



GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

2023-2024

TRABAJO FIN DE GRADO

Mención en Negocio Internacional

**ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE
MARÍTIMO EN EL PANORAMA INTERNACIONAL Y
DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR**

**ANALYSIS OF THE CURRENT SITUATION OF MARITIME
TRANSPORTATION IN THE INTERNATIONAL PANORAMA AND
DECARBONIZATION OF THE SECTOR**

Autor: Ricardo del Val Martis

Director: Rubén Sainz González

JUNIO 2024

ÍNDICE

RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA	4
3. HISTORIA	5
3.1 DIFERENTES TIPOS DE BUQUES	6
3.2 APARICIÓN DEL CONTENEDOR	12
4. NORMATIVA	16
4.1 INCOTERMS DEL TRANSPORTE MARITIMO	16
5. SITUACIÓN ACTUAL	17
5.1 CAMBIO DE RUTAS.....	17
5.1.1 Palestina vs Israel	18
5.1.2 Ucrania vs Rusia	19
5.1.3 Deshielo del Ártico.....	20
5.2 SEQUÍA DEL CANAL DE PANAMÁ.....	21
5.3 EXCESO DE OFERTA.....	22
6. ANÁLISIS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE LA DESCARBONIZACION DEL SECTOR	23
6.1 EVOLUCIÓN EMISIONES DE CO2/ CONTEXTO ACTUAL.....	23
6.2 MARCO NORMATIVO	26
6.2.1 Normativa General	26
6.2.2 Normativa específica	29
6.3 COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	32
6.3.1 Combustibles de transición.....	32
6.3.2 Biocombustibles	36
6.3.3 Combustibles cero emisiones	38
7. CONCLUSIONES	43
8. BIBLIOGRAFÍA	44

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Grado nace con un objetivo muy claro, analizar la situación actual del transporte marítimo, así como, las diferentes alternativas para la descarbonización del sector, ya que es un tema que actualmente se presenta como el principal desafío de la sociedad en lo que ha transporte se refiere. Con el propósito de estudiar la situación actual, se lleva a cabo un análisis de los diferentes elementos que tanto han influido en el desarrollo del comercio y del transporte marítimo, desde los diferentes tipos de buques y contenedores, hasta los incoterms y las principales causas del cambio de las rutas establecidas.

Para el análisis de las diferentes alternativas de la descarbonización del sector, se desarrollará de manera breve, la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de los años. Más tarde se explorará el marco normativo internacional para la descarbonización, diferenciando entre normas generales y específicas que rigen la industria. Finalmente, se evalúan los diferentes combustibles alternativos como el Gas Natural Licuado (GNL), biocombustibles y combustibles cero emisiones (hidrógeno y amoníaco), destacando sus beneficios y desafíos, así como, principales proyectos futuros.

ABSTRACT

This Final Degree Project was born with a very clear objective, to analyze the current situation of maritime transport, as well as the different alternatives for the decarbonization of the sector, since it is a topic that is currently presented as the main challenge for society in terms of What transportation is referring to. With the purpose of studying the current situation, an analysis is carried out of the different elements that have influenced the development of trade and maritime transport, from the different types of ships and containers, to the incoterms and the main causes of the change of established routes.

For the analysis of the different alternatives for the decarbonization of the sector, the evolution of greenhouse gas emissions over the years will be briefly developed. Later, the international regulatory framework for decarbonization will be explored, differentiating between general and specific regulations that govern the industry. Finally, different alternative fuels such as Liquefied Natural Gas (LNG), biofuels and zero-emission fuels (hydrogen and ammonia) are evaluated, highlighting their benefits and challenges, as well as main future projects.

1. INTRODUCCIÓN

En este Trabajo Fin de Grado se hará un análisis sobre la situación actual del transporte marítimo, así como, un repaso a la historia y a los principales medios utilizados en este sector. Con toda esta información se hará un análisis de las diferentes alternativas para la descarbonización del sector y como estas y otras regulaciones de la IMO (International Maritime Organization) afectan a la industria del comercio marítimo y la repercusión sobre las principales empresas del sector.

La industria del transporte marítimo desempeña un papel crucial en el escenario internacional, según la IMO, entre el 80 y 90% del comercio mundial es vía marítima, lo que le convierte en el principal medio de transporte para el comercio global. (“El transporte marítimo: indispensable para el mundo”, 2015) Desde comienzos de siglo, el transporte marítimo no solo ha mantenido su importancia histórica, sino que ha experimentado una gran expansión gracias a la globalización. Sin embargo, este crecimiento vertiginoso ha dado paso a una serie de desafíos, entre ellos, destaca con especial gravedad el impacto ambiental, siendo el principal problema la emisión masiva de gases de efecto invernadero, contribuyendo significativamente al cambio climático. Por lo que para intentar mitigar la situación actual se ha establecido una red a nivel internacional modificando desde la logística portuaria hasta las rutas comerciales, pasando por los combustibles utilizados y las características técnicas de los buques.

La descarbonización se entiende como una transición ecológica hacia formas de energía más limpias y sostenibles, teniendo como principales pilares los acuerdos y tratados internacionales. Sin embargo, la efectividad de estas regulaciones no es del todo óptima, puesto que existen profesionales del sector señalando la necesidad de medidas más severas y una aplicación más rigurosa de las ya existentes. En definitiva, este trabajo trata de proporcionar una visión integral y crítica de la situación actual y futura del transporte marítimo en un mundo cada vez más enfocado en la descarbonización y la sostenibilidad. (2050, 2020)

El trabajo está compuesto por una primera parte en la que se realiza una revisión de la literatura en la cual se muestran los antecedentes generales para poder contextualizar bien el tema a desarrollar. Más adelante se explicará la historia del transporte marítimo, comentando los tipos de buques más utilizados y la aparición del contenedor. En el siguiente apartado se describirán las normativas que rodean al sector del comercio marítimo, así como, un análisis de la situación actual del transporte marítimo explicando el exceso de oferta, la sequía del canal de Panamá y la modificación y nacimiento de nuevas rutas. Finalmente se realizará un análisis de las diferentes alternativas para la descarbonización del sector, terminando con la conclusión del trabajo teniendo en cuenta todos los demás apartados.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

El transporte marítimo es uno de los pilares fundamentales del comercio internacional, conectando mercados distantes y facilitando el intercambio de bienes a nivel mundial. Sin embargo, a medida que el transporte marítimo ha ido evolucionando, también ha surgido la necesidad de abordar sus impactos ambientales. Los datos pre-pandemia ya exponían que la dinámica de los últimos años presentaba un retroceso porcentual del transporte marítimo de mercancías pasando de un 4,1% en 2017 a 2,7% en el 2018 debido principalmente a la guerra comercial entre China y Estados Unidos, la salida del Reino Unido de la Unión Europea y al incremento del proteccionismo.

Así como un exceso de oferta de buques en el año 2019 con un incremento en la flota mundial de un 2,61%. (Mauvecin, 2020). Con la llegada de la COVID-19 la economía mundial se paralizó y con ella muchos puertos y buques quedaron estancados, por lo que numerosas mercancías que tenían que llegar a su destino no lo hicieron, provocando de esta manera el mayor desabastecimiento de contenedores jamás registrado. (Aguilar-Vargas, et al., 2022).

Por otro lado, la descarbonización del transporte marítimo, surge como la principal medida para mitigar los efectos del cambio climático dentro del sector. La Organización Marítima Internacional (OMI) y sus regulaciones, como el Acuerdo de Gases de Efecto Invernadero (GEI), son puntos clave en esta transición energética. Uno de los temas más recurrentes de los últimos años es la denominada “transición equitativa” la cual promueve que para que una transición rápida de política e industria tenga éxito debe poner en marcha medidas de equidad para apoyar a los países y comunidades vulnerables. (Shaw, et al., 2022)

En el camino hacia la descarbonización del transporte marítimo, la demanda de embarcaciones propulsadas con GNL (Gas Natural Licuado) ha alcanzado niveles récord, en 2021 el 30% del total de los nuevos contratos estaban asignados a buques propulsados por gas natural y aunque el GNL puede utilizarse para una amplia tipología de buques los más comunes son el segmento de los portacontenedores más grandes. Asimismo Sea-LNG, la asociación internacional que promueve la viabilidad del gas natural como combustible marino, pronostica que en pocos años más del 90% de los nuevos buques de tipo ro-ro serán del tipo “dual fuel”, es decir, preparados para funcionar tanto con gasoil como con gas natural. (Elorriaga, 2022)

La conexión entre descarbonización y eficiencia en el transporte marítimo es un área de creciente interés, ya que actualmente se está tratando de buscar reducciones significativas en emisiones sin sacrificar la eficiencia operativa. Con regulaciones más estrictas de la OMI y objetivos ambiciosos para reducir la intensidad de carbono para 2030, el sector del transporte marítimo está mejorando y reemplazando por completo los métodos y equipos tradicionales, sin embargo, la diferencia entre una solución a corto plazo y una opción sostenible a largo plazo es la flexibilidad que tendrán los buques para utilizar nuevas fuentes de energía o tecnología a medida que se vuelvan viables. (Issa, et al., 2022)

3. HISTORIA

El transporte marítimo es una de las cuatro formas principales de transporte internacional que existen, junto con el transporte aéreo, el terrestre y el ferroviario. Se trata de una de las primeras formas en las que el ser humano empezó a comercializar e históricamente los pioneros fueron los egipcios a través del Mediterráneo, cuando intercambiaban diferentes productos y comenzaban a establecer relaciones comerciales con Fenecia (Actual Siria y Líbano).

Con el paso de los años y la llegada de la edad media el comercio marítimo sufrió un desarrollo importante, sobre todo, debido a la aparición tanto de nuevas embarcaciones, como las galeras y carabelas, así como el nacimiento de las rutas comerciales de la seda o de las especias. Más tarde llegó la era de los descubrimientos en la que acontecimientos como la llegada a América o la vuelta al mundo realizada por Juan Sebastián Elcano cambiaron el mapa mundial y establecieron conexiones comerciales entre continentes. (Aguilar-Vargas, et al., 2022)

A medida que pasó el tiempo las tecnologías se fueron desarrollando, de tal forma que, en el siglo XIX, gracias a los nuevos barcos de vapor, el transporte marítimo internacional experimentó un gran crecimiento. Todo esto, unido a la inauguración del canal de Suez en 1869 permitió transportar las mercancías de forma más rápida y eficiente. Asimismo, la aparición del contenedor a mitad del siglo XX también colaboró en esta causa, por lo que los puertos han tenido que actualizarse para dar cabida a los nuevos buques y a la creciente cantidad de carga. (XIX, 2018)

A día de hoy, el comercio marítimo sigue siendo vital para la economía mundial. Los avances en la navegación y logística continúan mejorando la eficiencia y la seguridad del comercio marítimo, sin dejar de lado el tema medioambiental ya que es necesario asegurar un futuro limpio y sostenible para que el transporte marítimo que siga siendo una parte fundamental del comercio global.

3.1 DIFERENTES TIPOS DE BUQUES

A lo largo de los años el transporte marítimo ha sufrido variaciones en lo que respecta a los diferentes tipos de buques utilizados. Por un lado algunos se han ido quedando obsoletos hasta dejar de ser utilizados y en cambio otros, han aparecido como resultado de una serie de necesidades que con el paso del tiempo han ido surgiendo.

