en el Estrecho de Gibraltar aportándole una importancia estratégica como entrada y salida de mercancías, se trata del puerto de carga más importante de España.

A su vez, cabe destacar los puertos de Aarhus (Dinamarca), el puerto de Mersin (Turquía) y el puerto de Lisboa (Portugal), que tiene la mejor localización para focalizar el comercio de Europa con América.

Por tanto, podemos extraer que los tres grandes puertos europeos con mayor tránsito de mercancías son Rotterdam, Amberes y Hamburgo. En el caso de España, los puertos de Algeciras y Valencia comparten el dominio del transporte marítimo de mercancías español.

En el siguiente gráfico podemos observar el volumen de contenedores que manejaron los principales puertos de Europa en 2021 (azul) y en 2020 (naranja). Se observa como los tres principales puertos de carga también son los que más contenedores manipularon, mientras que en España Valencia está por encima de Algeciras, como se había indicado. Los datos aparecen en millones de TEU's y los datos son tomados del World Shipping Council.

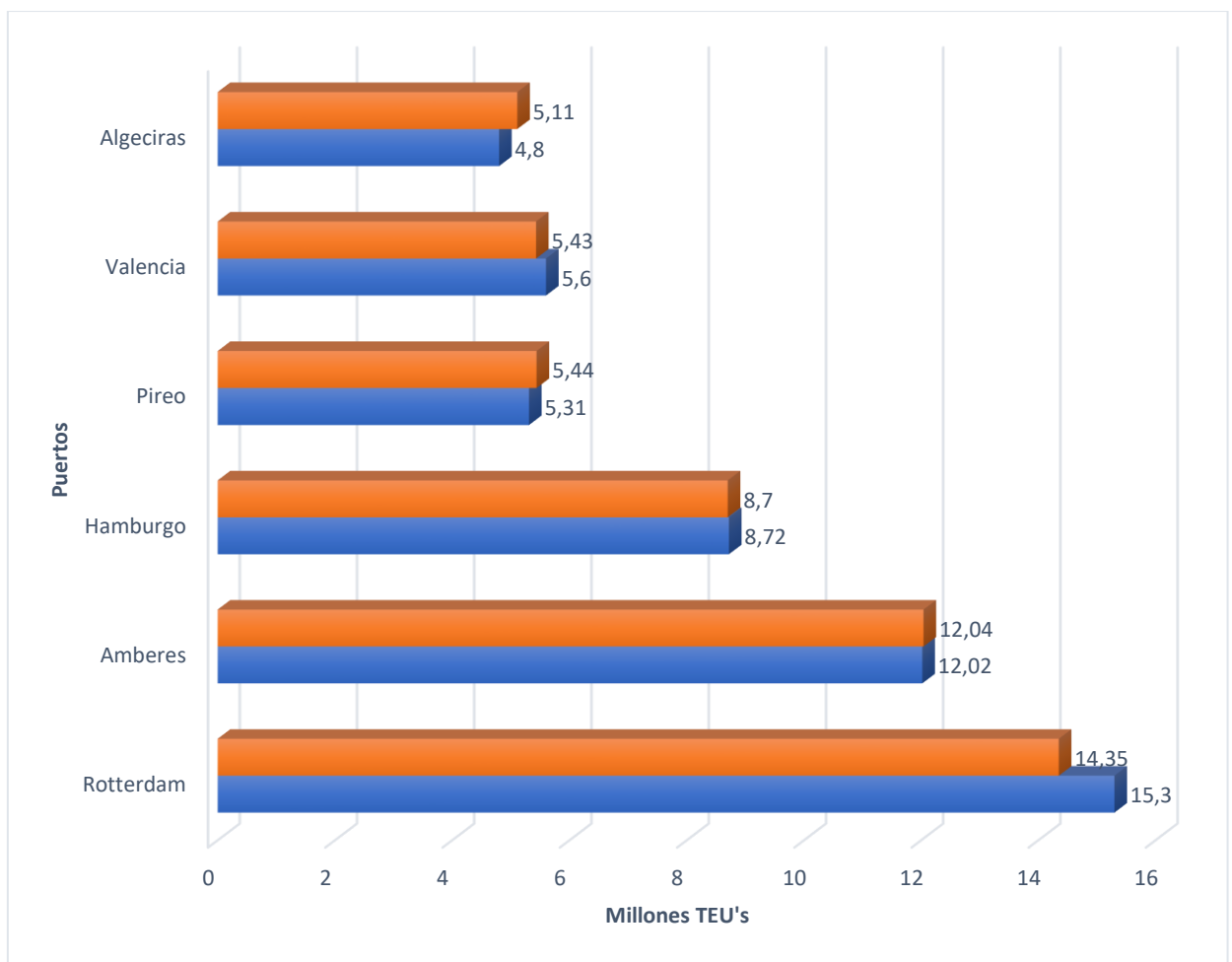


Figura 2: Cantidad de TEU manipulados en los principales puertos europeos.

Fuente: Elaboración propia, datos: WSC.

2.5 Principales rutas marítimas de mercancías

Como se ha visto, son algunos puertos los que concentran la mayor parte del transporte de mercancías de los países, regiones o industrias. Lo mismo ocurre con los caminos que recorren los buques que van en búsqueda de estos puertos. Desde hace miles de años se han ido creando unas rutas por los mares y océanos que concentran la mayor parte del tránsito de buques, creando las denominadas autopistas marítimas.

Estas rutas marítimas se han ido desarrollando y adaptándose a los tiempos modernos, creándose infraestructuras y regulación para que el transporte marítimo que tiene lugar en estas sea lo más seguro, ágil y regulado posible. Estas autopistas por las que pasa la mayor parte de mercancías que serán distribuidas por el mundo se encuentran principalmente entre los puertos más importantes del mundo. Se han escogido estos caminos teniendo en cuenta numerosos factores que van desde aspectos logísticos, como la rapidez, aspectos oceanográficos, como son las corrientes marítimas o el deshielo, aspectos climatológicos, aspectos políticos, como la estabilidad política de las zonas cercanas y aspectos técnicos y regulatorios, como el tamaño de los buques frente a la profundidad del mar.

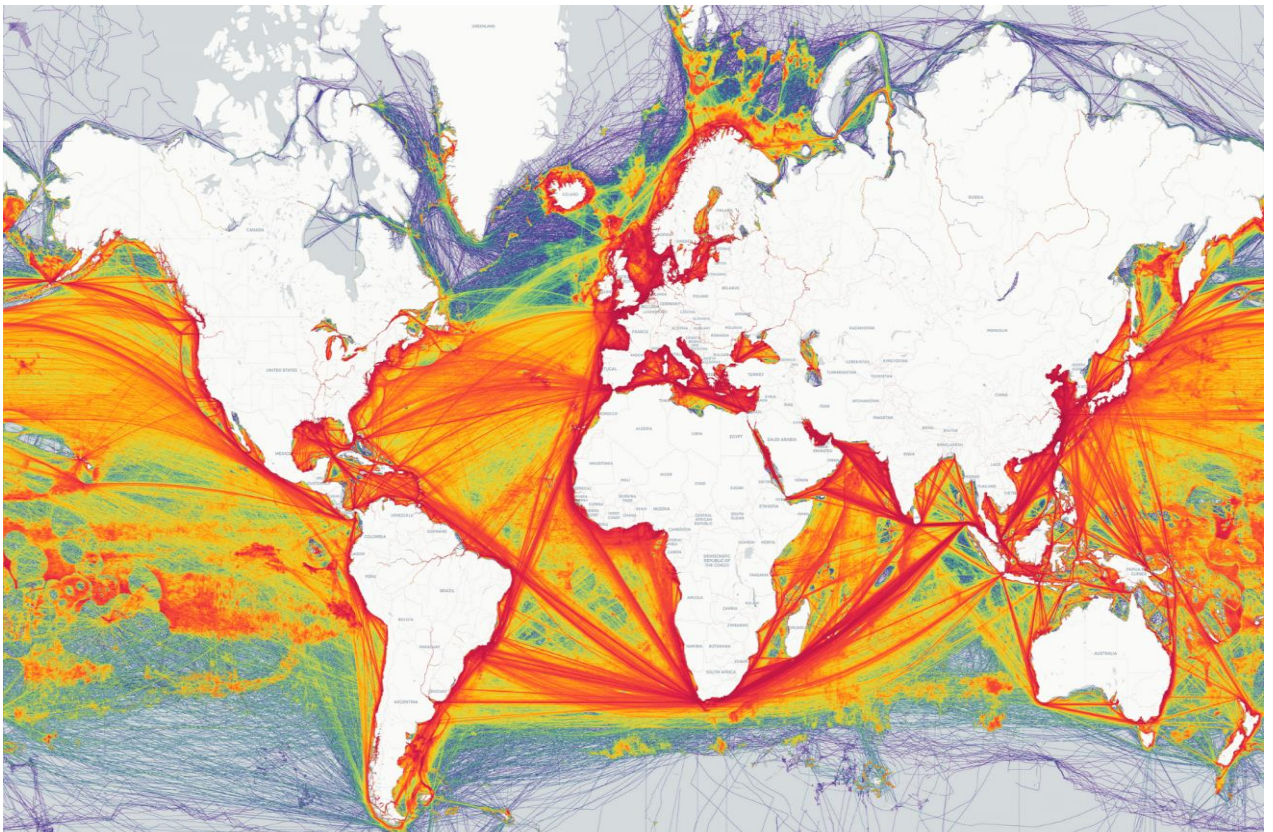


Figura 3: Mapa rutas marítimas.

Fuente: MarineTraffic.

En la imagen superior, figura 3, se puede apreciar en rojo las rutas más empleadas, tras estas las naranjas y amarillas hasta llegar a las azules, que son las de menor tránsito. Se observa la importancia de los puertos asiáticos, los grandes puertos europeos y los puertos de mayor importancia de América y África.

A continuación, se expondrán los principales puntos de estas rutas, entendiéndose mejor la concentración de las rutas rojas en ciertos puntos del mapa mundial.

- **Estrecho de Malaca**
Es un estrecho natural situado entre Indonesia y Malasia y que se encuentra como conexión del océano Índico y el océano Pacífico. Su gran importancia es debido a que es la principal ruta que emplean los principales países asiáticos para el transporte de mercancías, por lo tanto, los grandes exportadores mundiales como son China, Japón, Corea del Sur, Tailandia o los propios países que le dan forma al estrecho emplean esta ruta. Es por ello por lo que se estima que por este estrecho transita más del 25% del comercio mundial. Se transportan todo tipo de mercancías y destaca el petróleo que se dirige a China, Japón y Corea del Sur desde el estrecho de Ormuz.
- **Estrecho de Ormuz**
Situado entre el golfo Pérsico y el golfo de Omán, se erige como la puerta del petróleo que sale de los grandes productores del Medio Oriente en dirección a Europa, Asia y América. A través de esta ruta natural estima la EIA que se transporta un quinto de todos los productos petroleros del mundo y un tercio del gas natural licuado. Lo que convierte este estrecho uno de los puntos estratégicos más importantes a nivel mundial, hay que destacar el papel de Irán que lo emplea como moneda de cambio en las negociaciones, amenazando con paralizarlo.
- **Canal de Suez**
Es un canal artificial construido en Egipto para unir el mar Mediterráneo con el mar Rojo, es decir, Europa con Oriente. El canal presentó en 2021 un tránsito de en torno a 21.000 buques, en torno a un 10 % del comercio, según los portavoces oficiales del canal, destacando el uso de este canal por los petroleros, metaneros y los portacontenedores. Hay que destacar que durante ese año tuvo lugar el ya citado contratiempo del Ever Given y aun así sus datos aumentaron respecto a los años anteriores. A su vez, este paso artificial disminuyó la popularidad de la ruta que rodea África por el Cabo de Buena Esperanza, en el extremo sur de África, aunque siga siendo muy empleada.
- **Canal de Panamá**
Se trata de un canal artificial creado mediante esclusas que permiten comunicar los dos grandes océanos el Atlántico y el Pacífico, para así no tener que rodear todo América del Sur para cruzar. Se estima que transita el 6% del comercio internacional y supone una ruta muy importante de comunicación con Estados Unidos y entre los dos océanos.

A nivel europeo destacan:

- **Canal de la Mancha:**
Se trata del punto de mayor tránsito de Europa junto con el estrecho de Gibraltar, se encuentra entre las costas inglesas y francesas y une el océano Atlántico con el mar del Norte. Como se ha visto anteriormente, en el mar del Norte se encuentran los principales puertos de Europa, lo que significa que por este canal atraviesan todo tipo de mercancías que salen y entran en dirección a estos puertos.
- **Estrecho de Gibraltar:** comunica el océano Atlántico y el mar Mediterráneo, situado entre Marruecos y España, supone la puerta hacia el sur de Europa y el norte de África, así como una ruta para llegar al canal de Suez. Se estima que alrededor de 80.000 buques lo atraviesan al año, con un peso similar al del Canal de Suez.

Como se ha explicado con el caso del buque Ever Given, la importancia y la relevancia de estos puntos estratégicos es enorme, el impacto que tiene un contratiempo en estas partes de las rutas es de una magnitud tal que acaba repercutiendo en la vida de cada una de las personas del planeta. Por ello es tan importante conocer las principales rutas marítimas, para así poder analizar y comprender mejor el transporte marítimo de mercancías.

Por último, las rutas marítimas están en constante cambio, un ejemplo es el estudio de viabilidad del uso de las rutas polares, rutas que no se empleaban anteriormente debido a la complejidad e imposibilidad de su navegación debido al hielo y que, debido al cambio climático, provocando que los polos se derritan, se comienzan a postular como opciones para su tránsito debido a que presentan rutas más cortas.

3. Comparativa con otros medios de transporte

Cuando se comparan los diferentes medios de transporte se tienen en cuenta multitud de factores, que al sumarse permite hacer balance y determinar los parámetros principales de cada uno de ellos.

Se debe indicar que no todos los transportes son los más indicados según el tipo de mercancías y ruta, hay que tratar a cada uno de ellos teniendo en cuenta sus características y sus limitaciones.

Se van a presentar los principales medios de transporte por tierra, aire y mar, mostrando lo más representativo de cada uno de ellos y tratando de hacer una comparativa clara entre ellos. Se tendrá en cuenta la rapidez, el alcance, la independencia, el tipo de mercancías, la seguridad, el coste, la capacidad y el impacto medioambiental que tiene cada uno.

Para ello se va a presentar una tabla, el color verde representará el máximo, el amarillo el medio y el rojo el menor.

Medio / característica	Tierra	Aire	Mar
Rapidez	Yellow	Green	Red
Alcance	Red	Green	Yellow
Tipo mercancía	Yellow	Red	Green
Seguridad	Red	Green	Yellow
Coste	Yellow	Red	Green
Capacidad	Red	Yellow	Green
Impacto medioambiental	Yellow	Red	Green
Independencia	Green	Yellow	Red

Figura 4: Comparativa medios de transporte.

Fuente: Elaboración propia.

Rapidez: se entiende que es el tiempo que tarda la mercancía en ir de un punto a otro.

Alcance: es la capacidad de llegar a puntos alejados de una forma sencilla.

Tipo de mercancía: la capacidad de transportar diferentes tipos de mercancías.

Seguridad: hace referencia al factor seguridad.

Coste: se mide el valor de llevar una mercancía de un punto a otro, tomando una misma ruta para los tres casos.

Capacidad: cantidad de mercancía que se puede transportar.

Independencia: hace referencia al hecho de transportar una mercancía sin necesidad de emplear otros métodos de transporte.

Impacto medioambiental: mide el impacto que tienen los métodos de transporte en el medio ambiente, su huella contaminante.

1. Tierra

Dentro de este método de transporte se incluye el transporte por carretera y el transporte por vías (ferrocarril). Se trata de un medio de transporte que destaca por su facilidad de empleo e independencia, no es necesario nada complementario. Se puede transportar gran variedad de mercancías, permitiendo el transporte de contenedores con gran rapidez.

El alcance es bastante reducido debido a las características de estos medios de transporte comparados con los buques o los aviones. Se suele emplear en envíos que no superen los 3000 km, en el caso de los automóviles, mientras que los ferrocarriles dependen de las rutas fijas a las que están sujetos.

El coste tampoco es muy elevado, debido a que la infraestructura y la logística está totalmente asentada. La seguridad es la menor de los tres métodos de transporte ya que es el medio en el que más accidentes se da, sin embargo, un accidente o un retraso no supone los tiempos de espera, la congestión y la demora que supone en los otros dos medios.

2. Aire

Se centra en los aviones de mercancías. Se trata del método de transporte más rápido y con mayor alcance. El avión es el mecanismo de transporte que más rápido se desplaza, permitiendo transportar mercancías rápidamente a prácticamente todos los lugares del mundo. Depende del transporte terrestre para los procesos logísticos previos y posteriores, pero su independencia sigue siendo mayor que la de los buques que dependen totalmente del transporte terrestre (en la mayoría de los casos).

Son los medios de transporte más seguros, sin apenas accidentes y en los que los retrasos son menores, debido en gran parte a su rapidez y alcance. Por otro lado, su capacidad de transporte es muy inferior a la de los buques, variando según el tipo de aeronave, la variedad de mercancías que puede transportar no es muy amplia, transportando principalmente mercancías de gran importancia, prioridad o fragilidad.

A su vez el coste que supone el empleo de aeronaves es más que destacado frente a los otros dos medios, es por un margen muy amplio el medio más caro.

3. Mar

Se toman todos los tipos de buques de mercancías que se han descrito previamente. Se trata del método de transporte de mercancías más lento, en comparativa con los transportes terrestres y aéreos los buques no pueden competir, la logística y el medio de transporte provocan que los tiempos empleados por los buques en realizar las rutas sean los más elevados, como se ha visto previamente. A su vez, para poder completar el proceso de entrega de mercancía dependen plenamente del uso del transporte terrestre, tanto camiones como trenes de mercancías. Son medios muy seguros, en los que los accidentes son muy escasos, los retrasos y congestiones pueden producirse en los grandes puertos o en periodos en los que suceda algún imprevisto, es el caso de los puertos desbordados de contenedores o por falta de mano de obra.

Por otro lado, los buques permiten el transporte de todo tipo de mercancías y en unos niveles de capacidad muy superior a los otros medios de transporte, como se presentaba en la descripción de las características de este medio de transporte. Es por ello por lo que se trata del principal método de transporte de mercancías. Unido a que el coste es el más reducido, si se compara la cantidad de mercancía que se traslada y la distancia de las rutas que se realizan es fácilmente observable como el coste por tonelada de mercancía y kilómetro recorrido es el menor de los tres.

La eficiencia del transporte marítimo es mucho mayor que la del resto, ANAVE pone el siguiente ejemplo: “Si se toma un petrolero de un tamaño mediano, lo que equivale a unos 15.000 kW de potencia, esto equivaldría a 150 coches o 50 camiones, pero la gran diferencia no se encuentra aquí, sino que este petrolero sería alrededor de 90 veces más eficiente, ya que mientras que el camión puede trasladar alrededor de 35 toneladas de carga, el petrolero mediano carga con 150.000 toneladas, es decir 4300 veces más carga con solo 50 veces más de potencia”.

A continuación, se explica el impacto de la emisión de contaminantes y GEI al medio ambiente. Como se introdujo en el proyecto, se pone el foco en la Unión Europea, ya que se trata del organismo del cual se cuenta con mayor número de datos fiables y accesibles. Además, este proyecto está centrado especialmente en la perspectiva europea y especialmente en la visión española.

3.1 Impacto medio ambiental

El medio de transporte que más contamina con una gran diferencia es el medio terrestre, seguido por aire y mar que están muy parejos. Hay que aclarar que en la tabla se representa el medio aéreo como el que más contamina, esto se debe a que si se toma la contaminación que se da en un único vuelo frente a la contaminación que produce un viaje de ferrocarril o automóvil es mayor la emisión que producirá el avión, tanto si se aplica en términos de contaminación por pasajero como si en el caso de contaminación por tonelada de carga y kilómetro. Sin embargo, en términos globales el medio de transporte que más contamina, debido a su gran uso y las emisiones que produce es el medio terrestre, seguido como se ha dicho del aéreo y el marítimo que presentan porcentajes muy similares.

En las dos siguientes imágenes, proporcionadas por el Parlamento Europeo se puede observar el impacto ambiental que tiene cada método de transporte:

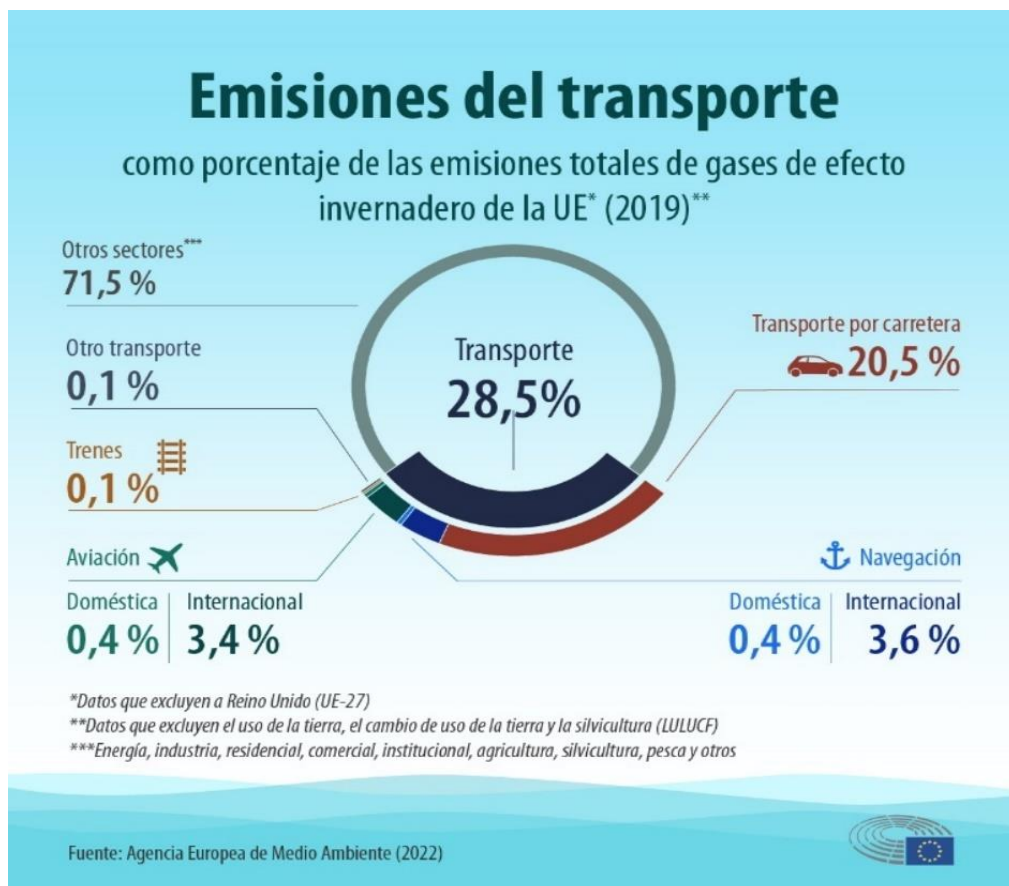


Figura 5: Emisiones del sector transporte en la UE.

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente.

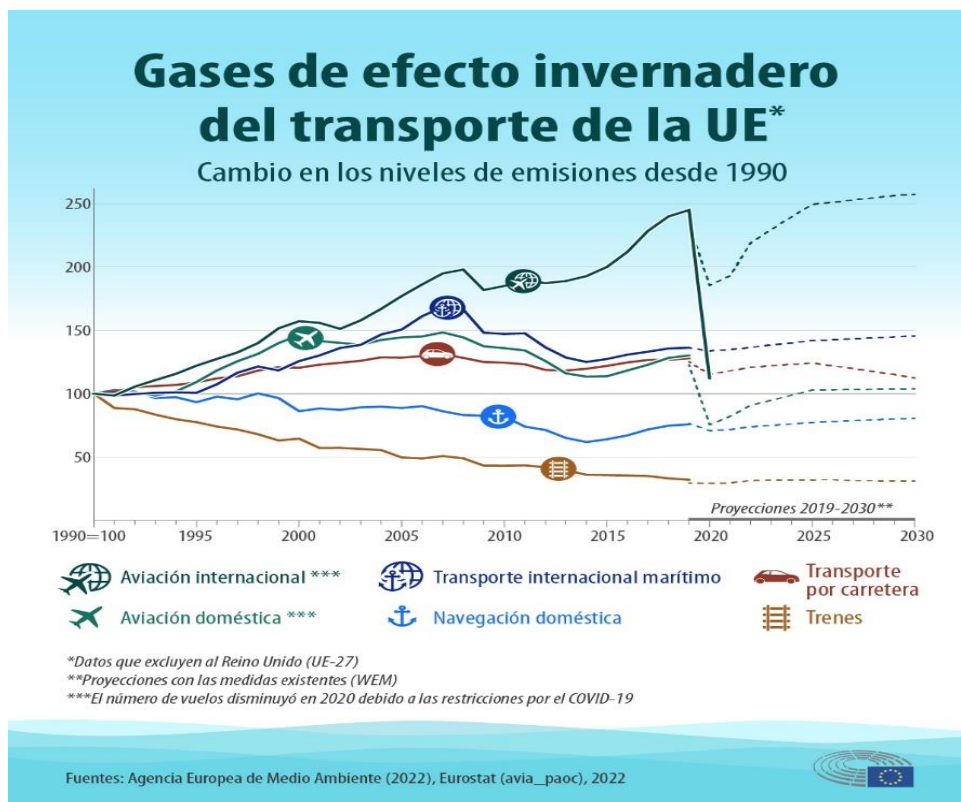


Figura 6: GEI de los medios de transporte en UE.

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente.

Como se puede extraer de los datos presentados, el transporte en su totalidad constituye más de un cuarto de las emisiones totales de GEI de todos los sectores. El impacto que tienen estas emisiones afecta a todos los niveles del medio ambiente, contaminando los tres medios principales, aire, tierra y agua. Esta contaminación se produce de diferentes formas según el tipo de contaminante y emisión que se produce.

Se observa como lo indicado previamente se cumple dentro de la Unión Europea, el transporte por carretera constituye alrededor del 70% de las emisiones del transporte mientras que aire y mar tienen porcentajes similares alrededor del 12% del total cada uno. Estos datos son posiblemente aplicables al resto del mundo, ya que las diferencias que se podrían dar no son muy significativas.

A su vez, en la figura 5, se comprueba como en los medios aéreos y marítimos su uso es principalmente internacional y es el medio terrestre el que se utiliza en distancia menores, como puede ser a nivel doméstico. A nivel internacional los medios están más enfocados al comercio, especialmente el medio marítimo, ya que los medios aéreos si son más utilizados de forma diaria para el transporte de pasajeros mientras que en el medio marítimo es algo más puntual, es el caso de los cruceros.

En la figura 6, se muestra un gráfico en el que se comprueba la evolución de las emisiones de GEI en la Unión Europea desde 1990. Tan solo los ferrocarriles y el medio marítimo doméstico muestran una tendencia descendente, mientras que el resto de los medios han aumentado considerablemente sus emisiones. Se incorpora una proyección de las

emisiones que se darían si se mantuvieran las prácticas actuales hasta 2030, como se puede comprobar no se alcanzaría el objetivo de reducir las emisiones a la mitad por lo menos para 2030 y sería muy complicado lograr las cero emisiones netas para 2050.

Hay que destacar que las pronunciadas disminuciones que se dan en 2020 se deben a la epidemia de COVID19 y no es por tanto fruto de la implementación de nuevas prácticas para la disminución de emisiones. Este hecho se tratará en el apartado de la situación actual del transporte marítimo de mercancías.

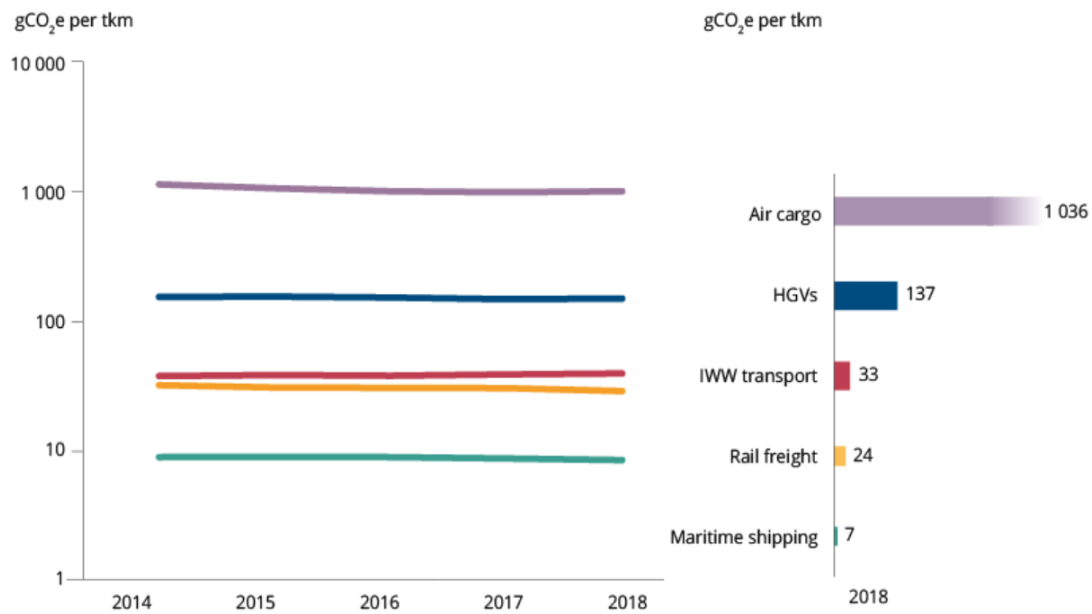
En el caso de los trenes se demuestra que se trata de un medio de transporte muy sostenible, a niveles similares al medio marítimo. Esto se debe al trabajo que se ha realizado en infraestructura para lograr electrificarla y así lograr disminuir las emisiones. Un caso similar a ocurrido con los aviones, cuya eficiencia y logística en las últimas décadas se ha ido optimizando, logrando que las emisiones se reduzcan. En este caso no es tan claro el descenso de emisiones, más bien, se puede observar un incremento, debido al aumento del uso de este método de transporte, con una tasa de viajeros y de viajes cada vez mayor. Se trata de un medio de transporte que se encuentra en una situación parecida al del transporte marítimo, llevando a cabo numerosos proyectos e investigaciones, a la vez que implementa nueva regulación y prácticas con las cuales lograr reducir las emisiones y alcanzar los objetivos comunes.

Por último, en el sector automovilístico, también se están dando importantes pasos con el objetivo de reducir las emisiones. Como en el caso de los otros medios de transporte, también se está implementando nueva regulación con la que lograr recortar las emisiones, como es la ley que entrará en vigor en 2035, aprobada por el Parlamento Europeo, por la que todos los vehículos que se vendan a partir de dicho año deben ser vehículos cero emisiones. Para lograr este objetivo, el sector automovilístico también se encuentra en la búsqueda de combustibles alternativos y métodos sostenibles con los que energizar los automóviles, como son los coches eléctricos o el uso de combustibles como el hidrógeno o el amoníaco. Se tratan de soluciones que comparten la mayor parte de los medios de transporte, sin embargo, los automóviles cuentan con la ventaja de ser medios más pequeños, menos pesados y con una infraestructura muy asentada, por lo que se presupone más fácil adaptarse a los avances.

En conclusión, un estudio de la AEMA demuestra que los medios de transporte que producen menos emisiones por kilómetro son los trenes y el transporte marítimo, mientras que los coches, en perspectiva global y teniendo en cuenta su uso, es el transporte que más contamina, por detrás se encuentran los aviones.

Por otro lado, enfocándose más en el transporte de mercancías. La tendencia marcada por el sector transporte se mantiene, siendo el medio aéreo el que más contamina tomando como medida el gCO₂ e por tkm, seguido por los vehículos de transporte de carga, por último, se encuentran el tren y el medio marítimo, con el índice más bajo.

A su vez, en la gráfica se incluyen los IWW transport, se trata de los medios de transporte empleados para transportar carga en el medio marítimo que se encuentra dentro de tierra, como pueden ser los ríos.



Source: Fraunhofer ISI and CE Delft, 2020
 Note: logarithmic scale used in left chart; tkm = tonne kilometre

Figura 7: Emisiones de medios de transporte de mercancías en la UE.

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente.

En el caso de España la evolución de la contaminación por CO₂ sigue la dinámica representada en la siguiente gráfica:

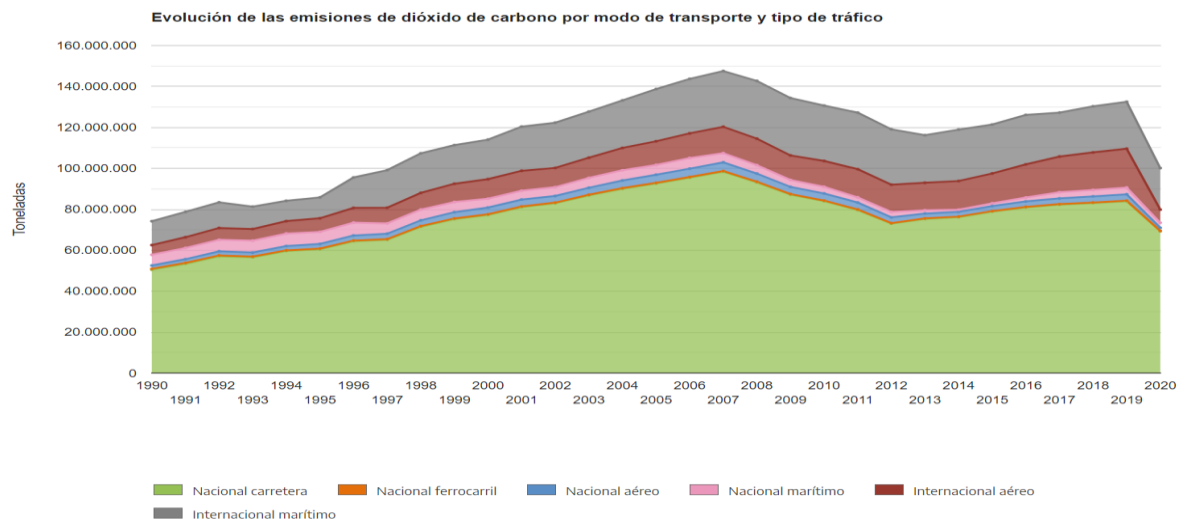


Figura 8: Emisiones de los medios de transporte en España.

Fuente: Gobierno de España, Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

Como se observa, la tendencia que sigue la gráfica esta alineada con lo que se puede observar en las gráficas de la Unión Europea, a su vez, se comprueba que España no es una excepción, el medio terrestre representa la mayor parte de las emisiones, seguido por el medio marítimo y el aéreo con valores considerablemente más bajos y parejos, siendo el aéreo el menor de ellos.

4.Principales contaminantes, gases de efecto invernadero y su impacto en el transporte marítimo de mercancías

Para comenzar hay que aclarar que los gases contaminantes y los gases de efecto invernadero no son lo mismo. En muchos casos no se lleva a cabo una distinción entre estos dos modelos de gases y se consideran iguales debido al impacto perjudicial que pueden tener en el medio ambiente y en los seres vivos. Sin embargo, se pueden clasificar los distintos gases entre estas dos clases debido al tipo de gases que son y el impacto que tienen. Las emisiones se miden principalmente según el tiempo de emisión y el caudal emitido, aumentando el efecto perjudicial de las emisiones cuando estos aumentan. La calidad del aire está estipulada por numerosos reglamentos y organismos que lo controlan como la OMS, la UE...

Se pueden clasificar los contaminantes atmosféricos en primarios y en secundarios. Los primarios son aquellos que se emiten directamente de las fuentes de emisión, como puede ser el caso de los SO_x, NO_x, CO₂, los COVs, etc. Mientras que los secundarios se dan por la interacción de contaminantes primarios entre ellos o con elementos presentes en la atmósfera, por ejemplo, O₃, PM, lluvia ácida...

A su vez, se pueden clasificar las emisiones de dos formas según el origen de su emisión, Se pueden distinguir las emisiones naturales, las que se dan debido a procesos naturales que se dan en la naturaleza de forma recurrente o puntual, se pueden observar en la descomposición de materia orgánica, en la acción de los volcanes o en los procesos propios de las plantas, que emiten respectivamente, metano, SO_x y PM, hidrocarburos y PM (en forma de polen). Por otro lado, existen las emisiones antropogénicas, estas se deben a la acción de los seres humanos, como son los procesos industriales o el empleo de combustibles fósiles, propelentes y pesticidas, emitiendo la gran mayoría de tipos de gases contaminantes y GEI. Durante el trabajo se tratarán tanto los gases contaminantes como los GEI, ya que el transporte marítimo produce ambos y en la transición hacia un transporte más sostenible y neutro con el medio ambiente se debe combatir frente a todos ellos. La descarbonización está centrada principalmente en la reducción de los gases de efecto invernadero, ya que entre estos se encuentran los gases formados por carbono, estando a la cabeza el CO₂. Sin embargo, como se verá, el transporte marítimo no trabaja tan solo en la reducción de estos, también trabaja para eliminar los gases contaminantes, especialmente los SO_x y los NO_x.

- Gases contaminantes

Los principales gases contaminantes que se emiten, concretamente en el transporte marítimo, son los óxidos de azufre (SO_x), los óxidos de nitrógeno (NO_x), la materia particulada (PM) y los denominados hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH). Los óxidos de azufre y de nitrógeno se originan de forma antropogénica principalmente procediendo de la combustión en presencia de azufre o nitrógeno, pudiendo estar presentes en los combustibles fósiles o en el aire necesario para que ocurra la combustión. Principales efectos:

- Medio ambiente: su efecto perjudicial tiene lugar principalmente en distancias cortas, es por ello por lo que las emisiones que se dan por las embarcaciones en alta mar no tienen un efecto tan grave. Dentro del impacto que tienen destacan, en el caso de los SO_x, enfriar la atmósfera, perjudicar el desarrollo de la vegetación y la reacción con H₂O provocando la formación de lluvia ácida. En el caso de los NO_x, también reaccionan con otros componentes dando lugar al smog (niebla fotoquímica) y la lluvia ácida, a su vez afectan al desarrollo de los cultivos.
- Salud de los seres vivos: son especialmente perjudiciales para la salud de los humanos, provocando problemas pulmonares, afecciones respiratorias y otras enfermedades y efectos perjudiciales como irritación ocular o problemas cardiovasculares.

Las partículas (PM) se clasifican según su tamaño y sus efectos son similares a los de los SO_x y NO_x, provocando problemas respiratorios y calentando o enfriando la atmósfera según el tamaño de las partículas.