Actualmente existen diferentes tipos de buques que en función del tipo de mercancía y de las diferentes características de la misma se pueden diferenciar:

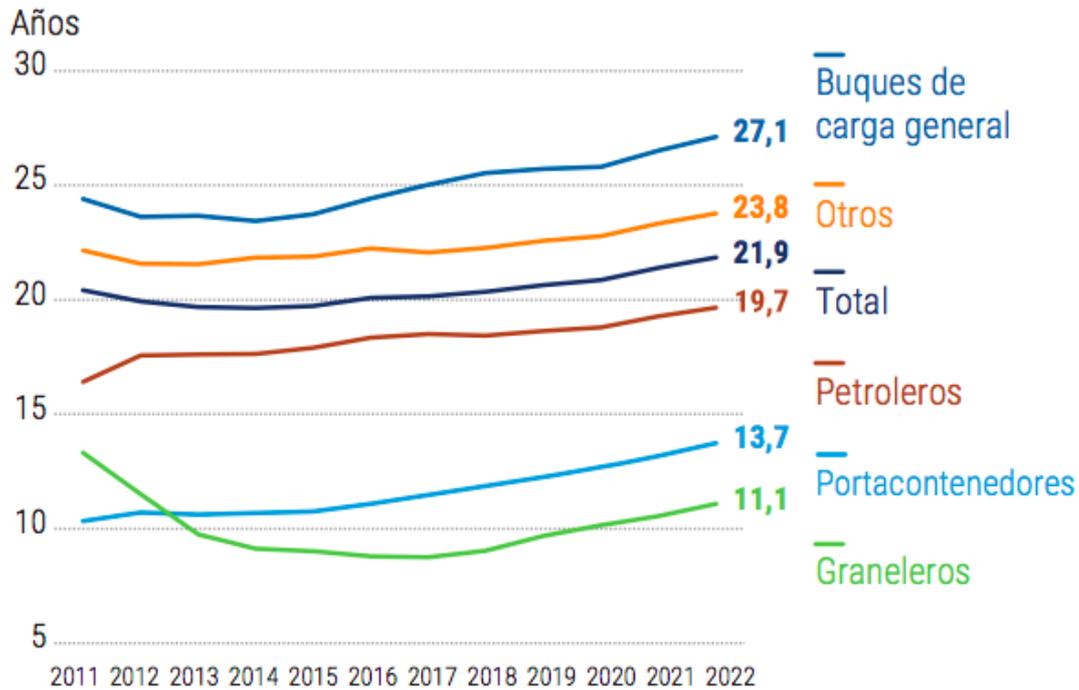
1. Buque de carga General

Se trata del primer tipo de embarcación en transportar mercancías en la historia, normalmente este buque se utiliza para el transporte de carga irregular (productos que se encuentran en cajas, en bolsas o paletizados) ya que por su forma no es apto para contenedores. La mayoría de estas embarcaciones disponen de grúas propias para realizar las operaciones de carga y descarga con mayor facilidad.

Actualmente este tipo de embarcación ha sido reemplazada por los buques graneleros y portacontenedores, aunque sigue siendo utilizada en países en vías de desarrollo, cuyos puertos no están preparados para los nuevos tipos de embarcación. Tal es el desuso de dichas embarcaciones que son el tipo de buque con más años de la flota mercante. (Rojas, 2019)

Imagen 1. Promedio de edad de la flota mercante, ponderado por el número de buques, por tipo de buque, 2011-2022.

Promedio de edad de la flota mercante, ponderado por el número de buques, por tipo de buque, 2011-2022



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

Fuente: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022overview_es.pdf

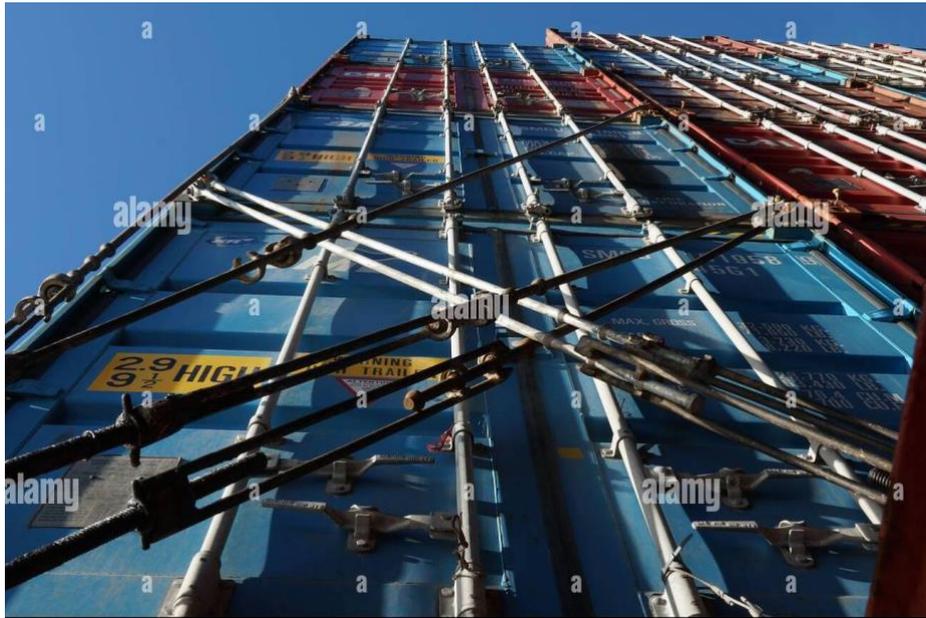
2. Buques Portacontenedores

Son el tipo de buque más utilizado para el transporte de mercancías, más del 50% de todo el comercio marítimo se mueve en este tipo de buques. La mayor parte de estas embarcaciones poseen un gran tamaño, además de estar prácticamente automatizadas e incluso ser capaces de emitir cero emisiones en algunos de los modelos más actuales. Se trata de un tipo de embarcación que está adaptada para transportar contenedores estándar de 10, 20, 40 o 45 pies, además de contenedores “Open top” o “High Cube”, entre otros. Generalmente, están equipados con sus propias grúas, denominadas “grúas pórtico” para las funciones de carga y descarga de la mercancía.

Estos buques se empiezan a cargar desde la parte baja, las bodegas, donde los contenedores se van apilando entre unas guías para asegurar y facilitar que estos sean estibados con total seguridad. Estas guías sirven para impedir ningún tipo de movimiento cuando el buque sale a navegar en alta mar.

Una vez se ha cargado la bodega del buque, se colocan unas tapas en la parte superior de la bodega para seguir estivando más contenedores, pero ahora en la cubierta del buque. Todos los contenedores ubicados en la cubierta necesitan unos medios adicionales de sujeción denominados barras de trinca y de tensores (barras de hierro colocadas para asegurar los contenedores a la cubierta del buque). (Ramos, 2016)

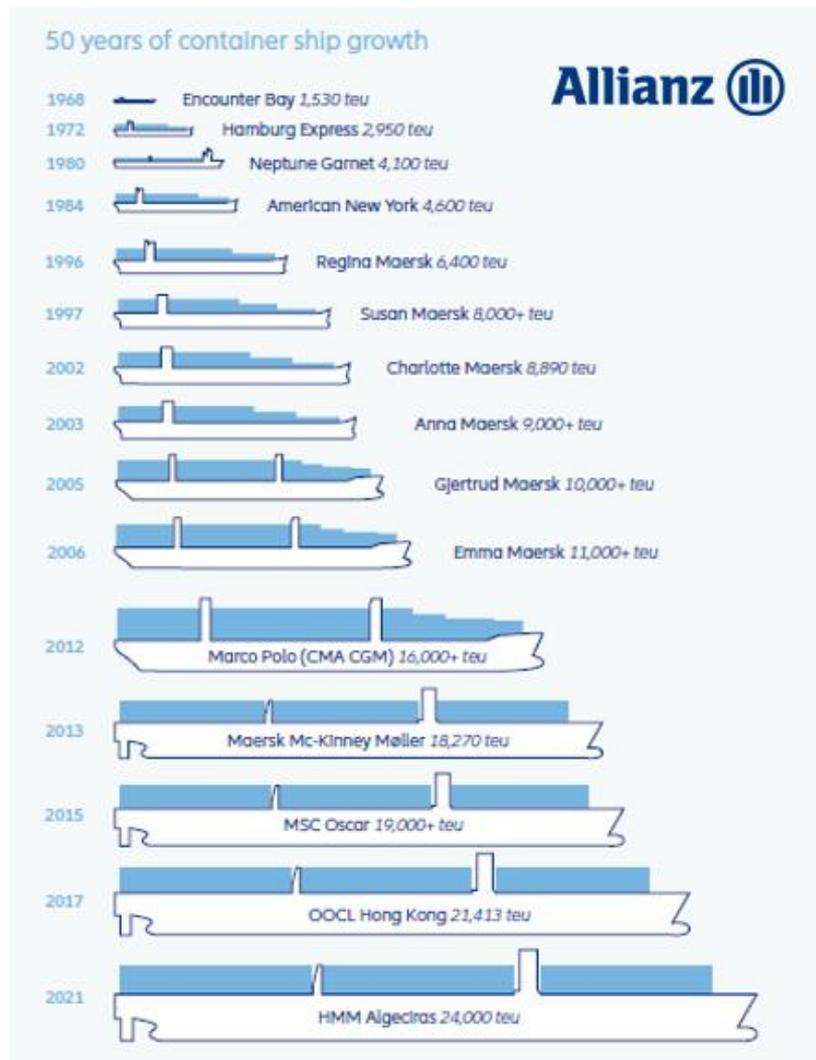
Imagen 2. Barras de trinca que sujetan los contenedores en la cubierta de los buques.



Fuente: <https://www.alamy.es/pila-de-contenedores-de-diferentes-colores-asegurados-en-el-buque-y-pestanas-con-barras-de-amarre-torniquetes-y-cierres-de-giro-image416816840.html?imageid=11B966CD-DDD8-43DD-96DB-41CABB21E70E&p=1261633&pn=1&searchId=4b36a3891c6fa602620e501820fd0ea0&searchtype=0>

Actualmente existe una especie de “competición” entre las navieras para ver quien construye el portacontenedores más grande y es que desde finales de los años 90 la capacidad de carga de estos buques se ha triplicado, desde los 8.000 TEU del Susan Maersk (1997) a los más de 24.000 del Ever Alot (2022), todo esto sin variar demasiado en tamaño ya que se ha mantenido en torno a los 400 metros de eslora por 60 de manga. Este auge en la capacidad de los portacontenedores supone grandes desafíos tanto para las infraestructuras portuarias como para el ámbito medioambiental.

Imagen 3. Evolución del tamaño de los buques portacontenedores en 50 años.



Fuente: <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/expert-risk-articles/shipping-safety-22-losses.html>

A día de hoy (2023) la compañía MSC ostenta el récord del buque con mayor capacidad de la historia construyendo el “MSC LORETTO” y su gemelo el “MSC IRINA”, ambos modelos alcanzan una capacidad máxima de 24.346 TEU, superando así a su predecesor el “OOCL Spain” (24.188 TEU). (Velasco, 2023)

Imagen 4. “MSC Loreto” y “MSC Irina” en el astillero de Zhoushan (China) donde fueron construidos.



Fuente: <https://inspenet.com/en/noticias/msc-received-container-ship-msc-loreto-of-24346-teus/>

3. Buques Graneleros

Los buques graneleros o también denominados “bulk carrier” son un tipo de embarcación que como su propio nombre indica son utilizados para el transporte de mercancías a granel como cereales, chatarra o carbón, sin embargo, también son capaces de cargar productos como maquinaria, tubos, madera o piezas de acero. (Ruiz, 2021)

Este tipo de buques se clasifican en base a tres criterios: el tonelaje, la longitud y el cargamento. No obstante, la clasificación según las toneladas de peso muerto (peso incluyendo el cargamento, el combustible del buque, las provisiones, el agua de lastre y la tripulación) es la más común ya que estas embarcaciones trabajan en función a su capacidad de almacenaje, según este criterio se dividen en:

Tabla 1. Clases de buques graneleros según las toneladas de peso muerto.

Clase de granelero	Toneladas de peso muerto
Mini bulk carrier	0 - 10.000
Handy Size	10.000 - 35.000
Handy Max	35.000 - 45.000
Supramax	45.000 - 59.000
Panamax	60.000 - 80.000
Cape-sized	100.000-200.000
Very large bulk carrier	> 200.000

Fuente: Elaboración propia a partir de Excel

4. Buques de carga rodada (ROLL ON/ ROLL OFF)

El nombre de los buques Ro-Ro proviene del término inglés Roll On/Roll Off, el cual se utiliza para todo tipo de embarcación que transporta cualquier categoría de cargamento rodado, desde automóviles y camiones, hasta vehículos industriales. (Moraleda, 2015)

La principal característica de las embarcaciones Ro-Ro es la existencia de rampas situadas en la proa o en la popa, y en algunos casos en los costados, para que las operaciones de carga y descarga se realicen de la manera más rápida y sencilla posible.

Existen diferentes tipos dentro de los Ro-Ro, según las características propias del buque o del tipo de mercancía que vaya a transportar. Principalmente se dividen en dos tipos:

-RoPax: Embarcaciones que combinan el transporte de mercancía rodada junto con el de pasajeros. Un claro ejemplo de este tipo de buques son los de la compañía “Brittany Ferries” que realizan el trayecto Santander-Portsmouth 2 veces a la semana.

-ConRo: Se trata de un híbrido entre un buque Ro-Ro y un portacontenedores. De este modo, la bodega se utiliza para el almacenamiento de vehículos, mientras que la cubierta sigue manteniendo la capacidad de apilar contenedores. (Caro, 2015)

Imagen 5. Buque RO-RO descargando la mercancía rodada.