Los PAH se originan por la combustión incompleta de materia orgánica (carbón, petróleo...) su impacto es similar a lo explicado anteriormente, pero su emisión es menos habitual y en cantidades mucho menores.

- Gases de efecto invernadero (GEI)

Los GEI más relevantes y que más se emiten en el transporte marítimo son el dióxido de carbono (CO₂), los compuestos orgánicos volátiles (COVS), en los que sobresale el metano (CH₄) y el óxido nitroso. El dióxido de carbono y el metano son dos compuestos que se producen principalmente en la combustión de combustibles fósiles, así como en su extracción y procesos de obtención. Principales efectos:

- Medio ambiente: al contrario de los gases contaminantes, su efecto no tiene lugar en distancias cortas, al contrario, estos gases se concentran en las zonas altas de la atmósfera dando lugar al denominado efecto invernadero.
- Salud de los seres vivos: todos ellos son compuestos perjudiciales para los seres humanos, en su mayoría cancerígenos y a su vez pueden afectar al sistema respiratorio, cardiovascular y nervioso.

Los compuestos orgánicos volátiles se pueden producir de forma natural, pero son peligrosos debido a la emisión a gran escala en procesos en los que están presentes los combustibles fósiles. Dentro de los COVs se encuentra el metano, que se ha citado de forma especial debido a su gran emisión, así como se encuentran otros muchos hidrocarburos (pentano, propano) y compuestos como los clorofluorocarburos o los compuestos organoclorados. Como todos los GEI son participes del efecto invernadero y muchos de ellos son perjudiciales para la salud. Otro GEI de gran importancia es el óxido

nitroso, sus propiedades perjudiciales son similares a las del metano y el CO₂ y se produce también por la combustión de los combustibles.

En la siguiente imagen, la Agencia Europea de Medio Ambiente presenta cuales son los principales GEI que se emiten en la Unión Europea, esta tendencia por la mayoría del resto del mundo, estas emisiones se dan en un casi 80 % en procesos de obtención y uso de energía, seguido por procesos industriales y agricultura con un peso de alrededor del 10% de las emisiones cada uno.

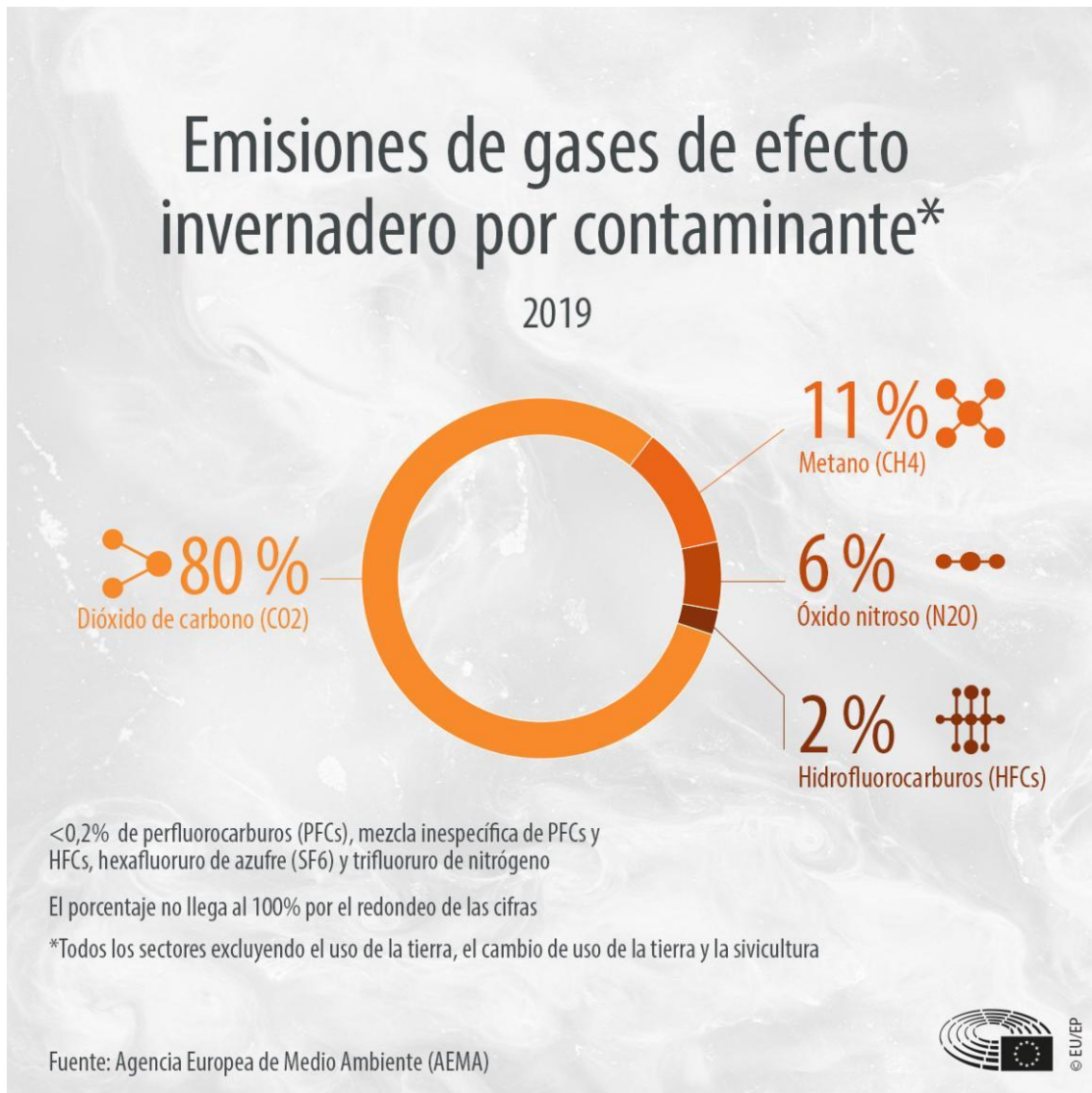


Figura 9: Principales emisiones de GEI en la UE.

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente.

Es necesario mencionar la diferenciación que se hace dentro de las emisiones de GEI que se dan debido al uso de combustibles en los buques. Existiendo dos tipos principales de emisiones que componen el ciclo de vida del combustible, el denominado “Well-to-Wake”. Está compuesto por el denominado “Well-to-Tank”, que son las emisiones que se dan en el proceso que va desde la producción de los combustibles hasta el abastecimiento del buque, también conocidas como emisiones de subida, y el “Tank-to-Wake” o emisiones de bajada, que son las que se dan desde el tanque del buque hasta su uso y expulsión.

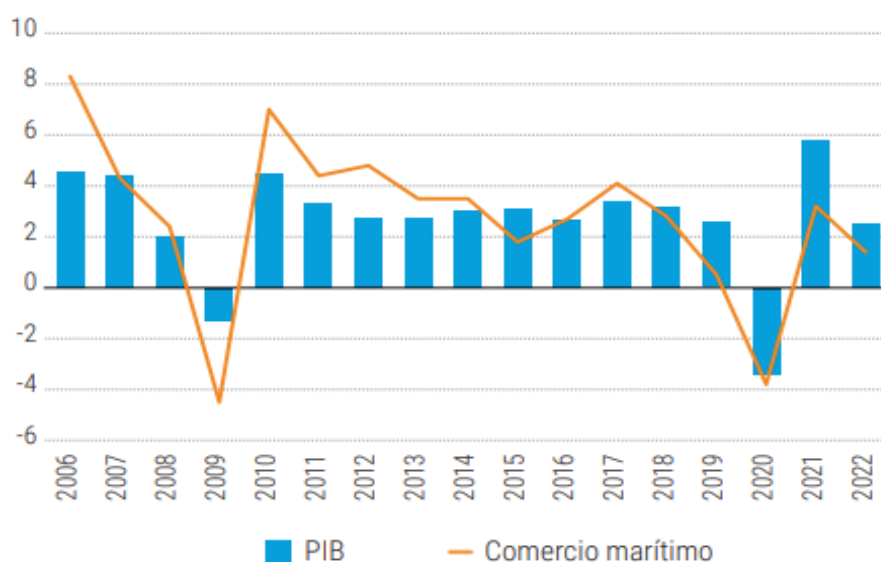
Habiéndose presentado los principales gases contaminantes y GEI, durante el proyecto se presentarán las principales medidas y actuaciones que se están llevando a cabo, o que se plantean, para combatir sus efectos y reducir la emisión de estos gases, así pudiendo alcanzar los objetivos marcados. Es el caso de las medidas tomadas en el Convenio MARPOL, las medidas introducidas por la OMI o las soluciones para la descarbonización del sector del transporte marítimo.

Por último, se introduce un término de gran importancia y que se empleará y manejará en el trabajo, es el conocido como CO₂ equivalente. Según se describe por parte del Ministerio para la Transición Ecológica español es: “unidad universal de medida que indica el potencial de calentamiento atmosférico o potencial de calentamiento global (PCG) de cada uno de los GEI, expresado en términos del PCG de una unidad de CO₂”.

5. Situación actual

A continuación se analiza la situación que ha vivido el transporte marítimo de mercancías desde el 2018-2019 hasta ahora, se toman como referencia estos años ya que podría ser engañoso tomar únicamente los últimos años 2021-2022, ya que en estos años la sociedad y el mundo en general se estaba recuperando de los años de la pandemia, por ello que se tome también la situación prepandemia para poder tener así datos fiables y más certeros de la situación que se vivía antes de la catástrofe sanitaria del COVID-19 que se vivió en 2020-2021.

Durante la pandemia, la situación del transporte marítimo alcanzó cotas inimaginables, solo explicables si se tiene en cuenta la situación sanitaria que se estaba viviendo. Con el confinamiento global que se vivió, la situación fue incontrolable, con una demanda de productos alrededor del mundo desorbitada e imposible de abastecer de forma eficiente, puntual y sostenible. El comercio marítimo se vio especialmente afectado debido a que el mayor exportador de productos, China, se confinó de forma casi completa, con procedimientos sanitarios muy complejos y extensos, lo que provocó que fuera complicado mantener la cadena de suministro trabajando de forma que se pudiera mantener el abastecimiento mundial. El comercio marítimo lo noto plenamente, sufriendo un retroceso del 3,8 % en 2020, la recuperación no ha alcanzado las cotas previas a la pandemia, con un crecimiento aproximado del 3%. En la siguiente imagen se puede comprobar la variación del comercio marítimo internacional y el PIB mundial, para así verificar cómo ha evolucionado este sector en relación con la economía mundial.



Fuente: Secretaría de la UNCTAD, sobre la base de UNCTADstat y de números anteriores del Informe sobre el transporte marítimo. Las cifras correspondientes al PIB de 2022 se basan en el cuadro 1.1, Crecimiento de la producción global en 1991-2023, del Informe sobre el comercio y el desarrollo 2022 de la UNCTAD.

Figura 10: Variación comercio marítimo y PIB mundial

Fuente: UNCTAD.

La situación que provocó la pandemia y que se vivió a continuación se caracterizó por lo siguiente:

- **Aumento de demanda:** con la pandemia, aumentó en gran medida el comercio electrónico, lo que conllevó una gran demanda de productos alrededor del mundo. Esta demanda necesitaba de un sistema de abastecimiento a nivel mundial que venía de estar casi parado y en su casi totalidad confinado, unido a que no esperaba este aumento tan drástico y otros motivos que se presentan a continuación derivó en una situación en la que la demanda no podía ser atendida.
- **Atasco a nivel mundial:** el aumento de demanda, unido a la situación sanitaria que mantenía países enteros en confinamiento provoca que los procesos en los puertos tarden mucho más, provocando un atasco a nivel mundial en los puertos, que ya venían acusando una situación de congestión previa a la pandemia. Los puertos no contaban con el personal ni con la infraestructura para dar entrada y salida a toda la carga que transitaba, por ello el tiempo de espera en los puertos se duplicó en 2021. Se sucedieron los retrasos y las esperas, con estimaciones que hablan de que con el estallido de la pandemia casi el 25% de la flota ha estado congestionado en los puertos alrededor del mundo, alcanzando entre 2020 y 2021 un incremento en la mediana de tiempo de espera de los portacontenedores en los puertos del 13,7%, con tiempos de espera de incluso 12 días, cuando la media normal está en torno a 2 días.
- **Falta de contenedores:** debido a la situación de creciente demanda, así como de falta de materia prima y mano de obra para elaborarlos, se alcanzó una situación en la que había una clara falta de contenedores. Los contenedores se convirtieron en bienes escasos, desbordados por la demanda y con la mayoría atascados en los puertos era muy complicado mantener la cadena del transporte marítimo de mercancías trabajando, lo que resultó en una situación de falta de capacidad para dar respuesta.
- **Aumento del precio de los fletes:** con esta situación de congestión y con la falta de mano de obra, infraestructura y contenedores los precios del transporte de mercancías por vía marítima se llegaron a duplicar y casi triplicar en momentos críticos. Un informe de la UNCTAD apunta que, por ejemplo, en 2019, en una ruta común que se da entre China y América del Sur el precio de los fletes por TEU se encontraba en 2000 dólares, en 2020 llegó a lanzar 6543 dólares y en 2021, 10.196 dólares. Esta situación sigue teniendo repercusión hoy en día, estimándose que los precios han aumentado en 2023 un 1,5 % respecto a una situación hipotética en la que no se hubiera dado una subida en los precios de los fletes.
- **Problemas logísticos y operacionales:** la congestión de los puertos, los retrasos y todas las incidencias provocaron problemas en toda la cadena logística, no tan solo del transporte marítimo de mercancías, sino de todo el transporte en su totalidad, teniendo repercusión en todos los sectores y en la economía mundial, como se ve en el PIB, figura 10. Estos hechos también provocaron que los agentes

del transporte marítimo buscaran diferentes soluciones como cambiar las rutas, los puertos que emplean o la forma de actuación. Estos cambios y la falta de estabilidad en las actuaciones de las empresas navieras se han traducido en unas pérdidas de alrededor de 5.000 a 10.000 millones de euros. Como se ha dicho, la forma de actuación también ha cambiado, el transporte marítimo se ha visto obligado a adaptarse a esta situación implementando nuevas ideas y métodos para hacer frente a la situación, como llevar a cabo una planificación más extensa y con mayor antelación o tener un almacenamiento y una previsión de abastecimiento mayor para no quedarse sin existencias.

- Futuro comprometido: todos estos impedimentos han puesto el transporte marítimo de mercancías en una situación compleja. En un momento en el cual el transporte marítimo está luchando para poder alcanzar la neutralidad climática y llevar a cabo una transición ecológica sostenible ha visto como su posición, estabilidad y economía han sido totalmente sacudidas. Esto es un aviso más de la necesidad de que el transporte marítimo este unido para poder hacer frente a estas situaciones con garantías en los próximos desafíos que se le presentan.

También hay que indicar que las navieras han sido unas de las grandes beneficiadas de esta situación. Han tenido que hacer frente a todas las complicaciones que se han presentado, pero con el aumento del precio de los fletes han logrado obtener unos beneficios muy altos.

Tras la pandemia y cuando el sector y el mundo se iban estabilizando y poniendo en marcha, estalló la guerra de Ucrania, por lo que muchos de los problemas vividos durante la época de pandemia y postpandemia se mantuvieron o se vieron incentivados, especialmente en el caso de Europa, que vio como los puertos del mar Negro quedaron inutilizados y el comercio con Rusia y Ucrania muy debilitado.

A su vez, esto también da respuesta y explica numerosas cuestiones, como el hecho de que, como se verá en la figura 12, el carbón haya visto un aumento en su uso en búsqueda de alternativas al gas ruso, o el descenso de tránsito de graneleros y buques de carga general que transportaban especialmente alimentos y materias primas desde Ucrania, gran exportador de grano, trigo y hierro.

Muchos de estos problemas persisten, aunque ya en menor medida, ya que se ha actuado y se han corregido y tratado de solucionar la mayoría de ellos. Sin embargo, se sigue tratando de dar respuesta a la creciente demanda, se necesita un mayor número de contenedores y una flota mayor y más moderna para poder afrontar el futuro con garantías y tranquilidad.

En muchos casos se mantienen buques de una edad muy avanzada, en términos de transporte, ya que el sector está a la espera para poder adaptarse directamente a la transición de los combustibles que debe llegar. Esta es una de las razones principales por las que no hay un crecimiento de la flota en concordancia con la situación previamente explicada y que se observa en la figura 11, y es que hasta que estén totalmente desarrolladas estas tecnologías se está esperando para renovar la flota. Pero esto supone que la flota este cada vez más vieja, con un promedio de edad de casi 20 años, menos

actualizada y adaptada a la nueva regulación y medidas que se implantan, con un porcentaje de nuevos buques muy menor al que debería ser si se compara con las perspectivas a futuro del sector y con la demanda que se tiene hoy en día. A continuación, se observa la tasa de crecimiento de la flota mercante mundial cada año, se aprecia como desde hace aproximadamente una década la tasa de crecimiento se ha visto reducida, esto como se ha explicado se debe a que el sector se encuentra en una situación complicada, en medio de una transición en la que nadie se quiere quedar atrás ni perder competitividad respecto a los demás.



Fuente: Cálculos de la UNCTAD, basados en datos proporcionados por Clarksons Research.

Nota: Buques de navegación marítima con propulsión propia de un arqueo bruto igual o superior a 100 TB, a 1 de enero de 2022.

Figura 11: Tasa de crecimiento de la flota mercante mundial.

Fuente: UNCTAD.

Se debe añadir, que en 2021 y 2022 se ha visto una tendencia positiva a favor de la construcción de nueva flota y se ha encargado la construcción de numerosos buques que entrarán a formar parte de la flota en los siguientes años. Como se verá a lo largo del proyecto, la inversión es fundamental para llevar a cabo este tipo de construcciones, por lo que gracias a la inversión y el desarrollo que se está impulsando en el sector se está revirtiendo esta situación y se espera que la tasa de crecimiento aumente de forma importante en los próximos años.

Esta tendencia de crecimiento se puede ver corroborada en informes de ANAVE en los que explica como Clarksons, una consultora marítima que ofrece servicios al sector marítimo ha estimado que la flota global aumentará aproximadamente en un 3,5% para

2023, esto permitirá a su vez afrontar un aumento de la demanda que se espera que aumente casi un 5% para 2023.

En cuanto a la carga y la flota, en la siguiente imagen se extraen numerosas conclusiones y permiten conocer la evolución y estado del sector. El crudo y los productos relacionados con el petróleo son la principal carga que se comercia por vía marítima. La dependencia que tiene el mundo en estos productos provoca que su comercio sea prácticamente constante, como se puede observar su uso todavía es mayoritario y todavía no se aprecia un descenso pronunciado en su comercio debido a la introducción de nuevos combustibles, aunque en el sector si se habla de una reducción progresiva de su uso. Lo mismo ocurre con el carbón, un material el cual está siendo eliminado del mix energético de la mayoría de los países, sin embargo, su comercio sigue siendo más que apreciable e incluso ha aumentado en los últimos años debido a los altos precios de otros tipos de energías debido a la situación, previamente citada, que se vive con la guerra de Ucrania. A su vez, se observa que cada vez se emplean más los portacontenedores y los graneleros para el transporte de mercancías. Su uso es cada vez mayor y como se ha visto es necesaria la ampliación de la flota y la actualización de esta para hacer frente a toda la carga que se necesita transportar y la demanda que está en aumento.

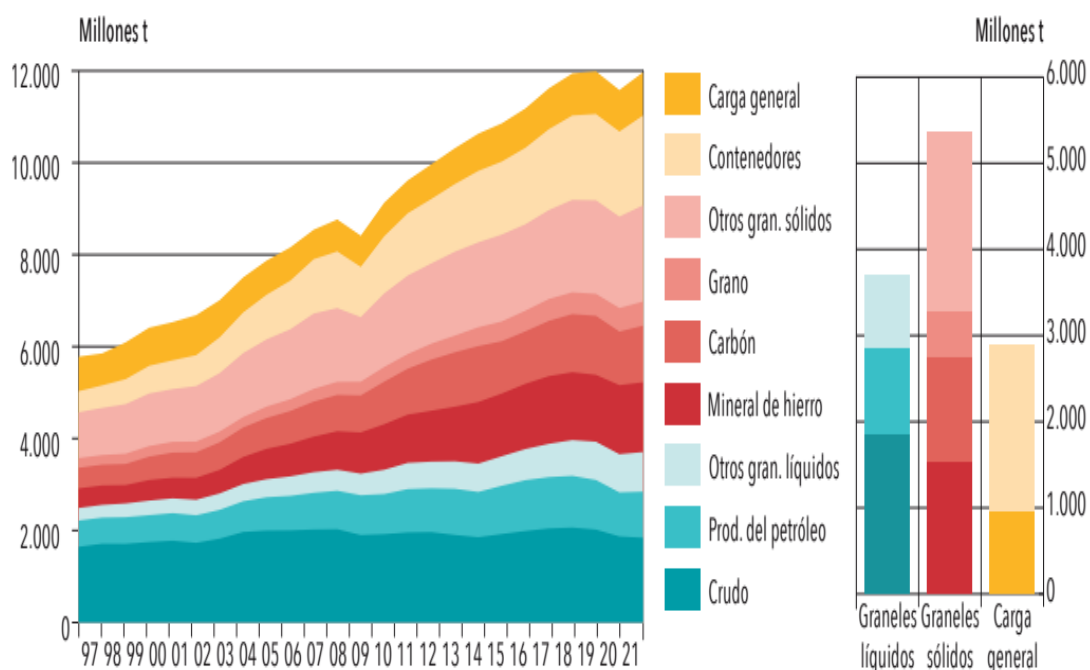


Figura 12: Mercancía transportada a nivel mundial.

Fuente: ANAVE.

En el caso de España, ANAVE presenta la evolución que se ha vivido en el sector en las últimas décadas, poniendo el foco en los años de pandemia. En 2021 las exportaciones españolas consiguieron recuperarse y superar los niveles prepandemia, con 5.1 % de crecimiento respecto a 2019. Sin embargo, las importaciones y el cabotaje no lograron terminar de recuperarse y presentan tasas decrecientes, -5.6% y -7,7%, respectivamente.

En la siguiente imagen se puede apreciar esta situación, las exportaciones fueron las que menos sufrieron la situación mientras que en las importaciones y en el cabotaje si se puede observar un impacto más acusado, esto contribuye a que la recuperación de los niveles de exportación haya sido más rápida y sostenible, mientras que, como se comprueba en los datos que se presentan, las importaciones y el cabotaje siguen en proceso de recuperación.

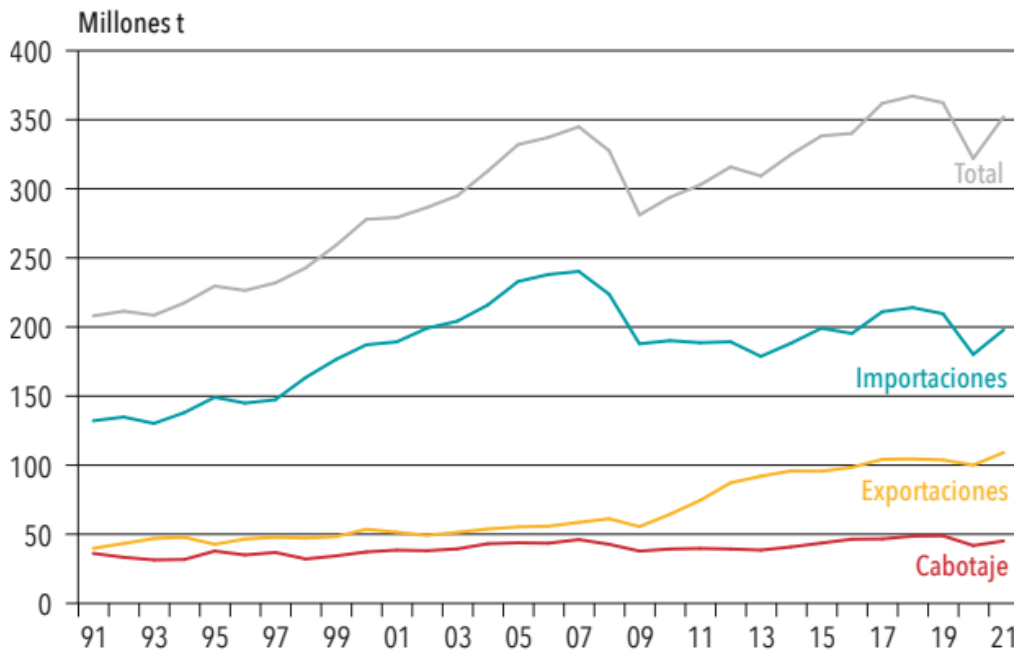


Figura 13: Evolución del comercio marítimo de España.

Fuente: ANAVE.

España no ha podido evitar sufrir la situación vivida de forma global y también ha tenido que hacer frente a todas las situaciones previamente descritas. Con los puertos más importantes del país congestionados, una demanda creciente y unos precios de los fletes marcando máximos, el transporte marítimo español también vio como la estabilidad y el equilibrio del sector se tambaleaba. La flota perteneciente a navieros españoles, según ANAVE, se calcula alrededor de los 215 buques, una flota bastante reducida si se quiere competir contra los grandes controladores del comercio marítimo mundial. Como se ha visto España cuenta con numerosos puertos dispuestos a lo largo de la extensa costa, en una localización que convierte a España en un enclave estratégico de máxima relevancia, España debe potenciar su presencia y papel en el transporte marítimo de mercancías mundial, hecho que como se ha visto en los datos presentados anteriormente, potenciaría la economía española. Sin embargo, España cuenta con una flota de avanzada edad, en la que la modernización y la implantación de la regulación y las nuevas medidas van a jugar un papel clave. ANAVE estima que el 75 % de la flota no está preparada para medidas como EEXI, que se explicará posteriormente, o el reglamento europeo “FuelEU Maritime”, desarrollado durante el proyecto, el cual podría llegar a tener un impacto anual de un millón de euros por cada embarcación hasta 2030. Por lo tanto, es necesario el

apoyo de todas las instituciones y organismos para que el transporte marítimo español se pueda adaptar a las nuevas exigencias y no se quede atrás en la transición, una importante inversión y una estructura sólida en la que el transporte marítimo español se pueda apoyar para así poder desarrollarse y convertirse en un sector puntero.

En cuanto a la situación que vive el transporte marítimo de mercancías en relación con el medio ambiente y su impacto en este, se toman las palabras del exdirector ejecutivo de AEMA Hans Bruyninckx:

“Aunque ya se han tomado medidas basadas en las políticas europeas e internacionales, se necesita un esfuerzo mucho mayor para lograr un sector del transporte marítimo sostenible que contribuya a garantizar el bienestar futuro y la supervivencia de nuestros ecosistemas y zonas costeras más sensibles, así como el bienestar de la ciudadanía europea”.

Por tanto, el trabajo realizado durante los últimos años ha dado sus frutos, pero queda todavía mucho trabajo para alcanzar los objetivos marcados. Para poner en contexto la situación, la OMI ha establecido como objetivo reducir las emisiones de CO₂ un 40% para 2030 y un 70 % para 2050, en el caso del transporte marítimo, la OMI establece una reducción en las emisiones de GEI del 50 % para 2050, todo ello en comparación con los niveles de 2008.

Las claves se repasan a continuación:

- El transporte marítimo de mercancías es el sistema de transporte que menos contamina.
- El gas de efecto invernadero que más se emite es el dióxido de carbono, con diferencia. Los gases contaminantes donde más se ha puesto el foco son los óxidos de nitrógeno y de azufre
- La vejez y la falta de modernización de los buques se ha convertido en un problema añadido para poder combatir las emisiones.
- Unos pocos buques concentran gran parte de la emisión de gases contaminantes y GEI, casi el 90% de estas emisiones las concentran los petroleros, graneleros y portacontenedores. Explica el hecho por el cual la gran mayoría de soluciones y medidas se adoptan para este tipo de buques, que suelen ser los de mayor peso, volumen y carga.
- Existen numerosos tratados, pactos y acuerdos con lo que se trata de dar solución a los problemas medioambientales que existen. En el proyecto se pondrá el foco en el Acuerdo de París y en el caso de la Unión Europea y España, el Pacto Verde. Las medidas y planes de acción son muy numerosos y se presentarán en el proyecto.
- Las principales soluciones, que se presentan a lo largo del proyecto, tienen que ver principalmente con cuestiones regulatorias, técnicas, de infraestructura y sobre todo con el combustible que se emplea para propulsar los buques. En esta

cuestión se pone especial atención en estos, ya que, si se encuentra un combustible alternativo que permite sustituir a los combustibles fósiles, principales causantes de las emisiones, se podrá asegurar la transición ecológica hacia un transporte con cero emisiones.

A continuación, se realiza una presentación de estas medidas que se desarrollaran a lo largo del proyecto:

- En cuanto a los combustibles, se pone el foco principalmente el reglamento europeo “FuelEU Maritime”, dentro de los combustibles alternativos se desarrollarán con especial interés el hidrógeno y el amoniaco, dos de las opciones que parecen más viables para sustituir a los combustibles fósiles.
- Medidas desarrolladas a favor de zonas en las que no se produzcan emisiones y sean la semilla de un transporte sin emisiones, es el caso de las rutas verdes y las zonas ECA
- Medidas para el desarrollo y transición ecológica de la infraestructura, como puede ser la completa electrificación de los puertos y el desarrollo de toda la infraestructura para la implementación de los nuevos combustibles.
- Regulación mediante la cual sentar las bases del cambio que se va a llevar a cabo en el sector. Es de especial importancia MARPOL, en el cual se encuentra la mayoría de las medidas que tratan sobre las emisiones de los buques (zonas ECA, emisión de hidrocarburos, COVs...). Dentro de esta regulación también tiene un papel desatacadado la OMI, la cual es la encargada de establecer los plazos y las principales pautas a seguir por el transporte marítimo de mercancías. A continuación, se puede ver en forma de tabla el plan de acción de la OMI, estos plazos y los porcentajes pueden sufrir cambios según la rapidez y el desarrollo de las nuevas tecnologías y la implementación de las medidas.

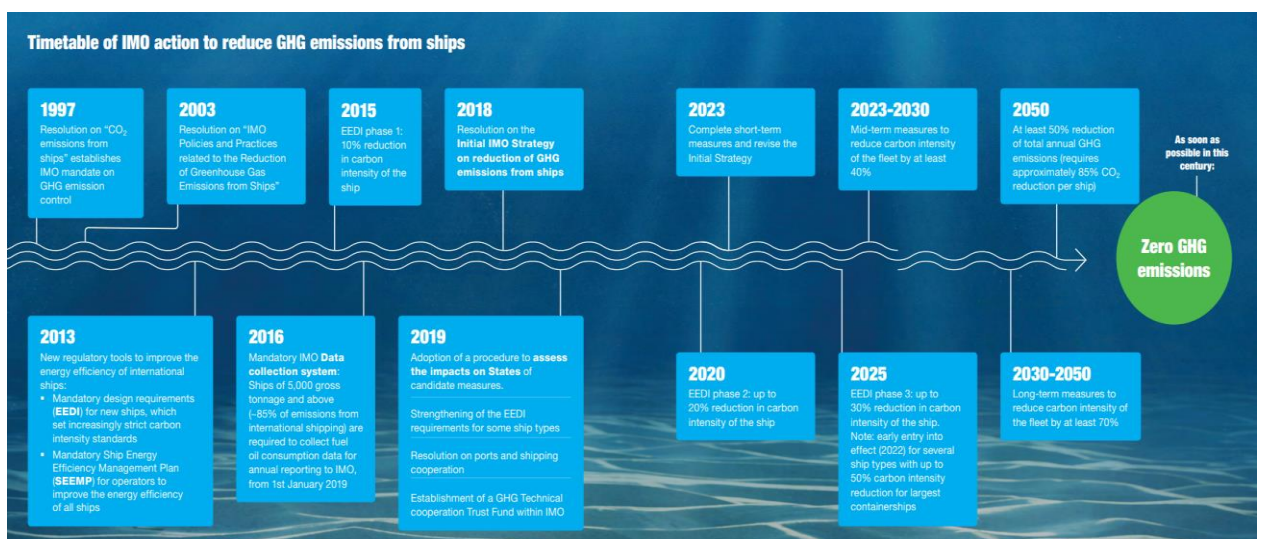


Figura 14: Agenda de actuaciones de la OMI.

Fuente: OMI.

Dentro de las medidas adoptadas por la OMI, hay dos que se han convertido en imprescindibles y esenciales para el transporte marítimo. Estas ya han sido nombradas en el trabajo, son el EEDI y el SEEMP.

- Índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI): es la medida de mayor calado que se ha realizado en el sector del transporte marítimo, está enmarcada en las medidas del anexo VI del Convenio de MARPOL y entró en acción completa en 2013. Esta medida está encaminada a mejorar la eficiencia energética de los buques, provocando que todos los buques nuevos deban adaptarse obligatoriamente a esta medida, con ciertas excepciones, pero la gran mayoría de los buques están bajo el cumplimiento de esta medida, especialmente los que más contaminan (portacontenedores, graneleros, petroleros...).

El índice está basado en una fórmula que incluye las características técnicas de cada buque, mediante esta, se obtiene una cifra cuyas unidades son gramos de CO₂ por milla de capacidad del buque, ya que lo que representa es el límite de eficiencia energética por milla de capacidad de cada buque. Respetando esta cifra, se desarrollarán los buques con los sistemas de eficiencia energética que vean necesarios en cada caso, si el EEDI es muy pequeño, mayor será la eficiencia energética del buque.

El EEDI es una medida progresiva, es decir se va desarrollando durante el tiempo y cada 5 años se impondrán niveles más restrictivos, pasando del 10% de reducción inicial hasta un 30% a partir de 2025.

En la siguiente imagen se puede apreciar cómo funciona el EEDI:

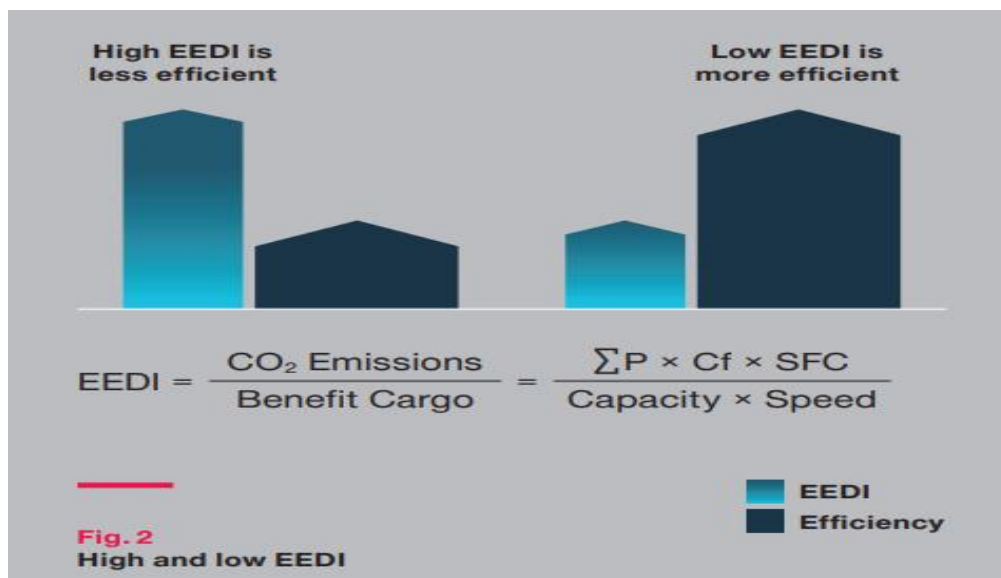


Figura 15: Funcionamiento y cálculo del EEDI.

Fuente: MAN.

La fórmula con la que se calcula el EEDI es mucho más compleja, en la figura 15 se observa de manera simplificada para un entendimiento más sencillo.

- Plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP): es un documento obligatorio para todos los buques también enmarcado en el anexo VI del Convenio de MARPOL, es una medida cuya función principal es ofrecer mecanismos para mejorar la eficiencia energética de los buques de una manera económicamente sostenible. Por lo que principalmente el SEEMP lo que hace es establecer las diferentes opciones y soluciones mediante las cuales aumentar la eficiencia energética de cada buque, esto se consigue mediante el estudio de los buques, de su estado, de su funcionamiento, el combustible, las tecnologías o medidas nuevas que se pueden implementar en el buque. El SEEMP también fomenta el uso del índice de eficiencia energética operacional, EEOI, una herramienta complementaria mediante la cual se puede conocer el nivel de consumo eficiente de combustible, dato de gran ayuda para poder mejorar la eficiencia y poder encontrar los puntos de trabajo óptimos.

El 2023 comienza con la introducción por parte de la OMI de dos índices novedosos con los que se regula en mayor medida la eficiencia y el carbono de los buques. Se pueden considerar la continuación y desarrollo de los nombrados EEDI y SEEMP. El 1 de enero entran en vigor estas dos nuevas medidas que son:

- Índices de eficiencia de buques existentes, EEXI:
Es la continuación de EEDI que se aplica en este caso a todos los buques que esta medida no recogía, pone el foco especialmente en los buques de más de 400 GT. El principio de uso y aplicación es el mismo que el EEDI.
- Indicador de intensidad de carbono, CII:
Es un indicador que se establece dentro de los SEEMP, mediante este se establece una escala “A, B, C, D, E” en la cual se califican a los buques de más de 5000 GT según las emisiones de carbono que producen en servicio. Además, el CII también permite conocer el factor de reducción de emisiones de CO₂ que cada buque debe perseguir. Como se ha indicado, el CII será presentado a la OMI para que así se pueda establecer en que posición de la escala se encuentra el buque, donde la A es el mejor rendimiento y así hasta la E que es el de peor rendimiento. Según la posición y el factor de reducción del buque quedará determinadas las actuaciones y medidas que deben adoptar cada buque en cada caso. Un aspecto muy novedoso es que los buques que reciban una calificación de E, o de D durante tres años seguidos, deberán inmediatamente modernizar su flota para entrar dentro de los estándares establecidos y mejorar su posición en la escala. Por lo que, el CII no es tan solo un indicador, sino que mediante su uso provoca la actuación y modernización de la flota, adaptándose a las exigencias del sector. En la siguiente imagen se puede observar cómo funciona, el barco 1 “Ship 1” tiene una calificación de A, por lo que deberá tratar de mantener ese grado de calificación y mantener el factor de reducción de CO₂ que se le ha establecido. Mientras tanto el barco 2, “Ship 2”, recibe una calificación de E, es por ello por

lo que debe modernizarse y adoptar medidas para poder reducir sus emisiones de CO2 y alcanzar la calificación C, por lo menos.