Fuente: <http://www.cargomaxintl.com/es/service/servicios-ro-ro/>

5. Buques cisterna

Los buques cisterna o también conocidos como tanqueros o “tankers”, son un tipo de buques preparados para el transporte de carga tanto en estado líquido como gaseoso.

Este tipo de embarcaciones destacan por sus grandes dimensiones, pudiendo transportar alrededor de 400.000 toneladas, lo que equivale a 2 millones de barriles de crudo. Tales son sus dimensiones que el buque con mayor eslora de la historia se trata de un petrolero, el conocido como “Jahre Viking”, que contaba con casi 500 metros de eslora y 69 metros de manga e incluso a día de hoy no se han superado tales magnitudes. (Sánchez, 2020)

Imagen 6. El “Jahre Viking” cuando estaba activo.



Fuente: <https://www.xataka.com/otros/asi-era-seawise-giant-mayor-barco-que-jamas-surco-mares-largo-que-propio-empire-state-1>

3.2 APARICIÓN DEL CONTENEDOR

Resulta imposible hablar sobre el transporte de mercancías y no mencionar la figura del contenedor, uno de los pilares fundamentales del sector, no solo del transporte marítimo sino también del transporte por carretera y vía ferrocarril.

El transporte mediante contenedores fue establecido por Malcom McLean, un camionero estadounidense que a mediados de los 50, observó que la mayoría de los puertos estaban saturados, por lo que para optimizar el tiempo se le ocurrió cargar directamente las cajas de sus camiones en los barcos.

Finalmente, en abril de 1956, alrededor de 60 contenedores salieron desde el puerto de Newark (Nueva Jersey) hasta Houston (Texas), a bordo de un petrolero de la Segunda Guerra Mundial reconvertido en buque de carga, realizando de esta manera el primer servicio de un portacontenedores de la historia. (Aguilar-Vargas, et al., 2022)

En 1960 el ejército estadounidense empezó a utilizar esta nueva forma de transporte para poner remedio a sus problemas de suministro en la guerra de Vietnam, y de la misma manera Malcom McLean aprovechó este acuerdo para traer los contenedores llenos de mercancía procedente de economías emergentes, como era la de Japón por aquel entonces. (Martínez, 2021)

Debido a las crecientes y cambiantes exigencias del comercio internacional el contenedor ha sufrido y sigue sufriendo una constante evolución. De este modo el contenedor marítimo debe adaptarse para ofrecer un servicio con garantía de calidad.

Existen mucho tipos diferentes de contenedores sin embargo los más utilizados y comunes dentro del sector son: (Dorta-González, 2014)

1. Contenedores Dry van

También denominados contenedores de carga seca, son el tipo de contenedor más usado en el mundo, debido a su versatilidad y robustez. Se caracterizan por estar cerrados herméticamente sin contar con ningún tipo de ventilación o sistema de refrigeración. Según la normativa ISO existen 3 medidas diferentes: 20 pies standard, 40 pies standard y 40 pies high cube.

Tabla 2. Diferentes tipos de contenedores y sus medidas.

TIPOS DE CONTENEDORES						
20 PIES STANDARD (DRY CARGO) 20' x 8' x 6'						
Tara: 2210 - 2400 kg / Carga Máxima 21700 -28240 kg / Capacidad Cúbica 33,3 m3						
MEDIDAS	EXTERNA		INTERNA		PUERTA ABIERTA	
	Metros	Pies	Metros	Pies	Metros	Pies
LARGO	6,05	20'	5,90	19' 4"		
ANCHO	2,43	8'	2,34	7' 8"	2,33	7' 8"
ALTO	2,59	8' 6"	2,40	7' 10"	2,29	7' 6"
40 PIES STANDARD (DRY CARGO) 40' x 8' x 6'						
Tara: 3630 - 3740 kg / Carga Máxima 26740 -26850 kg / Capacidad Cúbica 67,7 m3						
MEDIDAS	EXTERNA		INTERNA		PUERTA ABIERTA	
	Metros	Pies	Metros	Pies	Metros	Pies
LARGO	12,19	40'	12,03	39' 6"		
ANCHO	2,43	8'	2,34	7' 8"	2,33	7' 8"
ALTO	2,59	8' 6"	2,40	7' 10"	2,29	7' 6"
40 PIES HIGH CUBE (DRY CARGO) 40' x 8' x 9' 6'						
Tara: 3880 - 3900 kg / Carga Máxima 26580 -26600 kg / Capacidad Cúbica 76,5 m3						
MEDIDAS	EXTERNA		INTERNA		PUERTA ABIERTA	
	Metros	Pies	Metros	Pies	Metros	Pies
LARGO	12,19	40'	12,03	39' 6"		
ANCHO	2,43	8'	2,34	7' 8"	2,33	7' 8"
ALTO	2,89	8' 11"	2,59	8' 6"	2,29	7' 6"



Fuente: <https://assonina.it/2021/04/02/linee-guida-per-comunicare-con-i-bambini-autistici/?c=productos-novedosos-en-china-%E2%8F%BA-a-continuaci%C3%B3n-te-indicamos-jj-739VOqSO>

2. High cube

Los contenedores “high cube” prácticamente son iguales a los “dry van” pero con la peculiaridad de su sobre altura (casi 3 metros), lo que le otorga un tamaño mucho mayor. Normalmente son de 40 pies, aunque también hay de 20 y 45 pies y son ideales para el transporte de mercancía voluminosa.

3. Contenedores Frigoríficos o Reefer

Son un tipo de contenedores equipados con aislamiento térmico y un motor que controla la temperatura (frío o calor) y que va conectado al buque. Se pueden encontrar en tamaños tanto de 20 como de 40 pies. Se utilizan principalmente para el transporte de mercancía que necesita unas determinadas condiciones de temperatura para llegar a destino en buenas condiciones como son los productos lácteos, frutas, verduras o carnes.

4. Open top

Contenedor que se puede encontrar con las mismas medidas que los “dry van”, pero con la particularidad de estar abiertos por la parte superior, contando con un techo extraíble de lona. De esta forma pueden transportar maquinaria y mercancía muy pesada que debe ser cargada por la parte superior y lo que sobresale por dicha parte, paga suplementos relativos al exceso de carga.

Imagen 7. Contenedor “open top” transportando neumáticos de grandes dimensiones.



Fuente: <https://www.zarca.es/contenedor-maritimo-open-top/>

5. Flat rack

Contenedores que carecen de paredes laterales y en algunos casos también de las delanteras y traseras. Se utilizan para cargas atípicas, como vehículos pesados, grandes piedras o piezas industriales. Al igual que los contenedores Open top, estos contenedores pagan suplementos. (Montenegro, 2018)

6. Open side

Se trata de un tipo de contenedor cuya principal característica es que es abierto en (al menos) uno de sus lados, por lo que se utiliza para cargas que debido a su tamaño necesitan una carga y descarga de forma lateral, ya que no entran por la puerta.

Imagen 8. Comparativa entre un contenedor “flat rack” (azul) y un “open side” (rojo).



Fuente: Elaboración propia

7. Tank o Contenedor cisterna

Se trata de una cisterna situada dentro de una serie de vigas de acero cuya forma y dimensiones son equivalentes a las de un “dry van”. De esta forma el contenedor cisterna disfruta de las mismas ventajas que un contenedor estándar: puede apilarse y ser transportado en cualquiera de los transportes típicos. Se utilizan para transportar cualquier tipo de fluido, desde líquidos a granel hasta químicos o gases licuados.

Imagen 9. Contenedores cisterna apilados en un puerto.



Fuente: <https://www.diarioelcanal.com/la-flota-mundial-de-contenedores-cisterna-crece-el-8/>

8. Flexi tank

Suponen una alternativa a los contenedores cisterna tradicionales, ya que se utilizan para la misma actividad, transportando el mismo tipo de mercancía (líquidos a granel generalmente). Están compuestos por un depósito flexible de polietileno de un solo uso (pero reciclable) denominado flexibag. (Montenegro, 2018)

Imagen 10. Reconstrucción del interior de un “flexi tank”.



Fuente: <https://maritima.com/flexitank-transporte-de-liquidos-a-granel/>

4. NORMATIVA

Sin lugar a dudas el ámbito del transporte y en especial el transporte marítimo es un sector cuyo contexto es principalmente internacional, por lo que resulta descabellado que cada país se rija bajo unas normas diferentes. Para solventar este problema, la Organización Marítima Internacional (OMI), que es un organismo especializado de las Naciones Unidas (ONU) elabora normas internacionales uniformes y pese a que cada país tenga cierta libertad, las normas de la OMI prevalecen.

Entre los principales acuerdos internacionales destacan las reglas de La Haya-Visby (1968), que más tarde se sustituyeron por las reglas de Hamburgo (1978) y que finalmente desembocaron en las reglas de Rotterdam (2008).

Las reglas de Hamburgo son el marco normativo del transporte marítimo internacional, en el cual se establecen los derechos y obligaciones tanto del cargador (quien contrata el transporte), como del porteador (quien realiza el transporte), así como del consignatario (quien recibe la mercancía transportada). Se aprobaron en 1978 por mediación de la ONU, sin embargo, no entraron en vigor hasta noviembre de 1992, siendo a partir de entonces obligatorias para los veinte Estados miembros.

Las reglas de Hamburgo nacieron con dos objetivos principales, sustituir las Reglas de La Haya-Visby (las cuales favorecían en mayor medida a las navieras) y aumentar la responsabilidad de las navieras o porteadores. (Convenio de las Naciones Unidas sobre el transporte marítimo de mercancías, s.f.)

En 2008 y de nuevo con la ayuda de las Naciones Unidas, se firmó un nuevo convenio, las reglas de Rotterdam. Estas tienen dos objetivos básicos: unificar la normativa que se aplica es un contrato de transporte marítimo y modernizar lo estipulado en las Reglas de Hamburgo. A día de hoy las reglas de Rotterdam aún no han sido ratificadas por lo que la legislación internacional se sigue basando en lo que se estableció en Hamburgo en 1978. (Segura, 2010)

4.1 INCOTERMS DEL TRANSPORTE MARITIMO

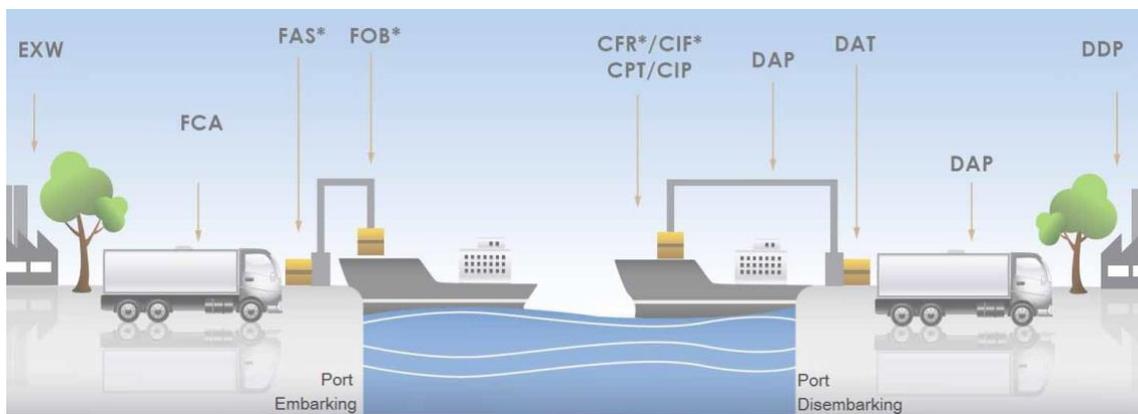
Los incoterms son los términos y requisitos de una operación de compraventa internacional, los cuales son usados y aceptados de forma generalizada por todo el mundo, de este modo ayudan a evitar malentendidos en las operaciones comerciales. Desde su creación han sufrido diversas revisiones, ya que con el tiempo estos términos no se mantienen estables ni son siempre los mismos. Normalmente cada 10 años sufren actualizaciones para tener unas condiciones adaptadas al mercado, en este caso la del 2020 es la más reciente. (Fernández, 2023)

Una de las formas en las que se pueden clasificar los trece incoterms actuales es mediante el tipo de transporte para el que han sido diseñados. A día de hoy los incoterms exclusivos de transporte marítimo son 4: FAS, FOB, CFR y CIF. (Crespo, 2023-2024)

- FAS (Free AlongSide Ship) este incoterm estipula que la obligación de entrega se cumple cuando la mercancía ha sido colocada al costado del buque o sobre el muelle en el puerto de embarque acordado, despachada en aduana para la exportación.