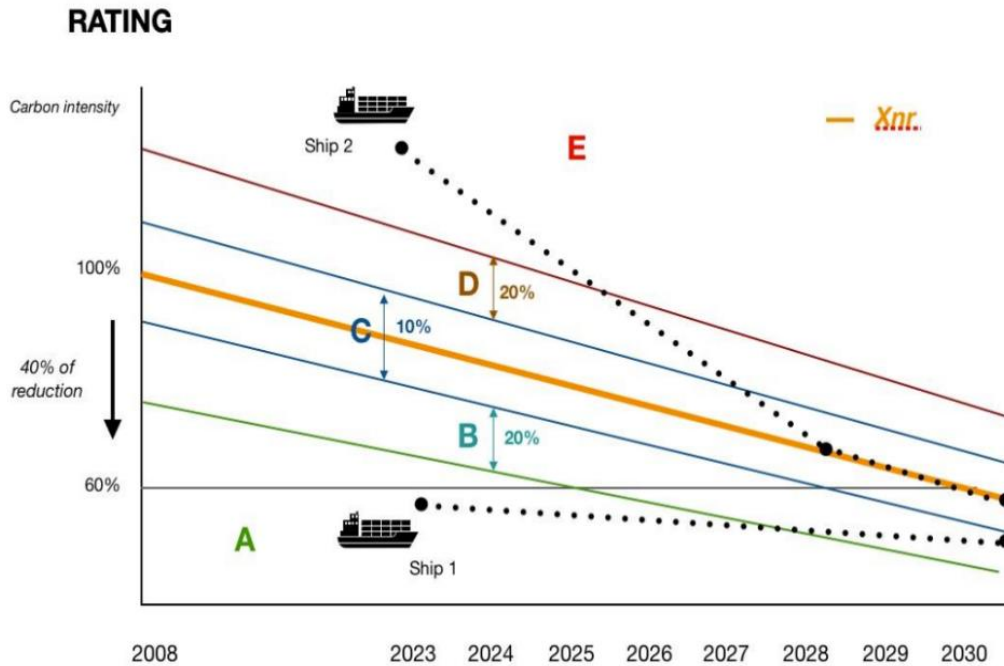


Figura 16: Funcionamiento CII.
Fuente: OMI.

En el caso de España, como se ha visto anteriormente, hace falta un desarrollo importante en la flota para poder adaptarse a las medidas que se están implantando para combatir el impacto del transporte marítimo en el medio ambiente.

Por último, la concienciación respecto a la huella de transporte que se emplea, en un apartado más centrado en el transporte de pasajeros pero que es también aplicable al mercantil, es muy reducida, con un porcentaje del 90% de personas que no se preocupan por la huella de carbono que dejan los transportes, según el estudio realizado por Eurobarómetro. Se espera que en los próximos años esta concienciación crezca y sea cada vez más importante ayudando e impulsando la transición hacia la neutralidad ecológica.

En esta imagen se observa un resumen de estas medidas:

IMO STRATEGY ON REDUCTION OF GHG EMISSIONS FROM SHIPS



NEW REQUIREMENTS UNDER MARPOL ANNEX VI ADOPTED BY GOVERNMENTS

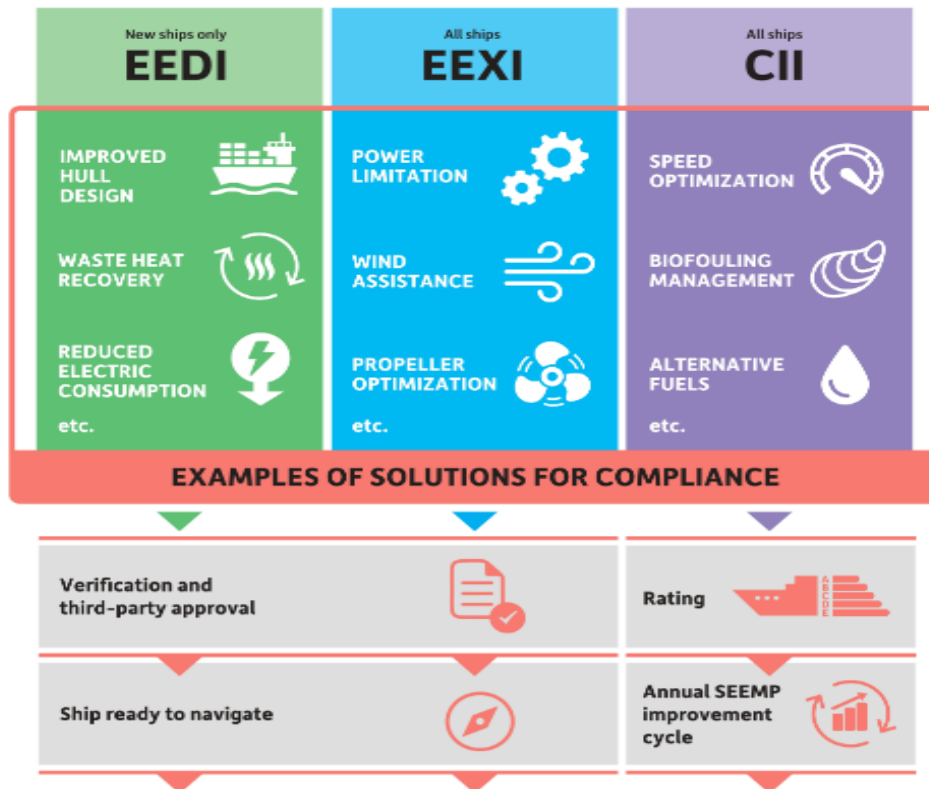


Figura 17: Resumen medidas OMI.

Fuente: OMI.

6. Regulación

6.1 Convenio MARPOL

EL Convenio MARPOL, procedente de Marine (Mar) Pollution (-pol), es un acuerdo internacional en el que se establece el compromiso de promover la prevención de la contaminación producida por los buques. Se establece el reglamento a seguir para poder reducir la contaminación en todas las actividades y procesos que llevan a cabo, así como en accidentes. Se trata del acuerdo internacional más relevante que hace referencia a esta cuestión.

Se establece durante el convenio internacional para prevenir la contaminación producida por los buques celebrado en 1973, organizado y dirigido por parte de la OMI. Durante los siguientes años, el convenio no llega a entrar en vigor, a su vez, tienen lugar numerosos accidentes de buques petroleros, como el caso del petrolero Olympic Bravery que en 1976 se partía en dos frente a las costas francesas transportando más de 250.000 toneladas de petróleo. Otro caso, ocurrió el mismo año en las costas gallegas cuando el Urquiola se hundió prendiéndose fuego y vertiendo más de 100.000 toneladas de crudo al agua.

Estas catástrofes marítimas provocaron que se desarrollara el Protocolo de 1978, el cual tomaba el relevo del Convenio, que no había entrado en vigor. Finalmente entra en vigor el 2 de octubre de 1983, ha ido sufriendo nuevas incorporaciones y actualizaciones hasta llegar al momento actual en el que consta de seis anexos.

A continuación, se expondrán los anexos con una breve descripción de su objetivo, según lo describe la OMI en “Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL)”.

- Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.

Entra en vigor en 1983, aporta medidas preventivas que se deben adoptar durante la operación de los buques, así como ante derrames de contaminantes accidentales, para controlar la contaminación por hidrocarburos. Cabe destacar la medida de obligatorio uso del doble casco por parte de los petroleros, así como su uso para los buques tanque.

- Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel.

Entra en vigor junto al Anexo I, como el nombre indica se estipula las reglas para evitar la contaminación dada a partir de sustancias nocivas líquidas transportadas a granel, en este conjunto de sustancias se engloban más de 200 tipos de sustancias que ocupan un apéndice específico en el Convenio. Se incluyen especificaciones sobre descargas, poniendo especial énfasis en la descarga de residuos, que debe

darse en las instalaciones de recepción, exceptuando ciertos casos que dependen de la concentración y las condiciones de las sustancias en cuestión.

- Anexo III: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos.

Entró en vigor en julio de 1992, en este se establecen ordenes generales para la normalización de los procesos de empaquetado, marcado, etiquetado, documentación, estiba, limitaciones cuantitativas, excepciones y notificaciones. Establece como sustancias perjudiciales las que en el Código marítimo internacional de mercancías peligrosas aparecen como contaminantes, previamente citadas en el trabajo.

- Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por aguas sucias de los buques.

Entra en vigor en 2003, aporta los preceptos en cuanto a la contaminación de los buques por aguas sucias. Establece el uso de un sistema de tratamiento de aguas aprobado para poder descargarlas o su desinfección y separación para descargarlas al menos a 3 millas marítimas de la costa más cercana. Si no se realizan estos procesos, la distancia aumenta a 12 millas.

- Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por la basura de los buques

Entra en vigor en 1988, se abordan los diferentes tipos de basura que generan los buques, así como lo relacionado con su evacuación, distancias a tierra y mecanismos a emplear. A su vez se establece la prohibición de verter cualquier clase de plástico al mar.

- Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques

Último anexo que entró en vigor en 2005, se trata del anexo que más se alinea con los objetivos de este trabajo. Se determinan los límites para las emisiones de óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno por parte de los buques, prohibiendo a su vez la emisión premeditada de gases que afecten a la capa de ozono. Estas normas son más estrictas en las zonas de control de emisiones.

En 2011 se realiza la última incorporación en el que se aportan reglas de carácter técnico y operacional de uso obligatorio con el objetivo de impulsar la eficiencia energética de los buques reduciendo así la contaminación que generan, como son los ya citados EEDI y SEEMP.

Como parte del Convenio y teniendo en cuenta los objetivos de los diferentes anexos se desarrollaron unas determinadas zonas marítimas alrededor del planeta que debido al tráfico que aglutinan y a las condiciones y características que tienen, como puede ser su vida marítima, su importancia ecológica o su situación medioambiental, son consideradas zonas especiales. Es por ello por lo que estas zonas cuentan con normativa y especificaciones propias de carácter obligatoria desarrolladas para protegerlas, por lo tanto, son zonas que tiene una protección superior al resto de zonas marítimas, convirtiéndolas en lugares en los que se debe poner especial atención.

A continuación, se adjunta una tabla de las zonas especiales adoptadas para cada anexo, en él se observa la zona y las fechas de entrada en vigor y en efecto de cada una de ellas.

Zonas especiales	Adopción #	Entrada en vigor	Con efecto desde
Anexo I: Hidrocarburos			
mar Mediterráneo	2 nov 1973	2 oct 1983	2 oct 1983
mar Báltico	2 nov 1973	2 oct 1983	2 oct 1983
mar Negro	2 nov 1973	2 oct 1983	2 oct 1983
mar Rojo	2 nov 1973	2 oct 1983	*
zona de los Golfos	2 nov 1973	2 oct 1983	1 ago 2008
golfo de Adén	1 dic 1987	1 abr 1989	*
zona del Antártico	16 nov 1990	17 mar 1992	17 mar 1992
aguas noroccidentales de Europa	25 sept 1997	1 feb 1999	1 ago 1999
zona de Omán del mar Árabe	15 oct 2004	1 en 2007	*
aguas meridionales de Sudáfrica	13 oct 2006	1 mar 2008	1 ago 2008
Anexo II: Sustancias nocivas líquidas			
zona del Antártico	30 oct 1992	1 jul 1994	1 jul 1994
Anexo IV: Aguas sucias			
zona del mar Báltico	15 jul 2011	1 en 2013	**
Anexo V: Basuras			
mar Mediterráneo	2 nov 1973	31 dic 1988	1 may 2009
mar Báltico	2 nov 1973	31 dic 1988	1 oct 1989
mar Negro	2 nov 1973	31 dic 1988	*
mar Rojo	2 nov 1973	31 dic 1988	*
zona de los Golfos	2 nov 1973	31 dic 1988	1 ago 2008
mar del Norte	17 oct 1989	18 feb 1991	18 feb 1991
zona del Antártico (al sur del paralelo 60° S)	16 nov 1990	17 mar 1992	17 mar 1992
región del Gran Caribe, incluidos el golfo de México y el mar Caribe	4 jul 1991	4 abr 1993	1 may 2011

Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques (zonas de control de las emisiones)			
mar Báltico (SO _x)	26 sept 1997	19 may 2005	19 may 2006
mar del Norte (SO _x)	22 jul 2005	22 nov 2006	22 nov 2007
ECA de Norteamérica (SO _x y materia particulada)	26 mar 2010	1 ago 2011	1 ago 2012
(NO _x)	26 mar 2010	1 ago 2011	***
ECA del mar Caribe de los Estados Unidos (SO _x y materia particulada)	26 jul 2011	1 en 2013	1 en 2014
(NO _x)	26 jul 2011	1 en 2013	***

* Las prescripciones sobre zonas especiales correspondientes a estas zonas todavía no han entrado en vigor debido a que las Partes en el Convenio MARPOL cuyos litorales limitan con las zonas especiales pertinentes no han notificado la existencia de instalaciones de recepción adecuadas (reglas 38.6 del Anexo I y 5 4) del Anexo V del Convenio MARPOL).

** Las nuevas prescripciones sobre zonas especiales, que entraron en vigor el 1 de enero de 2013, sólo tendrán efecto cuando se hayan recibido suficientes notificaciones sobre la existencia de instalaciones de recepción adecuadas por parte de las Partes en el Anexo IV del Convenio MARPOL cuyos litorales limitan con las zonas especiales pertinentes (regla 13.2 del Anexo IV revisado del Convenio MARPOL, adoptada mediante la resolución MEPC.200(62)), que entró en vigor el 1 de enero de 2013).

*** Los buques construidos el 1 de enero de 2016 o posteriormente que operen en estas zonas de control de las emisiones cumplirán las normas de nivel III sobre las emisiones de NO_x que figuran en la regla 13.5 del Anexo VI del Convenio MARPOL.

Figura 18: Zonas de actuación Anexos MARPOL.

Fuente: MARPOL.

Como se ha resaltado anteriormente es de especial importancia las zonas delimitadas por el anexo VI. En este se estipulan las conocidas como zonas ECA (Emission Control Areas), son áreas costeras dentro de la superficie marítima donde se controlan las emisiones de los buques, introduciendo regulaciones y normativa para controlar y reducir las emisiones.

Estas áreas son conocidas principalmente por la obligación de los buques de emplear combustibles con bajos niveles en azufre. La gran mayoría de buques cambian de combustible que alimenta la propulsión principal y los aparatos auxiliares al entrar y salir

de las zonas ECA. Llevándose un estricto registro de todo el proceso, en el que el suministrador debe estipular el nivel de azufre que contiene el combustible y la tripulación debe controlar que este combustible no se mezcle con otros de mayor contenido en azufre, al entrar en las Zonas ECA deberán registrar el cambio, cuando se realizó y cuanto combustible de bajas emisiones en azufre fue empleado durante la travesía en estas zonas. Esta práctica se realiza mucho cuando se emplean combustibles como el petróleo y antes de entrar a las zonas ECA se pasa a emplear GNL. Existen otros métodos que nos permiten no tener que cambiar de tipo de combustible, principalmente el empleo de mecanismos que reducen los niveles de azufre en los escapes de los buques depurando el combustible, conocidos como “scrubbers” o ‘lavadores’, o como ocurre cada vez más y se espera que su uso se normalice, el uso a lo largo de todo el trayecto de combustibles con bajo contenido en azufre como el combustible ULSFO, “Ultra-Low Sulphur Fuel Oil”.

Actualmente, las cuatro zonas ECA son las designadas en la figura 19, ya se ha acordado la introducción del mar Mediterráneo como quinta zona ECA, entraría en vigor en torno al 2025. Otros países como México, Australia y China también han pedido que sus costas se declaren zonas ECA, quedando el mapa mundial así:

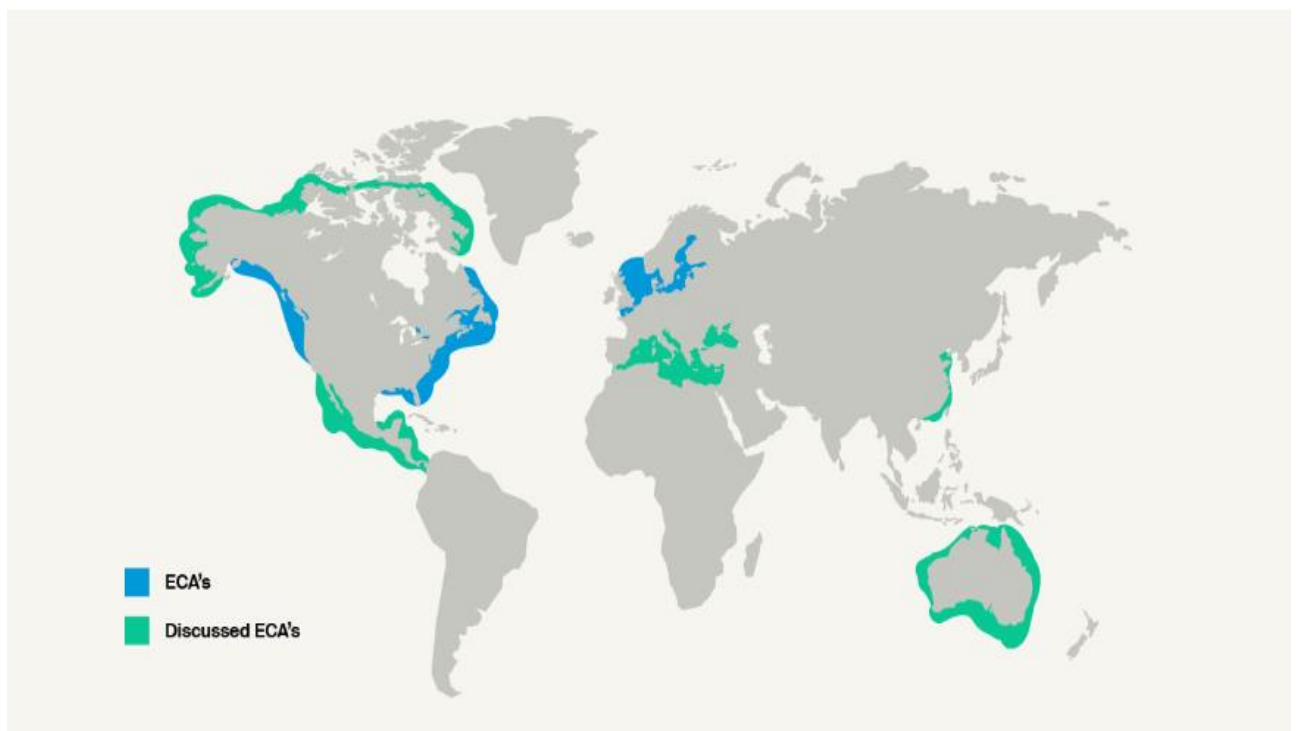


Figura 19: Zonas ECA.

Fuente: KUEHNE-NAGEL.

Las principales diferencias que presentan las zonas ECA con el resto de las zonas se analiza a continuación.

En las zonas no ECA desde el 2020 tienen la obligación de cumplir con el límite de 0,50 % masa/ masa de contenido de azufre en los combustibles que emplean. Mientras que en las zonas ECA se establece un límite de 0,10 % masa/masa. Para establecer un contexto económico para este tipo de medidas que se adoptan, el hecho de establecer el límite del 0,5 % supondrá al sector naviero alrededor de 60.000 millones de dólares al año, según ANAVE: “SOBRE EMISIONES A LA ATMÓSFERA DEL TRANSPORTE MARÍTIMO ANAVE / OCTUBRE 2019”

Por lo tanto, no todo son beneficios en cuanto a la implementación de las zonas de control de emisiones. Es verdad, que los beneficios en cuanto a las implicaciones en el medio ambiente y la reducción son indudables. Sirven como claro ejemplo del camino que hay que seguir para lograr los ceros emisiones netas para 2050 y muestran los avances y la importancia que tienen este tipo de proyectos.

Sin embargo, este tipo de proyectos también tienen un significativo impacto en los costes y en las inversiones que se deben realizar para adecuar la infraestructura a las condiciones requeridas. Y es que el uso de carburantes con un contenido tan bajo de azufre es más costoso que el importe de otros carburantes que no tienen en cuenta este requerimiento.

Además, el hecho de tener que adaptar la flota hacia este nuevo horizonte es algo que se debe tener en cuenta, observando el coste estimado de medidas como la del 0,5%. Es por ello por lo que se debe promover e impulsar mediante inversión e iniciativas que permitan que las navieras, principalmente, puedan afrontar estos costes sin verse castigados, tanto en el aspecto económico como en el competitivo.

Mediante la siguiente imagen se puede apreciar claramente el impacto que tienen las ECA, así como se entiende la necesidad de implementar nuevas zonas ECA, como es el caso del mar Mediterráneo.

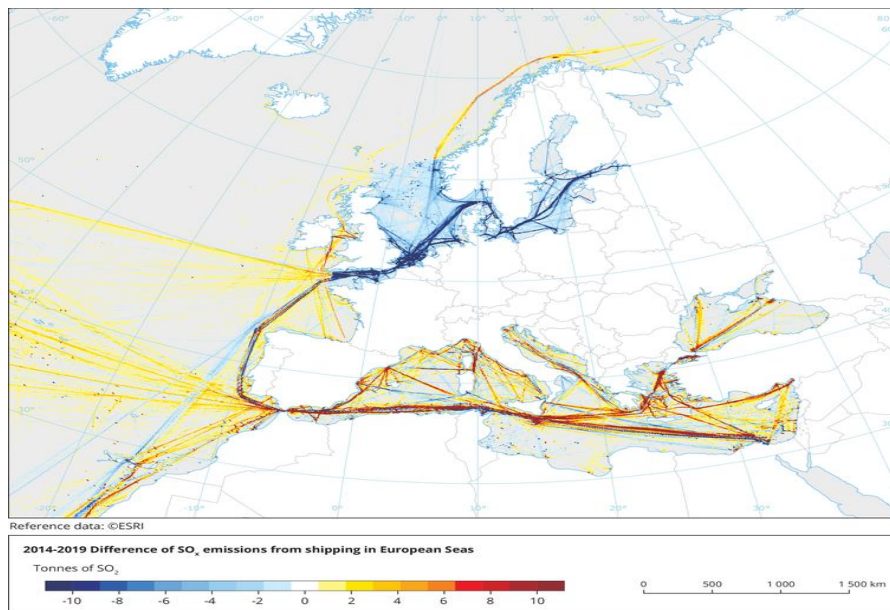


Figura 20: Reducción SOx en la UE.

Fuente: Agencia Europea de Medioambiente.

Como se puede observar las principales rutas que se dan en el mar del Norte y en el Báltico han visto significativamente reducidas las emisiones de SOx producidas por buques, con una reducción de en muchos casos 10 toneladas. Mientras que las rutas del Mediterráneo han sufrido un aumento de las emisiones de la misma cantidad de toneladas.

Cabe destacar que en el mar del Norte se encuentran los tres puertos europeos más transitados e importantes de Europa, como ya se expuso, Rotterdam, Hamburgo y Amberes. Por lo que este tipo de medidas se pueden adoptar en todo tipo de rutas y puertos, mientras que estén bien reguladas y aplicadas. Es importante aclarar este apartado, ya que en muchos casos no se pone el foco en los puntos más significativos que son los puertos más grandes o rutas de gran importancia, como es el Canal de la Mancha. Para muchos organismos e instituciones esta es una razón más para declarar ECA el Mediterráneo, el cual es la entrada o salida del Canal de Suez, que como se ha visto es uno de los puntos estratégicos en el transporte marítimo más importantes a nivel mundial.

Se ha tratado principalmente la problemática de los SOx, pero hay que tratar también otros dos contaminantes de gran importancia. Se comenzará tratando los óxidos de nitrógeno, NOx. En el Anexo VI también hay una regla que trata este tema, concretamente la decimotercera, dedicada en completo al control de las emisiones de NOx por parte de buques con motores diésel instalados.

Se establece un sistema basado en niveles, hay tres niveles en los que según la fecha de construcción del buque y el régimen nominal del motor se limitan los niveles de NOx que puede emitir el buque. En esta tabla realizada a partir de lo establecido por parte de la OMI, se permite entender lo explicado previamente:

Nivel	Fecha de construcción del buque	Valor límite de emisión ponderada total del ciclo (g/kWh)		
		n = régimen nominal del motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 enero 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 enero 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ por ejemplo, 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 enero 2016*	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 2.4	2.0

Figura 21: Sistema de cálculo de NOx.

Fuente: OMI.

En la mayoría de las zonas marítimas se aplica el nivel II, mientras que en las ya nombradas ECA se emplea el nivel III. Solo en algunos casos concretos y particulares se puede desoír estas reglas establecidas.

Para controlar las emisiones de los buques y certificar los motores que cumplen con los requerimientos de control de emisiones se ha desarrollado un certificado internacional conocido como EIAPP. Con este certificado se demuestra el cumplimiento de los requerimientos previos de los motores diésel en cuanto al control de emisiones de NOx. Posteriormente se deberá demostrar el cumplimiento de estos durante el funcionamiento de los motores en los buques.

Por último, también se incluye una regla, la número 15, específicamente para los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV's). Esta regla hace referencia a la necesidad de implementar un sistema de control de los COV's en ciertos buques, estos buques son en su gran mayoría buques tanque.

Cabe aclarar que, en muchos estudios y trabajos sobre el tema se puede encontrar una diferenciación dentro de las zonas ECA, hablando de las SECA que hacen referencia a la limitación de los óxidos de azufre y las zonas NECA, que se centran en los óxidos de nitrógeno. En este proyecto se habla de las zonas ECA en su globalidad, como se ha podido observar.

7. Objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero

España lleva ya varias décadas comprometida con la lucha contra el cambio climático y la descarbonización. Ejemplo claro de ellos es todos los acuerdos y tratados a los que se ha adherido con el objetivo de, tanto a nivel propio como internacional, luchar por reducir las emisiones de efecto invernadero. Destacan el protocolo de Kioto y el Acuerdo de París, así como los objetivos marcados por la Unión Europea, como es el Pacto Verde. Estos van a ser estudiados a continuación.

El Protocolo de Kioto se va a estudiar ya que supone los primeros pasos que se dieron con el objetivo de reducir las emisiones, supone el primer gran acuerdo entre países para comenzar a combatir un problema que comenzaba a tomar mucha relevancia, de este podemos conocer los cimientos de muchos de los organismos, procesos, acuerdos y mecanismos que se emplean hoy en día, es el primer gran paso que se trató de dar. Se tratará el Acuerdo de París, acuerdo con el que se alinea el proyecto y que marca los principales objetivos y metas que tiene el transporte marítimo de mercancías, así como la mayor parte de industrias y países. Por último, se conocerán los objetivos de la Unión Europea y el papel que juega en estos acuerdos. Se atenderá a la situación de España y la participación de este en los diferentes acuerdos y tratados.

7.1 Protocolo de Kioto

El Protocolo de Kioto es un tratado jurídicamente vinculante aprobado el 11 de diciembre de 1997 aunque no llegó a entrar en vigor hasta el 16 de febrero de 2005 debido a complicaciones y la complejidad de ratificar el acuerdo por parte de los países participantes.

Tras la primera Conferencia Mundial sobre el clima en 1979 se alertó de la gravedad y la urgencia de actuar frente al cambio climático. A raíz de esta primera cumbre, se sucedieron continuas cumbres, negociaciones, estudios y convenciones que abordaban esta problemática que ganaba relevancia de manera exponencial. De estos acuerdos y convenciones entre países nace la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, que cuenta con 198 participantes, 197 países y la UE, y se ha erigido como el principal foro de las Naciones Unidas dedicado a tratar el cambio climático. Nació el 9 de mayo de 1992 y entró en vigor en 1994, exactamente el 21 de marzo. Sin embargo, pocos años después los países integrantes comenzaron a vislumbrar la dimensión del problema que suponía el cambio climático y las emisiones de efecto invernadero como causa principal. Es por ello que en la primera COP celebrada en Berlín en 1995, la mayor parte de los países que años atrás se habían unido a CMNUCC vieron la necesidad iniciar nuevas conversaciones con el objetivo de fortalecer y especificar las posturas y compromisos tomados previamente, así como abrir nuevas rutas de actuación e incentivar la actuación, conociéndose esto como Mandato de Berlín.

El trabajo continuo hasta 1997 cuando se celebró en Kioto, Japón, la COP3, en esta convención se adoptó el conocido como Protocolo de Kioto. Nace bajo la CMNUCC, este tratado que en 28 artículos y dos anexos reflejaba todos los objetivos y principios que se habían adoptado en la convención y que se habían trabajado desde el nacimiento la CMNUCC.

La idea principal del tratado es vincular jurídicamente a los países industrializados, al ser considerados como los principales culpables de la gran parte de las emisiones de GEI a la atmósfera, en la reducción o limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. Esta forma de actuar en la que se establece la responsabilidad que tienen los diferentes estados en cuestiones de cambio climático, pero reconociendo una diferenciación en sus obligaciones e implicaciones según el caso de cada uno de ellos, es conocido como principio de “responsabilidad común pero diferenciada y respectivas capacidades”.

El Protocolo era la base en la que se estipulaban los pilares para alcanzar este objetivo y el modo en el que se iba a controlar su cumplimiento. Sin embargo, dejaba grandes interrogantes en cuanto a cómo iban a ser los mecanismos de funcionamiento. Esto se resolvió con los denominados Acuerdos de Marrakech, en el marco de la COP7 que tuvo lugar en 2001 en Marruecos. En estos se resuelven todas las dudas que existían en la forma de actuar y de ejecutar dichos compromisos.

El protocolo se dividió en dos periodos. Un primer periodo que se desarrolló entre 2008 y 2012 y un segundo periodo que tuvo lugar entre 2013 y 2020.

El objetivo del primer periodo era reducir un 5% las emisiones en comparación con las obtenidas en 1990: estos objetivos se centraban en 36 países industrializados que debían reducir la emisión de los seis principales gases de efecto invernadero, los que se conocerían posteriormente, con la inclusión de tres países más, como “Annex B Parties”, representados en la figura 22.

Hay que destacar los principales mecanismos que se implementaron y que establecen un sistema de funcionamiento que ha sido muy cuestionado. El Protocolo se sustentaba en un mercado flexible, los países deberían tratar de alcanzar los objetivos marcados para cada parte, pero, sin embargo, contaban con la posibilidad de comerciar con permisos de emisiones.

Esto se basaba principalmente en los siguientes puntos:

- Comercio Internacional de emisiones: esto consiste en un mercado de carbón. Es decir, los países que participan en el primer periodo tienen unos objetivos de limitación y reducción de emisiones, alcanzando estos objetivos y dentro de los límites establecidos los países podrán comprar y vender emisiones para mantenerse en los límites y alcanzar los objetivos. Es decir, un país que cumple con los objetivos de emisiones, que está lejos de superar los límites de emisión podría comprar emisiones de carbono a otros países que superan los límites y por tanto no alcancen los objetivos. De esta manera las emisiones se convierten en otro bien con el que se puede comerciar. Esto se realiza estableciendo unas

unidades, conocidas como ERUs que equivalen a una tonelada de CO₂, para el intercambio de emisiones y acuerdos entre los países para la compraventa de emisiones, siendo el país que compra el que recibirá parte de las emisiones del otro país, así como un pago por aceptarlas.

- Mecanismos de desarrollo Limpio: conocido como CDM, establece otro mecanismo por el cual los países pueden lograr alcanzar sus objetivos de reducción mediante la implementación de proyectos de reducción de emisiones en países en desarrollo. Esto provoca que los participantes tengan otro método por el cual mediante el desarrollo de proyectos que ayuden a la reducción de emisiones, así como ayuden a países en desarrollo, puedan obtener créditos certificados de reducción de emisiones, conocidos como CER, y que cada uno equivale a una tonelada de CO₂. Por lo tanto, por la realización de estos procesos los países recibirán una cantidad de estos créditos que podrán canjear como si fueran emisiones que han reducido en su país y así alcanzar los niveles que se les requiere.
- Aplicación conjunta: consiste en la realización de proyectos conjuntos de proyectos por parte de países participantes en el primer proceso del Protocolo. Los países participan en proyectos en uno de los países facilitando así la colaboración entre países, que se benefician ya que se ayudan para alcanzar los objetivos y en alcanzar los límites obteniendo ERUs. Estos proyectos son beneficiosos ya que incentivan la colaboración y el trabajo conjuntos de los países participantes, trabajando en común y facilitando la inversión y el desarrollo de tecnología y canales de trabajo entre los países. Estos proyectos, como el caso de los CDM, serán estudiados y aprobados para establecer la viabilidad y la cantidad de CERs o ERUs que obtendrán los países por el desarrollo de los proyectos de reducción de emisiones.

La idea de estos mecanismos es que lo importante es reducir las emisiones a la atmósfera y por tanto da igual donde y quien las reduzca. Solo se debe tener en cuenta el hecho de alcanzar el objetivo, dando igual si un país se queda por debajo o arriba mientras que en su totalidad se logre la reducción de emisiones. Así los países con más posibilidades y que pudieran reducir sus emisiones de forma más eficiente y fácil se vieran beneficiados al poder reducir su tasa y a la vez verse compensados si otros países no lo hacen, ya que podrían beneficiarse mediante la compra de emisiones de otros países o de proyectos en otros países. Estimulando así el desarrollo de los planes de reducción y no afectando de forma negativa a los países que cumplieran los objetivos respecto a los que no. Un aspecto por destacar es que, por ejemplo, con relación a los mecanismos explicados anteriormente, los países de la Unión Europea no necesitaban, cada uno, cumplir con la reducción, sino como 'equipo' debían lograr la reducción estipulado en el Protocolo.

Como se ha visto el Protocolo cuenta con sistemas para controlar a los participantes, así como las transacciones y proyectos que llevan a cabo. Pudiendo así llevar un control y un seguimiento de todo lo que realizan para que finalmente los países puedan, de forma

transparente y veraz recolectar todas las interacciones que ha habido entre los países y poder desarrollar y presentar los resultados por medio de estos organismos de control y seguimiento, dirigidos por las Naciones Unidas.

Este primer periodo se tomó como un triunfo por parte de los países participantes ya que había sido estipulado el objetivo de reducir las emisiones un 5% respecto a 1990, este se superó con creces alcanzando una reducción superior al 22% en total.

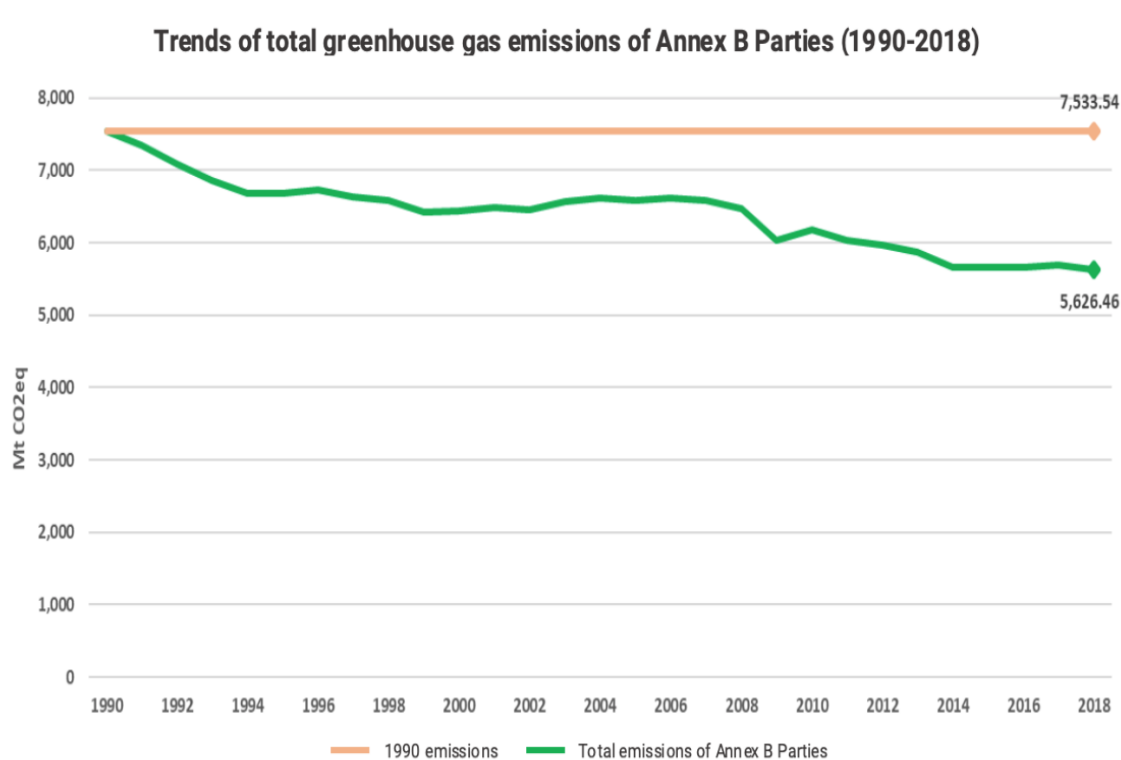


Figura 22: Emisiones GEI del Anexo B.

Fuente: ONU.

Tras este primer periodo se inició el segundo periodo con las conocidas como Enmiendas de Doha, sin embargo, su entrada en vigor fue costosa debido a la falta de acuerdo de los países. En este se planteaba una reducción del 18 % las emisiones respecto a 1990.

El segundo periodo tuvo un carácter más de transición hacia el Acuerdo de Paris, ya que con este se solucionaban la gran mayoría de problemas y obstáculos que se habían ido planteando con respecto al Protocolo de Kioto. Convirtiéndose el Acuerdo de Paris en el sustituto del Protocolo de Kioto, un acuerdo mucho más ambicioso y global.

Al protocolo de Kioto, una vez ya estudiado, se le han achacado dos cuestiones principales. El Protocolo de Kioto tenía un carácter poco ambicioso en el que tan solo unos pocos países, los países desarrollados estaban realmente vinculados jurídicamente con el Protocolo, mientras que mucho de los países participantes no lo estaban. Eran tan solo unos pocos los que debían cumplir de forma veraz con los objetivos, hecho por el que por ejemplo Canadá termino saliendo al negarse a cumplir con las multas o Estados Unidos no terminó de unirse alegando que no era beneficioso ni practico para combatir el

cambio climático, suponiendo un lastre para la economía y los proyectos que tenía el país americano. A su vez, en este acuerdo no se encontraban incluidos tres de los mayores emisores de gases GEI, como son China, India y Estados Unidos, por lo que la verdadera repercusión y vigencia de este Protocolo se pone en cuestión.

A su vez, se achaca que la gran reducción que se produjo por la que se logró cumplir los objetivos del primer periodo es debida a la desintegración de la Unión Soviética en 1991, justo coincidiendo con el inicio del primer periodo, un estado con niveles de contaminación muy altos y que con su caída supuso una reducción de emisiones muy significativa.