- FOB (Free On Board) este incoterm contempla que el vendedor cumplirá su obligación de entrega cuando deposite la mercancía a bordo del buque, en el puerto de embarque acordado y con la mercancía despachada en aduana para la exportación.
- CFR (Cost and Freight) el vendedor ha de pagar los gastos y el flete hasta el puerto de destino establecido, sin embargo, el comprador asume los riesgos de pérdida.
- CIF (Cost, Insurance and Freight) en este incoterm las obligaciones del vendedor son pagar los gastos y el flete hasta el puerto de destino convenido y además, contratar y pagar un seguro de cobertura de los riesgos de la mercancía durante el transporte, del que hace beneficiario al comprador

Imagen 11. Esquema de una transacción internacional con sus respectivos términos.



Fuente: <https://kanvel.com/incoterms/>

5. SITUACIÓN ACTUAL

El panorama actual del transporte marítimo se ve moldeado por una serie de factores interconectados. El cambio de rutas, por un lado, impulsado por el deshielo en el Ártico y por otro causado por los diferentes conflictos bélicos, está generando nuevas oportunidades y desafíos logísticos. La sequía en el Canal de Panamá añade complejidad, afectando las operaciones en este vital corredor y a su vez, el persistente exceso de oferta en el sector crea presiones económicas, impactando en los precios del flete y en los beneficios de las empresas.

5.1 CAMBIO DE RUTAS

Actualmente el sector del transporte marítimo se enfrenta a cambios significativos en sus rutas debido a factores geopolíticos y ambientales. Tanto la guerra entre Israel y Palestina, como la de Rusia y Ucrania, han obligado a desviar rutas para evitar zonas de conflicto, redirigiendo el tráfico hacia rutas más seguras. Asimismo, el deshielo del Ártico está favoreciendo cada vez más a nuevas rutas, más cortas y rentables. Este apartado analiza cómo estos eventos están reconfigurando las rutas marítimas globales y sus implicaciones para el comercio internacional.

5.1.1 Palestina vs Israel

Una de las principales consecuencias que ha generado el conflicto bélico entre Israel y Palestina es el ataque a barcos de mercancías en el Mar Rojo. Dichos ataques son perpetrados por los “hutfés”, una milicia rebelde de Yemen, respaldada por Irán como muestra de apoyo a Hamas en el marco de la guerra en Gaza. La principal zona de los ataques se sitúa en el estrecho de Bab el-Mandeb, la “puerta” de entrada al Mar Rojo . (Arrillaga, 2024)

Imagen 12. Mapa del Mar Rojo y sus inmediaciones.



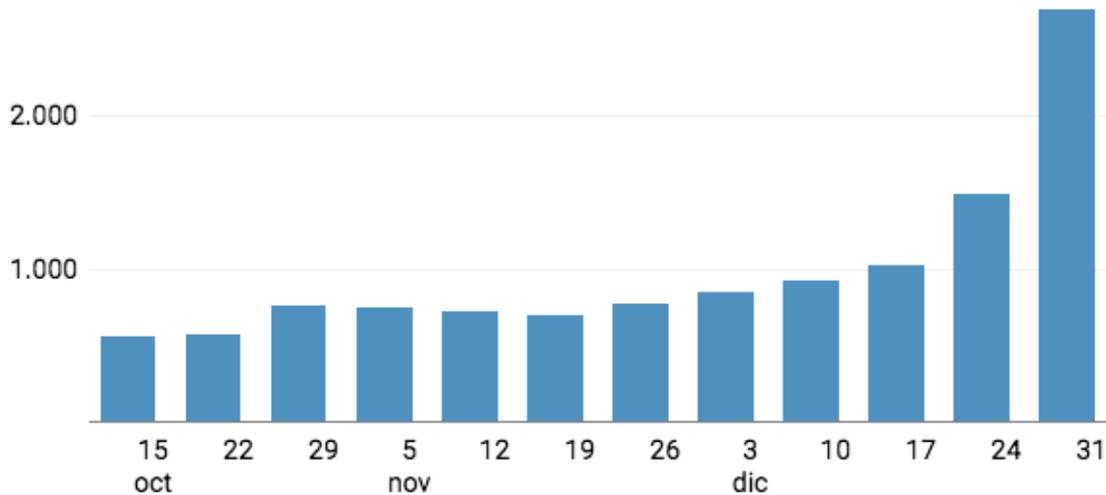
Fuente: <https://www.economista.es/transportes-turismo/noticias/12589375/12/23/que-esta-en-juego-con-el-colapso-de-la-ruta-comercial-por-el-mar-rojo-no-es-solo-petroleo-y-gas.html>

Como consecuencia de estos ataques, las principales navieras más importantes del mundo han decidido cambiar las rutas establecidas y desviar sus embarcaciones hacia el cabo de Buena Esperanza (Sudáfrica) principalmente. Entre las principales navieras que han optado por esta decisión destacan Maersk, MSC o Evergreen. Este cambio de ruta no solo retrasa entre 15 o 20 días el transporte, sino que también lo encarece alrededor de un 60%, pasando de costar un contenedor de 20 pies desde China hasta Europa unos 800 euros en noviembre de 2023 a más de 2.500 a finales de diciembre de 2023. (Arrillaga, 2024)

Gráfico 1. La subida de las tarifas de los fletes marítimos.

La subida de las tarifas de los fletes marítimos

Datos a 29/12/2023



Fuente: DSV

LA VANGUARDIA

Fuente: <https://www.lavanguardia.com/economia/20240103/9487887/crisis-mar-rojo-triplica-dos-semanas-coste-transporte-maritimo.html>

Hay que tener en cuenta que alrededor del 30% del comercio mundial de contenedores pasa por el canal de Suez por lo que gran parte de la economía mundial se ve afectada. Fruto de este conflicto, algunas de las fábricas de Michelin localizadas en España se han visto afectadas debido a la falta de caucho. (Logístico, 2023)

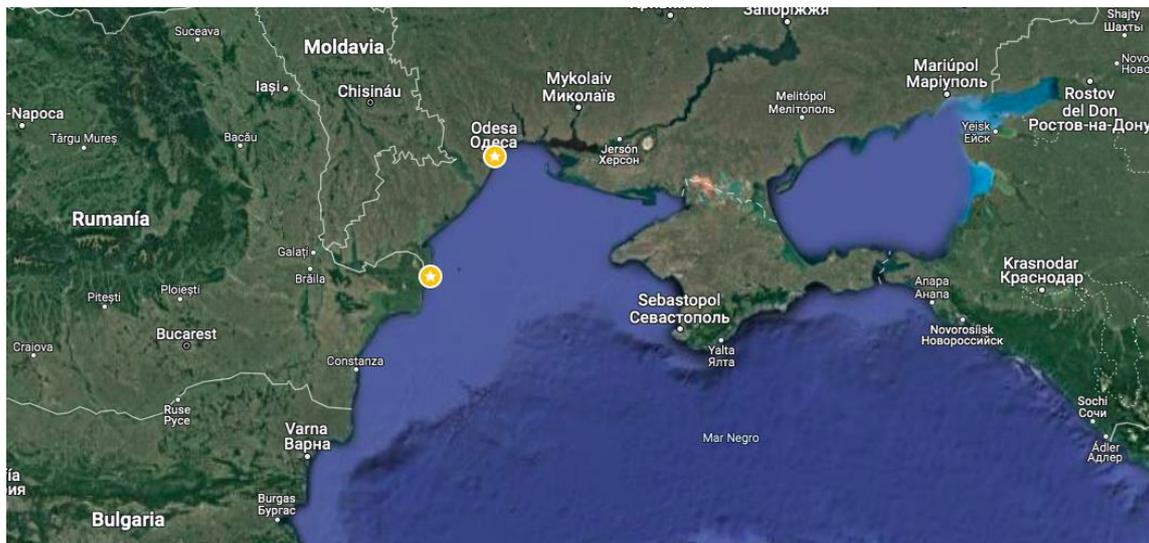
5.1.2 Ucrania vs Rusia

Otro acontecimiento que está provocando el cambio en las rutas marítimas preestablecidas es la guerra entre Rusia y Ucrania, desde que el conflicto bélico comenzó en febrero de 2022 la economía europea está sufriendo una tónica inflacionista. Por una parte Rusia controla y posee los principales gaseoductos y reservas de petróleo de Europa y por otra, Ucrania es junto a Rusia los mayores exportadores de trigo de Europa y top 5 del mundo.

A pesar del conflicto, en 2023 Ucrania ha conseguido exportar 13 millones de toneladas de materia prima, gracias a un nuevo corredor que conecta el puerto de Odesa con el delta del río Danubio (Rumania) convirtiéndose en la principal vía de exportación del país. (NAUCHER, 2024)

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE MARÍTIMO Y DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR

Imagen 13. Mapa en el que se puede observar el nuevo corredor entre el puerto de Odessa y el delta del Danubio.



Fuente: Elaboración propia mediante google maps

Imagen 14. Mapa que muestra las conexiones entre el delta del Danubio y Europa.



Fuente: <https://www.mundomarcruceos.com/porta/Oferta-Cruceros-Fluviales-Rio-Danubio.html>

5.1.3 Deshielo del Ártico

En las últimas décadas muchas navieras y especialistas en el sector del transporte marítimo están experimentando y llevando a cabo investigaciones para fomentar el desarrollo de nuevas rutas potencialmente mejores a las históricamente establecidas. Una de estas rutas es la denominada Ruta Marítima del Norte que parte desde Rusia, atraviesa el estrecho de Bering y llega hasta el norte de Europa.

Imagen 15. Comercio marítimo entre Europa y China.



Fuente: <https://ireneses.wordpress.com/2013/08/13/trade-lane-megacities-la-ruta-del-norte-ya-es-una-realidad/>

Esta ruta se lleva utilizando desde hace años, pero únicamente durante 2 meses al año, sin embargo, en febrero de 2021 (en pleno invierno) un gasero ruso atravesó la ruta por primera vez en la historia, lo que denota los efectos del deshielo a causa del cambio climático.

Conforme el deshielo sigue actuando van apareciendo nuevas rutas navegables durante todo el año, estas rutas son entre un 30% y un 50% más cortas que las del Canal de Suez o el de Panamá, lo que supondrá una reducción del tiempo de tránsito estimada entre 14 y 20 días. Además del ahorro en tiempo y en combustible las navieras pueden reducir en más de un 20% sus emisiones de gases de efecto invernadero. (KINDELÁN, 2023)

El pasado año 2023 se transportaron 34 millones de toneladas de carga por esta ruta y según las previsiones, el tráfico se elevará a 80 millones de toneladas en 2024 y a más 200 millones para 2035. Debido a esto Rusia está destinando cuantiosos recursos, para el desarrollo y ampliación de su flota de rompehielos nucleares para mantener estas rutas en condiciones navegables durante todo el año sin que el hielo del océano glacial ártico se lo impida. (Sputnik, 2023)

5.2 SEQUÍA DEL CANAL DE PANAMÁ

La sequía del canal de Panamá es uno de los mayores problemas a los que se está enfrentado el sector del comercio marítimo internacional. Es importante recalcar que el canal de Panamá es un canal de agua dulce que depende de unos lagos artificiales, por lo que lo hace muy vulnerable a las sequías. Lo que principalmente está generando esta sequia son atascos para cruzar el canal, que a su vez degeneran en períodos récord de espera y limitaciones en el número de tránsitos diarios, lo que se conoce como “cuellos de botella”. En condiciones normales el canal permite 35 tránsitos al día, no obstante debido a esta situación cambiaron a 22 y en febrero de 2024 se redujo a 18 tránsitos por día. (Panamá, 2023)

Algunas navieras toman la decisión de bordear el continente americano y cruzar el cabo de Hornos (Chile), lo que suma 7 días a la ruta, sin embargo, esto no beneficia a los barcos que transportan alimentos sin ningún tipo de aislamiento térmico. (Juárez, 2023)