En el caso de España, participó en el Protocolo de Kioto, estando dentro de la Unión Europea, institución vinculada jurídicamente al primer periodo del Protocolo. Cumplió con los objetivos establecidos. Paradójicamente, uno de los pocos aspectos en los que se le llamó la atención a España fue el hecho de no incluir las emisiones marítimas internacionales en los informes.

7.2 Acuerdo de París

Como se ha explicado el Acuerdo de París llega con el objetivo de que todos los países participaran de forma activa en la lucha contra el cambio climático. Nace como el sucesor natural del Protocolo de Kioto, el cual en su segundo periodo había visto como muchos países no se adherían a los compromisos y las grandes potencias no se alineaban con los objetivos marcados.

Es por ello por lo que se hace necesario el elaborar un nuevo acuerdo internacional, que aglutine al mayor número de países posible, especialmente a los que más contaminan, y que se establezcan en el objetivos claros y precisos en los que todos los países trabajen para lograr combatir la contaminación y la emisión de GEI. Era necesario marcar un plan de acción, en el que no tan solo se estipularan los métodos de acción o los mecanismos de actuación, también era necesario marcar como se llevaría a cabo la reducción de emisiones, como se adaptarían los países a los objetivos y como implementarían estos planes a nivel nacional.

El 12 de diciembre de 2015 nace el Acuerdo de París durante la COP21 celebrada en la ciudad francesa que le da el nombre. Este tratado internacional de carácter jurídicamente vinculante fue adoptado por 196 partes. Entro en vigor el 4 de noviembre de 2016, cuando se cumplió con la condición necesaria de alcanzar la ratificación de los suficientes países que cubrieran más del 55% de las emisiones globales, una gran diferencia con respecto a su antecesor que en el primer periodo contaba con tan solo el apoyo de países que suponían el 30 % de las emisiones globales y en el segundo un 15%.

Son muy pocos países los que quedaban por unirse, era el caso de Nicaragua y Siria, que finalmente se adhirieron al acuerdo. En un principio Siria no se unió debido a la situación política que se vivía en el país, mientras que Nicaragua argumentaba que eran las grandes potencias, las que atesoran los mayores medios para combatir el cambio climático, las que mayores emisiones producen, por lo tanto, son estos países los que debían actuar y revertir la situación. Un caso particular es el de Estados Unidos, el cual ratificó en un principio el acuerdo para después salirse y volver a unirse poco después, más adelante se explicará este caso.

Principales objetivos establecidos en el Acuerdo de París:

- El objetivo primordial del acuerdo es conseguir que la temperatura medio del planeta no incremente en 2°C respecto a la temperatura media registrada en la era preindustrial. Esto se debe a que la era preindustrial es la época que se toma como referencia ya que a partir de este momento es cuando se comienza la emisión de la mayor parte de los contaminantes, principalmente de origen antropogénico. Este es el objetivo, pero se marca como meta tratar de que el aumento no sea superior a 1,5 °C.
- Promover e impulsar el desarrollo a partir de la reducción de las emisiones de efecto invernadero. Desarrollar la eficiencia de adaptarse a las consecuencias del cambio climático, así como impulsar la resistencia y la adaptación al clima.

- Llevar a cabo un control y una revisión de los objetivos de los países cada 5 años. Promover la inversión y la financiación en mecanismos y proyectos que permitan a los países en desarrollo reducir el impacto negativo que tiene el cambio climático en estos países, permitiéndoles adaptarse al clima y actuar de cara al futuro.

En esta imagen se puede observar cuanto ha ido aumentando de media la temperatura desde la era preindustrial, que es la referencia desde la cual se establecen los objetivos del Acuerdo de Paris.

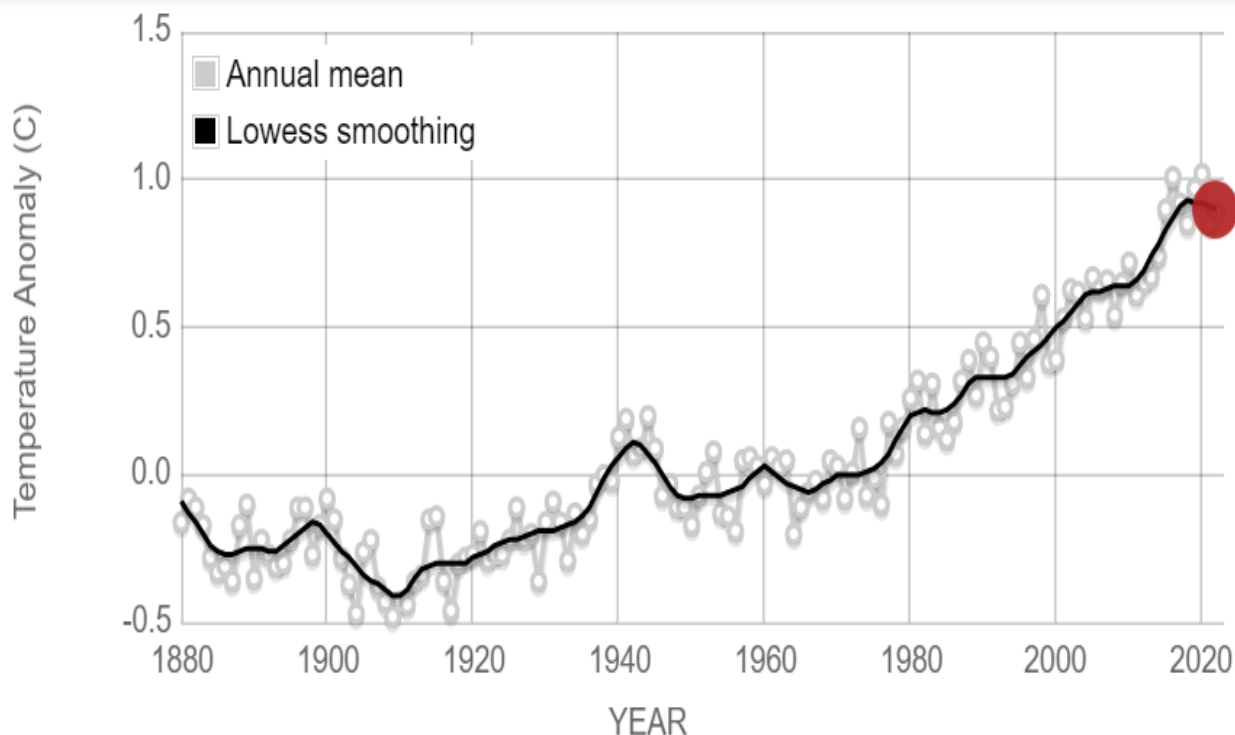


Figura 23: Variación temperatura mundial.

Fuente: NASA.

Para poder alcanzar estos objetivos se han desarrollado una serie de compromisos y sistemas:

- Los países se comprometen, por primera vez, a elaborar un plan nacional de actuación frente al cambio climático, los conocidos como Contribución Determinada a nivel Nacional (Nationally Determined Contributions, NDC) estos se publicarán para el conocimiento global. Los NDC deben controlarse y mantenerse a lo largo del tiempo.
- Con el objetivo de dar a conocer estos NDC se establece un sistema de transparencia para todos los participantes con el que se da a conocer los objetivos marcados por cada país y la situación en la que se encuentran.

- Para impulsar el desarrollo de los países y incentivar su actuación cada cinco años se realizará un “global stocktake”, es decir, un balance global para determinar en qué punto se encuentran los participantes en el progreso de sus objetivos. A su vez, una característica que tiene este acuerdo es que, junto con el balance, los países tendrán que reafirmar su compromiso con los objetivos, adaptando cotas más ambiciosas para luchar contra el cambio climático y reducir las emisiones de GEI.
- Los países, como se ha expresado en los objetivos, deben actuar para adaptarse a la situación climática, tratando de minimizar las consecuencias provenientes del cambio climático y reduciendo la fragilidad provocada por estas. Se debe apoyar a los países en desarrollo mediante medidas financieras y técnicas para que estos puedan adaptarse a la situación, desarrollar sus objetivos y no aumentar la brecha con los países más desarrollados. Se presenta de la siguiente manera:

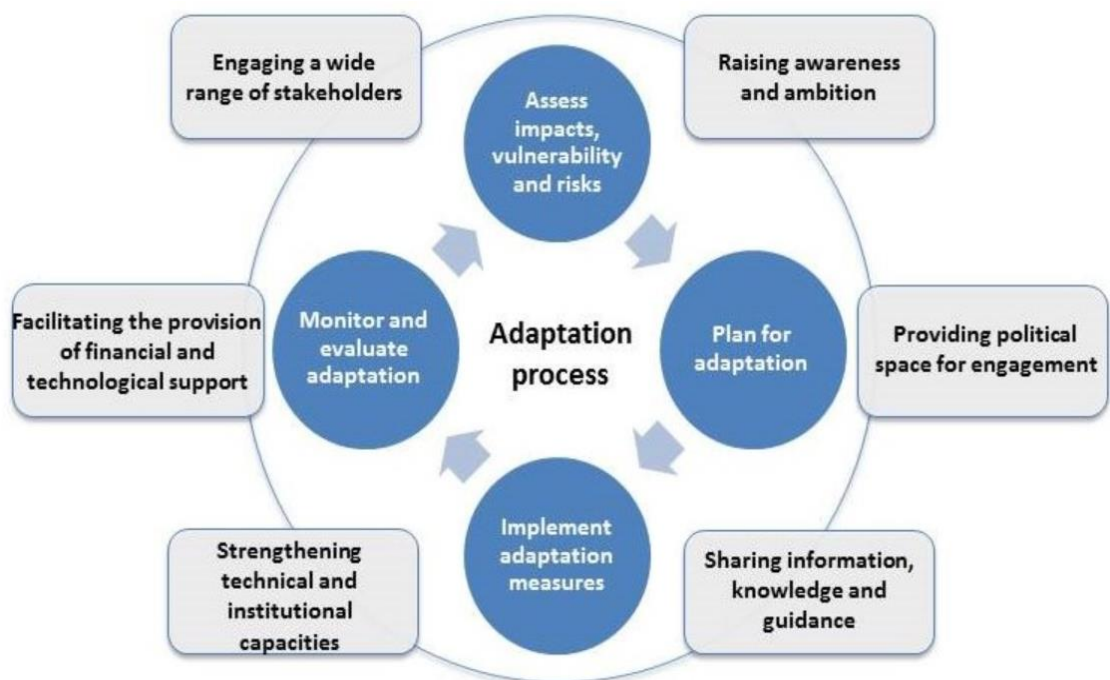


Figura 24: Sistema de adopción de medidas para el desarrollo.

Fuente: ONU.

Como se ha expresado, la actuación de los países se basa en los NDC. Los NDC son de obligatorio cumplimiento, en ellos los países determinan las medidas que adoptan para reducir las emisiones de GEI, son actuaciones propias de cada país que se adaptan a la situación de cada uno pero que deben permitir alcanzar los objetivos marcados en el Acuerdo. Estas contribuciones son muy ambiciosas y lograrían alcanzar los objetivos marcados con creces ya que cubren el 99 % de emisiones de GEI. A su vez, los países especificarán las acciones a llevar a cabo para adaptarse a la situación climática, lo que se conoce como desarrollar la resiliencia climática de los países.

En un ámbito no obligatorio y con un horizonte más a largo plazo, los países pueden presentar sus compromisos y estrategias para reducir sus emisiones de GEI y así poder mostrar y planificar el camino y los pasos que van a seguir en los siguientes años y décadas.

Para poder controlar y mostrar el desarrollo y progreso de los países se crea el sistema de transparencia, apoyado en los balances globales y en procedimientos que permiten una supervisión eficiente.

Como se observa en los compromisos adquiridos en el Acuerdo, una de las metas que se tiene al adoptar los objetivos y al actuar con las diferentes medidas es evitar que se aumente la brecha de desigualdad con los países en desarrollo y los países más afectados por el cambio climático. Para ello el Acuerdo de París ofrece recursos en tres áreas especialmente, financiación, tecnología y el fomento de la capacidad, contando, en principio, con un paquete de 100.000 millones de euros aportados por los países desarrollados para contribuir en cerrar esta brecha.

Puede parecer que los países son los únicos actores del Acuerdo de París. Pero todo lo contrario, junto con el acuerdo de París nace el portal NAZCA, zona de los Actores No Estatales para la Acción Climática, en este se recogen todos los actores que están poniendo su granito de arena para combatir el cambio climático. Y es que en esta plataforma están recogidos todos los partícipes de la lucha contra el cambio climático, países, ciudades, organizaciones, inversores, empresas...

Nace de la necesidad de aunar las fuerzas de todos los agentes sociales en el esfuerzo por combatir el cambio climático. No eran los países los únicos que debían participar sino todos aquellos involucrados con esta problemática. Es por ello por lo que dentro de los textos donde se oficializaba el Acuerdo se incluía y recogía la creación de esta plataforma, que cuenta, hoy en día, con 30,763 actores: 13909 son compañías, 1562 inversores, 3451 organizaciones 286 regiones 11.361 ciudades y 194 países.

En el caso de España, cuenta con 2611 participantes de los que: 334 son compañías, 21 son inversores, 76 son organizaciones, 9 son regiones 2170 son ciudades. España destaca por la cantidad de agentes participantes de estas iniciativas y proyectos, estando al mismo nivel de agentes que países con un número de habitantes, empresas y niveles de contaminación mucho mayores, como es Estados Unidos o China. Se puede observar la sensibilización de todo el tejido social español con la causa medio ambiental. Cabe citar que España firmó el acuerdo desde un principio, sin embargo, no fue hasta el 12 de enero de 2017 cuando lo ratificó.

El caso de Estados Unidos:

Estados Unidos, país que es responsable de casi un tercio del carbono emitido a la atmósfera, se unió en un principio al Acuerdo de París. Estados Unidos ya llevaba años trabajando e impulsando un sistema nacional por el cual sus emisiones se han ido reduciendo de forma considerable. Es por ello por lo que fue uno de los participantes e impulsores del Acuerdo de París.

Con la llegada de Donald Trump este camino tomo un reverso. El presidente de Estados Unidos entre 2017 y 2021 decidió retirarse del Acuerdo de París, su principal alegato fue que el Acuerdo de París era un lastre para el tejido económico e industrial del país, provocando que no pudieran competir en el mercado con otros países que se beneficiaban de esta situación, particularmente se citaba a China. Esta decisión fue muy controvertida, provocando reacciones en todo el mundo y especialmente en su país, en el cual grandes empresarios y personalidades defendieron el Acuerdo y prometieron seguir impulsando el país hacia un desarrollo sostenible con el fin de alcanzar los objetivos marcados en materia medioambiental, es el caso de multinacionales mundialmente conocidas como Google, Amazon o Goldman Sachs.

Esta cuestión tuvo una gran trascendencia, convirtiéndose en uno de los pilares de la política americana. Finalmente, Joe Biden, en 2021, tras ganar las elecciones, volvió a unirse, por lo que el 20 de enero de 2021, Estados Unidos volvía a participar en el Acuerdo.

7.3 Pacto Verde

El Pacto Verde es la respuesta firme y conjunta que ha dado la Unión Europea a la crisis climática que se vive en el mundo. Como se ha visto en el Acuerdo de París, se estableció el límite de no incrementar en más de 1,5 °C la temperatura mundial, pudiendo así contrarrestar el cambio climático y reducir las emisiones de contaminantes y GEI, grandes causantes de haber alcanzado esta situación.

Con estos objetivos en mente, la Unión Europea anunció en noviembre de 2019 la situación de emergencia climática, así anunciando la creación del Pacto Verde Europeo, creado por la Comisión Europea y que tendría como objetivo convertir al continente europea en el primer continente climáticamente neutro, esto lo lograrían ajustando todos los programas y actividades europeas a los objetivos citados durante el trabajo.

Este acuerdo vinculante fue firmado el 24 de junio de 2021, compartiendo la mayor parte de objetivos y principios con el Acuerdo de París y su antecesor el Protocolo de Kioto, es por ello por lo que el Pacto Verde muchas veces se ve enmarcado dentro del Acuerdo de París, debido a la similitud que tiene con este. Lo que parece lógico ya que comparten una misma base y se podría decir que el Pacto Verde Europea es el plan marcado por los países europeos para lograr alcanzar la meta.

Se toma como punto de partida 1990, que como se ha visto es la etapa en la que se empieza a tomar conciencia sobre la situación climática y se comienza a dar respuesta. Esto explica porque muchos de los proyectos, iniciativas, programas, gráficos e imágenes empleadas durante el proyecto tienen como punto de comparación el año 1990. El Plan Verde es uno de ellos, poniendo como objetivos primarios el reducir las emisiones un 55% para 2030 respecto 1990 y lograr ser climáticamente neutros para 2050.

Para alcanzar estos objetivos, el Pacto Verde tiene numerosos proyectos e iniciativas que implican a la mayor parte de sectores y áreas de la sociedad, que van desde una transición sostenible para las familias y hogares y el impulso de la implantación de la economía circular, a la implicación de sectores como el energético o el alimentario hasta medidas más encaminadas a la protección de la biodiversidad, la regulación o la financiación de la transición. Como se puede observar tiene muchos paralelismos con Kioto y París.

Conociendo la similitud con los dos planes previamente descritos, se desarrollará el apartado dedicado especialmente al transporte, poniendo el foco en las medidas que se imponen al transporte marítimo. Este apartado es el conocido como “Objetivo 55”, que se compone de casi una veintena de leyes y propuestas de ley con las que se trata de alcanzar el objetivo de reducir las emisiones un 55% para 2030, lo que da el nombre a este apartado “Objetivo 55”, que se centra en los sectores del transporte y la energía.

Este apartado del Pacto Verde está jugando un papel muy importante en el desarrollo e implementación de mecanismos mediante los cuales toda la cadena de valor del sector del transporte de mercancías por vía marina está actuando, alineando sus futuros e imponiendo como guía los objetivos marcados. Cabe destacar, como se hará en el apartado de los combustibles alternativos, el importante desarrollo que se está llevando a cabo en el área de los combustibles, impulsada y regulada mediante este pacto.

Los focos de actuación del Pacto Verde en el sector marítimo se pueden dividir en dos, ambos bajo la actuación e impulso del “Objetivo 55”

1. Reducción de las emisiones del sector marítimo:

Se pueden identificar numerosas medidas mediante las cuales se pretende alcanzar una neutralidad en el transporte marítimo, lideradas por la mejora en la eficiencia y en la sostenibilidad de toda la cadena de valor del sector. Se impulsa el progreso en áreas como la eliminación de los combustibles pesados y su sustitución por combustibles alternativos y verdes. A su vez, se proponen mejoras en los apartados técnicos de los buques, como son la hidrodinámica, los sistemas de propulsión o el control de la velocidad de los buques.

Por otro lado, se incita a actuar en los puertos, modernizándolos y adaptándolos a las nuevas exigencias, con la introducción de procesos digitales y de automatización. También, se estudia regular y poner medidas al uso de los puertos europeos por parte de los buques con mayores emisiones.

Como se puede observar son medidas que se ven repetidas a lo largo del proyecto en numerosas ocasiones. Sin embargo, hay un apartado que llama la atención y supone un gran paso en la búsqueda de reducir las emisiones en este sector.

Se trata de la inclusión del transporte marítimo en el denominado sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea. El sistema de comercio de emisiones de la UE es un proyecto que se inició en 2005, tiene como objetivo reducir las emisiones de GEI de forma conjunta y económicamente sostenible. Consiste en imponer un límite de emisiones que va gradualmente reduciéndose para así obligar a que las emisiones vayan reduciéndose. Al alcanzar este límite o estar alejado de él y tener un excedente de emisiones, se podrá comerciar con las emisiones sobrantes comprando o vendiendo unos derechos individuales que permitirán la emisión de estas GEI.

Se puede comprobar que es un sistema muy similar al descrito en el comercio internacional de emisiones que se estipula en el Tratado de Kioto, esto también provoca polémica, ya que existen numerosos detractores de esta medida que alegan que son programas muy similares a los ya implementados y cuyo impacto ha sido muy reducido y no se ha logrado reducir plenamente las emisiones, desatendiendo otras iniciativas e ideas que pueden tener un mayor impacto en la reducción de emisiones. En abril de 2023, el Parlamento Europeo respaldó el acuerdo provisional para la inclusión del transporte marítimo en el comercio de emisiones.

Esta inclusión del transporte marítimo en este proyecto es un paso adelante que lleva a cabo la Unión Europea, siendo el precursor al poner un precio a las emisiones que lleva a cabo el transporte marítimo. Hecho de gran importancia ya que supone el implantar una medida cuantificable, con un precio, a las emisiones de este sector.

Por último, se están llevando a cabo propuestas de acuerdos vinculantes por las cuales las navieras deberían reducir sus emisiones un 40 % para 2030.

2. Desarrollo e implementación de combustibles alternativos:

Se trata de un paquete de medidas mediante las cuales la Unión Europea pone al día la legislación de la UE en lo respectivo al uso de combustibles alternativos procedentes de fuentes renovables y con una emisión de carbono reducido, para así poder alcanzar el objetivo de reducir un 55% las emisiones para 2030. Dentro de este objetivo, es de gran importancia para el sector marítimo el denominado “FuelEU Maritime”.

Esta iniciativa tiene como objetivo principal el impulsar el uso por parte de los buques marítimos de combustibles renovables y combustibles hipocarbónicos, es decir, bajos en carbono.

Mediante este impulso se trata de que los buques se adapten a los nuevos combustibles de bajas o nulas emisiones y así lograr una propulsión con cero emisiones netas. Es una demostración más de que los combustibles son la principal baza con la que se cuenta para lograr la descarbonización del sector.

Actualmente, los organismos europeos han alcanzado un acuerdo provisional, en marzo de 2023, por el cual FuelEU Maritime entraría en vigor. Los hitos más relevantes en la reducción de emisiones de GEI en el desarrollo de este programa son los siguientes, tomando como punto de comparación los niveles de emisión de 2020:

1. 2 % para 2025
2. 14,5 % para 2035
3. 80 % para 2050

Mediante la implementación de este acuerdo, se aplican las medidas y las pautas principales a los buques de más de 5.000 toneladas brutas, que son los buques que representan la mayor parte de las emisiones, a la energía empleada durante todos los procesos del sector marítimo dentro de la Unión Europea, así como al 50% de la energía que se emplea en tránsitos fuera de la Unión Europea.

Si se observan estos datos se puede apreciar la repercusión que tiene el cambio del tipo de combustible utilizado dentro del transporte marítimo, y en especial en el de mercancías, tan solo modificando los buques de más de 5.000 toneladas brutas se puede combatir el 90% de las emisiones de CO₂ de todos los buques.

Todo ello va acompañado con programas e incentivos por los cuales las empresas y navieras se pueden beneficiar de implementar estas medidas. Un ejemplo es la implementación del uso del suministro eléctrico de forma

obligatoria en los puertos por parte de los buques contenedores y de pasajeros para 2030, y para el resto de los buques para 2035. Se estima que reduzca en gran medida la contaminación de los puertos, ya que se pasa de emplear los combustibles de los buques, que hoy en día son contaminantes, a la corriente eléctrica, que contamina en menor medida, según sus fuentes.

A su vez, destaca el hecho que también se esté realizando un programa paralelo y equivalente para el transporte aéreo, consiguiendo así el desarrollo sostenible de ambos sectores y unas condiciones de competencia equitativa entre estos sectores de vital importancia para el transporte. Al igual que en el caso del transporte terrestre, al que también se le está empujando para que alcance la sostenibilidad con medidas como reducir un 55% y un 50% las emisiones en los coches y las furgonetas, respectivamente, para 2030. Se puede comprobar que se está tratando de que ningún sector se quede atrás y que ninguno sufra las repercusiones competitivas de ser el primer o único medio que implemente medidas para combatir las emisiones.

En la siguiente imagen de DNV se puede observar fácilmente la regulación desarrollada por OMI y el Pacto Verde y sus focos de actuación:

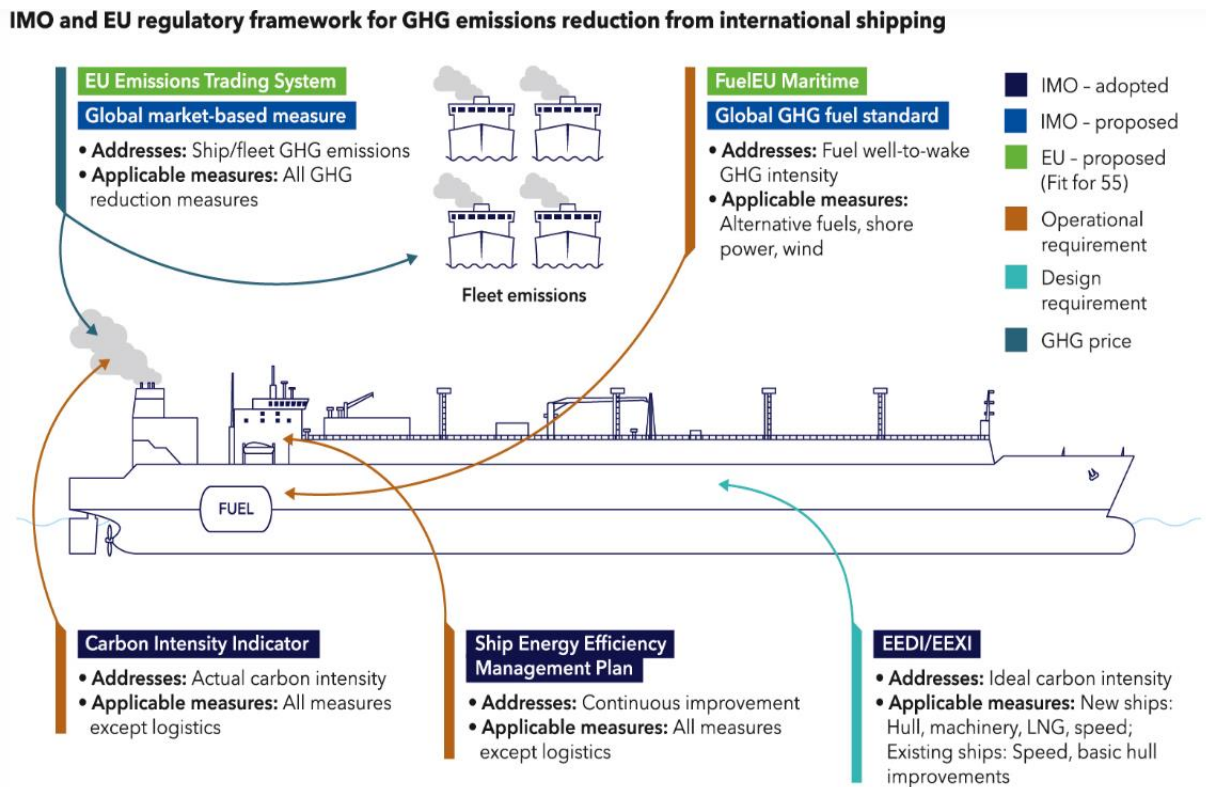


Figura 25: Medidas para la reducción de GEI, OMI y UE.

Fuente: DNV.

8. Soluciones para la descarbonización

Para el desarrollo de este apartado se tomará como referencia las soluciones que presenta World Shipping Council, especialmente alineadas con su trabajo, que se centra en buques portacontenedores y RO-RO. Sin embargo, es aplicable al resto de flota actual. Como se ha venido explicando, hay numerosas soluciones con las cuales se puede lograr reducir las emisiones de GEI, para lograr este objetivo deben trabajar de forma conjunta todos los eslabones del sector marítimo, desde todos los agentes, buques, puertos, regulación, hasta los organismos más relevantes logrando así la concienciación de toda la sociedad. Es necesario la actuación y la implementación de las siguientes medidas por parte de todos ellos para que los diferentes proyectos y mecanismos de actuación puedan ser aplicados de forma efectiva y correcta.

En el trabajo no se incorporan opciones que no tengan resultados con un impacto suficientemente significativo, como barcos con propulsión solar o del viento, ya que, aunque a pequeña escala si pueden ser una solución, a gran escala y manejando el tamaño de los buques de mercancías no se presentan como una solución viable.

Las soluciones se clasifican en dos grandes grupos, que se asemejan a los explicados en el Pacto Verde:

1. Medidas económicas, técnicas y regulatorias del transporte marítimo:

Como se ha visto durante el proyecto, el transporte marítimo presenta unas características que le condicionan y describen, permitiendo entender la forma de actuar y de trabajar del sector. Por lo que una de las soluciones más importantes para poder alcanzar el objetivo de descarbonizar el sector, es poder adaptar y acondicionar las características de este medio a las necesidades y requerimientos que presentan las novedades y avances que se presentan como soluciones.

Como primer punto y fase imprescindible del proceso de descarbonización se presenta la necesidad de llevar a cabo una fuerte inversión. Si no se cuenta con una inversión en la investigación y desarrollo de soluciones para descarbonizar el sector será imposible alcanzar los objetivos marcados. En la actualidad, se cuenta con parte de esta inversión que se atribuye tanto a las instituciones públicas como a las privadas. Sin embargo, es necesario llevar a cabo un desembolso mayor especialmente si se quieren cumplir los plazos marcados internacionalmente en los tratados y pactos. Es de esperar que la mayor parte de la inversión se emplee en la investigación y desarrollo de combustibles sin emisiones. Pero no hay que olvidar toda la infraestructura necesaria para el desarrollo e implantación de estos nuevos combustibles alrededor del mundo.

Actualmente, se cuenta con la infraestructura y el método de abastecimiento empleado para los combustibles fósiles, pero parte de esta infraestructura deberá ser actualizada y en muchos casos desechada debido a los requerimientos que presentan los combustibles alternativos que se encuentran en desarrollo.

Según explica ANAVE, un estudio realizado por una consultora marítima, UMAS, para la ya nombrada “Getting to zero Coalition” demuestra que la inversión necesaria que se tendrá que realizar entre 2030 y 2050 para alcanzar el objetivo de la OMI para reducir en más de un 50% las emisiones de GEI para 2050

respecto a los niveles de 2008, asciende a un valor superior al billón de dólares, lo que se traduce en una inversión de en torno a 50.000 millones de dólares anuales durante esa época. Para alcanzar la descarbonización completa del sector la inversión se dispara a más de 400 billones de dólares. Otros actores del sector son más optimistas y estiman que la inversión anual se encontrará entorno a los 30.000 millones de euros, es el caso de DNV.

A su vez añade que, como se ha expresado durante el trabajo, se estima que casi el 90 % de esta inversión se dedique a la producción de combustibles y a los mecanismos necesarios para su uso, es decir, toda la infraestructura que lo rodea. Tan solo alrededor de un 15 % se empleará directamente en modernizar y adaptar los buques a estos nuevos combustibles y a la regulación que se empleará.

Como se puede observar en siguiente gráfico, los focos de inversión son el amoníaco y el hidrógeno, los dos combustibles alternativos que se discutirán posteriormente. La inversión en ambas es prácticamente la misma y representan su estudio, desarrollo, producción, almacenamiento y distribución.

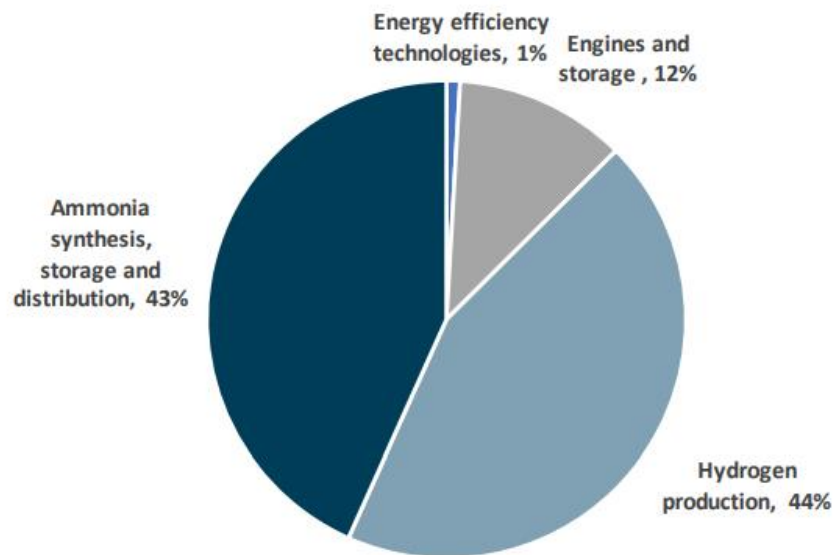


Figura 26: Inversión transporte marítimo.
Fuente: Global Maritime Forum.

Como se ha visto, la magnitud de la inversión es muy amplia, hay que añadir que otros sectores también están realizando una investigación y un desarrollo en paralelo, por lo tanto, no todo el peso recae sobre el transporte marítimo y seguramente no vaya a ser necesario esta inversión en el sector, ya que se espera que los diferentes sectores y la industria compartan resultados y así sea más sencillo alcanzar los objetivos.

Se espera que la inversión proceda de todas las partes posibles, un ejemplo es el uso de los ingresos por los derechos de comercio procedentes del ya nombrado sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea para el desarrollo de la descarbonización del sector. Como se ha dicho, es un acuerdo provisional, pero esto supondría otra fuente de ingreso de en torno a 1.500 millones de euros según el precio del carbono.

Y es que el precio del carbono es otro importante punto que tratar y se convierte en una pieza crucial para impulsar la descarbonización. Si se establece un precio del carbono igual para todo el mundo, en el que se pueda controlar su estabilidad en el mercado, el flujo y el tránsito que tiene y su uso, es más fácil poder implementar medidas para contrarrestar su empleo, así como crear un espacio de competitividad justo y eficiente en el cual los proyectos más punteros que dejan atrás las emisiones de estos gases puedan implementarse más fácilmente. Un ejemplo de la necesidad de poder controlar y manejar el carbono de manera correcta se ha dado en los años posteriores a la pandemia, en lo que los países, organismos y empresas tenían, debido a la falta de actividad a causa de la crisis sanitaria, un excedente de emisiones de carbono y esto ha provocado que el mercado de emisiones de carbono estuviera desbordado de oferta a precios bajos. Si se establece un precio y se controla la situación del carbono en el mercado será más fácil llevar a cabo una transición más sostenible y justa. Como se puede observar es una medida que defiende principalmente sistemas como el del comercio de emisiones de la Unión Europea o el del Protocolo de Kioto, llevándolos un paso más adelante y haciéndolos más estrictos.

Apoyando esta transición debe también impulsarse el cambio gradual dentro de la flota y de la infraestructura que se emplea, ya que este apartado es de los grandes olvidados cuando se habla de descarbonizar el sector. Como hemos visto es el apartado que menor inversión necesita, pero es una parte esencial para lograr que a nivel mundial se alcance el objetivo. Es necesario un cambio gradual y progresivo dentro de la flota mundial, hemos visto que se introducen numerosas medidas en los buques por las cuales contaminan menos, pero es necesario continuar con este trabajo y lograr alcanzar buques con cero emisiones. Un ejemplo es implementar lo que se ha realizado con los automóviles, imponiendo leyes por las cuales a partir de una fecha ya no se pueden comercializar, como pueden ser los planes EEDI, SEEMP, EEXI y CII.

La Alianza Marítima de Oslofjord, ha realizado un informe en el que se estima que tan solo 2700 tanqueros, graneleros y portacontenedores, de toda la flota mundial cuentan con los motores principales indicados para poder emplear combustibles alternativos.

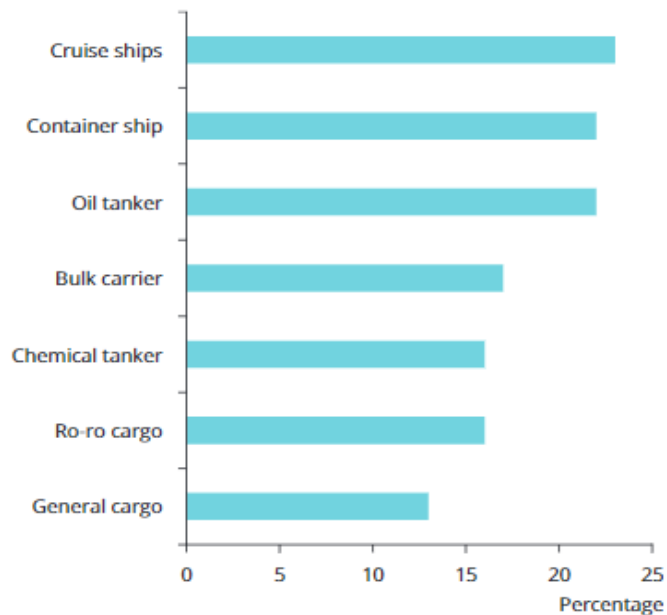
Dentro de los puertos hay que impulsar el empleo de infraestructura que no emita GEI, esto involucra a toda la infraestructura que se emplea, como puede ser la maquinaria para cargar y descargar los buques. Una medida que ha recibido gran apoyo es el hecho que en los puertos se deba “enchufar” los buques a la alimentación eléctrica, evitando que los buques hagan uso de combustibles en los puertos, reduciendo en gran medida las emisiones que se producen en ellos. Esta medida se ha tratado en el apartado del Pacto Verde.

Un apartado que en muchos casos se da por hecho o se olvida es el aspecto de que para obtener combustibles limpios y verdes con cero emisiones se necesita unas fuentes de energía sin emisiones, totalmente renovables y verdes. Actualmente estas fuentes de energía están en desarrollo y su empleo está creciendo rápidamente, las Naciones Unidas estima que el 29% de la electricidad procede de fuentes renovables y este porcentaje va a seguir aumentando en los próximos

años. Pero hay que aclarar que es necesario que esta energía alcance porcentajes de alrededor del 80%, que es lo que hoy representan los combustibles fósiles en el porcentaje de energía. Su uso tiene que estar al alcance de todos y en unas cantidades muy superiores, que permitan que la industria puede sustentarse en estas fuentes de energía, algo que hoy en día parece complicado ya que el desarrollo y el aumento de capacidad tiene que ser enorme y además tiene que darse en un espacio de tiempo muy reducido. Un ejemplo es el caso de los vehículos eléctricos, se impulsa su desarrollo, pero algunos estudios y especialistas hablan de que la red eléctrica no estaría preparada para que toda la sociedad tuviera vehículo eléctrico

Otra solución y medida que se ha ido introduciendo en el sector para reducir en gran medida las emisiones de los buques es la reducción de la velocidad de los buques. Como se ha visto, una de las desventajas que tiene el transporte marítimo es el tiempo que se emplea en llevar a cabo los envíos de mercancía, se trata de un medio de transporte lento en el que la rapidez y la optimización de los procesos para ganar tiempo están al orden del día. Sin embargo, una de las medidas que más emplean los buques para poder reducir las emisiones es la denominada navegación lenta que ha demostrado ser una importante herramienta para combatir las emisiones. Se estima, según un estudio realizado por Seas at Risk y Federación Europea de Transporte y Medio Ambiente, que una reducción del 20 % de la velocidad de los buques reduce de media en torno a un 25% las emisiones de nitrógeno y oxido de azufre, así como las partículas de carbono negro. Esto explica que, como asegura la Agencia Europea de Medio Ambiente y la Agencia Europea de Seguridad Marítima, respecto a 2008 se haya detectado que los buques que transitan por la Unión Europea han reducido su velocidad de media un 20%. Esto se puede observar en la siguiente imagen en la que se comprueba la reducción media de velocidad de cada tipo de barco en los puertos europeos para el periodo de tiempo indicado previamente, desde 2008 a 2019.

Figure 5.10 Weighted average speed reduction (%) in ships calling into EU ports by ship type over the period 2008-2019



Source: EMSA (2019).

Figura 27: Reducción de velocidad en buques.

Fuente: Agencia Europea de Medio Ambiente.

Sin embargo, no se puede considerar esta solución como una solución definitiva, ya que hay que buscar medidas por las cuales las emisiones sean nulas y que no repercutan de forma negativa al propio transporte.

Un importante aspecto en el que deben trabajar los buques, especialmente los portacontenedores, es en el empleo del espacio. Se estima que los contenedores de media se llenan en un 85%, se debe trabajar en aumentar este porcentaje, ya que así la eficiencia del sector se vería incrementado y por tanto la sostenibilidad también se vería beneficiada.

El trabajo en la hidrodinámica, aerodinámica, en conclusión, en el diseño de los buques, como puede ser optimizar el trabajo de las hélices, las estelas que deja el buque o la reducción de la resistencia al avance también suponen un punto de trabajo importante. Se debe tener en cuenta que con estas medidas no se alcanzaría un transporte limpio y verde, pero si se aumenta en gran medida la eficiencia de los buques se facilitaría el descarbonizar el sector.

Por último, tiene un peso muy considerable otras medidas de gran repercusión como son las zonas ECA o las rutas o corredores verdes, explicadas a continuación.

8.1 Rutas verdes

Uno de los acuerdos más esperanzadores y con un margen de estudio y desarrollo más grande es el denominado acuerdo de ‘Clydebank’, enmarcado en la COP26 celebrada en Glasgow en 2021. Se trata de un acuerdo no vinculante, ya que se encuentra en fase de desarrollo, al que se adhirieron 22 países, entre ellos grandes potencias como Alemania, Francia, EE.UU, Japón, Países Bajos y Australia, España también es uno de los países participes de este acuerdo.

Se trata de un acuerdo cuyo objetivo es reducir el impacto que tienen las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo, poniendo especial foco en las rutas comerciales. Se trata de impulsar la creación de los denominados “Green shipping corridors”, es decir, corredores verdes. En estos corredores, con el fin de impulsar la descarbonización de la industria y alcanzar el horizonte de cero emisiones netas, se buscará reducir al máximo las emisiones tanto en el transporte como en las actividades que se lleven en los puertos.

Es una iniciativa que comienza como una prueba piloto en la que se tratarán de desarrollar seis rutas verdes para 2050 entre países que se han adherido al acuerdo.

Johannah Christensen, directora general del Foro Marítimo Mundial afirmaba lo siguiente:

«Los corredores verdes pueden ayudar a simplificar los retos del transporte marítimo de emisiones cero, llevando las soluciones al agua más rápidamente y a una escala significativa. El ecosistema marítimo se está embarcando en un viaje hacia un sector marítimo transformado y de emisiones cero. La tarea que tenemos por delante es compleja, pero no imposible»

Y es que no se trata de una idea aislada, constituye un eje con el cual el sector del transporte marítimo podría activar todo el mecanismo de su cadena de valor hacia el objetivo marcado, la descarbonización completa. Comenzando con pequeñas rutas que permitan observar la viabilidad y la magnitud de estos proyectos, se podría ir desarrollando la idea hasta llegar a las rutas principales como puede ser la ruta que une Shanghái (China) con Los Ángeles (EE.UU). Estamos hablando del mayor puerto americano y el más activo del hemisferio occidental en tránsito de contenedores y el mayor puerto del mundo, el de Shanghái, las dos mayores economías del mundo unidas por medio de la ruta transpacífica más empleada del mundo. Y es que ambos puertos, aunadas bajo la red de ciudades que tratan de reducir la emisión de carbono a la atmósfera, conocida como C40, se han hecho eco de este proyecto convirtiéndolo en propio y poniéndose como objetivo crear el primer gran corredor marítimo ecológico del mundo.

Como decíamos este proyecto no es solo una idea, cobra relevancia cuando se tiene en cuenta las implicaciones que conlleva. Para poder desarrollar un corredor verde todos los participantes de la cadena de valor del transporte marítimo deben poner su esfuerzo en adaptarse. Desde los buques, a los puertos, la regulación, los gobiernos hasta las grandes navieras tendrían que dar un paso adelante para poder participar en las rutas.

Los objetivos principales son los siguientes:

- La transición continua de los buques de combustión fósil hacia buques que empleen combustibles con emisiones reducidas hasta alcanzar el objetivo de buques con cero emisiones.
- Estudio y análisis de la eficiencia y viabilidad de las diferentes tecnologías que se desarrollan y de las prácticas que se van adoptando.
- Impulsar la eficiencia y el desarrollo de los buques, especialmente de los portacontenedores al ser los más empleados para transportar carga general.
- Concienciar a todos los activos del sector de la necesidad de actuar y encaminar el desarrollo y el futuro hacia las cero emisiones netas para 2050.
- Fomentar el apoyo de los gobiernos a los corredores verdes, mediante la aplicación de mecanismos regulatorios y legislativos que apoyen el desarrollo y el uso de los corredores verdes, unidos a un estímulo económico para su implantación.
- Catalizador de desarrollo e innovación tanto en el área técnica como legislativa del sector.
- Fomentar la colaboración y la alianza entre gobiernos, puertos, navieras, empresas y operadores.

Una de las grandes cuestiones que surge es la viabilidad que tienen estas rutas, ya que cada ruta tiene sus características. Se exponen como puntos para tener en cuenta los siguientes:

- Disponibilidad de la tecnología necesaria para la sustitución de buques con altos niveles de emisiones por buques con bajas emisiones o nulas mediante el uso de combustibles alternativos.
- Adaptación de los buques a las necesidades de las rutas verdes.
- Desarrollo de los puertos para poder hacer frente a la infraestructura necesaria para lograr la transición hacia los nuevos buques y combustibles.
- Riesgos dentro de la cadena de valor e implementación de los mecanismos.
- Competitividad frente a otros transportes.

Como se puede observar los corredores verdes tienen en los buques y su alimentación el mayor problema para que puedan evolucionar. Si no se encuentran combustibles capaces de desterrar a los combustibles fósiles siendo capaces de mantener unos niveles de facilidad de obtención y de manipulación será imposible que los corredores verdes tengan un futuro viable. Sin combustibles que sean capaces de propulsar los buques y permitirles recorrer las rutas dentro de unos límites económicos y logísticos mínimos será imposible que tengan vida estos corredores.

Sin embargo, como se verá en el trabajo, la disponibilidad de combustibles parece no ser el mayor problema, con los numerosos combustibles alternativos en vías de investigación y desarrollo. Es sin embargo todo lo que les rodea lo que mantiene la gran duda de la viabilidad de los proyectos. Primero se necesita saber si la demanda de combustible va a

poder verse cubierta por el suministro, ya que el sistema de distribución y suministro de combustibles fósiles está totalmente perfeccionado e instaurado para dicho combustible. Mientras que ante los nuevos combustibles surgen dudas en cuanto a la posibilidad de obtenerlos y de suministrarlos en diferentes puntos del mundo. Es necesario un suministro continuo, fiable e internacional para que los buques pueden realizar las rutas. La posibilidad de que esta transición de combustibles sea solo posible para unos pocos es una posibilidad que debe alertarse, no se debe permitir que solo unos pocos puertos o rutas sean capaces y estén habilitadas para convertirse en rutas verdes, ya que no se alcanzarían los objetivos y además se estaría aumentando la brecha de la desigualdad.

Tanto los buques como los puertos se deben adaptar a los nuevos combustibles y a sus características. Ya que el almacenamiento de estos nuevos combustibles, en la mayoría de los casos, no va a ser igual que cuando se emplean combustibles fósiles, por eso los puertos seguramente tengan que afrontar una inversión en la infraestructura para poder almacenar estos combustibles alternativos y poder manejarlos. Mientras que seguramente las empresas navieras y armadores también tengan que modernizar su flota, teniendo en cuenta los requerimientos para navegar las rutas, ya que como se vio con el caso de Ever Given y las estrecheces del canal de Suez, las rutas también hay que tenerlas en cuenta a la hora de desarrollar los nuevos buques.

Como se puede observar, todo ello requiere que todos los actores se comprometan en el desarrollo y en la implementación de todos los requerimientos necesarios para que sea viable esta transición hacia rutas ecológicas. Es necesaria una fuerte inversión y cuando hay inversión se corre un gran riesgo de perder mucho, por lo que se necesita fortalecer el compromiso y la colaboración para poder alcanzar un equilibrio entre todas las partes.

Por último, todo ello hay que desarrollarlo e implementarlo, pero teniendo en cuenta que hay que mantener la competitividad frente a los otros métodos de transporte. Es verdad, que los competidores de tierra y aire también se deben comprometer con los objetivos de reducir las emisiones, pero pueden ver en esta situación una oportunidad para aumentar su cuota de mercado y reducir la hegemonía que tiene el transporte marítimo de mercancías. No sirve que el sector marítimo lleve a cabo tal inversión y desarrollo para que luego los otros métodos de transporte lo utilicen para robarle parte de su mercado. Se deben mantener competitivos y para ello es necesaria la colaboración continua entre los actores ya nombrados.

Por lo tanto, para alcanzar el éxito de estas iniciativas y poder así acercarnos al objetivo de cero emisiones netas en 2050 es necesario que se cumplan con los puntos mostrados anteriormente. Estos podrían quedar resumidos en cuatro grupos de actuación y desarrollo:

1. Colaboración de todas las partes de la cadena de valor del transporte marítimo.
2. Fomentar e incentivar todo lo relacionado a la implementación de las rutas verdes.

3. Investigar, promover la innovación y volcarse con el desarrollo del sector para lograr alcanzar los requerimientos necesarios.
4. Adaptar toda la cadena de valor al futuro, así como medir los riesgos y la competitividad del sector.

Hoy en día, estos proyectos están en fase de desarrollo e implementación. Se nota el progreso en la importancia que se le da en los foros y cumbres del transporte marítimo. Se están desarrollando numerosas herramientas para promover y acercar estos proyectos a todos los agentes de la sociedad, destacan los proyectos e iniciativas lideradas por el Centro Maersk Mc-Kinney Moller, entre los que destacan herramientas para determinar la viabilidad de los corredores verdes, su situación y los datos que se pueden extraer de su estudio.

2. Combustibles para el transporte marítimo:

Como se ha visto en la figura 26, los combustibles son el principal foco de investigación, desarrollo e inversión, todo lo relacionado con ellos supone la principal solución para la cuestión de la descarbonización.

No tan solo se debe trabajar en el desarrollo y la implantación de los combustibles alternativos, también en su regulación, su reparto y en sus procesos de obtención, teniendo en cuenta las ya nombradas emisiones well-to-tank y tank-to-wake. El apartado de reparto se refiere a la necesidad de que estos combustibles lleguen a todo el mundo, es fácil pensar que en las primeras etapas tan solo los países más desarrollados serán capaces de poder desarrollar y aplicar estas prácticas, sin embargo, es necesario que se impulse y se ayude al resto del mundo en su aplicación.

A continuación, se presentarán los principales combustibles alternativos que se están investigando y desarrollando hoy en día. Hay que tener en cuenta las diferentes características que presentan, en la siguiente imagen se hace una comparativa de algunos de los combustibles que se tratan a continuación con el combustible marítimo actual y la energía necesaria para producirlo, estableciendo una equivalencia entre los diferentes combustibles, que permite hacerse a la idea de las diferencias que existen entre ellos.

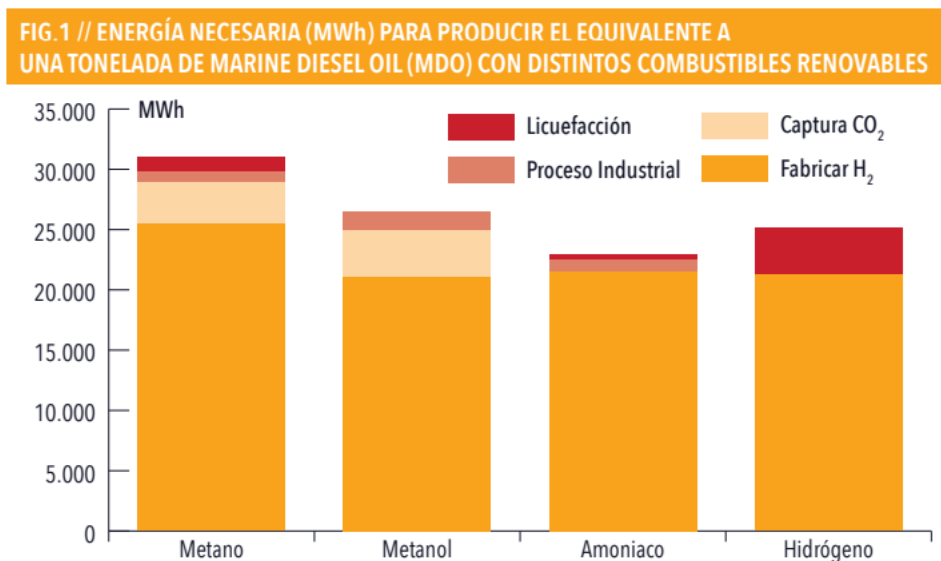


Figura 28: Comparativa de la energía de producción de combustibles.

Fuente: ANAVE.

8.2 Combustibles alternativos

Se entiende que la manera más lógica y viable de poder descarbonizar el sector marítimo del transporte es adaptando los combustibles a los objetivos que se pretenden lograr. Es decir, para poder descarbonizar el sector es crucial que se encuentren sustitutos a los combustibles fósiles, que son los grandes responsables de la producción de GEI. Se podría decir que la gran batalla que se vive para poder descarbonizar el transporte en su totalidad es poder encontrar una serie de combustibles que permitan mantener las características de cada transporte y cuya viabilidad económica y medioambiental sea posible. Se recalca que se encuentran casos en los que las soluciones se pueden adaptar a tan solo algunos tipos de transporte debido a sus características, como puede ser el caso de las baterías de litio o de hidrógeno, las cuales se postulan como una solución viable para transportes pequeños ya que el tamaño, consumo, y capacidad que deberían tener para transportes más grandes como las embarcaciones serían inabarcables ahora mismo, aun así, se encuentran en estudio. En el caso de los buques hay que buscar alternativas que se puedan adaptar a los requerimientos y características previamente descritas en el proyecto.

Antes de adentrarse en las diferentes opciones y posibilidades que se presentan como combustibles alternativos, cabe destacar que el desarrollo y uso de estos combustibles está regulado e impulsado en la Unión Europea por el ya descrito “Objetivo 55” y dentro de este, el denominado “FuelEU Maritime”.

A continuación, se van a presentar los principales combustibles alternativos que se presentan como candidatos a convertirse en sustitutos de los combustibles fósiles.

Se presentarán las diferentes tecnologías desarrolladas o en proceso de desarrollo, se explicará en qué consisten y se abordaran cuestiones como su producción, almacenamiento, seguridad, adaptabilidad, logística, disponibilidad y otros factores de interés. En cada uno de los apartados se explicará su estado y se aportará un resumen.

- **8.2.1 Amoniaco**

El amoniaco, NH₃, es un compuesto químico que se produce de forma natural en muchos procesos presentes en el medio ambiente. Está presente en forma de gas, siendo soluble en agua y teniendo también la capacidad de encontrarse de forma líquida, estado en el que es altamente evaporable, pudiéndose encontrar en los tres medios, tierra, mar y aire. Se trata de un compuesto que se emplea en numerosas industrias como la de los fertilizantes, la limpieza o como gas refrigerante en procesos industriales. Como principales inconvenientes, al ser una base fuerte tiene un fuerte olor y un alto poder corrosivo, produciendo irritaciones por contacto y exposición en piel, ojos y pulmones. A su vez, debido a su composición reacciona violentamente cuando entra en contacto con compuestos químicos ácidos, oxidantes y con halógenos.

Por último, si el amoniaco entra en contacto con el hipoclorito de cloro, conocido vulgarmente como lejía, forma cloraminas, un gas tóxico que contribuye al cambio climático y que es altamente perjudicial para los seres vivos por su poder irritante y su alta toxicidad.

A niveles bajos de amoniaco, como son los que están presentes de forma natural en el medio ambiente, la Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR) concluye que no hay efectos negativos representativos a la exposición a estos niveles.

Según la cantidad de carbono que se emita al producir amoniaco se pueden distinguir amoniaco verde, azul, gris y marrón.

- a) Verde: producido a partir de fuentes renovables, por lo que se considera un combustible con cero emisiones.
- b) Azul: producido a partir de gas natural principalmente. Lo que lo convierte en cero emisiones, ya que el gas natural si genera emisiones GEI, es la captura y almacenamiento de estas emisiones como parte del proceso de producción.
- c) Gris y marrón: a partir de combustibles fósiles con emisión de gases GEI.

El método verde es el único que nos permite llevar cabo un proceso con 0 emisiones de carbono. Se obtiene en un proceso en el que se emplea una fuente de electricidad sostenible que permite obtener de la forma más limpia el nitrógeno del aire y el hidrógeno del agua, mediante un proceso de electrólisis. Tras la obtención de las partículas se llevará a cabo el proceso por el cual se forma amoniaco mediante la aplicación de altas presiones y temperaturas, conocido como el proceso Haber Bosch.

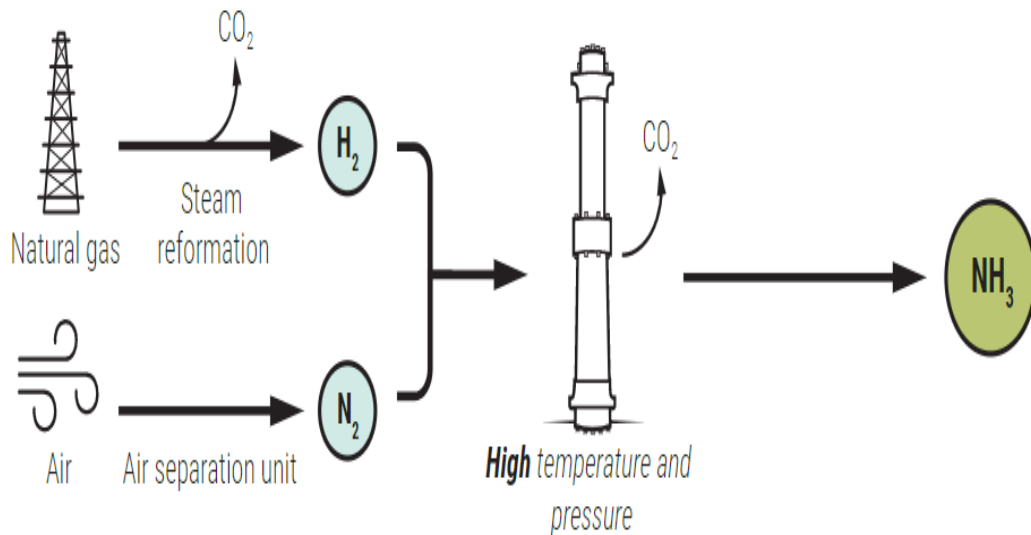


Figura 29: Producción de amoníaco.

Fuente: Science.

Principalmente se obtiene energía mediante la liberación de esta de las partículas de NH_3 o mediante la descomposición del amoníaco que permite partículas de hidrógeno.

A parte de los usos comunes del amoníaco hay que destacar dos usos de tremenda relevancia que lo convierten en un vector de transformación y transición hacia un transporte con cero emisiones netas.

1. La capacidad del amoníaco para almacenar y transportar energía. Se trata de un compuesto con una gran capacidad de almacenamiento de energía, lo que le permite capturar energía y poder liberarla mediante diferentes procesos. Esto a su vez le convierte en una herramienta tremendamente útil para transportar energía sin apenas pérdidas.
2. Su uso como combustible, mediante la liberación de energía en motores de combustión o mediante la reacción con oxígeno en pilas especialmente creadas para ello.

En términos de infraestructura y logística, el amoníaco supone un gran reto, pero por lo menos no tanto como otros combustibles. Se trata de una infraestructura que ya está bastante desarrollada y estudiada, permitiendo que su implementación dentro de la cadena de transporte sea viable. Sería necesaria una clara inversión y un proceso rápido para que fuera posible la implementación necesaria de toda la logística que rodea al amoníaco

para poder cumplir con los objetivos marcados, esencialmente el de cero emisiones netas para 2050.

El transporte de NH₃ es bastante cómodo, sobre todo si se transporta en forma licuada ya que no necesita requerimientos técnicos muy difíciles de adoptar, una temperatura de -33.6 °C a presión atmosférica y a 10 bares. Además, el punto de ebullición no supone un desafío. Cabe destacar que el amoníaco es menos inflamable que muchos de sus competidores, como los combustibles fósiles, el metano o el hidrógeno, lo que supone un punto a favor en cuanto a temas de manipulación y seguridad.

A su vez los cambios que tendrán que sufrir los buques no suponen una transformación radical, se trata de una transición totalmente sostenible. Con una flota que supuestamente está a la espera del desarrollo de las nuevas tecnologías para llevar a cabo su renovación, no sería complicado la transición con la suficiente inversión.

Se están comenzando a desarrollar numerosas regulaciones y normativas que regulen el uso de amoníaco como combustible, es el caso de organismos y empresas como DNV o Bureau Veritas.

Desventajas principales del amoníaco:

Aunque las emisiones de carbón se ven reducidas respecto a los combustibles fósiles, especialmente en el amoníaco azul y en el verde, hay que tener en cuenta los componentes que se emiten debido a la combustión de NH₃, en esta combustión se emitirán otras emisiones de carácter tan perjudicial o incluso superiores al carbono. Es el caso de los óxidos de nitrógeno, el NO_x, y especialmente el óxido nitroso N₂O, dos gases cuyo poder contaminante ya se ha explicado en el trabajo. Los procesos de control de la emisión de óxidos de nitrógeno están muy desarrollados y su evolución está presente en numerosos mecanismos y sistemas, es el caso de los sistemas que incorporan muchas embarcaciones explicados en MARPOL. Sin embargo, la emisión de N₂O no es tan común y su poder contaminante, como gas de efecto invernadero, es muy superior a la del CO₂. Hay que tener en cuenta que la emisión de este GEI se da cuando tienen lugar unas condiciones concretas de presión y temperatura, es por ello, que, mediante el estudio y la parametrización de estas variables, se podría controlar y regular la emisión de estos gases. Pero sin duda es necesario hacer frente a la emisión de este gas, una opción sería el uso de sistemas catalíticos de reducción de emisiones de NO₂, pero su introducción y su uso debe ser estudiado.

Hay que tener en cuenta la alta toxicidad del amoníaco resaltando dos aspectos principales.

Lo perjudicial que es para los seres vivos y específicamente para los seres humanos, las características del amoníaco provocan que los niveles de seguridad y el reglamento de manipulación y transporte deben estar a la altura de las consecuencias devastadoras que este compuesto puede

provocar. Esto tiene especial importancia cuando se tiene en cuenta que este compuesto va a estar siendo transportado y empleado en el transporte marítimo. Conociendo lo común que son los vertidos y escapes de combustible en el transporte y el carácter soluble que presenta el NH₃ con el agua hace aumentar las reticencias de emplear este compuesto.

Otro de los grandes debates que tienen lugar cuando se trata la viabilidad de este tipo de proyectos es el denominado 'bunkering'. El bunkering es lo que permite a los buques que se encuentran en alta mar 'repostar' combustible para poder continuar con su travesía. Es lo que se conoce como las gasolineras de los buques. Sin embargo, se presenta un problema muy similar al que se da con el gas natural licuado (GNL), es por ello por lo que se han desarrollado proyectos para dar solución a esta importante cuestión. La solución que se aplica para el caso del GNL y que tiene fácil implantación por similitud para otros combustibles como el amoníaco, es el denominado "IQuayTM", un sistema de transferencia de combustible desarrollado por ECONNECT Energy. Cabe citar que una de las empresas que ha ayudado al desarrollo de esta brillante idea es la compañía española Naturgy.

Estos sistemas de almacenamiento y abastecimiento de combustible son plataformas sin embarcadero que se encuentran en alta mar y que permiten a las embarcaciones asegurar el abastecimiento de combustible en alta mar. Las grandes ventajas de este método es su carácter universal, ya que permite la conexión de muchos tipos de embarcaciones a sus terminales, por lo tanto, se adapta a la necesidad de numerosos buques. Su implementación en la infraestructura ya existente no supone un gran reto debido a su adaptabilidad.

Supone un método que reduce las complicaciones y el coste económico respecto a las embarcaciones dedicadas al abastecimiento de combustibles. A su vez, es un mecanismo que cuenta con estrictas normas y regulaciones para su uso, por tanto, la seguridad juega un papel determinante cuando se trata de compuestos altamente tóxicos como el amoníaco, observable en toda la normativa adaptada y comprobada para el uso de este tipo de plataformas con el GNL.

El sistema que se emplearía para el bunkering y suministro de amoníaco para los buques es el conocido como Plug & Play, que cuenta con un tanque de almacenamiento de amoníaco y permite al buque 'conectarse' a la plataforma y abastecerse de forma segura y sencilla. Un ejemplo es la siguiente imagen donde se representa uno de estos sistemas de repostaje.



Figura 30: Sistema de repostaje de amoníaco en alta mar.

Fuente: Revista Sector Marítimo. Ingeniería Naval.

Uno de los proyectos más ambiciosos y avanzados en cuanto al uso de amoníaco como combustible es el de desarrollar el primer gran buque que emplea una pila de combustible de amoníaco. Se trataría del primer gran buque que incorpora una propulsión de este tipo. Se trata de un proyecto coordinado por MARITIME CLEANTECH y cuya financiación principal son los fondos aportados por la Unión Europea, el proyecto denominado ShipFC, incorporará una pila de combustible alimentada por amoníaco, una unidad de 2 MW que tendrá que alimentar a un gran buque con el objetivo de que pueda navegar durante 3000 horas en un año.

Con este proyecto iniciado en 2020 y que pretender zarpar en 2025 a bordo del buque de alta mar, Viking Energy, se estudiará la viabilidad, tanto técnica como económica, de emplear una pila de amoníaco en un buque de grandes dimensiones que realice rutas transoceánicas.

A su vez también se realizarán estudios en otros tipos de embarcaciones para poder comparar y estudiar la viabilidad este tipo de proyectos en la industria naval.

Por lo tanto, el amoniaco verde supone la apuesta más sostenible y alineada con el objetivo de lograr cero emisiones. A continuación, se presentan los principales aspectos del amoniaco verde.

- Amoniaco verde:

Elaborado a partir de fuentes de energía renovables, como la solar o la eólica, junto con agua e hidrógeno verde. Siendo el uso de este tipo de fuentes de electricidad un reto, ya que, aunque son mecanismos de obtención de electricidad ya desarrollados todavía no están al nivel de capacidad y suministro necesarios como para que el transporte marítimo puede desarrollarse en torno a estos. Otros componentes que hacen de esta alternativa un combustible muy costoso y que requiere una gran inversión son los útiles necesarios para llevar a cabo la electrolisis del agua, útiles como los electrolizadores que hoy en día tienen un gran coste y cuya industria no tiene la capacidad de producción necesaria para cubrir toda la demanda que se daría.

En cuanto a la seguridad, la regulación, así como los desafíos que presenta su almacenamiento y bunkering, ya han sido discutidos previamente.

Cabe destacar el papel que juega el amoniaco azul, ya que las emisiones de CO₂ son bastante bajas y podrían llegar a ser empleadas dentro de algún tipo de proceso circular. Sin embargo, no constituye una alternativa totalmente limpia como el amoniaco verde.

A su vez, el amoniaco está muy relacionado con el hidrógeno, como se va a explicar a continuación, el hidrógeno es otro componente que juega un papel decisivo en la lucha por descarbonizar los combustibles que se emplean en el transporte marítimo. Y como se ha visto, el amoniaco se compuesto en parte por hidrógeno, es por ello por lo que el papel de ambos componentes este estrechamente ligado, complementando el hidrógeno el papel del amoniaco y potenciado las posibilidades del amoniaco verde de convertirse en la principal fuente energética para los buques de mercancías.

- **8.2.2 Hidrógeno**

El hidrógeno, H₂, es un elemento químico, que se presenta en la naturaleza de manera gaseosa, en la mayoría de los casos, y de forma muy abundante. Es un gas muy ligero sin color ni olor. Como se ha citado, se trata de un elemento muy abundante en la naturaleza, la forma más común de obtenerlo es mediante el ya citado, proceso de electrólisis. En la electrólisis se toman moléculas de agua y se separan mediante el uso de corriente eléctrica las partículas de O₂ y de H₂. Por lo tanto, para el proceso se necesita agua que contenga sales y minerales, para que conduzcan la electricidad, y moléculas de agua. El hidrógeno sufrirá una reacción catódica y el oxígeno una reacción anódica.

Una de las principales formas de poder obtener energía a partir del hidrógeno es realizando el proceso inverso, el hidrógeno que se encuentra en tanques es llevado a las células de combustible donde el H₂ vuelve a entrar en contacto con el oxígeno del aire generando energía y vapor de agua.

Como en el caso del amoníaco, en el hidrógeno también podemos diferenciar diferentes tipologías de hidrógeno acompañadas por un color en concordancia con los procesos de obtención y las emisiones de cada uno de ellos. Como en el caso del amoníaco se diferencian tres opciones principales: verde, azul y gris. También destacan otros como el negro, el turquesa, el amarillo, el rosa y el blanco.

Al igual que con el amoníaco, el verde destaca porque no tiene ninguna emisión de CO₂, el azul tiene emisiones que son capturadas, almacenadas o reutilizadas en otros procesos, como puede ser en los ecombustibles. Por último, el gris, marrón o negro son aquellos en cuyos procesos se emite CO₂. Es por ello por lo que nos centraremos en la opción del hidrógeno verde ya que es la única opción viable para obtener los resultados que se han marcado. Cabe destacar los casos de los hidrógenos rosa, turquesa y blanco. Son tipos de hidrógeno que al igual que el verde no producen emisiones de CO₂ y se diferencian del verde dependiendo del proceso por el cual se obtiene hidrógeno. El hidrógeno blanco, es un caso particular, ya que el hidrógeno no se suele encontrar de forma pura en la naturaleza, suele encontrarse combinado con otros elementos. En este caso el hidrógeno blanco es el que se encuentra de forma gaseosa en la naturaleza, normalmente en depósitos subterráneos. Por otro lado, el hidrógeno rosa es un tipo de hidrógeno que suscita mucha polémica, esto se debe a que no se emiten GEI, pero, sin embargo, se emplea energía nuclear para su obtención. Por último, el hidrógeno turquesa consiste en la pirólisis de metal fundido, que se alimenta mediante gas natural, obteniendo H₂ y carbono sólido.

Los principales aspectos positivos del hidrógeno como combustible son los siguientes:

1. Sostenible: se trata de un combustible que se puede producir a gran escala, debido a su abundancia. Se obtiene mediante un proceso ya conocido que no emite ningún tipo de GEI.
2. Almacenamiento: se puede almacenar y no es necesario que se utilice de forma inmediata tras su producción. El hidrógeno presurizado en tanques es capaz de almacenar energía, convirtiéndose en una opción muy atractiva para almacenar energía procedente principalmente de fuentes renovables como la solar o la eólica. Se trata de un importante vector energético.
3. Versatilidad: el H₂, además de presentar una gran capacidad para almacenar energía, también puede ser licuado, convertido en electricidad o en gas sintético. Por lo tanto, la plasticidad que presenta para su uso, así como el amplio abanico de usos que presenta, comercial, industrial, así como para el transporte, lo convierten en un combustible con unas aplicaciones y opciones muy amplias.

Mientras que los principales defectos de su uso son los siguientes:

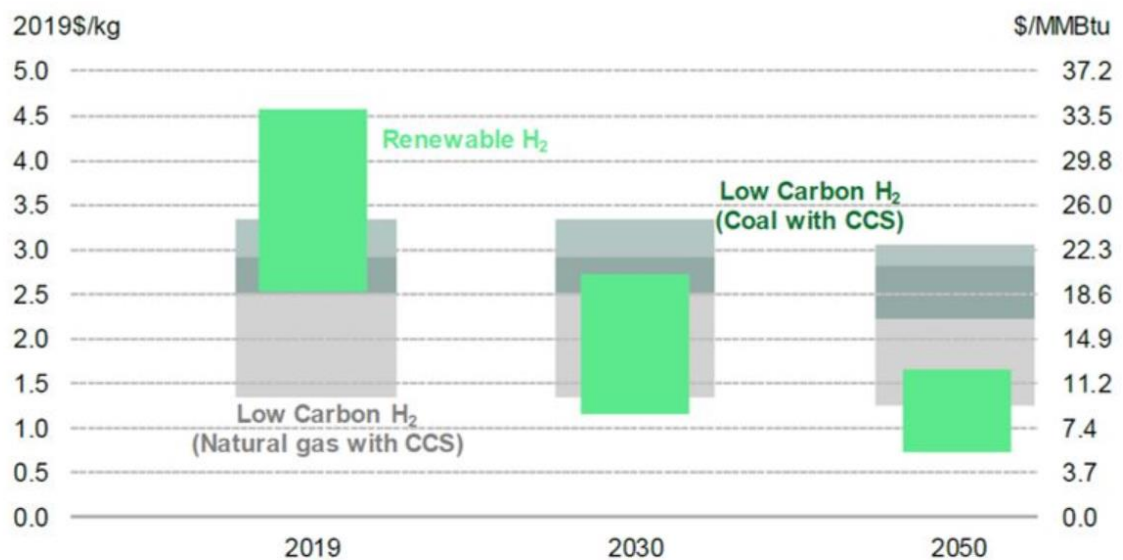
1. Coste elevado: el precio de la energía necesaria para el proceso de electrólisis es muy elevado, en especial si es necesario que esta energía sea procedente de fuentes renovables.
2. Alto requerimiento de energía: el consumo necesario para la producción de hidrógeno es muy elevado, más que para para otros combustibles. Es por ello por lo que esta sea otra desventaja que además se complementa con el hecho de que el coste de energía actualmente es muy elevado.
3. Seguridad: se trata de un gas incoloro y que no tiene olor, esto provoca que las fugas de H₂ sean muy difíciles de detectar. A ello se une que se trata de un gas altamente inflamable. Todo ello provoca que los procedimientos de

seguridad en su tratamiento, almacenamiento y transporte sean altamente estrictos.

4. Infraestructura: con la infraestructura con la que se cuenta hoy en día no es posible emplear este combustible como vector energético ni combustible principal en los sectores más relevantes.

Como se puede observar, el H2 verde presenta numerosos retos a los que la industria debe enfrentarse para poder utilizarlo como agente principal en nuestro mix energético.

Respecto al elevado coste que presenta, ya hay estudios que demuestran que en unos años no será un aspecto negativo tan significativo. Con el importante avance que se está realizando en las fuentes renovables y las importantes inversiones y regulaciones que se están realizando en este sector, el precio disminuirá. En la siguiente gráfica se pueden observar los precios del H2 renovable y su evolución en el tiempo. Se prevé que para 2030 su precio haya disminuido ya a la mitad y para 2050 su precio oscilaría entre los 0.8 y 1.6 \$/Kg convirtiéndose en una alternativa altamente viable y competitiva frente a combustibles como el gas natural.



Source: BloombergNEF. Note renewable hydrogen costs based on large projects with optimistic projections for capex. Natural gas prices range from \$1.1-10.3/MMBtu, coal from \$30-116/t.

Figura 31: Estimaciones del coste del hidrógeno.

Fuente: BloombergNEF.

En cuanto a la infraestructura y su aplicación, hoy en día el hidrógeno verde está muy lejos de ser el hidrógeno más utilizado, el hidrógeno gris, emisor de GEI, representa la mayor parte de los 70 millones de toneladas consumidas alrededor del mundo, según la IEA. Tan solo el 1% se obtiene por la electrólisis del agua a base de energía renovable y solo el 0,1 % que se emplea es hidrógeno verde. Esto es un fiel reflejo del desarrollo que se debe realizar para que el H₂ verde pueda convertirse en un competidor real. Se estima que para el desarrollo completo de la infraestructura y la investigación se necesitarán alrededor de 300 billones, pudiendo alcanzar entonces una demanda que aumente en 700 millones de toneladas para 2050.

En cuanto al almacenamiento, transporte, repostaje y regulación del hidrógeno, se encuentran en una etapa similar al amoniaco, aunque hay grandes diferencias. Se necesitan maneras de poder transportar el hidrógeno y tener puntos de recarga para los buques, ya que la autonomía marítima es una de las cualidades principales de este método de transporte.

El hidrógeno es un gas más ligero que el amoniaco, sin embargo, ocupa mucho, por lo que para el almacenamiento y reparto supone un mayor reto. Pero sobre todo el impedimento que presenta para su transporte y almacenamiento es la necesidad de mantenerse a muy alta presión. El hidrógeno presenta el requerimiento de que se transporte y almacene, en forma gaseosa, a -253°C y presiones de 700 bar. Estas son cifras difíciles de alcanzar para los buques, teniendo en cuenta que los metaneros suelen transportar el gas natural licuado a -163°C.

Es por ello por lo que la infraestructura necesaria para poder emplear el H₂ de forma mundial entraña una complejidad de una gran magnitud. Pero el H₂ sigue jugando un papel fundamental ya que ante estas dificultades se han determinado otros usos:

- a) Emplear el hidrógeno verde para formar amoniaco. Como se ha visto anteriormente, el amoniaco está formado por hidrógeno, por lo que se puede emplear el hidrógeno verde para desarrollar amoniaco verde que no genere ningún tipo de GEI. Realizando esta transformación se evitan los problemas que presenta el hidrógeno en cuanto a infraestructura, ya que el amoniaco cuenta con una infraestructura más avanzada y con mayores similitudes a las que se cuenta hoy en día para los combustibles fósiles. Hay que tener en cuenta que para el transporte del amoniaco licuado solo se necesitan unas condiciones de -33°C y una presión mucho más estándar, entre 10 y 20 bar.
- b) Pilas de hidrógeno: como se ha explicado previamente se emplea hidrógeno para generar energía. Sin embargo, esta solución no parece ser viable para el transporte marítimo de mercancías, ya que el tamaño y la energía que debería generar la pila son enormes y por lo tanto no se ve como

una solución posible, está más encaminada al transporte terrestre.