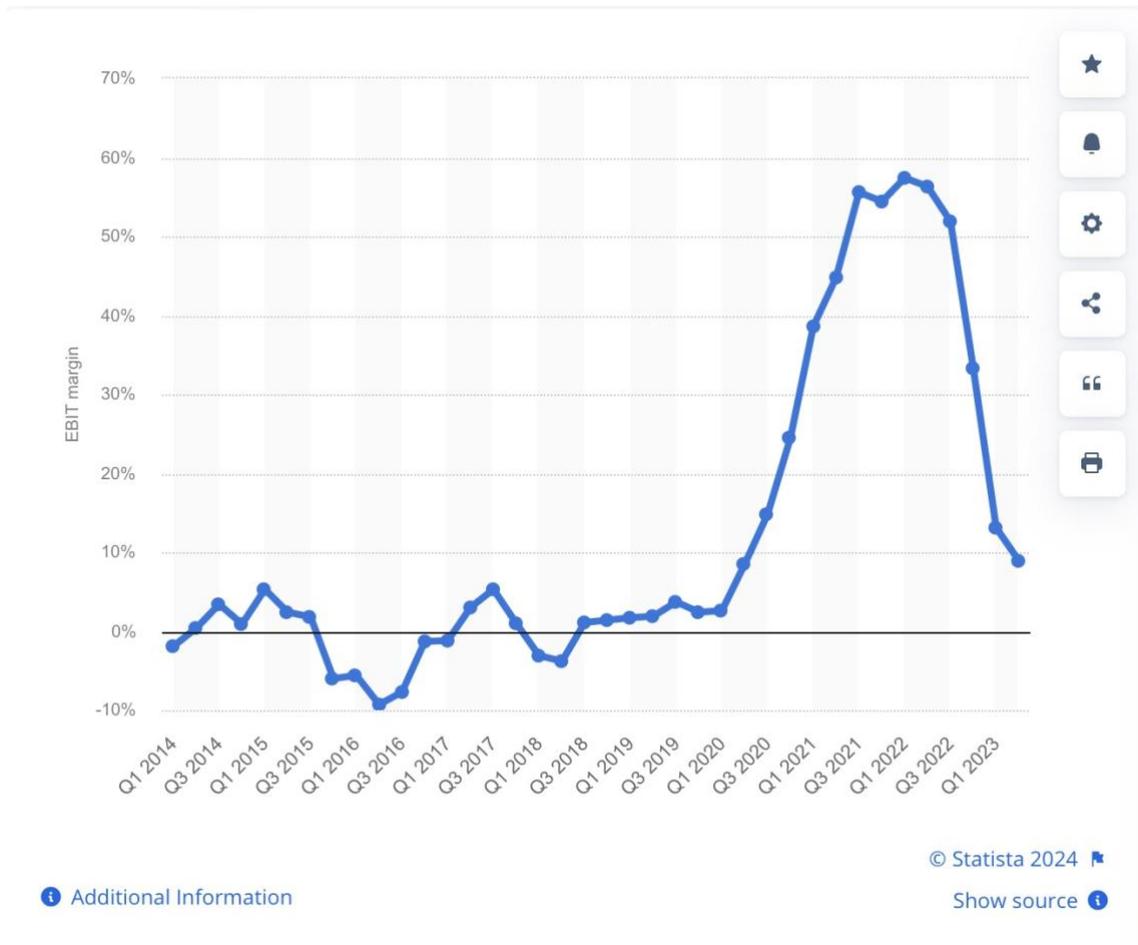
Debido a la situación extrema en la que se encuentra, las autoridades del canal de Panamá, están planteando posibles soluciones, entre las que destacan la creación de un lago artificial liberando agua de un embalse secundario, para bombear agua al canal y la siembra de nubes para crear lluvia artificial. Según los expertos estas medidas no son para nada viables ya que por una parte la construcción de un lago artificial es una solución a corto plazo y por otra parte la siembra de nubes solo ha sido exitosa en climas desérticos, no en países tropicales como Panamá. (McDonald, 2024)

5.3 EXCESO DE OFERTA

El sector del transporte marítimo se enfrenta a un desafío significativo debido al exceso de oferta. Esta situación surge en los tiempos de la COVID-19 cuando el cierre de puertos en Europa, Asia y Estados Unidos provocó un atasco en el comercio internacional que tardó años en solucionarse, dicha congestión provocó un desajuste entre la oferta y la demanda que disparó los precios. (Mercantil, 2023)

De un momento a otro las navieras se convirtieron en empresas muy rentables y empezaron a comprar en exceso nuevos buques, más ecológicos y tecnológicamente avanzados; hasta el punto de que la capacidad de estos nuevos buques representa cerca del 30% del tamaño de la flota actual. (Graham, 2023)

Gráfico 2. Evolución del EBIT (Beneficio antes de intereses e impuestos) de las principales navieras desde el 1er trimestre de 2014 hasta el 1er trimestre de 2023.



Fuente: <https://www.statista.com/statistics/1263780/ebit-margins-of-container-carriers-by-quarter/>

Todo este exceso de oferta ha provocado serias pérdidas para las principales navieras del mundo, por ejemplo, Maersk, la segunda empresa de cargo marítimo más grande del mundo, anunció a finales de 2023 el despido de 3.500 trabajadores. (AFP, 2023)

Actualmente los precios se encuentran en unas tasas que no se veían desde 2016, por lo que para contrarrestar esta situación e intentar impulsar de nuevo las tarifas, las navieras cuentan con una herramienta de gestión de la capacidad denominada “blank sailing”. El “blank sailing” consiste en la cancelación temporal de una ruta establecida para contrarrestar el crecimiento de la oferta. (MundoMarítimo, 2023)

6. ANÁLISIS DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE LA DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR

Este apartado analiza las diferentes alternativas de descarbonización del transporte marítimo a través de tres enfoques clave. Primero, se examina la evolución de las emisiones de CO2 en el sector. Segundo, se investiga el marco normativo que regula y promueve la descarbonización. Tercero, se realiza un análisis de los diferentes combustibles alternativos disponibles, evaluando su viabilidad y potencial para reducir las emisiones.

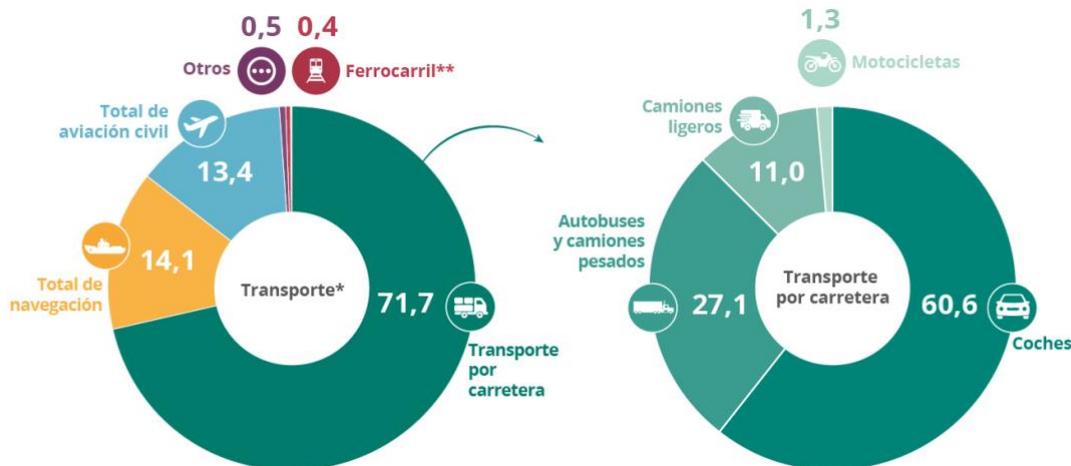
6.1 EVOLUCIÓN EMISIONES DE CO2/ CONTEXTO ACTUAL

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE MARÍTIMO Y DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR

Este apartado tiene como objetivo principal analizar la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector del transporte marítimo a lo largo de los años. Además, este análisis es esencial para comprender las alternativas disponibles para la descarbonización del transporte marítimo y evaluar su viabilidad económica y ambiental, contribuyendo así a un transporte más sostenible en el panorama internacional.

El análisis de las emisiones de GEI por sectores a nivel europeo y mundial revela que el transporte es uno de los principales contribuyentes a la contaminación atmosférica. A nivel europeo, el transporte es el sector responsable de aproximadamente el 28% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero. Dentro de ese 28%, el transporte marítimo representa casi el 15%, únicamente superado por el transporte por carretera (71,7%) que es el mayor emisor de GEI en Europa. (Europeo, 2019)

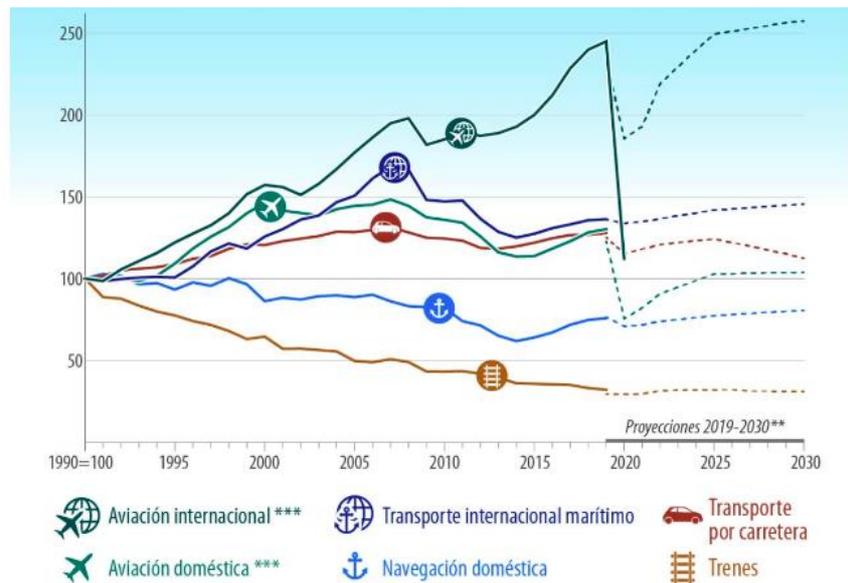
Gráfico 3. Emisiones de GEI dentro del sector del transporte a nivel europeo.



Fuente: https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2022/infografias/emisiones-de-gases-de-efecto/image/image_view_fullscreen

La evolución de las emisiones de GEI en el sector del transporte marítimo había mostrado una tendencia creciente durante las últimas décadas debido al aumento del comercio global y la expansión de las flotas de buques. No obstante, a partir de la década de 2010 se ha observado una mayor conciencia y esfuerzos para mitigar estas emisiones. Desde la adopción del Acuerdo de París en 2015, y más específicamente, con la estrategia inicial de la Organización Marítima Internacional (OMI) para reducir las emisiones de GEI en 2050. (ANAVE, 2018)

Gráfico 4. Evolución de las emisiones de GEI del transporte en Europa desde 1990.



Fuente: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20191129STO67756/emisiones-de-aviones-y-barcos-datos-y-cifras-infografia>

En cuanto a la situación actual de los combustibles marinos, tradicionalmente se han utilizado combustibles fósiles como el fuel oil pesado (HFO) y el “Intermediate Fuel Oil” (IFO), que son altamente contaminantes. Sin embargo, con la implementación de la normativa de la OMI sobre el límite de contenido de azufre en los combustibles marinos, vigente desde enero de 2020, ha habido un cambio hacia combustibles más limpios, como el fuel oil bajo en azufre (VLSFO) y el gasoil marino (MGO). Estos combustibles, aunque reducen las emisiones de azufre, aún generan una cantidad significativa de CO₂. (OMI, 2019)

Es importante destacar que el uso de combustibles tradicionales emiten cuatro componentes altamente perjudiciales como son: el dióxido de carbono (CO₂), el óxido de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas en suspensión. En términos de precios, los combustibles marinos más limpios suelen ser más costosos que los tradicionales. Esta diferencia de costes representa un desafío para las navieras, que deben equilibrar entre la reducción de emisiones y la viabilidad económica. (Nicoll, 2021)

Gráfico 5. Precio de los combustibles marinos 2020-2024 (\$/t).

Precio de los combustibles marinos 2020-2024 (\$/t)

Evolución del precio de los combustibles marinos en los 20 puertos del mundo de mayor distribución.

— IFO 380 - 3,5% S — MGO - 0,1% S — VLSFO - 0,5% S — Diferencia precio entre VLSFO - IFO 380



Fuente: <https://anave.es/precio-de-los-combustibles-marinos/>

6.2 MARCO NORMATIVO

El sector del transporte marítimo, al igual que la mayoría de las actividades industriales, está condicionado por la creciente preocupación de la sociedad con el medio ambiente. Actualmente la Organización Marítima Internacional (OMI) se encarga de regular todos los aspectos relacionados con la descarbonización del sector marítimo a nivel internacional y en ocasiones se complementan con ciertos convenios internacionales como “El protocolo de Kyoto” o “El acuerdo de Paris”. No obstante, a nivel europeo también se están impulsando estas políticas con estrategias como el “Pacto Verde Europeo” o la “Agenda 2030” (en colaboración con la ONU), además de iniciativas específicas para el transporte marítimo como el “FuelEU Maritime”. (Europea, 2023)

Este apartado analiza en detalle el marco normativo que rige la descarbonización en el transporte marítimo, desde el convenio internacional MARPOL, hasta las regulaciones e iniciativas europeas. Se examinan los desafíos, oportunidades y el progreso logrado hasta la fecha en la búsqueda de un transporte marítimo más sostenible y compatible con los objetivos climáticos globales.