- c) Combustibles sintéticos (e-fuels): se elaborará más adelante, se emplea hidrógeno para desarrollar combustibles sintéticos que no emiten CO₂ a la atmósfera.

Se observa que el hidrógeno presenta numerosos retos, pero también soluciones y opciones para su uso. Se están llevando a cabo numerosos proyectos a nivel mundial y en especial en la Unión Europea en la que existe una fuerte inversión en este sector.

Un ejemplo es el acuerdo llevado a cabo entre España, Alemania, Francia y Portugal para construir un hidroduto para el transporte de hidrógeno. España es uno de los países que está aportando fuertemente por este combustible, con empresas españolas a la cabeza de la innovación como son Iberdrola o Acciona.

En cuanto a los proyectos más destacados, unidos a los numerosos proyectos de embarcaciones propulsadas por hidrógeno verde y sus derivados, se pueden observar los siguientes:

El proyecto Digital H2 Green, un proyecto que se realiza en el puerto de Málaga y que tiene como objetivo promover e impulsar el uso de hidrógeno verde como combustible en el transporte tanto terrestre, en los puertos, como en los buques. Se ha llevado a cabo mediante la instalación de puntos de recarga eléctrica y de hidrógeno, esperándose una reducción de las emisiones de un 65%.

Maersk, la segunda naviera más grande del mundo, pone en marcha un proyecto en España para la producción de hidrógeno verde. El objetivo de la naviera es producir dos millones de toneladas de un derivado del hidrógeno verde, el metanol verde, que se tratará a continuación, para 2030. Pudiéndose así emplear este combustible en sus embarcaciones.

La empresa española Cepsa acuerda con ACE Terminal del puerto de Rotterdam crear una ruta de hidrógeno verde. Abasteciendo de hidrógeno verde, seguramente transportado como amoníaco verde para su posterior descomposición en hidrógeno, para su uso en el puerto, tanto para la actividad que se desarrolla allí como para uso como combustible para los buques.

A su vez existen numerosos prototipos o embarcaciones de prueba que incorporan el hidrógeno o alguno de sus derivados como combustible principal.

Como se puede observar toda la cadena de valor del hidrógeno se está involucrando de una manera muy clara en el desarrollo de este componente, se puede observar el potencial que tiene y la gran variedad de soluciones sostenibles que presenta. Su uso para el desarrollo de derivados y otros componentes como el amoniaco o el metanol verde puede convertirlo en esencial, no por su poder propio como combustible, sino como herramienta para poder desarrollar estas otras fuentes energéticas más manejables y adaptables a la hora de ser empleadas.

Cabe destacar que la mayoría de grandes organismos y los países punteros en el desarrollo e investigación de estos combustibles han desarrollado planes e informes en los que establecen un plan de actuación para el desarrollo y empleo del hidrógeno y amoniaco. En estos documentos se puede observar de primera mano las actuaciones que se van a llevar a cabo y la forma de actuar y los focos de actuación que establecen los principales actores. Es el caso del gobierno japonés con el llamado “Basic Hydrogen Strategy” o el informe de la Unión Europea “A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe”.

8.2.3 Combustibles sintéticos, metanol y biocombustibles

En la siguiente imagen se presenta el proceso de obtención de combustibles sintéticos con cero emisiones. Son combustibles que se basan en el uso de H₂ renovable (verde) y el CO₂ procedente del aire o por ejemplo de la industria, por lo que a la vez que se produce un combustible verde se emplea el CO₂ que se emite.

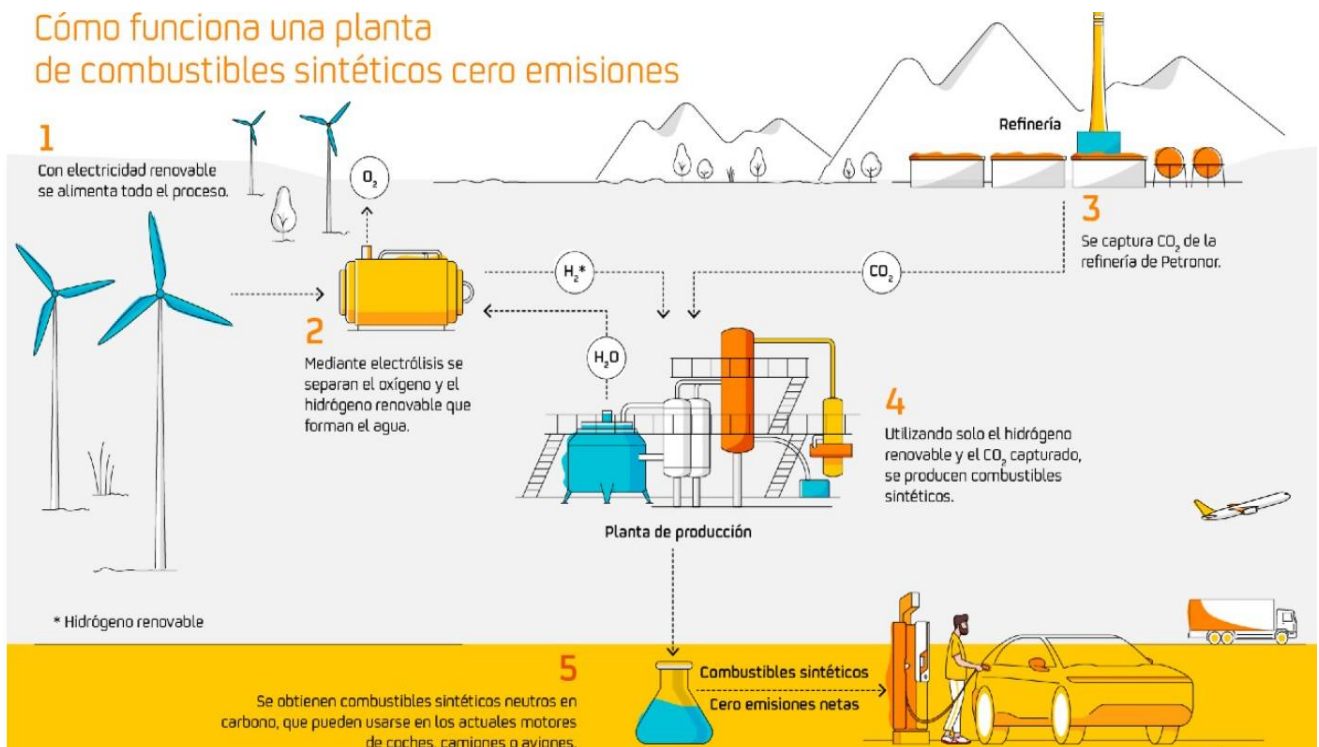


Figura 32: Producción de combustibles sintéticos cero emisiones.

Fuente: Repsol.

Se puede ver que es una opción muy beneficiosa pero su viabilidad está en cuestión ya que sería necesaria la producción de este combustible a nivel mundial y no se tiene la infraestructura ni los medios como para poder depender plenamente de este combustible. Sin embargo, suponen una opción estratégica crucial, añadiendo un combustible que desempeña y desempeñará un papel clave en la economía circular, ya que se aprovechan las emisiones, los residuos de la industria, para su obtención. Hay que añadir que los estudios que se realizan sobre el uso de este combustible están enfocados principalmente en su uso en el transporte terrestre, por lo tanto, su implantación en el transporte marítimo podría tardar más y ser más complicado debido a la diferencia de dimensiones y potencia que requieren cada uno de estos medios de transporte. Sin embargo, el gran potencial para descarbonizar que caracteriza estos combustibles les convierte en un combustible cuyo uso puede ser la solución para sectores complejos como el transporte marítimo. Dentro

de los combustibles sintéticos el que mayor potencial y el que más atención atrae es el metanol verde.

- Metanol verde: el metanol, cuya formulación química es CH_3OH , es un compuesto químico cuyo uso está ampliamente asentado en la industria. Hasta ahora el metanol ha sido más un problema, a nivel medioambiental, que una solución, ya que al igual que el amoníaco y el hidrógeno existe un abanico de colores para describir los diferentes tipos de metanol, siendo el metanol gris el más utilizado, cuyo poder contaminante como emisor de GEI es muy elevado ya que se obtiene a partir de gas natural. Es por ello por lo que se debe desarrollar e impulsar es el uso del metanol verde, obtenido en un proceso similar al de la figura 32 y con una planta y sistema de producción como el de la figura 33.

El metanol en su estado natural es líquido, lo que permite que su almacenamiento y transporte no supongan un gran reto, ya que tampoco requiere unas temperaturas o presiones difíciles de alcanzar y además ya están desarrollados y comprobados estos procedimientos debido a su uso como metanol gris. Por tanto, se entiende que los problemas que pueden surgir para su almacenamiento, transporte y uso se reducen a que la infraestructura necesaria no está todavía al nivel de capacidad necesaria como para que su uso pueda darse a nivel mundial y a los niveles como para abastecer a toda la sociedad.

Por otro lado, el metanol, aunque se puede considerar un combustible de cero emisiones, si presenta emisiones en los ya nombrados, procesos well-to-tank y tank-to-wake, especialmente emisiones de NO_x , pero estas se esperan eliminar con las medidas que se están desarrollando y las que ya se emplean. En muchos casos se elimina al metanol de la carrera por ser un sustituto de los combustibles fósiles, pero con los avances que se están produciendo el metanol verde será un combustible totalmente limpio.

Como se puede observar el metanol se presenta como una opción técnicamente viable, las grandes cuestiones se acrecientan en lo relacionado a su uso a nivel mundial, ya que en una escala reducida a demostrado ser una solución. Sin embargo, para su uso a nivel global es necesario del desarrollo de las fuentes renovables para obtener energía limpia a unos niveles de producción mucho mayores, así como el completo manejo y desarrollo del hidrógeno verde, tratado anteriormente.

Otra opción es el conocido como biometanol, que se obtiene a partir de biomasa, pero su uso a nivel global es más complicado, debido a los niveles de biomasa que se necesitan, similares al caso que se da en los biocombustibles. Además, no presenta un nivel competitivo, en cuestión de eficiencia, de facilidad de obtención y de control y manejo de las emisiones como para hacer frente al amoníaco, al hidrógeno o al propio metanol verde.

En la siguiente imagen de Iberdrola se puede observar todo el proceso de obtención de metanol verde a partir de hidrógeno verde.

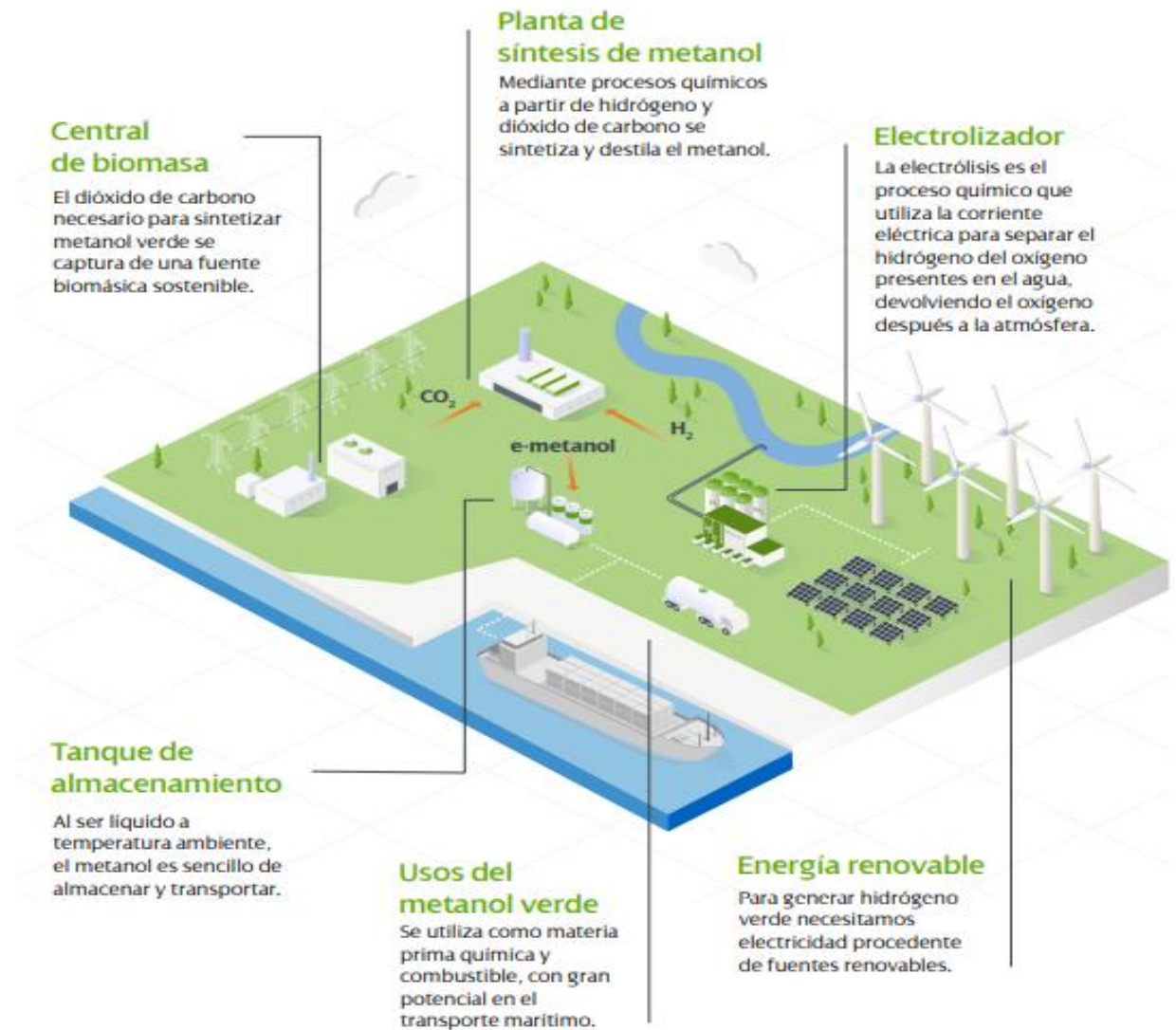


Figura 33: Planta de producción de metanol verde.

Fuente: Iberdrola.

Los biocombustibles se caracterizan por obtenerse a partir de materia vegetal y por ello se consideran ecológicos. Sin embargo, no son neutros con el medio ambiente y por ello no pueden considerarse una opción de futuro para el sector, tal vez como un paso intermedio hacia las cero emisiones. Además, presenta numerosos aspectos negativos como es la necesidad de una fuente de gran magnitud de material vegetal, esto se traduce en una gran contaminación por parte de la agricultura necesaria para obtener este material vegetal. Es por todo ello que no se considere una opción viable, por lo menos en la actualidad, con opiniones como la siguiente de una eurodiputada holandesa, Dorette Corbey: “Hace algunos años se creía que los biofuel eran la solución para el cambio climático; hoy algunos expertos opinan que no son el remedio, sino parte del problema”.

9. Simulación caso real: Huella de carbono de la exportación de mercancías desde el puerto de Algeciras (España) al puerto de Rotterdam (Países Bajos)

El precio del combustible empleado en las embarcaciones toma sus valores atendiendo a diferentes factores como la demanda, situación económica, política... En estos momentos se encuentra en una situación de gran volatilidad e inestabilidad debido a diversas situaciones, en la que destacan la ya citada invasión rusa de Ucrania o la pandemia del COVID19. Actualmente su precio es:

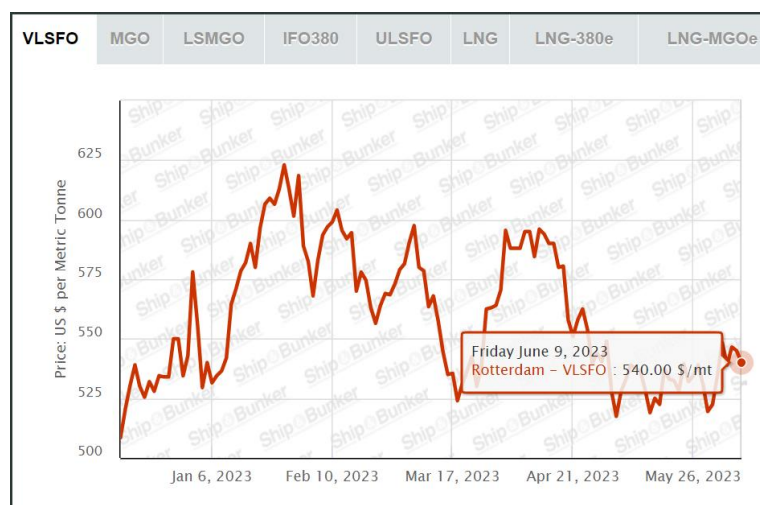


Figura 34: Precio combustible marítimo VLSFO.

Fuente: Ship&Bunker.



Figura 35: Precio combustible marítimo IFO380.

Fuente: Ship&Bunker.

El IFO380, “Intermediate Fuel Oil”, es el combustible que se ha empleado de forma más habitual por gran parte de los buques, su combustión emite gases contaminantes y GEI a la atmósfera. Con la introducción de la nueva regulación y reglamentación, la mayoría de los buques que están bajo estas nuevas reglas deberán pasar a emplear combustibles de bajas emisiones como el VLSFO, Very Low Sulphur Fuel Oil, un combustible que se caracteriza por tener un contenido reducido de azufre, cumpliendo con el límite del 0,5%, lo que explica que su precio sea mayor que el del IFO380.

Es de esperar que el precio de los derivados del petróleo siga aumentando su precio a la vez que los recursos se van agotando y que se vaya intensificando los límites y la regulación que se impongan al empleo de este tipo de combustible. Es verdad que, si la demanda se rebaja, sería lógico que el precio bajara debido a que el mercado estaría inundado, es por ello por lo que, tomando la idea presentada en las soluciones para la descarbonización, hay que llevar un control del precio del petróleo para que el mercado pueda mantenerse equilibrado y estabilizado y se pueda llevar a cabo una transición justa y sostenible.

A continuación, se va a calcular la cantidad de contaminantes y de GEI que se podrían dejar de emitir mediante el uso de combustibles sin emisiones que sustituyan a estos combustibles. Para ello se empleará el método de cálculo de la huella de carbono, el cual se basa en el uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato actividad} * \text{Factor emisión}$$

- Dato actividad: “es el parámetro que define el grado o nivel de la actividad generadora de las emisiones de GEI”. En este caso, los datos de actividad que se tomaran será la cantidad de combustible consumido por el transporte marítimo.
- Factor de emisión (FE): “supone la cantidad de GEI emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”. Estos factores varían en función de la actividad que se trate”. En este estudio se tomarán los factores de emisión de los principales GEI.

Como se definen en la guía del Gobierno de España, realizada por el Ministerio para la Transición Ecológica: “GUÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO Y PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MEJORA DE UNA ORGANIZACIÓN”

El resultado de esta fórmula es un término ya tratado anteriormente en el proyecto, se obtiene la cantidad de CO2 equivalente en cada caso, como se ha visto, una unidad de gran utilidad para medir el impacto en el medio ambiente.

Se toman como factores de emisión los ofrecidos por el gobierno español, en “FACTORES DE EMISIÓN REGISTRO DE HUELLA DE CARBONO, COMPENSACIÓN Y PROYECTOS DE ABSORCIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO”, mayo 2023, versión 22.

En esta versión se toman los principales GEI que se han descrito durante el proyecto, CO2, CH4 y N2O.

B. Transporte ferroviario, marítimo y aéreo (emisiones directas)

Factores de emisión por gases

		2007			2008			2009			2010			2011			2012			2013			2014		
		CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud			
Gasóleo (l)	Ferrocarril	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020
	Marítimo	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074
Fuelóleo (l)	Marítimo	3.193	0,286	0,082	3.202	0,284	0,081	3.200	0,286	0,082	3.196	0,286	0,082	3.191	0,284	0,081	3.197	0,284	0,081	3.180	0,284	0,081	3.149	0,284	0,081
Queroseno (l)	Aéreo	2.520	0,040	0,068	2.520	0,040	0,068	2.520	0,039	0,068	2.520	0,039	0,068	2.520	0,038	0,068	2.520	0,038	0,068	2.520	0,038	0,068	2.520	0,037	0,068
Gasolina para aviación (l)	Aéreo	2.287	0,016	0,064	2.287	0,016	0,064	2.287	0,019	0,064	2.287	0,020	0,064	2.287	0,019	0,064	2.287	0,018	0,064	2.287	0,018	0,064	2.287	0,017	0,064

		2015			2016			2017			2018			2019			2020			2021			2022		
		CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud	CO ₂ kg/ud	CH ₄ g/ud	N ₂ O g/ud
Gasóleo (l)	Ferrocarril	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020	2.699	0,151	0,020
	Marítimo	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074	2.747	0,259	0,074
Fuelóleo (l)	Marítimo	3.204	0,286	0,082	3.207	0,284	0,081	3.209	0,284	0,081	3.189	0,285	0,081	3.204	0,283	0,081	3.193	0,284	0,081	3.194	0,284	0,081	3.183	0,284	0,081
Queroseno (l)	Aéreo	2.520	0,037	0,068	2.520	0,038	0,068	2.520	0,037	0,068	2.520	0,038	0,068	2.520	0,037	0,068	2.520	0,037	0,068	2.520	0,037	0,068	2.520	0,036	0,068
Gasolina para aviación (l)	Aéreo	2.287	0,017	0,064	2.287	0,016	0,064	2.287	0,018	0,064	2.287	0,016	0,064	2.287	0,016	0,064	2.287	0,016	0,064	2.287	0,016	0,064	2.287	0,016	0,064

Figura 36: Factores de emisión GEI.

Fuente: Gobierno de España, Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico.

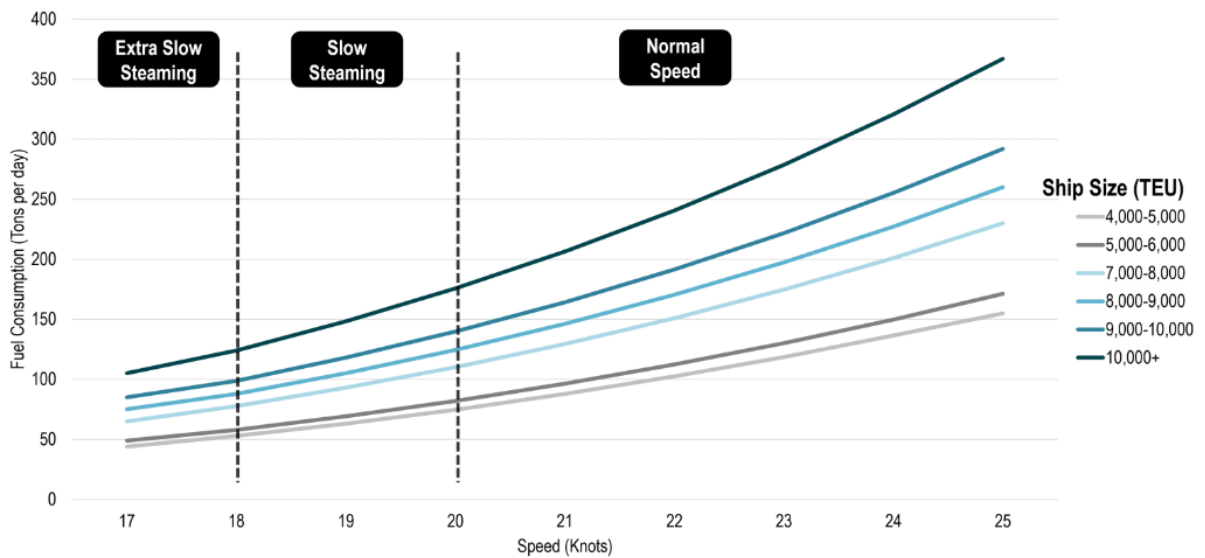
		t/m ³
Gasolinas.	Gasolina Auto 95 I.O.	0,752
	Gasolina Auto 98 I.O.	0,752
	Gasolina de Aviación.	0,750
	Otras gasolinas.	0,750
	Bioetanol.	0,790
	Gasolinas Mezcla.	(*)
Querosenos	Queroseno Aviación Jet A1.	0,800
	Queroseno Aviación Jet A2.	0,800
	Otros querosenos.	0,800
Gasóleos	Gasóleo A 10 ppm.	0,845
	Gasóleo B.	0,845
	Gasóleo C.	0,845
	Hidrobiodiésel (HVO).	0,775
	Biodiésel.	0,880
	Biodiésel Mezcla.	(*)
	Gasóleo Uso Marítimo.	0,860
	Otros gasóleos.	0,860
Fuelóleos	Fuelóleo BIA.	1,000
	Fuelóleo de refinería.	1,000
	Otros combustibles uso mar.	1,000
	Otros Fuelóleos.	1,000

Figura 37: Densidad de conversión de los combustibles.

Fuente: Gobierno de España, Documento BOE-A-2015-6563.

Siendo la tabla de conversión oficial de t/m³, publicada en el BOE núm. 141, de 13 de junio de 2015, páginas 49844 a 49845, la que se empleará para la conversión de unidades. Según el tipo de combustible se tiene una densidad, en este caso el fuelóleo de uso marítimo tiene una densidad de 1000 kg/m³, concuerda con lo que se expone en los estudios y datos de combustibles que establecen que los combustibles como IFO380 o VLSFO se caracterizan por tener densidades superiores a 900 kg/m³

El consumo de combustible en los buques depende principalmente la capacidad del motor, la velocidad del buque y el tamaño de este. En la siguiente tabla se ofrece una visión clara del consumo de combustible según el tamaño en TEU del buque y de su velocidad:



Fuel Consumption by Containership Size and Speed

Source: adapted from Notteboom, T. and P. Carriou (2009) "Fuel surcharge practices of container shipping lines: Is it about cost recovery or revenue making?". Proceedings of the 2009 International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, June, Copenhagen, Denmark.

Figura 38: Consumo de combustible según tamaño y velocidad del buque.

Fuente: Notteboom, T. and P. Carriou (2009) "Fuel surcharge practices of container shipping lines: Is it about cost recovery or revenue making?". Proceedings of the 2009 International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, June, Copenhagen, Denmark.

Si se toma un transporte de mercancías que se dé entre los puertos de Algeciras y Rotterdam, como se ha visto dos puertos de gran importancia a nivel europeo y mundial, se realizaría una ruta marítima de 1365 millas náuticas.

Se van a estudiar diferentes casos:

En el caso base, se toma un buque portacontenedores de más de 10.000 TEU que viaja a una velocidad de 21 nudos, velocidad habitual en los portacontenedores.

Para la primera hipótesis, para el mismo tipo de buque portacontenedor, se reduce la velocidad hasta los 18 nudos, ya que se ha visto que es común la reducción de la velocidad para reducir emisiones.

Por último, se llevará a cabo una segunda hipótesis en la que la velocidad, del mismo tipo de buque portacontenedores, se redujera hasta los 10 nudos, dentro de la denominada navegación ultra lenta. Es una velocidad a la que se considera que los grandes buques como los portacontenedores tendrían un impacto más reducido en la vida submarina, especialmente en los cetáceos. Muchos organismos y plataformas medioambientales piden que se imponga esta velocidad en zonas en las que se encuentran estos seres vivos, como es el caso del Mediterráneo. Por ello que es de gran interés estudiar las consecuencias de reducir la velocidad a estos niveles, ya que en un futuro se podría aplicar esta medida en zonas de gran interés como las zonas ECA.

Se tomarán los valores a partir de la figura 38, en la que se pueden extraer los valores de consumo de combustible según la velocidad y tamaño de las embarcaciones.

- Para el caso base: se obtiene un consumo aproximado de 200 toneladas por día. Empleando equivalencias se calcula: $21 \text{ nudos} = 21 \frac{\text{millas náuticas}}{\text{hora}}$, por tanto 1365 millas náuticas serán 65 horas o 2.7 días aproximadamente. Si se consumen 200 toneladas por día, se obtiene 540 toneladas de combustible para la realización del viaje.
- Para la primera hipótesis: se obtiene un consumo de 130 toneladas por día. Empleando equivalencias se calcula: $18 \text{ nudos} = 18 \frac{\text{millas náuticas}}{\text{hora}}$, por tanto 1365 millas náuticas serán 75.83 horas o 3.16 días aproximadamente. Si se consumen 130 toneladas por día, se obtiene 410 toneladas de combustible para la realización del viaje.
- Para la segunda hipótesis: Empleando los datos de la figura 38, se realiza una gráfica en la que se puede extraer la fórmula que define la tendencia de reducción de consumo de combustible según la velocidad. Para ello se define una línea de tendencia potencial cuya fórmula matemática es la siguiente:

$$y = 0,0376x^{2.8178}$$

Se emplea este tipo de línea de tendencia potencial ya que presenta un coeficiente de determinación (R^2) de 0,998 Este coeficiente, que da valores entre 0 y 1, determina lo exacto que un modelo de regresión se ajusta a unos datos, siendo el

1 el máximo. Es por ello por lo que con un $R^2 = 0,998$ se pueda predecir de forma altamente correcta el valor del consumo de combustible si la velocidad es de 10 nudos.

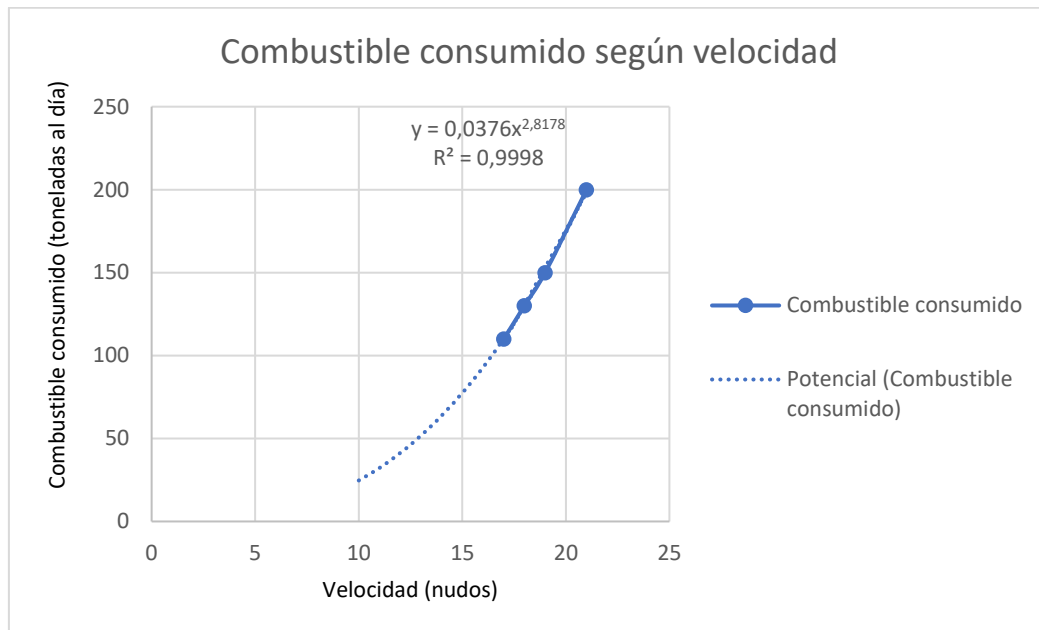


Figura 39: Combustible consumido según velocidad.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, las toneladas de combustible consumidas a una velocidad de 10 nudos serán:

$$0,0376 * 10^{2,8178} = 24,72 \text{ toneladas de combustible diarias}$$

Empleando equivalencias se calcula: $10 \text{ nudos} = 10 \frac{\text{millas nauticas}}{\text{hora}}$, por tanto 1365 millas náuticas serán 136,5 horas o 5.69 días aproximadamente. Si se consumen 24,72 toneladas por día, se obtiene 140,66 toneladas de combustible para la realización del viaje.

En cuanto a la cantidad de CO2 equivalente que se emite:

- **Para el caso base:**

$$\text{De CO}_2: 540 \text{ t} * 1 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} * 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 3.193 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 1.724.220 \text{ kg}$$

$$\text{De CH}_4: 540 \text{ t} * 1 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} * 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 0.284 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 153.360 \text{ kg}$$

$$\text{De N}_2\text{O}: 540 \text{ t} * 1 \frac{\text{m}^3}{\text{t}} * 1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3} * 0.081 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 43.740 \text{ kg}$$

$$\text{CO}_2 \text{ e} = 1.724.220 + 153.360 + 43.740 = 1.921.320 \text{ kg de CO}_2 \text{ equivalente}$$

CO2 equivalente: 1.921,32 toneladas de CO2 equivalente emitidas

- **Para la primera hipótesis:**

$$De CO_2: 410 t * 1 \frac{m^3}{t} * 1000 \frac{l}{m^3} * 3.193 \frac{kg}{l} = 1.309.103 kg$$

$$De CH_4: 410 t * 1 \frac{m^3}{t} * 1000 \frac{l}{m^3} * 0.284 \frac{kg}{l} = 116.440 kg$$

$$De N_2O: 410 t * 1 \frac{m^3}{t} * 1000 \frac{l}{m^3} * 0.081 \frac{kg}{l} = 33.210 kg$$

$$CO_2 e = 1.309.103 + 116.440 + 33.210 = 1.458.753 kg de CO_2 equivalente$$

CO2 equivalente:1.458,78 toneladas de CO2 equivalente emitidas

- **Para la segunda hipótesis:**

$$De CO_2: 140,66 t * 1 \frac{m^3}{t} * 1000 \frac{l}{m^3} * 3.193 \frac{kg}{l} = 449.127,38 kg$$

$$De CH_4: 140,66 t * 1 \frac{m^3}{t} * 1000 \frac{l}{m^3} * 0.284 \frac{kg}{l} = 39.947,44 kg$$

$$De N_2O: 140,66 t * 1 \frac{m^3}{t} * 1000 \frac{l}{m^3} * 0.081 \frac{kg}{l} = 11.393,46 kg$$

$$CO_2 e =$$

$$449.127,38 + 39.947,44 + 11.393,46 = 500.468,28 kg de CO_2 equivalente$$

CO2 equivalente:500,468 toneladas de CO2 equivalente emitidas

*Porcentajes respecto al caso base

	<u>Caso base</u>	<u>Primera hipótesis</u>	<u>Segunda hipótesis</u>
CO2 equivalente (toneladas)	1.921,32	1.458,78	500,468
Velocidad de navegación (nudos)	21	18	10
Tiempo de navegación (horas)	65	75,83	136,5
% aumento de tiempo de viaje	-	16,67%	110%
% reducción de emisiones	-	24,07%	73,95%
% reducción de velocidad	-	14,29%	52,38%
% aumento de tiempo de viaje	-	16,67%	110%

Figura 40: Resultados simulación.

Fuente: Elaboración propia.

La dimensión de la emisión de CO2 equivalente de estos buques en tan solo un viaje es más que significativa, es cierto que estos niveles de emisión se ven reducidos por el uso de las nuevas tecnologías y combustibles con menos emisiones, pero aun así el impacto, como se aprecia, es enorme. Si se trasladan estos datos a una visión global es comprensible que al año el transporte marítimo sea responsable de miles de millones de toneladas.

Como se puede observar en la figura 40, se demuestra que con una reducción de casi el 15% de la velocidad, entre el caso base y la primera hipótesis, la reducción de las emisiones es de en torno al 24 %. Por lo tanto, es cierto lo explicado durante el trabajo de que si se reduce la velocidad se reducen las emisiones. Es entendible ya que cuando se reduce la velocidad se reduce el consumo de combustible, en el mismo porcentaje, en estos casos que la reducción de emisiones, y por tanto menos GEI se emiten en la combustión de estos combustibles. Esta reducción de emisiones es todavía más notable en comparación con la segunda hipótesis. En esta, reduciendo la velocidad un poco más de la mitad, se reduce la emisión de GEI en un casi 74%.

El punto óptimo de reducción de emisiones y velocidad frente al aumento de tiempo empleando los datos anteriores, figura 40, será, empleando aproximaciones lineales, el siguiente:

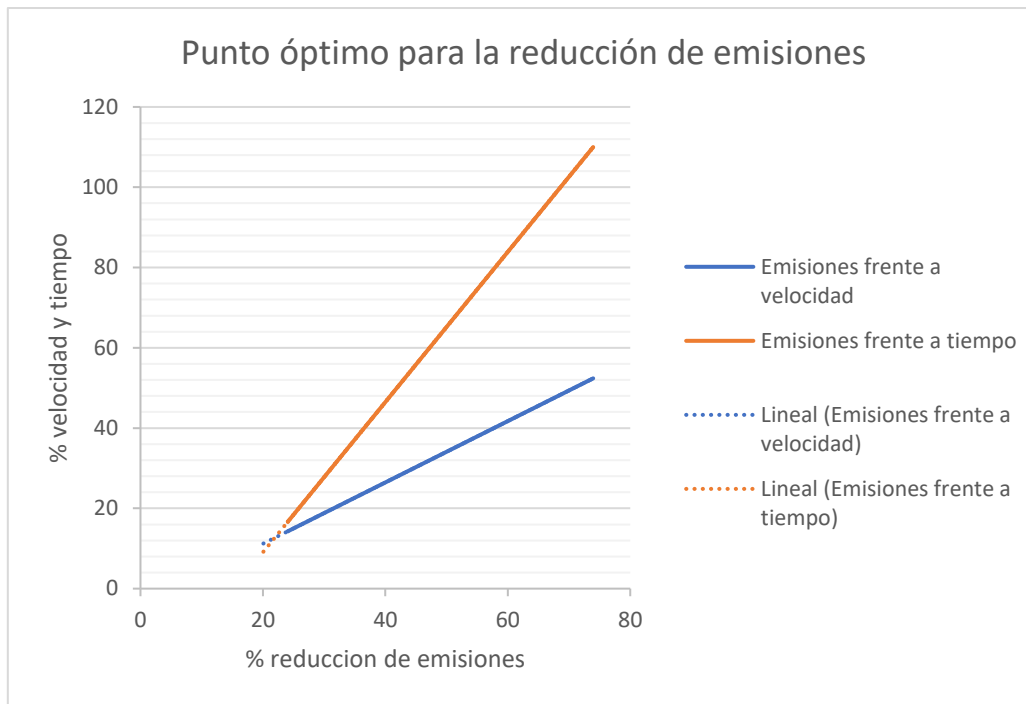


Figura 41: Punto óptimo para la reducción de emisiones.