6.2.1 Normativa General

→ Agenda 2030

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es un compromiso global que fue aprobado en septiembre del año 2015 por los 193 países miembros de la ONU. El plan de acción consta de 17 objetivos, denominados “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS), teniendo cada uno de estos objetivos una serie de metas específicas (un total de 169 metas) a cumplir antes del año 2030. (Moncloa, 2024)

Imagen 16. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

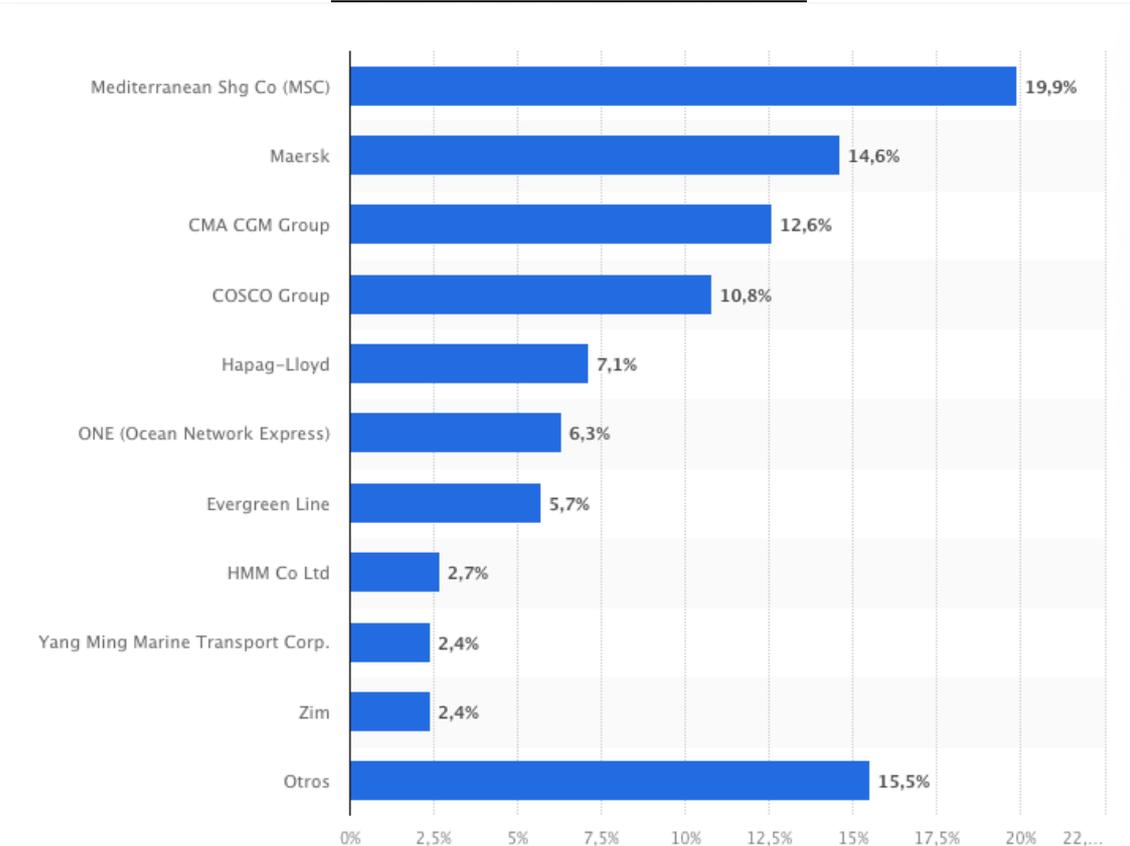


Fuente: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

La agenda 2030 surgió como una iniciativa para avanzar hacia una sociedad con un crecimiento económico inclusivo, caracterizada por la justicia social y con un horizonte medioambiental sostenible. (Estado, s.f.)

Si bien ningún Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) está dirigido específicamente hacia el transporte marítimo, el transporte marítimo sí que está relacionado con varios de los ODS, como pueden ser el objetivo 6 “Agua limpia y saneamiento”, el 9 “Industria, Innovación e Infraestructura”, el 14 “Vida submarina” y en especial con los objetivos 3 “Salud y Bienestar” y 13 “Acción por el clima”. Es importante destacar que la Asociación de Navieros Daneses apoya firmemente esta iniciativa estableciendo como prioritarios los ODS 8, 13, 14 y 16. Siendo esta asociación una de las más importantes del mundo puesto que Maersk (Compañía danesa) ostenta la segunda posición en cuota de mercado (14,60%) de las principales navieras de transporte de mercancías, únicamente superada por MSC, con la cual tienen establecida una alianza denominada “Alianza 2M”. (Monteagudo, 2022)

Gráfico 6. Cuota de mercado de las principales navieras de transporte de mercancías nivel mundial a 8 de marzo de 2024.



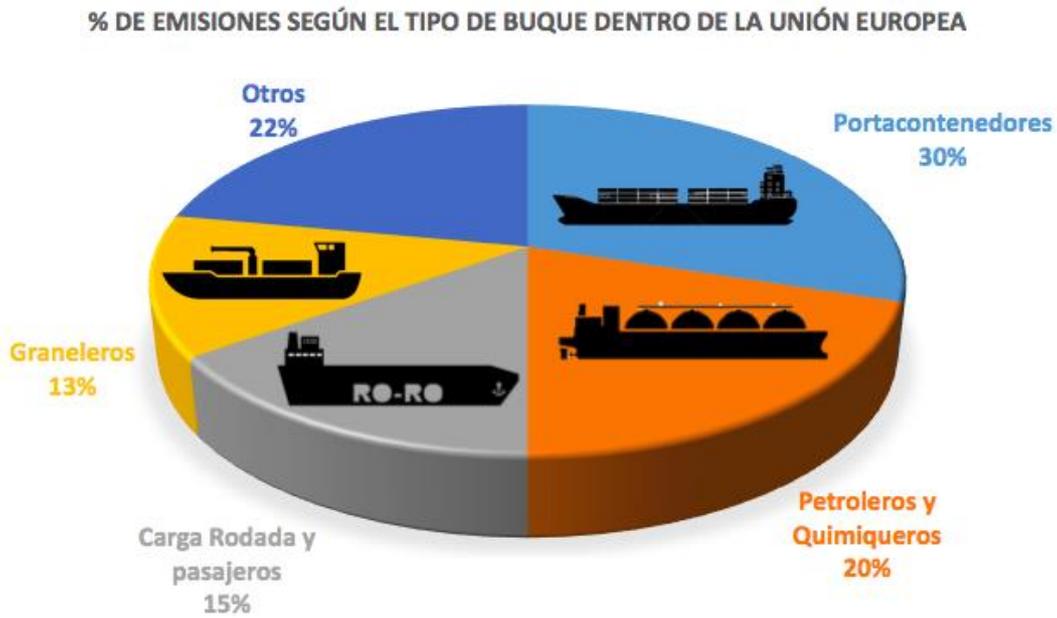
Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/633961/principales-operadores-buques-maritimos-cuota-de-transatlanticos/#:~:text=A%208%20de%20marzo%20de.con%20un%2014%2C6%25>.

→ Objetivo 55

Se trata de un paquete de medidas aprobado en octubre de 2014 por la Unión Europea, en el cual se establece un marco de actuación para reducir las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en al menos un 55% en 2030, respecto a los valores de 1990. Además existen otros objetivos como elevar la cuota de renovables en el consumo de energía o mejorar la eficiencia energética en al menos un 32,5%, entre otros. (Demográfico, s.f.)

A nivel europeo existe un programa denominado “Thetis-MRV” el cual monitoriza las emisiones procedentes del transporte marítimo dentro de la UE y un informe publicado en recientemente ha estimado que las emisiones de CO₂ procedentes del comercio marítimo en 2018 representaron el 3,7% de las emisiones totales de CO₂ de la Unión Europea. (Alcalde & Fusco, 2022)

Gráfico 7. % de emisiones según el tipo de buque dentro de la unión europea.



Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Normativa específica

→ Iniciativa “FuelEU Maritime”

Dentro del paquete de medidas del “Objetivo 55” la iniciativa “FuelEU Maritime” está especialmente diseñada para reducir las emisiones de GEI procedentes del sector del transporte marítimo, así como, fomentar el uso de combustibles renovables. (Europea, 2021)

El “FuelEU Maritime” entrará en vigor a partir del 1 de enero de 2025 y obligará a los buques de más de 5.000 toneladas brutas que hagan escala en cualquier puerto de la UE a: reducir la intensidad de emisión de gases de efecto invernadero y a conectarse a un suministro de electricidad cuando estén atracados para cubrir sus necesidades de energía eléctrica.

Es importante recalcar que más de la mitad de todos los buques existentes son de más de 5.000 toneladas brutas, y estos son los responsables del 90 % de las emisiones de CO₂ del sector del transporte marítimo. (Europea, 2024)

Imagen 17. % de emisiones de buques mayores de 5.000 toneladas brutas.

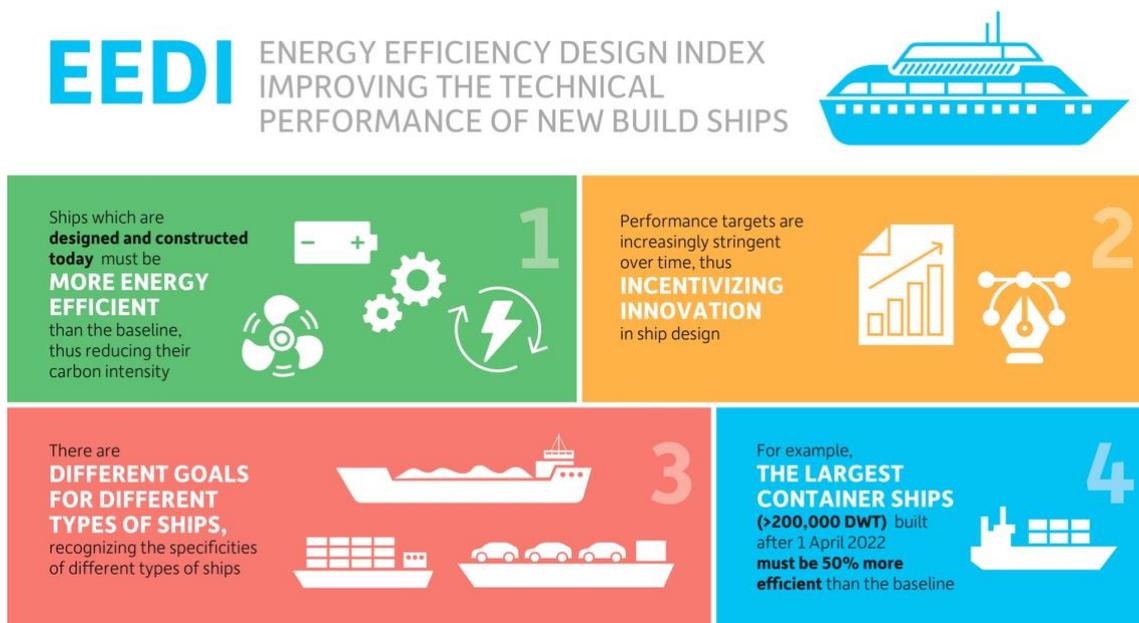


Fuente: <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/fit-for-55-refueeu-and-fueeu/#0>

→ Iniciativas de la OMI

Desde su constitución a mediados del siglo XIX, la Organización Marítima Internacional (OMI) ha llevado a cabo numerosos tratados internacionales para regular el sector del transporte marítimo, sin embargo, la descarbonización es un tema que se ha empezado a desarrollar hacer relativamente poco y cuya importancia es vital para el futuro. Una de las primeras iniciativas que llevo a cabo la OMI para fomentar la descarbonización fue el “Índice de eficiencia energética de proyecto” (EEDI), el cual establecía una serie de requisitos para el uso de equipos y maquinaria de mayor eficiencia energética. Actualmente el proyecto se encuentra en la tercera fase y se aplica (desde 2022) a buques de 200 TPM (Toneladas de Peso Muerto) o superiores y el índice de reducción del EEDI se fija en el 50%. (OMI, s.f.)