Fuente: Elaboración propia.

Se comprueba que el punto óptimo para reducir la velocidad y emisiones y no aumentar demasiado el tiempo sería en torno a una reducción de emisiones del 22% con un descenso de velocidad y un aumento de tiempo de alrededor del 15%. Estos datos concuerdan con lo explicado en el trabajo y expuesto por la AEMA en la figura 27, en la que se comprueba como la reducción de velocidad está en torno al 20%. Tiene sentido entonces que los buques reduzcan la velocidad este porcentaje ya que como se ha visto en este estudio el punto óptimo en el cual se reducen las emisiones y velocidad sin aumentar el tiempo de forma perjudicial estaría en torno a esas cifras.

Se puede comprobar si los porcentajes de cantidad de cada uno de estos GEI coincide con la figura 9. Si se toma cada uno de los contaminantes y se hace la suma de los tres casos y se representa el porcentaje del total de los tres casos, los resultados son los siguientes:

$$CO_2 = 1.724.220 + 1.309.103 + 449.127,38 = 3.482.450,38 \text{ kg de } CO_2$$

$$CH_4 = 153.360 + 116.440 + 39.947,44 = 309.747,44 \text{ kg de } CH_4$$

$$N_2O = 43.740 + 33.210 + 11.393,46 = 88.343,46 \text{ kg de } N_2O$$

El total de las emisiones es de: 3.880.541,28 kg de CO₂ equivalente.

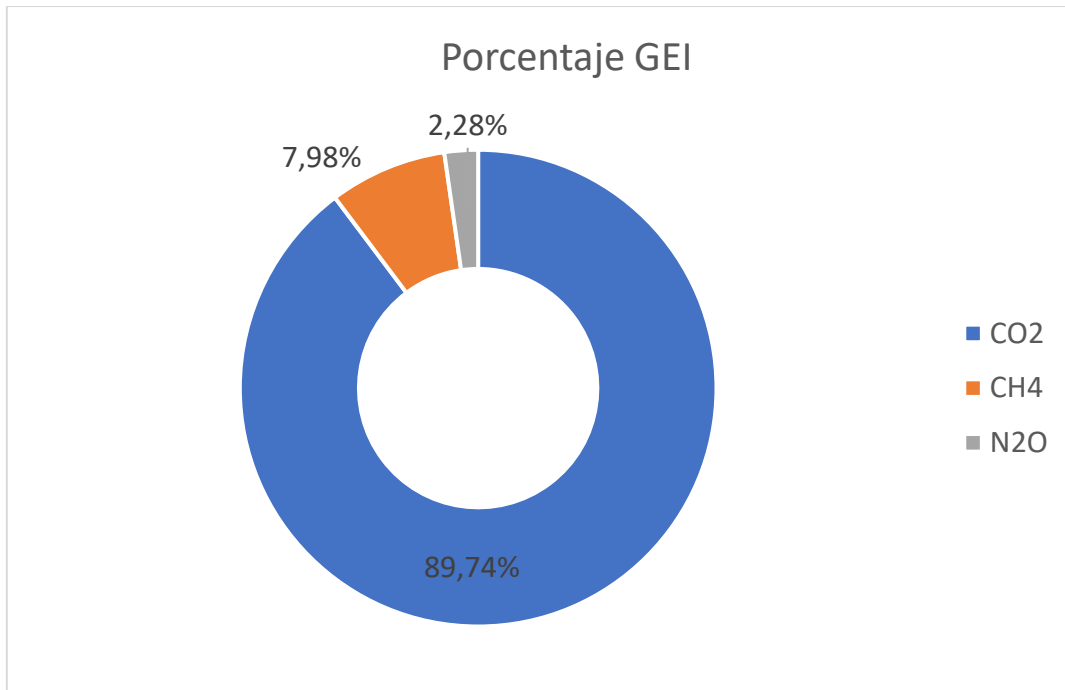


Figura 42: Porcentajes GEI.

Fuente: Elaboración propia.

Se comprueba como los datos son muy semejantes a los expuestos en la figura 9. Siendo el CO2 el principal GEI, con el CH4 en segundo puesto y el N2O en el ultimo lugar. Los valores de los porcentajes se mantienen bastante parejos, con variaciones descendentes en los casos del CH4 y el N2O de entono al 4%, mientras que el CO2 parece sumar estas variaciones alcanzando casi representar el 90% de los GEI emitidos en este trayecto. Se puede concluir que los porcentajes de emisión de GEI de este trayecto se alinean con los expuestos en la figura 9.

A continuación, se va a calcular el impacto económico de reducir la velocidad para el mismo buque portacontenedores estudiado en estos casos. Para calcular el ahorro en combustible se toma el precio de ambos combustibles de las figuras 34 y 35, se estudian ambos casos:

- Para la primera hipótesis respecto al caso base:

- Tomado el precio del IFO380:

$$\text{Ahorro de combustible} = (540 - 410) \text{ ton} * 486 \frac{\$}{\text{ton}} = 63.180 \$$$

- Tomando el precio del VLSFO:

$$\text{Ahorro de combustible} = (540 - 410) \text{ ton} * 540 \frac{\$}{\text{ton}} = 70.200 \$$$

- Para la segunda hipótesis respecto al caso base:

- Tomando el precio del IFO380:

$$\text{Ahorro de combustible} = (540 - 140,66) \text{ ton} * 486 \frac{\$}{\text{ton}} = 194.079,24 \$$$

- Tomando el precio del VLSFO:

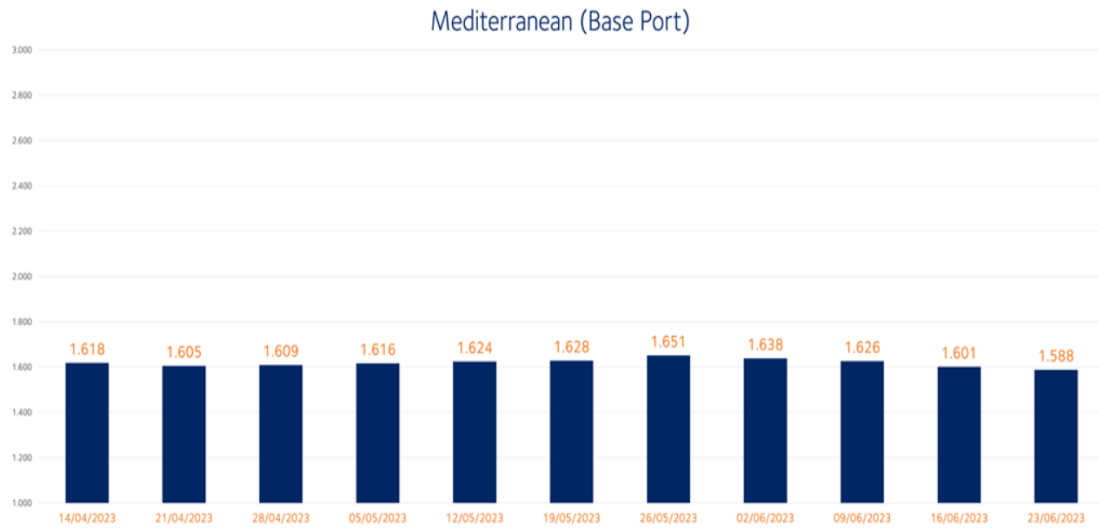
$$\text{Ahorro de combustible} = (540 - 140,66) \text{ ton} * 540 \frac{\$}{\text{ton}} = 215.643,6 \$$$

Se puede observar, como era de esperar, cuanto mayor es la reducción mayor es el ahorro en combustible. Si comparamos este ahorro con los precios del caso base, obtenemos los mismos porcentajes de reducción que en el caso de las emisiones. Hay que tener en cuenta que, como se ha expresado, el descenso de velocidad también provoca un aumento de tiempo que se traduce un aumento de costes en cuestión de mantenimiento en viaje, costes de funcionamiento, salarios...

Por lo que, la reducción de velocidad no es tampoco una medida que suponga un fuerte incremento de ingresos al ahorrar combustible, porque como se ha dicho conlleva otros gastos. Por lo que su uso es principalmente recomendado y empleado para reducir las emisiones.

Pero esta reducción de velocidad y emisiones tiene un claro contratiempo, al reducir la velocidad se aumenta el tiempo de viaje y por tanto pueden ocurrir contratiempos como los retrasos. Es correcto pensar que el hecho de reducir la velocidad es una práctica conocida y común en el sector, que se realiza con previo conocimiento y por lo tanto no suele conllevar un retraso ya que está previamente estipulada en los contratos. Sin embargo, se estudia como puede afectar un retraso para poder medir su impacto

Para ello, se calcula el precio del flete empleando un buque portacontenedores de más de 10.000 TEU, como en los casos previos. Para poder utilizar un dato concreto se escoge un buque portacontenedores de en torno a 12.000 TEU, un valor normal para un buque portacontenedores. Se toma el precio en USD/TEU en los puertos del Mediterráneo que estipula el índice de Fletes de Carga Contenerizada de Shanghái. Este es un índice mundialmente empleado para calcular el precio de cada TEU de mercancía que se transporta, es tan importante ya que es el establecido por China, actor principal del transporte marítimo de mercancías.



Unidad - USD/TEU. Última actualización el 23 de junio de 2023

Figura 43: Índice SCFI.

Fuente: DSV.

A continuación, conociendo el valor USD/ TEU se aplicará uno de los convenios aplicables en caso de retraso en el transporte marítimo. Existen dos convenios principales aplicables, los cuales son: “Reglas de la Haya-Visby” y “Reglas de Hamburgo”. En este estudio se aplicará las “Reglas de Hamburgo” ya que establece de forma más concreta y clara la indemnización a pagar por retraso, mientras que en el caso de las “Reglas de la Haya-Visby” tiene en cuenta factores más complicados de cuantificar y que no penalizan directamente los retrasos. Por lo tanto, se aplican las “Reglas de Hamburgo”, reglas ratificadas en España, que expresan:

«BOE» núm. 180, de 25 de julio de 2014, páginas 59193 a 59311, Artículo 283. Limitación de la responsabilidad por retraso:

“La responsabilidad por retraso queda limitada a una cifra equivalente a dos veces y media el flete pagadero por las mercancías afectadas por el retraso, pero no excederá de la cuantía total del flete que deba pagarse en virtud del contrato de fletamento.

Aplicando este artículo y tomando los últimos precios disponibles en la figura 43, se calcula:

- Si se tiene un buque portacontenedores de 12.000 TEU, el valor de la carga será:

$$\text{Valor de la carga} = 12.000 \text{ TEU} * 1.588 \frac{\text{USD}}{\text{TEU}} = 19.056.000 \text{ USD}$$

- Si se produce el retraso la indemnización será de:

$$\text{Indemnización} = 19.056.000 * 2,5 = 47.640.000 \text{ USD}$$

En conclusión, el precio a pagar por el retraso será: 47.640.000 USD

Es verdad que este caso se sitúa en una situación extrema en la que toda la mercancía del buque se retrasa y se debe indemnizar por todo ello. Además, al no estipularse el precio del fletamento que hay en el contrato, al no citarse o emplearse ningún contrato, no se puede determinar si esta cantidad calculada supera este valor estipulado en el contrato. Sin embargo, estas indemnizaciones millonarias son realistas, como se pudo comprobar en el caso, ya citado, del portacontenedores Ever Given cuyas indemnizaciones por retraso ascendieron a cifras millonarias.

Por último, se ha hecho un cálculo sencillo de la relación del precio del combustible, las toneladas que se emplean de cada uno de ellos y las emisiones calculadas obteniendo el “precio” de la tonelada de emisiones. Es un dato interesante en relación con lo explicado en el trabajo sobre el sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea y la inclusión del transporte marítimo, ya que permite hacerse una idea del precio que podrían tener estas emisiones.

Si se extraen los precios del combustible hoy en día, figuras 34 y 35, se puede hacer un cálculo de cuanto “cuestan” estas emisiones actualmente, se tiene el precio del IFO380 en torno a 460\$/mt y el del VLSFO alrededor de 540\$/mt, por tanto, si se toman los resultados:

- Para el caso base:
El combustible empleado es de 540 toneladas:

$$540t * 460\$/t = 248.400 \$$$

$$540t * 540\$/t = 291.600 \$$$

$$\text{CO2 equivalente} = 1.921.320 \text{ kg} = 1.921,32 \text{ t de CO2 equivalente}$$

Por lo tanto, se toma estas emisiones:

$$248.400 \$ / 1.921,32 \text{ t CO2 e} = 129,28 \frac{\$}{\text{t de CO2 e}}$$

$$291.600 \$ / 1.921,32 \text{ t CO2 e} = 151,77 \frac{\$}{\text{t de CO2 e}}$$

- Para la primera hipótesis:
El combustible empleado es de 410 toneladas:

$$410 \text{ t} * 460\$/\text{t} = 188.600 \$$$

$$410 \text{ t} * 540\$/\text{t} = 221.400 \$$$

$$\text{CO2 equivalente} = 1.458.780 \text{ kg} = 1.458,78 \text{ t de CO2 equivalente}$$

Por lo tanto, se toma estas emisiones:

$$188.600 \$ / 1.458,78 \text{ t CO2 e} = 129,28 \frac{\$}{\text{t de CO2 e}}$$

$$221.400 \$ / 1.458,78 \text{ t CO2 e} = 151,77 \frac{\$}{\text{t de CO2 e}}$$

Se puede observar que los precios mantienen su proporción y relación entre los dos casos, en el supuesto en el cual se emplea el IFO380, el precio de las emisiones es 129,28 \$/t de CO2 e, mientras que si se emplea el combustible bajo en azufre el precio asciende a 151.77 \$/ t de CO2 e. Valores interesantes, ya que permiten hacer un paralelismo o equivalencia con los precios que se establecerían en el sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea.

10. Simulación de la inversión necesaria para producir hidrógeno renovable en España capaz de reducir las emisiones de CO2 equivalente del transporte marítimo de mercancías español a cero en 2050.

Para esta simulación se planteará la viabilidad económica de la producción de hidrógeno renovable en España para poder reducir las emisiones de CO2 equivalente del transporte marítimo de mercancías español. Para ello, se plantean diferentes casos teniendo en cuenta diversos factores que permitirán conocer la viabilidad económica de producir el suficiente hidrógeno renovable en España como para poder reducir a cero las emisiones de CO2 equivalente en España procedentes del transporte marítimo de mercancías para la fecha marcada en el Acuerdo de París, 2050.

En la siguiente figura se puede observar la estimación de producción mundial de hidrógeno para 2050. Como se puede observar los escenarios más optimistas estiman la producción en 800 millones de toneladas, mientras que los pesimistas en torno a 500 millones de toneladas. No tan solo eso, se espera que el hidrógeno pase a cubrir, desde el 0 actual hasta el rango del 12” al 22% de la demanda de energía para 2050.

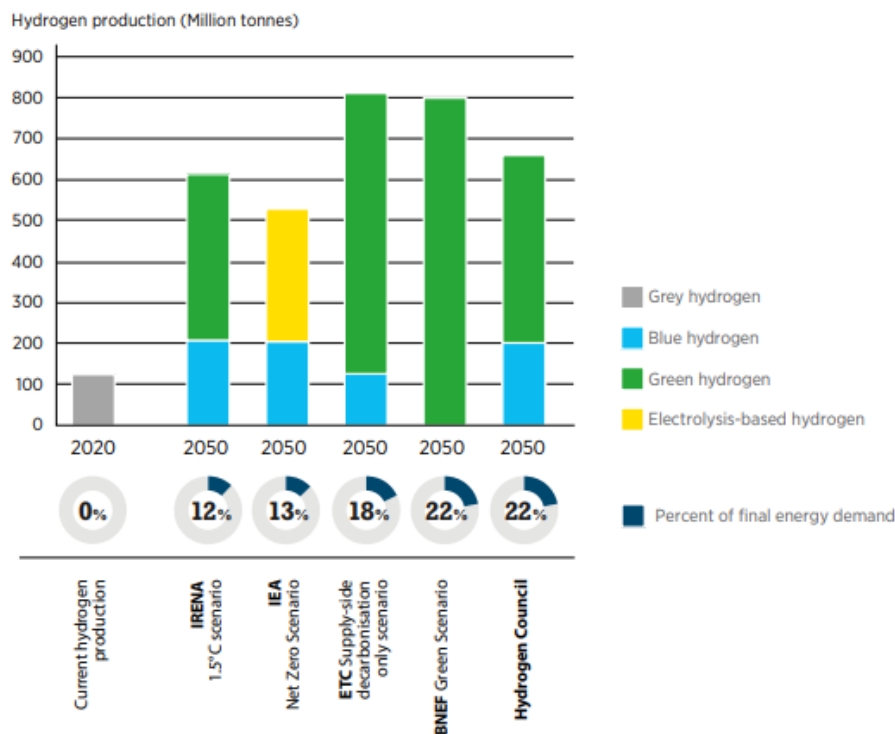


Figura 44: Estimación de producción de hidrógeno para 2050.

Fuente: IRENA.

Para el caso más desfavorable (500 Mton), el crecimiento anual de producción, si se toma como un crecimiento lineal, sería un incremento de 13,33 Mton de hidrógeno anuales, lo que representa un crecimiento anual de producción del 3,33%. Al igual que para el caso más optimista (800Mton), el crecimiento anual de la producción, si se toma como lineal, sería de 23,33 Mton de hidrógeno anuales, lo que representa un crecimiento del 3.33%.

Por lo que para la simulación se tomará que la tasa de crecimiento de producción mundial del hidrógeno es la que seguirá también España y muchos casos que se estudiarán se empleara como referencia de tasa para el incremento o disminución de la inversión, ya que cuando si se aumenta la producción de hidrógeno de forma anual un 3,33%, se entiende que debe ir acompañada por una inversión que lo permita.

En el caso de España, se ha puesto como objetivo la inversión de 8.900 millones de euros en el periodo 2020-2030 para la producción de hidrógeno renovable, como queda reflejado en “Hoja de ruta del hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno sostenible”. Con esta inversión y las diferentes actuaciones que se harán con ella se pretende reducir las emisiones en 4,6 Mton de CO2 equivalente.

Según el gobierno de España, en 2014 el transporte emitió un total de 77,2 Mton CO2 equivalente. Si se toma la figura 5 del trabajo, el transporte representa en la Unión Europea el 28,5% de las emisiones y el transporte marítimo constituye el 4%. Si de este porcentaje quitamos un 0,9%, que es la suma aproximada del transporte doméstico y los cruceros y ferris de pasajeros, quedaría lo que representa el transporte marítimo de mercancías en España, en torno al 3,1%. Por tanto el transporte marítimo de mercancías representa un 10,88% del transporte. Se calculan las emisiones anuales de CO2 equivalente del transporte marítimo mercancías en España.

$$CO2 e = \frac{10,88}{100} * 77,2 Mton = 8.40 Mton de CO2 e$$

Por lo tanto, en el periodo de 2020-2030, si la cantidad de emisiones se mantuviera constante, la cantidad de emisiones del transporte marítimo de mercancías sería:

$$CO2 e = 10 * 8,4 Mton CO2 e = 84 Mton de CO2 equivalente.$$

Conociendo estos datos y con los objetivos de inversión y cantidad de emisiones explicados se puede calcular la inversión necesaria para que para 2030 se produzca la cantidad de hidrógeno renovable como para poder todas las emisiones producidas por el transporte marítimo de mercancías.

$$Total = \frac{84 \text{ Mton} * 8.900 \text{ millones de euros}}{4,6 \text{ Mton}} = 162.521,73 \text{ millones de euros}$$

Por lo que la inversión presentada para realizar en este periodo de 2020-2030, representa el 5.48% del total de la inversión necesaria para producir el hidrógeno verde suficiente como para reducir las emisiones de CO2 equivalente del transporte marítimo de mercancías español a cero, en este periodo.

A continuación, se presentan diferentes casos en los que atendiendo a diferentes factores se lleva a cabo de un estudio de la inversión a llevar a cabo hasta 2050 con el mismo objetivo de producir el suficiente hidrógeno renovable como para cubrir la reducción de las emisiones del transporte marítimo de mercancías hasta esta fecha.

Para 2050, la cantidad de CO2 equivalente emitido por el transporte marítimo de mercancías en España será:

$$CO2 e = 30 * 8,40 \text{ Mton } CO2 e = 252 \text{ Mton de } CO2 \text{ equivalente.}$$

La inversión necesaria para producir el hidrógeno renovable necesario para cubrir estas emisiones será:

$$Total = \frac{252 \text{ Mton} * 8.900 \text{ millones de euros}}{4,6 \text{ Mton}} = 487.565,21 \text{ millones de euros}$$

Con todos estos datos, se procede a presentar los siguientes casos.

- Primer caso:

Para el primer caso se introducirá como incremento de inversión, el mismo que el del aumento de producción de hidrógeno mundial calculado previamente. Por lo que se introduce un incremento anual del 3,33% de la inversión desde 2030, año en el que se habrá invertido en total desde 2020, 8.900 millones de euros. El resultado es el siguiente:

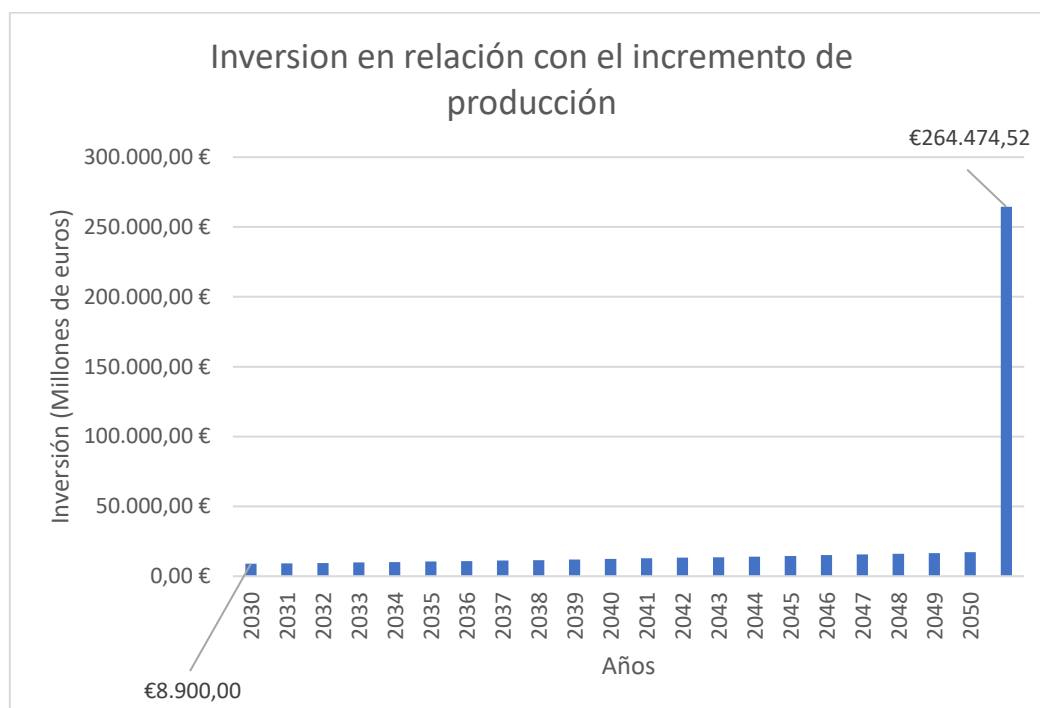


Figura 45: Primer caso.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa la inversión total asciende a 264.474,52 millones de euros. Lo que representa un:

$$\text{Porcentaje de inversión} = \frac{264.474,52 \text{ millones de euros}}{487.565,21 \text{ millones de euros}} = 54,24\%$$

Como se observa, con este crecimiento equivalente al del crecimiento de la producción del hidrógeno desde 2020, se obtiene que si en 2030 se incrementara en el mismo orden la inversión se estaría a medio camino de conseguir producir el hidrógeno renovable suficiente para cubrir el 100% de la reducción del CO2 equivalente emitido por el transporte marítimo de mercancías en España. Hay que destacar que, en este caso, la inversión estaría al 54% para lograr reducir todas las emisiones del CO2 equivalente para 2050, pero cada año a partir del 2030 habría que realizar la misma inversión que el año

anterior mas un 3,33%. Esto resulta curioso ya que en el año 2031 se pasaría a invertir mas que en el periodo 2020-2030.

Se comprueba que aplicando la misma tasa de crecimiento a la inversión que a la producción de hidrógeno mundial no es suficiente como para alcanzar el objetivo marcado en este estudio.

- Segundo caso:

En este caso se tomará la misma tasa de crecimiento que en el anterior caso, pero en este caso se pone el punto de partida en 2020 con los 8.900 millones establecidos por el gobierno de España para el periodo 2020-2030, y a partir del 2020 se incrementa la inversión al mismo ritmo que la producción de hidrógeno mundial en este mismo periodo de tiempo.

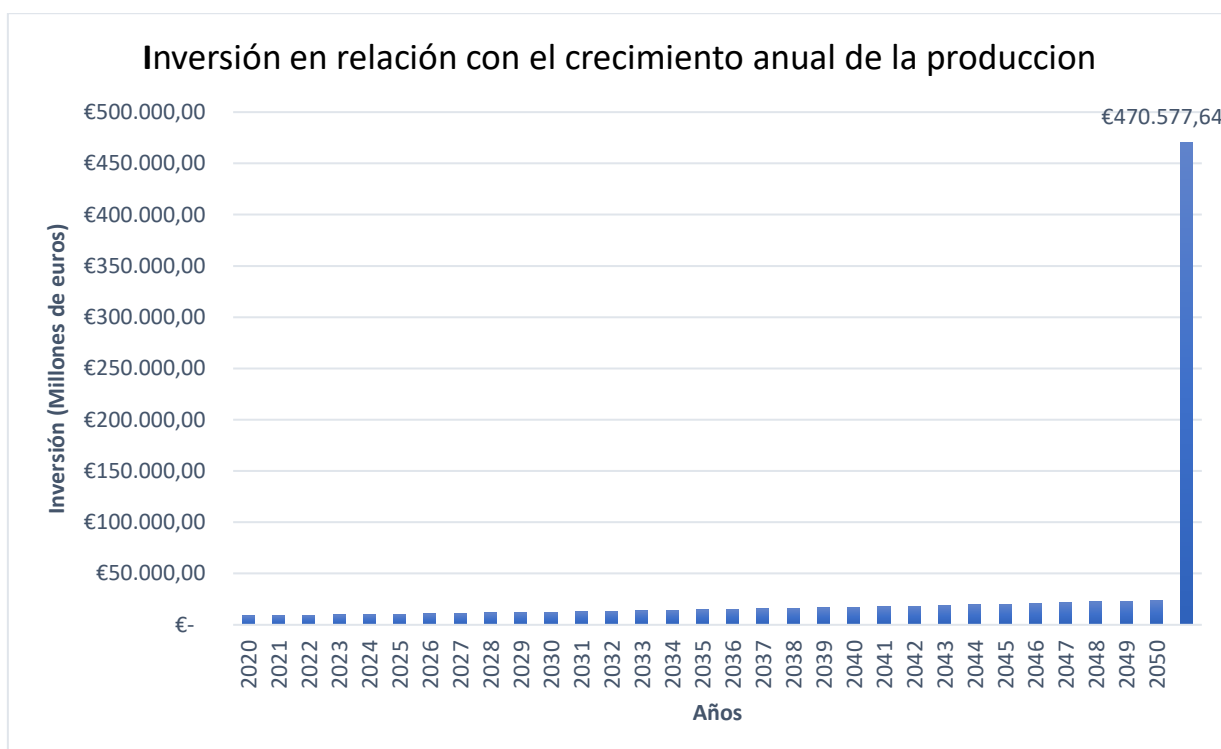


Figura 46: Segundo caso.

Fuente: Elaboración propia.

La inversión total asciende a 470.577,64 millones de euros, lo que significa:

$$\text{Porcentaje de inversión} = \frac{470.577,64 \text{ millones de euros}}{487.565,21 \text{ millones de euros}} = 96,52\%$$

Se comprueba que en este caso se cubriría el 96,52 de la inversión necesaria, se podría decir que se habría cumplido prácticamente el objetivo de reducir las emisiones del transporte marítimo a cero. Pero para alcanzar este resultado sería necesario que tan solo

en el 2020 se hubiera llevado a cabo una inversión igual que la estipulada para el periodo completo de 2020-2030. Tras esta inversión se aumentaría cada año un 3,3%, legando en 2050 a invertir 23.778,42 millones de euros. Lo que resulta poco realista ya que sería incrementar en un solo año, 2050, un 167,17% la inversión que se va a realizar actualmente en un plazo de 10 años.

- Tercer caso:

En este caso se sumará a la etapa de 2020-2030 la inversión anunciada por el gobierno español de “PERTE de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento”, por el cual se invertirá un total de 16.300 millones de euros para llevar la transición ecológica en España, poniendo el foco principalmente en las energías renovable, el hidrógeno renovable y la infraestructura para el almacenamiento. Por lo tanto, si se suma esta cantidad a la inversión para producir hidrógeno renovable en España en el periodo 2020-2030, se alcanzaría una inversión de 25.200 millones de euros. En este caso se va a aplicar la tasa de crecimiento del 3,33% a los 16.300 millones de euros a partir de 2030. Por lo tanto, en 2030 se parte de una inversión de 25.200 millones de euros, en 2031 se toman los 16.300 millones de euros y en los siguientes años se invertirá lo del año anterior más la tasa de crecimiento del 3.33%.



Figura 47: Tercer caso.

Fuente: Elaboración propia.

Se alcanza la cifra de 478.190,11 millones de euros, lo que es:

$$\text{Porcentaje de inversión} = \frac{478.190,11 \text{ millones de euros}}{487.565,21 \text{ millones de euros}} = 98,1 \%$$

Se observa como prácticamente se cubre la totalidad de la inversión necesaria. Pero para ello sería necesario que cada año partir de 2030 se invirtiera de base la misma cantidad de 16.300 millones de euros e ir sumándole la tasa que va ligada al aumento de producción de hidrógeno.

- Cuarto caso:

En este cuarto caso se añadirá al periodo de 2020-2030 la inversión privada por algunos de las empresas productoras de hidrógeno en España. Por lo tanto, en este primer periodo, se sumará la inversión de 25.200 millones de euros a la inversión anunciada por estas empresas. En los años siguientes, es decir a partir de 2030 se impondrá el precio de la inversión inicial del programa de hidrógeno español, es decir, 8900 millones de euros. Tiene sentido que en el primer periodo haya una cantidad de dinero mayor que en los años posteriores ya que en los primeros años son los momentos en los que más investigación, desarrollo e implementación hay que llevar a cabo, por lo que la inversión deberá ser mayor que en los años posteriores donde los mecanismos y la infraestructura este mas asentada.

La inversión privada que se incluirá será la siguiente:

15.000 millones de euros procedentes de los mas de 90 proyectos de Iberdrola enfocados en el desarrollo de las fuentes renovables y el hidrógeno verde.

2.549 millones que Repsol ha anunciado invertir en el desarrollo de hidrógeno renovable.

3.000 millones de euros de Cepsa para el denominado “Valle Andaluz del Hidrógeno Verde” según el CEO de Cepsa, Maarten Wetselaar.

2.000 millones de BP para la producción y uso de combustibles alternativos, con especial mención al hidrógeno, así como fuentes renovables.

Es conocido que parte de estos proyectos están apoyados y en algunos casos subvencionados por el gobierno español. Pero se tratará esta inversión como inversión privada, pudiendo tomar la parte de inversión que pueda aportar el gobierno de España como los otros muchos proyectos que se desarrollan en España y no son nombrados.

Finalmente, en 2030, la inversión asciende a 47.749 millones de euros.

Los resultados son los siguientes:

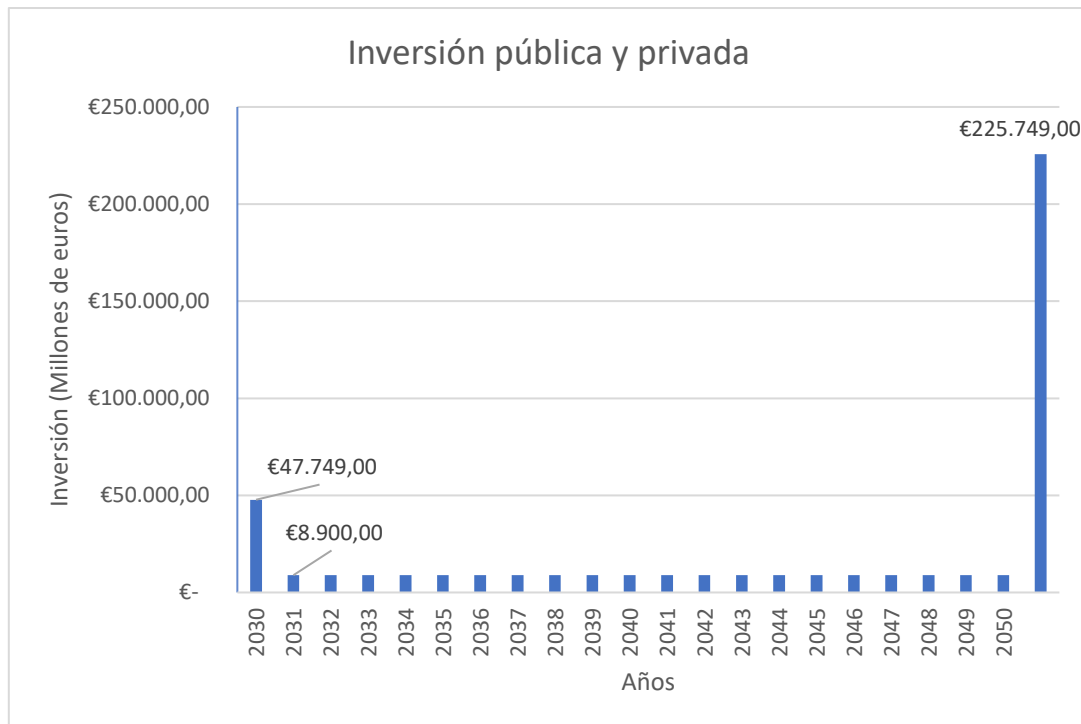


Figura 48: Cuarto caso.

Fuente: Elaboración propia.

La inversión final asciende a un total de 225.749 millones de euros, lo que representa un porcentaje de la inversión necesaria del:

$$\text{Porcentaje de inversión} = \frac{225.749 \text{ millones de euros}}{487.565,21 \text{ millones de euros}} = 46,3 \%$$

Se puede extraer de este caso que una gran inversión inicial no sirve para alcanzar el objetivo de descarbonizar el sector del transporte marítimo de mercancías para 2050. La inversión, como se ha dicho, debe ser mayor en un principio en el hay que sentar las bases. Sin embargo, debe mantenerse los niveles de inversión para que sea viable alcanzar a reducir las 252 Mton que emitirá el transporte marítimo de mercancías hasta 2050.

- Quinto caso:

En este caso se realizará de forma igual que en caso anterior. Se partirá de la misma inversión en 2030. Sin embargo, se restará la tasa de incremento de inversión igual a la de desarrollo de la producción de hidrógeno mundial. En este caso se hará de esta manera ya que, como se ha dicho, los primeros años serán en los que mayor inversión tendrá que haber, mientras que en los últimos la inversión será menor. Por lo que en 2030 la inversión será de 47.749 millones de euros, mientras que en los años siguientes será la cantidad menos la tasa de crecimiento de producción de hidrógeno, es decir 3,33%. El resultado obtenido es:

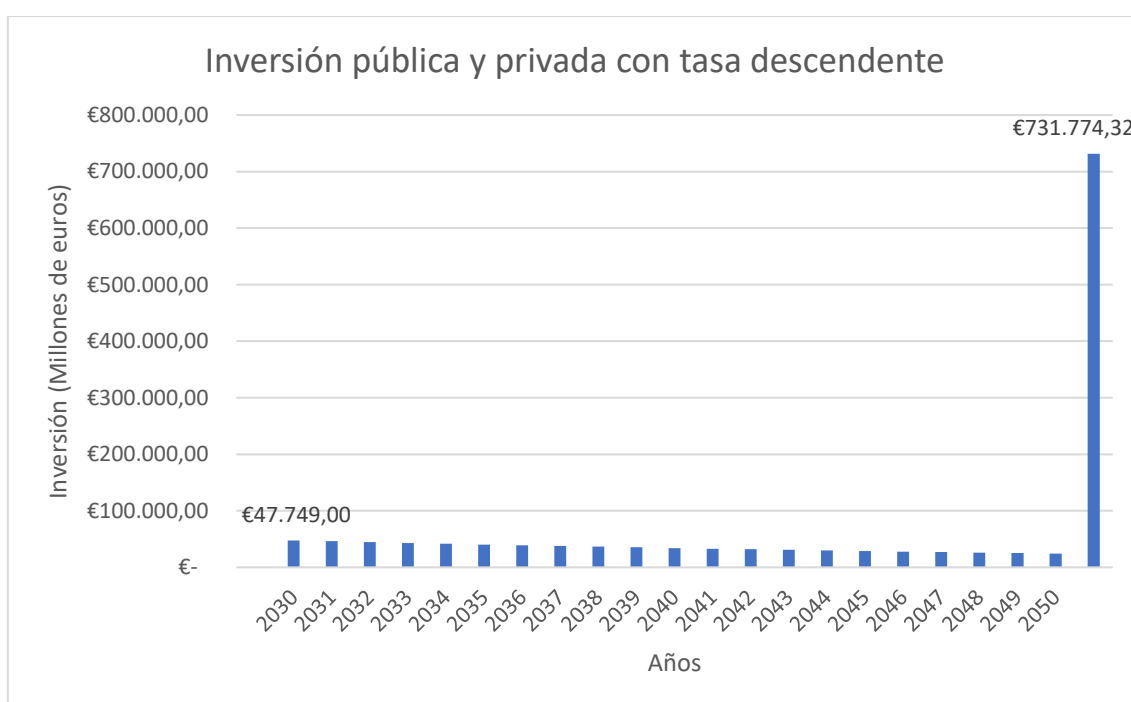


Figura 49: Quinto caso.

Fuente: Elaboración propia.

El resultado es de 731.744,32 millones de euros, lo que representa:

$$\text{Porcentaje de inversión} = \frac{731.774,32 \text{ millones de euros}}{487.565,21 \text{ millones de euros}} = 150 \%$$

Se comprueba que con esta inversión se supera la necesaria para producir el suficiente hidrógeno renovable para cubrir la reducción de emisiones de todo el sector del transporte

marítimo de mercancías de España hasta el 2050. Hay que destacar que se trata de una inversión enorme en la que se parte de una inversión entre 2020 y 2030 de 47.749 millones de euros y que esta cantidad se va disminuyendo cada año hasta 2050, año en el que alcanza el valor de 24.405,84 millones de euros. Una cantidad comparable a los 25.200 millones de euros empleados en casos anteriores y que el gobierno de España invertirá en el periodo 2020-2030.