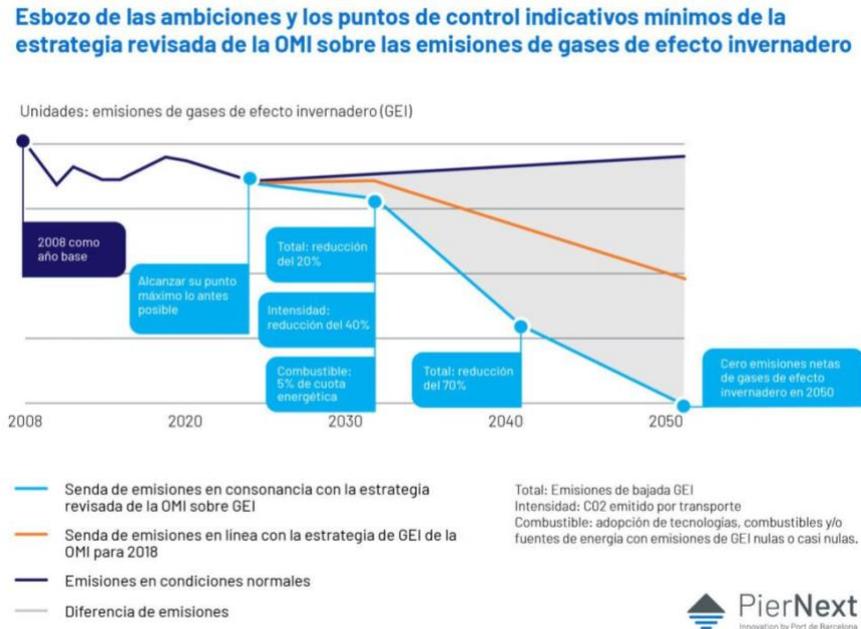
Imagen 18. Requisitos del Índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI).



Fuente: <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Improving%20the%20energy%20efficiency%20of%20ships.aspx>

Otra iniciativa y probablemente la más conocida impulsada por la OMI, es la que tiene como objetivo alcanzar las cero emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes del transporte marítimo para el año 2050. La OMI revisa la estrategia de manera periódica mediante el Comité de protección del medio marino (MEPC) y en la última sesión (MPEC 81) celebrada en marzo de 2024 se decidió reducir las emisiones de GEI en al menos un 20% (con el objetivo de que sea el 30%) para 2030, y el 70% (con el objetivo de que sea el 80%) en 2040. (OMI, s.f.)

Gráfico 8. Esbozo de las ambiciones y los puntos de control indicativos mínimos de la estrategia revisada de la OMI sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.



Fuente: <https://piernext.portdebarcelona.cat/logistica/cuatro-enfoques-para-regular-la-descarbonizacion-del-transporte-maritimo-omi-ue-usa-y-china/>

→ Convenio MARPOL

El Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques o MARPOL es el principal tratado internacional que tiene como objetivo de minimizar la contaminación del medio marino, tanto por contaminación accidental como por factores de funcionamiento ordinarios. El convenio MARPOL fue adoptado en 1973 en la sede de la OMI, sin embargo, en 1978 fue modificado por un nuevo protocolo y conforme han ido pasando los años se han añadido otro protocolo más (1997) y seis anexos. Cada uno de los seis anexos aborda diferentes formas de contaminación: (Laterrade, 2021)

Tabla 3. Los seis anexos del convenio MARPOL

Anexo 1 (Entrada en vigor: 2 de octubre de 1983)	Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos
Anexo 2 (Entrada en vigor: 2 de octubre de 1983)	Reglas para prevenir la contaminación por sustancias líquidas nocivas transportadas a granel
Anexo 3 (Entrada en vigor: 1 de julio de 1992)	Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos
Anexo 4 (Entrada en vigor: 27 de septiembre de 2003)	Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques
Anexo 5 (Entrada en vigor: 31 de diciembre de 1988)	Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por las basuras de los buques

Anexo 6 (Entrada en vigor: 19 de mayo de 2005)	Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques
---	---

Fuente: Elaboración propia

En convenio MARPOL ha sido y es fundamental para la protección de los océanos y la biodiversidad marina, contribuyendo de manera significativa a la reducción de la polución procedente del transporte marítimo y regulando el 99% del tonelaje de la flota mercante mundial. (OMI, s.f.)

6.3 COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

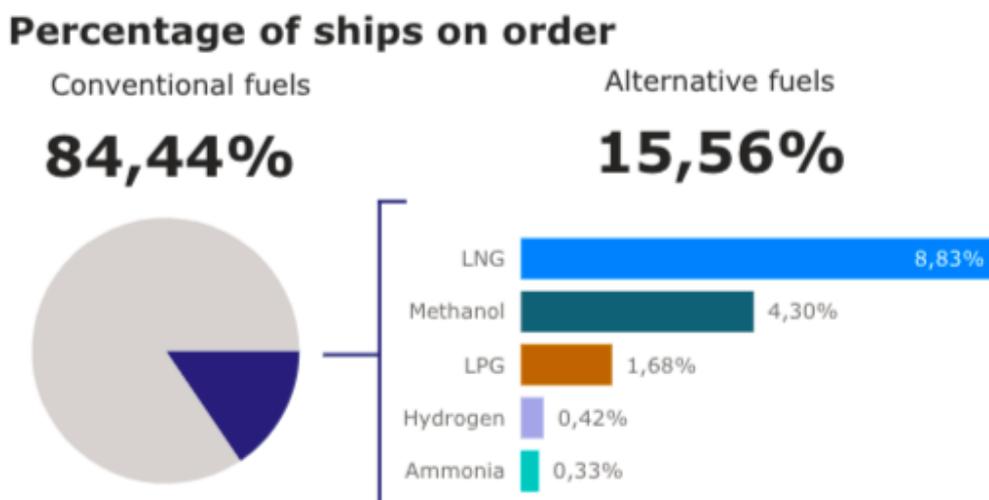
Este punto analiza los diferentes combustibles alternativos para la descarbonización del transporte marítimo a través de tres tipos. Por un lado se describen los combustibles de transición, que ofrecen una reducción parcial de emisiones mientras se desarrollan soluciones más sostenibles. Por otro lado se analizan los biocombustibles, que son combustibles derivados de fuentes orgánicas y con menor impacto ambiental. Finalmente se analizan los combustibles cero emisiones, como el hidrógeno y el amoníaco, que representan el futuro del transporte marítimo totalmente sostenible.

6.3.1 Combustibles de transición

La industria del transporte marítimo se enfrenta a una presión creciente para reducir sus emisiones y a su vez cumplir con las regulaciones medioambientales. En este contexto, los combustibles de transición como el Gas Natural Licuado (GNL) y el Metanol surgen como alternativas más limpias en comparación con los combustibles tradicionales, y a su vez encaminan a la industria hacia un futuro con cero emisiones.

Es importante destacar que el porcentaje de buques en activo propulsados por combustibles alternativos es el 0,73%, no obstante, el porcentaje aumenta considerablemente si se analiza en el número de buques encargados, ya que más del 15% de los buques encargados a los astilleros funcionarán con combustibles alternativos.

Gráfico 9. Porcentaje de barcos encargados con sus respectivos combustibles.



Fuente: <https://futurefuels.imo.org/home/latest-information/fuel-uptake/>

- Gas Natural Licuado (GNL)

El Gas Natural Licuado (GNL) o “*Liquefied natural gas*” (LNG) en inglés, es gas natural que ha sido enfriado a una temperatura de aproximadamente -160°C, lo que lo convierte de un estado gaseoso a un estado líquido. Este proceso denominado “licuefacción” reduce su volumen unas 600 veces, lo que facilita su almacenamiento y transporte a grandes distancias de manera más eficiente y económica. (Diego, 2020)

Es importante destacar que el GNL es un combustible fósil y como tal también produce CO₂, sin embargo, la cantidad de emisiones de dióxido de carbono se reduce entre un 20% y 30% en comparación con el fueloil. De la misma manera se reduce la emisión de óxido de nitrógeno (NO₂) en un 90%, así como la eliminación casi total de óxido de azufre (SO₂) y de partículas en suspensión. (Elorriaga, 2022)

La infraestructura de Gas Natural Licuado (GNL) en España es una de las más desarrolladas en Europa, contando con siete plantas de regasificación ubicadas estratégicamente en Barcelona, Cartagena, Huelva, Gijón, Sagunto, Bilbao y Murgos (Ferrol). Estas instalaciones permiten recibir, almacenar y convertir el GNL en gas natural para su distribución. Además España lidera la Unión Europea en número de puertos habilitados para el bunkering de GNL con 19 puertos. De esta manera se convierte uno de los puertos Hubs más importantes en lo que a gas se refiere ya que cuenta con una amplia red de gasoductos que conectan estas plantas con el resto del país y con Francia, facilitando el suministro energético y la exportación de gas. (Moreno, 2024)

Imagen 19. Mapa de infraestructuras de GNL en España.



Fuente: <https://www.enagas.es/es/transicion-energetica/red-gasista/infraestructuras-energeticas/plantas-regasificacion/#:~:text=En%20Espa%C3%B1a%2C%20la%20compa%C3%B1a%20tiene,Murcia%2C%20Huelva%20y%20Gij%C3%B3n.>

Otro factor para tener en cuenta en la implementación de GNL en el sector del transporte marítimo es el precio. A día de hoy (mayo de 2024), el precio del GNL se sitúa en los 614,29 dólares por tonelada según datos de “Mabux”, plataforma internacional de precios de bunkering para la industria marítima.

Tabla 4. Precio de diferentes combustibles marinos en dólares por tonelada.

Port	LNG \$/mton		MGO LS \$/mton		Date
ARA	614.29	0.00	735.00	+5.00	May 13

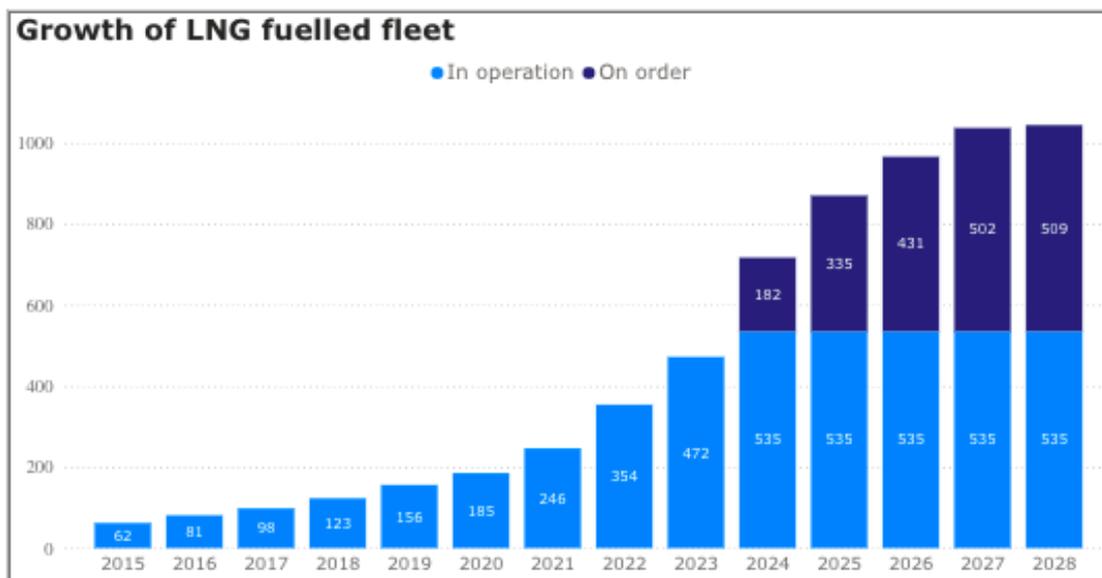
MABUX Global Bunker Index

380HSFO \$/mton		VLS FO \$/mton		MGO LS \$/mton		Date
544.06	-0.20	657.68	+0.88	839.35	+0.80	May 16

Fuente: <https://www.mabux.com/>

En los próximos años, el GNL jugará un papel crucial en el sector del transporte marítimo. La transición hacia combustibles más limpios y sostenibles hace del GNL una de las opciones más atractivas. Se espera un crecimiento significativo en la flota de buques impulsados por GNL, con avances tecnológicos que mejorarán la eficiencia y reducirán costes. Además, la infraestructura global de GNL continuará expandiéndose, con más terminales y estaciones de bunkering.

Gráfico 10. Crecimiento de la flota propulsada por GNL en los próximos años.