Como se puede comprobar en este estudio la inversión necesaria para producir, tan solo producir, el hidrógeno renovable necesario para eliminar las emisiones que se producirán por parte del transporte marítimo de mercancías español hasta 2050, es enorme. Pero como se comprueba es posible alcanzar esta cifra. Hay que destacar que estos casos se centran en la producción del hidrógeno renovable, tras esto habría que tratar cuestiones como el almacenamiento o la distribución, a su vez muy costosas. A su vez, cabe decir que esta inversión se tendría que mantener o incluso aumentar para poder seguir reduciendo las emisiones a cero en los años siguientes a 2050, aunque se entiende que gran parte del trabajo ya estaría realizado.

Para comprobar la magnitud de esta inversión se compara con el “Producto Interior Bruto” (PIB) a precios corrientes de España en el año 2022. El PIB se describe por parte de la Real Academia Española (RAE) como: “Conjunto de bienes y servicios generados por la economía de un país en un año, contabilizados a precios de mercado”. En términos más coloquiales es la riqueza que tiene la economía de cada país. En este caso, el PIB español en 2022 según el INE se sitúa en 1.327.108 millones de euros.

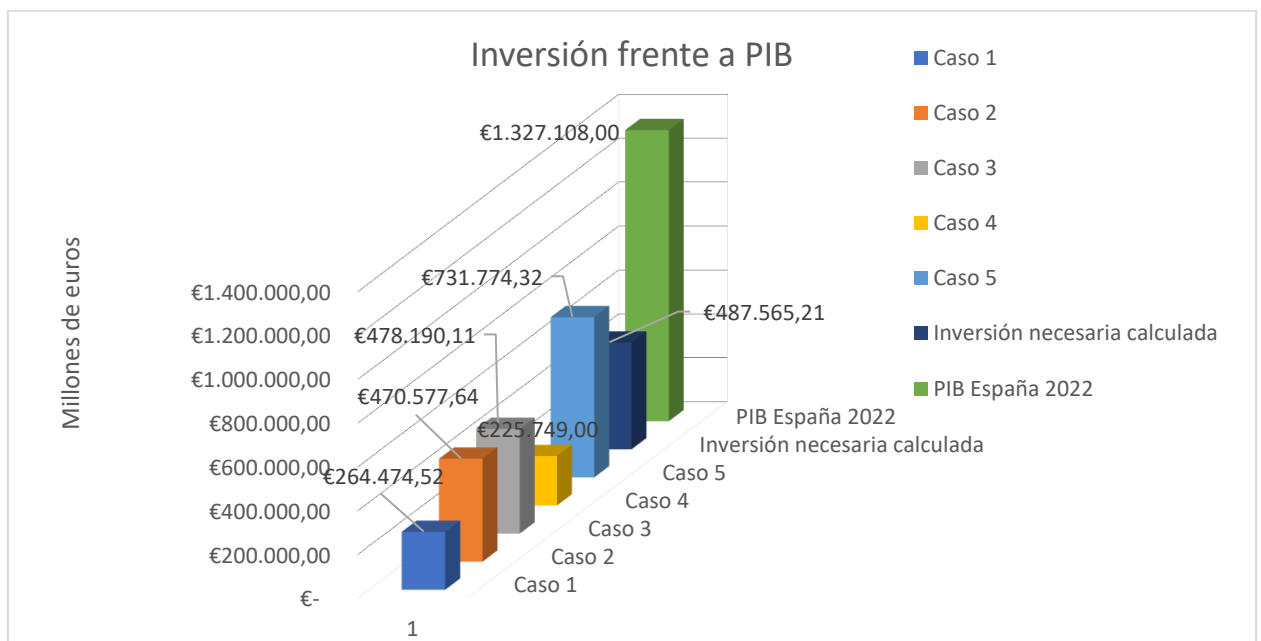


Figura 50: Inversión frente a PIB.

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de inversión respecto al PIB español en 2022

Caso 1	19,92%
Caso 2	35,46%
Caso 3	36,03%
Caso 4	17,01%
Caso 5	55,14%
Inversión necesaria calculada	36,74%

Figura 51: Porcentaje de inversión respecto al PIB español en 2022.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en estas dos figuras, 50 y 51, la magnitud de la inversión necesaria calculada en los diferentes casos. En cuanto a la inversión necesaria calculada para producir el suficiente hidrógeno renovable para poder reducir las emisiones de CO₂ equivalente a cero en 2050, representa el 36,74 del PIB de España en el 2022. Una cifra más que significativa, ya que como se ha dicho el PIB representa toda la riqueza de la economía española y sería necesaria invertir más de un tercio de esta para poder alcanzar este objetivo.

Pero es que incluso el caso en el que la inversión es menor, es decir el caso 4, la inversión representa un 17% del PIB

Hay que indicar que por ejemplo el sector logístico, en el que está incluido todos los tipos de transporte de mercancías contribuyó en 2020 un 2,8% al PIB español. O, por ejemplo, la actividad turística, una parte importante de la economía española, representó en 2021 el 8% del PIB español. Todos estos datos aportados por el Gobierno de España.

Conociendo estos valores se puede apreciar mejor la magnitud de la inversión necesaria estudiada en esta simulación en los diferentes casos. Se comprueba la importante inversión necesaria a llevar a cabo para alcanzar los objetivos marcados. Se comprueba lo explicado durante el trabajo, la importancia de la inversión en estos combustibles alternativos y también en las fuentes renovables que permitan producirlos de forma renovable y verde. Así como la inversión en toda la logística e infraestructura necesaria para su almacenamiento, distribución y uso.

11. Conclusiones

- El transporte marítimo de mercancías es el medio de transporte más utilizado para el tránsito de mercancías, las cualidades que lo caracterizan le permiten mantener esta posición.
- El transporte marítimo de mercancías es un sector con una estructura muy definida formada por un conjunto de agentes que velan por el correcto funcionamiento de toda la cadena del transporte.
- Existe una extensa flota que se ha ido desarrollando durante los años y adaptándose a las necesidades y mercancías que se transportan. Sin embargo, la flota actualmente está envejecida, con tasas de crecimiento que deben adaptarse a la demanda y necesitada de una renovación y de adoptar los nuevos avances y tecnologías para afrontar el futuro con garantías.
- Los puertos marítimos son infraestructuras claves en el desarrollo y funcionamiento del sector, su funcionamiento y sistema operacional está claramente definido y tiene como objetivo no quedarse atrás en la transición hacia la sostenibilidad. En la Unión Europea, los puertos más destacados se encuentran en el Mar del Norte, con el Mediterráneo en un segundo puesto con un peso cada vez mayor.
- Las rutas marítimas son autopistas que se han ido desarrollando y se han convertido en puntos clave de la economía global. Estas rutas las definen los grandes exportadores que dan salida a sus productos, es por ello por lo que el Estrecho de Malaca o el de Ormuz y los grandes canales sean los máximos protagonistas.
- El transporte marítimo es el medio de transporte, que, en conjunto, presenta unas mejores características para el transporte de mercancías a nivel global. No es tan solo su capacidad de carga o el bajo coste, es que además se trata del medio de transporte menos contaminante.
- El transporte marítimo, siendo el medio menos contaminante, contribuye en gran medida a la contaminación y a la emisión de gases de efecto invernadero. Siendo los óxidos de azufre y nitrógeno, el metano, el óxido nitroso y sobre todo el dióxido de carbono las emisiones más habituales.
- El transporte marítimo ha sufrido una situación de gran complejidad debido a la situación provocada a nivel mundial por el COVID19 y otras causas como el aumento de demanda o las guerras. Se encuentra en un proceso de recuperación y de transición con el objetivo de alcanzar los objetivos marcados en el sector.

- El transporte marítimo cuenta con una fuerte regulación, con la que se trata de marcar el plan de acción del sector. En estos términos destacan el Convenio de MARPOL y el trabajo realizado por la OMI. Con medidas como las zonas ECA y EEDI, SEEMP, EEXI y CII, han marcado claramente el camino que debe seguir el sector, pero se ha comprobado que no son suficientes y deben ser apoyadas por otras medidas y una regulación que se vayan adaptando a las mejoras y avances que se dan.
- Los objetivos medio ambientales están marcados por el Acuerdo de París y el Pacto Verde de la Unión Europea, que se han influenciado y han crecido a partir del Protocolo de Kioto. Mediante los objetivos y actuaciones que se han propuesto, como son limitar el aumento de temperatura a 1,5°C y la descarbonización para 2050, se ha creado un marco de trabajo en la que todos los sectores de la sociedad y de la industria saben que deben hacer y cuál es el camino que seguir.
- Los objetivos marcados son de carácter ambicioso ya que en muchos casos no se cuenta con la tecnología o la infraestructura para acometer las acciones necesarias. Sin embargo, han demostrado ser eficaces y una importante llamada a la acción que el mundo ha sabido recibir.
- Los compromisos que los países han adquirido son programas, como es el caso de los NDC, que deben controlarse e ir ajustando con la evolución que se da en el tiempo, por lo tanto, es necesario un trabajo estrecho entre los países y las organizaciones y organismos. No tan solo se espera la acción de los países, las empresas y la sociedad en su conjunto debe ser incluida y su acción debe ser promovida e impulsada. Se debe también conseguir que estas actuaciones y medidas no supongan un aumento mayor de la brecha que existen entre los países, entre los países más desarrollados y los menos desarrollados.
- El transporte marítimo ocupa un espacio de máxima relevancia dentro de estos acuerdos y tratados, no tan solo debe seguir los pasos marcados y cumplir con los objetivos globales, el transporte marítimo en la mayoría de los casos cuenta con un espacio propio en el que se marcan las pautas a seguir por el sector y se establecen medidas y procedimientos para alcanzar los objetivos
- Cabe destacar el apartado dedicado al transporte en el Pacto Verde, con especial atención al transporte marítimo, siendo el “Objetivo 55” un esencial para conocer el plan de acción de los sectores de la energía y el transporte.
- Una de las medidas más destacadas a nivel europeo es la inclusión del transporte marítimo en el sistema de comercio de emisiones de la Unión Europea, una medida novedosa para tratar de reducir las emisiones de GEI en el sector, pero que a la vez ha demostrado en otros casos que no es suficiente.

- Por otro lado, el denominado “FuelEU Maritime” pone el foco en el desarrollo e implementación de combustibles alternativos que permitan tener un transporte plenamente limpio y verde.
- Para poder alcanzar los objetivos es necesario una importante inversión que debe aportarse desde todos los puntos de la industria. Siendo el mayor punto de inversión la investigación y desarrollo de nuevos combustibles.
- Existen numerosas medidas orientadas a reducir las emisiones en los buques y en todo lo que los rodea, como son los puertos y la infraestructura que rodea al transporte marítimo, necesitada de una modernización para que sea posible adaptarse a las nuevas tecnologías.
- Las fuentes renovables son la base para el desarrollo de combustibles alternativos sin emisiones, lo que implica que la inversión y el desarrollo de estas es todavía más importante en la carrera hacia la descarbonización.
- Los combustibles alternativos son los llamados a sustituir a los combustibles fósiles, logrando así la descarbonización del sector. El hidrógeno y el amoníaco se han postulado como las opciones más viables para lograr este objetivo.
- El hidrógeno se ha convertido en una pieza crucial para lograr la transición, su empleo como combustible está en duda, pero su papel en el desarrollo de otros combustibles como el amoníaco o el metanol es incuestionable. El amoníaco, debido a sus características, seguido por combustibles sintéticos como el metanol, parecen tener la llave, ya que sus requerimientos y la infraestructura necesaria para poder emplearse y desarrollarse parece poder ser accesible próximamente.
- Hoy en día, ninguna de las tecnologías está en disposición de comenzar a utilizarse, sin embargo, se espera que con los avances y con la inversión necesaria será posible su pleno desarrollo y su uso a nivel global, aunque su fecha puede no concordar con los plazos marcados. Esta tendencia la comparten la mayoría de los objetivos marcados que se han descrito en el trabajo.
- Conclusiones de: “Simulación caso real: Huella de carbono de la exportación de mercancías desde el puerto de Algeciras (España) al puerto de Rotterdam (Países Bajos)”.

Se comprueba el enorme impacto que tiene un simple tránsito de mercancías entre dos puertos europeos, con unos resultados de CO₂ equivalente del rango de las 1.500-2.000 toneladas, en el caso base y en la primera hipótesis. Es fácil entender que es necesario actuar para su reducción lo antes posible. A su vez, se observa lo explicado en el apartado de “Soluciones para la descarbonización”, la reducción de la velocidad en los buques tiene un efecto directo y claro en las emisiones de

CO2 equivalente, en la primera hipótesis con tan solo una reducción de 3 nudos se consigue reducir las emisiones un 24.07%, con un aumento del viaje de tan solo un 16.7%. Y en la segunda hipótesis una disminución de la velocidad del 52,38% provoca una disminución del 73,95% de las emisiones. Sin embargo, en esta segunda hipótesis se demuestra el gran problema de esta medida, el aumento de tiempo de viaje, ya que aumenta un 110%. Es por ello por lo que se comprueba el punto óptimo de reducción de velocidad y emisiones teniendo en cuenta el aumento de tiempo, obteniendo cifras similares a las expuestas en el trabajo, una reducción de velocidad de alrededor del 15%, provocando un aumento de tiempo de viaje igual y una reducción de emisiones un poco superior al 20%.

Se comprueba que la medida de reducir la velocidad es una solución para descarbonizar el sector, pero no constituye una medida definitiva ni a largo plazo ya que, como se ha explicado, el punto óptimo se encuentra en una reducción de velocidad de alrededor del 15% que tan solo provoca una reducción de las emisiones de algo más del 20%, muy lejos del objetivo de cero emisiones netas. Además, afecta a uno de los grandes defectos de este método de transporte, la rapidez.

Este aumento de tiempo es una medida peligrosa, como se observa en el estudio de la indemnización por retraso, llegando a tener que pagar cifras millonarias.

Por último, es sencillo observar el precio que podrían adquirir las emisiones marítimas en el sistema de comercio de emisiones de la Unión europea, en este caso de alrededor a 140\$/tonelada.

- Simulación de la inversión necesaria para producir hidrógeno renovable en España capaz de reducir las emisiones de CO2 equivalente del transporte marítimo de mercancías español a cero en 2050.

Se comprueba la magnitud de la inversión necesaria para producir el hidrógeno renovable suficiente como para reducir las emisiones del transporte marítimo de mercancías español a cero. Calculando, a partir de los datos del Gobierno de España, diferentes casos en los que la inversión va variando según diferentes factores, es útil observar los diferentes casos para discernir la viabilidad técnica y económica de alcanzar el objetivo de las cero emisiones netas en 2050.

Atendiendo a los resultados de estos casos, se puede comprobar que la inversión es una parte fundamental en la lucha por descarbonizar el sector. Realizando inversiones de miles de millones anuales, por encima de lo que el gobierno español ha anunciado para el periodo 2020-2030, se aprecia la dimensión de la transición ecológica hacia combustibles alternativos sin emisiones, haciendo más clara la necesidad de incentivar y apoyar estas medidas.

Se compara con el PIB anual de 2022 para que se pueda extrapolar la dimensión de estas inversiones que se tendrían que hacer en España, obteniendo porcentajes en los diferentes casos que van desde un 17% del PIB anual español, en casos en los que la inversión no sería ni la mitad de la necesaria para alcanzar el objetivo, hasta el 55,14% del caso 5, en el que la inversión supera la necesaria. Como punto de comparación es útil emplear el PIB que representa el sector logístico (transporte de mercancías) o el del turismo, 2,8 y 8 %, respectivamente.

En esta simulación se contempla la magnitud de estas inversiones y tan solo se pone el foco en el transporte marítimo de mercancías, por lo que permite vislumbrar todo el camino a realizar por la sociedad para lograr la transición ecológica que permita un mundo sin emisiones.

12. Bibliografía

- OMI

[OMI_20] Organización Marítima Internacional (OMI), “Introducción a la OMI”, OMI, Londres, Reino Unido. 2020.

[OMI_20] Organización Marítima Internacional (OMI), “Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (MARPOL)”, Convenio MARPOL OMI, Londres, Reino Unido. 2020.

[OMI_20] Organización Marítima Internacional (OMI), “Azufre 2020: reduciendo las emisiones de óxidos de azufre”, OMI, Londres, Reino Unido. 2020.

[OMI_20] Organización Marítima Internacional (OMI), “Zonas especiales en virtud del Convenio MARPOL”, Convenio MARPOL OMI, Londres, Reino Unido. 2020.

[OMI_20] Organización Marítima Internacional (OMI), “Óxidos de nitrógeno (NOx)-Regla 13”, Anexo VI, regla 13, Convenio MARPOL OMI, Londres, Reino Unido, 2020.

[OMI_20] Organización Marítima Internacional (OMI), “La labor de la OMI para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”, OMI, Londres, Reino Unido. 2020.

[OMI_20] Organización Marítima Internacional (OMI), “Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques”, OMI, Londres, Reino Unido. 2020.

[OMI_09] Organización Marítima Internacional (OMI), “Second IMO GHG STUDY 2009”, OMI, Londres, Reino Unido. 2009.

[OMI_20] Organización Marítima Internacional (OMI), “Medidas de eficiencia energética”, OMI, Londres, Reino Unido. 2020.

[OMI_21] OMI, gef, UNDP, GLoMEEP y IMarEST, “Análisis cláusula por cláusula del Anexo VI del Convenio MARPOL”, Incorporation of MARPPOL Annex VI into national law. 2021

- ANAVE

[ANAV22] Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), “Marina mercante y transporte marítimo 2021/2022”, ANAVE, Madrid, España. 2022.

[ANAV22] Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), “La OMI aprueba la designación del mar Mediterráneo como zona de control de emisiones de azufre”. ANAVE, Madrid, España. 2022.

[ANAV19] Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), “P&R SOBRE EMISIONES A LA ATMÓSFERA DEL TRANSPORTE MARÍTIMO”, ANAVE, Madrid, España. Octubre 2019.

[ANAV23] Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), “La gran mayoría del coste de la descarbonización deberá invertirse en tierra”, ANAVE, Madrid, España. 2023

[ANAV22] Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), “Nuevos combustibles ecológicos para buques”, Tribuna profesional, Madrid, España, 2022.

[ANAV22] Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), “Los retos del amoniaco como combustible marino de futuro”, ANAVE, Madrid, España. 2022

[ANAV18] Asociación de Navieros Españoles (ANAVE), “Evolución de la flota mercante mundial en 2017”, Tribuna profesional, Madrid, España, 2018

- Unión Europea

[EEA_21] European Environment Agency (EEA), “El transporte marítimo de la UE: el primer estudio sobre impacto medioambiental reconoce los progresos realizados hasta la fecha hacia la sostenibilidad aun cuando reitera la necesidad de redoblar esfuerzos ante el aumento de la demanda”, UE. 2021.

[EUCO23] Consejo de la Unión Europea, “Acuerdo de París sobre el Cambio Climático”, UE. 2023.

[CE__20] Comisión Europea, “Aire más limpio en 2020: entrada en vigor en todo el mundo del límite del 0,5% de azufre para los buques”, UE. 2020.

[EUCO23] Consejo de la Unión Europea, “Iniciativa <<FuelEU Maritime>>: acuerdo provisional para descarbonizar el sector marítimo”, EU. 2023.

[EUCO23] Consejo de la Unión Europea, “<<Objetivo 55>>: promover la utilización de combustibles más ecológicos en los sectores marítimo y de la aviación”, UE. 2023.

[EUCO23] Consejo de la Unión Europea, “Objetivo55”, UE. 2023.

[PE__22] Parlamento Europeo, “Emisiones de aviones y barcos: datos y cifras”, UE Infografía. 2022.

[EEA_23] European Environment Agency, “Rail and waterborne-best low-carbon motorised transport”, UE. 2023.

[PE__23] Parlamento Europeo, “Reducir las emisiones de carbono: objetivos y políticas de las UE”, UE. 2023.

[PE__23] Parlamento Europeo, “Pacto Verde Europeo: clave para una UE climáticamente neutra y sostenible”, UE. 2023.

[CE__22] Comisión Europea, “Un Pacto Verde Europeo”, UE. 2022.

[PE__23] Parlamento Europeo, “Fit for 55: deal on new EU rules for cleaner maritime fuels”, UE. 2023.

[PE__08] Parlamento Europeo, “Biofuel: ¿solución o problema añadido al cambio climático?”, UE. 2008.

[PE__23] Parlamento Europeo, “Emisiones de gases de efecto invernadero por país y sector”, Infografía UE. 2023.

[PE__23] Parlamento Europeo, “Cambio climático: gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global”, UE. 2023.

[CE__21] Comisión Europea, “Assessment of hydrogen Delivery Options”, UE. 2021.

- Naciones Unidas

[UNCT19] Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), “Informe sobre el transporte marítimo”, ONU. 2019.

[UNCT21] Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), “Informe sobre el transporte marítimo”, ONU. 2021.

[UNCT22] Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), “Informe sobre el transporte marítimo”, ONU. 2022.

[UNFC21] United Nations Climate Change (UNFCCC), “El acuerdo de París”, ONU.2021. 2021.

[UNFCs.f] United Nations Climate Change (UNFCCC), “¿Qué es el Protocolo de Kyoto?”. Página web ONU 2023. s.f.

[UNFC20] United Nations Climate Change (UNFCCC), “Todavía es posible alcanzar la segunda fase de reducción de emisiones de Kioto pero es necesaria más ambición”, ONU. 2020.

[ONU_21] Organización Naciones Unidas (ONU), “El acuerdo de París”, ONU. 2021.

[UNFCs.f] United Nations Climate Change (UNFCCC), “Introduction-Adaptation and resilience”. Página web ONU 2023. s.f.

[ONU_s.f] Organización Naciones Unidas (ONU), “Energías renovables: energías para un futuro más seguro”. Página web ONU 2023. s.f.

[UNFC23] United Nations Climate Change (UNFCCC), “Global climate action NAZCA”, ONU. 2023.

[ONU_94] Organización Naciones Unidas (ONU), “Convenio de las Naciones Unidas sobre el transporte marítimo de mercancías 1978 – Reglas de Hamburgo”. ONU. 1994.

- BIMCO

[BIMC23] Baltic and International Maritime Council (BIMCO), “BIMCO”. Página web. 2023.

- International Chamber of Shipping

[ICS_23] International Chamber of Shipping (ICS), “International Chamber of Shipping”. Página web. 2023.

- World Shipping Council

[WSC_23] World Shipping Council (WSC), “World Shipping Council”, Página web. 2023.

[WSC_22] World Shipping Council (WSC), “Liner Shipping: The critical pathways to zero carbon shipping”, WSC. 2022.

[WSC_21] World Shipping Council (WSC), “The top 50 container ports”, WSC. 2021.

- Global Maritime Forum

[GMF_23] Global Maritime Forum, “Global Maritime Forum”, Página web. 2023.

[GMF_20] Global Maritime Forum, “The scale of investment needed to decarbonize international shipping”. Getting to zero coalition. 2020

- Gobierno de España

[GESP_23] Gobierno de España, Puertos del Estado, “Puertos del Estado”, Página web Puertos del Estado. España. 2023.

[GESP23] Gobierno de España, “El tráfico marítimo”, Página web: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2023

[GESP23] Gobierno de España, “El Protocolo de Kioto”, Página web: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2023

[GESP23] Gobierno de España, “Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización”, Página web: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2023.

[BOE_15] Boletín Oficial del Estado (España), “BOE-A-2015-6563”, BOE, num141, de 13 de junio de 2015, páginas 49844 a 49845. España. 2015.

[GESP23] Gobierno de España y oecc, “Factores de emisión. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono.”, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2023.

[CEROs.f] Cero 2050, “Nuevas medidas de descarbonización de la OMI: EEXI y CII”, Puertos del Estado, Gobierno de España. s.f.

[CEROs.f] Cero 2050, “La propuesta de ‘corredores marítimos verdes’ de la coalición Getting to zero, recibe amplio respaldo en el COP26”. Puertos del Estado, Gobierno de España. s.f.

[BOE_14] Boletín oficial del estado (España), “«BOE» núm. 180, de 25 de julio de 2014, páginas 59193 a 59311”. España. 2014.

[GESP_20] Gobierno de España, “Hoja de ruta del hidrógeno: Una apuesta por el hidrógeno renovable”. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2020.

[GESP.s.f] Gobierno de España, “Sector transporte”. Página web Gobierno de España, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico 2023, datos 2014. s.f.

[GESP21] Gobierno de España, “El Gobierno aprueba el PERTE de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento, que movilizará una inversión superior a 16.300 millones de euros”. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Diciembre 2021.

[GESP21] Gobierno de España, “PERTE de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento”. Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Diciembre 2021.

[INE_23] Instituto Nacional de Estadística (INE), “Contabilidad Nacional Trimestral de España: principales agregados-Cuarto trimestre de 2022”. INE. Marzo 2023.

[INE_21] Instituto Nacional de Estadística (INE), “Cuenta satélite del turismo en España. Año 2021”. INE. 2021.

[GESP22] Gobierno de España, “Informe anual 2022- Valor añadido Bruto”. Observatorio del transporte y la logística en España (OTLE). 2022.

- Informes y artículos de empresas del sector del transporte marítimo

[JCV_22] Jcv Shipping&Solutions, “Transporte marítimo mundial: situación actual y previsión de evolución”. Abril 2022.

[JCV19] Jcv Shipping&Solutions, “Los 6 documentos imprescindibles del transporte marítimo”. Julio 2019.

[BV_22] Bureau Veritas, “Nuevas tecnologías para un transporte marítimo más ecológico”. Septiembre 2022.

[ECOD19] ECODES. “La importancia del transporte marítimo para el Acuerdo de París”. Diciembre 2019.

[MOLD21] MOLDTRANS, “Estas son las 5 rutas marítimas más importantes del mundo”. Junio 2021.

[BANK15] Bankinter, “Las rutas marítimas, verdaderas autopistas del mar”. Agosto 2015.

[SHEL23] Shell, “Decarbonising Shipping: All hands on deck 2.0”- SHELL and Deloitte. 2023.

[SHEL.s.f] Shell, “Greenhouse gas emissions in shipping”, Página web Shell 2023. s.f.

- [ECODs.f] ECODES, “La COP26 y la configuración del future del transporte marítimo”. Página web 2023. s.f.
- [SERTs.f] Sertrans, “Tipos de transporte marítimo de mercancías”. Página web Sertrans 2023. s.f.
- [COTRs.f] Cotransa, “¿Qué tipos de buques existen en el transporte marítimo?”. Página web Cotransa 2023. s.f.
- [MAERs.f] Maersk Mc-Kinney Moller Center for Zero Carbon Shipping, “Fuel Pathway Maturity Map”. Página web 2023. s.f.
- [ECODs.f] ECODES, “Corredores verdes. ¿Esperanza en la descarbonización del sector marítimo?”. Página web ECODES 2023. s.f.
- [SPAN21] SPANISHPORTS, “España firma la Declaración de Clydebank para la creación de corredores marítimos ‘verdes’”. 2021.
- [FERRs.f] Ferrovial, “¿Qué es el Protocolo de Kioto?”. Página web Ferrovial 2023. s.f.
- [SERV18] Service F.R, “Ammonia- a renewable fuel made from sun, air, and water- could power the globe without carbon”. Science. Julio 2018.
- [NATG21] National Geographic, “Qué significa que Estados Unidos vuelva al Acuerdo de París contra el cambio climático”. National Geographic Spain. Enero 2021.
- [NASA22] Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), “Global temperature”. NASA. California. 2022.
- [NATG23] National Geographic, “Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo”. National Geographic Spain. Enero 2023.
- [ACCI.s.f] Acciona, “Green hydrogen: The energy of the future essential for decarbonisation”. Página web Acciona 2023. s.f.
- [IBERs.f] Iberdrola, “Green hydrogen”. Página web Iberdrola 2023. s.f.
- [REPSs.f] Repsol, “Hidrógeno como combustible”. Página web Repsol 2023. s.f.
- [NATU23] Naturgy, “Hidrógeno verde y sector marítimo”. 2023.
- [CEPS23] CEPSA, “CEPSA y ACE TERMINALDE RÓTERDAM SE UNEN PARA IMPULSAR EL PRIMER CORREDOR MARÍTIMO DE HIDRÓGENO VERDE DESDE ESPAÑA A PAÍSES BAJOS”. Febrero 2023.
- [REPSs.f] Repsol, “Combustibles sintéticos. Una alternativa para descarbonizar la movilidad”. Página web Repsol 2023. s.f.
- [SERTs.f] Sertrans, “Clasificación IMO para mercancías peligrosas”. Página web Sertrans 2023. s.f.
- [MOLD15] MOLDTRANS, “Transporte marítimo internacional: modalidades de explotación”. Noviembre 2015.

- [PAUL21] Paúl F., “Cuáles son, además del canal de Suez, los otros 3 grandes pasos marítimos del comercio internacional (y que tan vitales son para la economía)”. BBC News. Marzo 2021.
- [NATG22] National Geographic, “Estos son los transportes que más contaminan (y los que menos)”. National Geographic España. Septiembre 2021.
- [PROSs.f] Prosertek, “EU ETS, financiación para la descarbonización del sector marítimo”. Página web Prosertek 2023. s.f.
- [ECODs.f] ECODES, “Reducir la velocidad para llegar antes”. Página web ECODES 2023. s.f.
- [MUND22] Mundo Marítimo, “Estudio indica la reducción de velocidad del buque como forma más poderosa para disminuir las emisiones”. Junio 2022.
- [COTRs.f] Cotransa, “Soluciones para reducir el impacto ecológico del transporte marítimo”. Página web Cotransa 2023. s.f.
- [COTRs.f] Cotransa, “Los principales agentes que intervienen en el transporte marítimo de mercancías”. Página web Cotransa 2023. s.f.
- [IBERs.f] Iberdrola, “Metanol verde”. Página web Iberdrola 2023. s.f.
- [SHIO20] Shiozawa B., “The cost of CO2-free Ammonia”. Ammonia Energy. Noviembre 2020.
- [CAMA22] Cámara Marítima de Ecuador (CAMA E), “Flota global de buques llega a 58.067 naves en mayo de 2022”. Junio 2022.
- [GEOG21] Geografía Infinita, “Los puntos estratégicos de las rutas marítimas mundiales”. Marzo 2021.
- [PUMA21] Puerto de Málaga, “El puerto de Málaga apuesta por el hidrógeno verde”. Puerto de Málaga, Puertos del estado. Marzo 2021.
- [EUPR22] Europa Press, “España acuerda con Maersk impulsar un ‘megaproyecto’ de hidrógeno verde y biocombustibles de 10.000 millones”. Noviembre 2022.
- [ATKI17] Atkinson S. y Chi L., “4 razones por las que la salida del Acuerdo de París sobre el cambio climático es una mala salida para la economía de Estados Unidos”. BBC News. Junio 2017.
- [WET_22] World Energy Trade, “La ruta de navegación transpacífica más transitada del mundo apuntada como corredor verde”. Enero 2022.
- [YEE_21] YEE V. y Glanz J., “Así fue como el Ever Given se atascó en el Canal de Suez”. The New York Times. Julio 2021.
- [WEF_22] World Economic Forum, “COP27: Las mejores citas de los líderes globales y del clima en la cumbre de la ONU”. Noviembre 2022.
- [SCL_22] Seacargo, “FCL y LCL sus Diferencias en el Transporte de Mercancías”. Junio 2022.

- [NORIs.f] Noriega, “Transporte marítimo: lo que necesitas saber”. Pagina web Noriega 2023. s.f.
- [OMSE18] OMS España, “Transporte de mercancías: ¿Por tierra, aire o mar?”. Abril 2018.
- [VRIOs.f] VRIO, “¿Conoces los puertos marítimos comerciales más importantes de Europa?”. Página web VRIO España 2023. s.f.
- [TRAN18] Transframos, “Los 15 puertos comerciales más importantes de Europa”. Página web Transframos 2023. s.j.
- [PACK21] Packlink, “Puertos más importantes de Europa”. Abril 2021.
- [PACK21] Packlink, “Transporte marítimo; características, ventajas y desventajas”. Mayo 2021.
- [LOGIs.f] Logisber, “Transporte marítimo internacional de mercancías”. Página web Logisber 2023. s.f.
- [RFLCs.f] RFLCargo, “¿Qué agentes intervienen en el transporte marítimo?”. Página web RFLCargo 2023. s.f.
- [BRAV22] Bravo C., “Ballenas y barcos, ¿relación fatal?”. La Vanguardia. 2022.
- [IBM_23] International Business Machines Corporation (IBM), “R²”. IBM. 2023.
- [DSV_23] DSV, “Índice de Fletes de Carga Contenerizada de Shanghái (SCFI)”. DSV. 2023.
- [GARR21] Garrigues, “Las potenciales responsabilidades por el incidente del Ever Given hacen prever reclamaciones millonarias”. España. 2021.
- [IREN22] International Renewable Energy Agency (IRENA), “Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen”. IRENA. Enero 2022.
- [IBER22] Iberdrola, “Hidrógeno verde en España: mapa de los grandes proyectos”. Iberdrola. 2022.
- [REPS21] Repsol, “Repsol invertirá 2.549 millones hasta 2030 para impulsar el hidrógeno renovable”. Repsol. Octubre 2021.
- [CEPS22] Cepsa, “CEPSA INVERTIRÁ 3000 MILLONES DE EUROS EN ANDALUCÍA PARA CONSTRUIR EL MAYOR PROYECTO DE HIDRÓGENO VERDE DE EUROPA”. Cepsa. Diciembre 2022.
- [BP__23] BP, “BP anuncia sus planes para el desarrollo del Clúster del hidrógeno de la Comunidad Valenciana”. BP. Marzo 2023.
- ODS
- [ONU23] Organización Naciones Unidas, “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)”. Página web ODS. 2023.

Anexo I: Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ODS, están formados por 17 objetivos que las Naciones Unidas ha elaborado con el fin de poder conformar un conjunto de llamamientos mundiales con los que lograr construir un mundo mejor. Cada uno de estos objetivos encuentra su motivación en una cuestión diferente, por lo que si se desarrollan todos ellos se alcanza el objetivo de mejorar la situación del planeta.

En el caso de este trabajo, como se indicó en la introducción, está ampliamente relacionado con el fin de estos ODS, mejorar el mundo y hacerlo más sostenible. Especialmente se destacaban tres ODS, los cuales eran muy afines al objetivo y motivación de este proyecto, los cuales son:

- ODS 12: Producción y consumo responsables

Este ODS consiste en impulsar un modelo de sociedad en el que se imponga un sistema de producción y consumo sostenible. La producción y el consumo son lo que mantiene la economía funcionando y por tanto lo que mantiene el modelo de sociedad presente hoy en día. Sin embargo, se ha podido comprobar en el proyecto que el sistema de producción y de consumo que hace que actualmente el transporte marítimo de mercancías se mantenga y ocupe un papel predominante dentro del comercio mundial es insostenible debido especialmente al impacto medioambiental que tienen todas las actividades que lo componen. Se ha demostrado mediante los datos expuestos que el transporte es responsable de casi el 30% de las emisiones de GEI en la Unión Europea, siendo el transporte marítimo de mercancías unos de los actores que es responsable de estos datos. Estos son miles de millones de toneladas de emisiones perjudiciales para el medio ambiente y para la salud los seres vivos, por lo que es necesario la búsqueda de soluciones con los que poder mantener los niveles de producción y consumo necesarios para que la vida de los seres humanos y el medio ambiente en general se pueda mantener en condiciones óptimas para su desarrollo. Como es el caso del empleo de los combustibles alternativos expuestos, como el hidrógeno, el amoníaco o el metanol con los que se busca alcanzar las cero emisiones netas. Unidas a otras medidas que en el caso del transporte de mercancías por vía marítima se pueden ver reflejadas en medidas de la OMI como EEDI, SEEMP, EEXI y CII, en las que se busca una mejora de la eficiencia energética de los buques, logrando un sector más sostenible. Otro ejemplo son las ideas que se exponen en el Acuerdo de París, como el trabajo entre países y el desarrollo y empleo de la economía circular.

Como se puede comprobar, uno de los objetivos del trabajo realizado es buscar estas soluciones, como las citadas previamente, con las que reducir las emisiones logrando la descarbonización del sector y así en gran medida logrando un transporte con una producción y consumo más sostenibles. Por lo tanto, el papel

de este ODS en el trabajo es esencial, ya que en gran parte se basa en su consecución y es una de las grandes motivaciones para desarrollar este trabajo.

- ODS 13: Acción por el clima

Se puede considerar que el ODS que más se trabaja y se desarrolla durante el trabajo es este, ya que, sin duda la acción por el clima es la base para estudiar las soluciones viables para la descarbonización del transporte marítimo de mercancías. Durante el trabajo se exponen los pactos y acuerdos de mayor importancia en relación con la acción por el clima, como son el Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París y el Pacto Verde de la Unión Europea. En ellos se expone la hoja de ruta mundial para poder reducir la contaminación y lograr combatir el cambio climático. Objetivos como limitar el incremento de temperatura mundial a 1.5°C respecto a la época preindustrial o reducir las emisiones en un 55% para 2030 son ejemplos, entre otros muchos, del trabajo a realizar en relación con este ODS y a los que se une de forma inequívoca el sector del transporte marítimo de mercancías. Con medidas como las citadas previamente en el ODS 12 se pretende lograr que el transporte marítimo, llegue a ser neutro con el clima, alcanzando las cero emisiones netas. Como se ha visto, especialmente, en el apartado del trabajo “Soluciones para la descarbonización”, el foco se encuentra principalmente en la sustitución de los combustibles fósiles por combustibles alternativos respetuosos con el medio ambiente, con los que se logre reducir hasta cero las emisiones.

- ODS 14: Vida submarina

Consiste en preservar todo el ecosistema marítimo, desde los mares y océanos hasta la vida y recursos que se encuentran en ellos.

Este es un ODS que está reflejado en el trabajo durante todo su desarrollo. Con medidas como las zonas ECA o las rutas verdes se logra la preservación de este ecosistema. Es correcto pensar que estas medidas se deberían adoptar para todo el ecosistema marítimo y no tan solo para algunas zonas de especial interés como ocurre actualmente, pero es el principio y la base de un proyecto que ha demostrado el impacto beneficioso que tiene, se observa en la figura 20 del trabajo. Por tanto, el trabajo demuestra un compromiso especial con el medio en que se centra el estudio.

Se comprueba el compromiso de este trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y las medidas y actuaciones que se han expuesto durante este para su consecución.