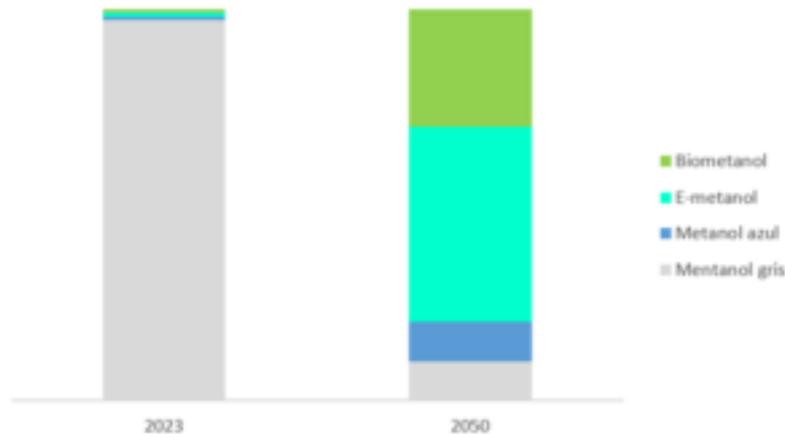
Fuente: <https://futurefuels.imo.org/home/latest-information/fuel-uptake/>

- Metanol

El metanol (CH₃OH) o también conocido como alcohol metílico, es un compuesto químico inflamable y altamente volátil, que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido, lo cual favorece al transporte del mismo sin la necesidad de adaptaciones especiales (al contrario que el GNL). (Lopez, 2023)

El metanol puede clasificarse en diferentes tipos según su método de producción: el metanol gris, el metanol azul y el metanol verde. Actualmente la mayor parte de metanol que se produce es metanol gris, lo que significa que procede de combustibles fósiles, principalmente gas natural. (AIMPLAS, 2023)

Gráfico 11. Proyección a 2050 del % de producción del metanol.



Fuente: <https://www.aimplas.es/blog/metanol-el-motor-para-alcanzar-la-transicion-energetica/>

A pesar de tratarse de un combustible fósil, se considera una alternativa más limpia que los combustibles tradicionales, ya que reduce las emisiones de CO₂ un 25%, las de óxidos de nitrógeno (NO_x) un 60% y casi un 100% las emisiones de óxido de azufre (SO_x) y de partículas. (ANAVE, 2014)

Por otra parte, el metanol verde se produce a partir de energías renovables, por lo que se considera la alternativa más limpia dentro del segmento del metanol, pues comparándolo con los combustibles tradicionales reduce las emisiones de CO₂ un 95% y un 80% las de óxidos de nitrógeno (NO_x) y elimina totalmente las emisiones de óxidos de azufre (SO_x) y de partículas. (Europea, 2022)

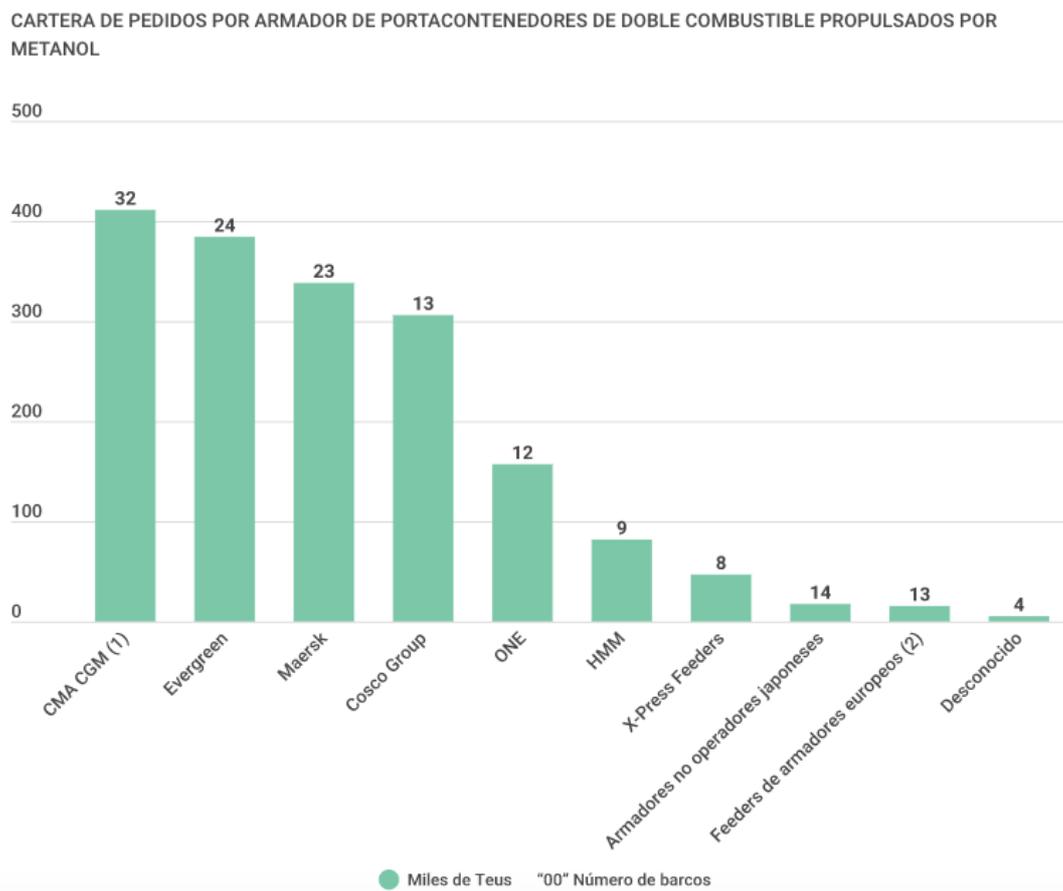
Además de un transporte relativamente fácil y sencillo, el metanol tiene como principal ventaja la compatibilidad con la mayoría de los motores, ocurre lo contrario con el GNL que necesita adaptaciones especiales en los tanques para mantener su estado líquido. (Álvarez, 2022)

En cuanto a las desventajas, el metanol se enfrenta a una serie de desafíos, por una parte la infraestructura global para la distribución de metanol está menos desarrollada que la de otros combustibles alternativos. Por otro lado debido a que el metanol posee una baja densidad energética, requeriría una mayor cantidad de combustible, lo que afectaría al diseño como a la capacidad de carga de los buques. (Lopez, 2023)

Es importante recalcar que la industria marítima está invirtiendo en proyectos para evaluar la viabilidad del metanol como combustible, la naviera Maersk destaca como una de las principales compañías que apuestan por el metanol como combustible alternativo. La naviera danesa ha entrado en la historia por construir el primer buque interoceánico propulsado por metanol verde y fueloil tradicional (mediante un motor de doble combustible). (Carrera, 2024)

Asimismo, Maersk junto con Cepsa están llevando a cabo un proyecto en el cual van a invertir 1.000 millones de euros para construir la mayor planta de metanol verde de Europa. El proyecto se situaría en Huelva posicionando a España como un hub líder en energía sostenible. (Pérez, 2023)

Gráfico 12. Cartera de pedidos por armador de portacontenedores de doble combustible por metanol.



Fuente: <https://elmercantil.com/2024/04/23/las-apuestas-de-los-gigantes-msc-por-el-gas-y-maersk-por-el-metanol/>

6.3.2 Biocombustibles

Los biocombustibles son otra de las opciones para descarbonizar el transporte marítimo, entre los cuales destacan el HVO (aceite vegetal hidrotratado), el biodiésel y el bioetanol, como las opciones más prometedoras. Estos combustibles, producidos a partir de materias primas, no solo ofrecen la posibilidad de reducir las emisiones de carbono, sino que también pueden ser integrados en los sistemas de propulsión existentes con relativa facilidad.

Este apartado explica las características, ventajas y desafíos de la implementación de estos biocombustibles, destacando su potencial para transformar la industria hacia un futuro más sostenible y limpio.

- HVO (Aceite Vegetal Hidrotratado)

El HVO o "Aceite Vegetal Hidrotratado", es un tipo de biocombustible que proviene tanto de aceites vegetales, así como, de grasas animales o aceites de cocina usados.

El HVO es sometido a un proceso de hidrot ratamiento (proceso de refinación a base de hidrógeno) que reduce significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente las emisiones de óxido de azufre (SO₂). (Diesel, s.f.)

Una de las principales ventajas de este combustible es que puede ser utilizado en motores que operan con HFO (Heavy Fuel Oil) y MGO (Marine Gas Oil), además de poder utilizar sus infraestructuras. (Aponte, 2022)

- Biodiesel

Al igual que el HVO, el biodiésel se produce a partir de materia orgánica (fundamentalmente aceites vegetales y grasas animales). La transformación de aceite vegetal a biodiésel ocurre gracias a un proceso denominado “transesterificación”, en el cual se separa la glicerina del aceite mediante el uso de metanol y lejía. (Estévez, 2012)

Imagen 20. El ciclo del biodiésel.



Fuente: <https://www.ecointeligencia.com/2012/05/biodiesel-y-nuestro-medio-ambiente/>

Entre las principales ventajas del biodiesel destaca la reducción de GEI (en concreto CO₂ y SO₂), la compatibilidad con la mayoría de motores diésel, además de potenciar la economía circular. La mayor desventaja a la que se enfrenta el biodiesel es su elevado punto de enturbiamiento, que es la temperatura a la cual un líquido comienza a formar cristales y se vuelve turbio, lo que puede provocar la obstrucción de algunas partes del motor. (Repsol, s.f.)

- Bioetanol

El bioetanol es un combustible producido a partir diferentes tipos de plantas ricas en celulosa, como el maíz o la caña de azúcar, principalmente se utiliza como aditivo o sustituto de la gasolina. Según la Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP) existen dos tipos: Bioetanol de primera generación (fabricado con plantas cultivadas expresamente para su producción) y bioetanol avanzado (procedente de residuos agrícolas). (Repsol, s.f.)

Aunque el bioetanol presenta ventajas como la reducción de emisiones de CO₂ y la generación de energía sin residuos, también tiene varias desventajas cuando se considera su uso en el transporte marítimo: menor densidad energética en comparación

con los combustibles fósiles y mayores dificultades a la hora de compatibilizar los motores. (Deportivos, 2024)

6.3.3 Combustibles cero emisiones

- Amoniaco

El amoníaco (NH_3) es un compuesto químico formado por hidrógeno y nitrógeno, en su estado natural, el amoníaco es un gas incoloro, sin embargo, para poder ser almacenado y transportado se debe transformar a estado líquido (licuefacción) a través de dos métodos: compresión o enfriamiento (-33°C). El amoníaco lleva produciéndose desde hace más de 100 años, principalmente para su uso como fertilizante a base de nitrógeno en la industria agroalimentaria. (Enbridge, 2023)

Alrededor del 90% del amoníaco producido en todo el mundo, se fabrica mediante el proceso denominado "Haber-Bosch". Este proceso fue desarrollado en la década de 1930 por dos científicos alemanes ganadores del premio Nobel y ayudó a crear una industria capaz de producir amoníaco a gran escala. Los casi 100 años de producción a gran escala convierten al amoníaco como uno de los productos químicos más utilizados del mundo y su proceso de almacenaje y transporte está bien consolidado en la industria. (Muñoz, 2022)

Sin embargo, para producir el amoníaco es necesario un proceso de descomposición que requiere una fuente de energía térmica superior a los 600°C , y para la cual normalmente se utilizan combustibles fósiles, lo que genera grandes emisiones de CO_2 . De este modo el amoníaco puede clasificarse en diferentes tipos según su método de producción: amoníaco gris, amoníaco azul y amoníaco verde. (Gonzalez, 2024)

Tabla 5. Diferentes tipos de amoníacos.

Today, ammonia is color-coded by the carbon intensity of production methods. Carbon intensity is the amount of carbon, in the form of carbon dioxide, emitted into the atmosphere during production. The lower the carbon intensity, the more environmentally friendly:

Amoniaco Gris Mayor intensidad de carbono y más común. Utiliza hidrógeno obtenido a partir de combustibles fósiles, principalmente gas natural, y libera CO_2 durante la producción.	Amoniaco Azul Entre un 60% y un 95% menos de emisiones de carbono que el Gris. Utiliza hidrógeno elaborado de la misma manera que el Gris, pero el Azul incluye el proceso de captura y almacenamiento de carbono (CCS), reduciendo significativamente las emisiones.	Amoniaco Verde Intensidad neta de carbono cero. Utiliza hidrógeno producido al dividir las moléculas de agua con electricidad renovable. Green se encuentra en las etapas iniciales de desarrollo y aún no es viable a escala comercial.
---	---	--

Fuente: <https://www.enbridge.com/projects-and-infrastructure/public-awareness/-/media/9C0FD19B82D649EC9B8BFC9F9F5117F1.ashx>

La producción de amoníaco gris es la más común en la actualidad, se produce a partir de gas natural mediante el proceso Haber-Bosch, donde el gas natural (principalmente metano) se transforma para producir hidrógeno, que luego se combina con el nitrógeno del aire para formar amoníaco.

Como se puede observar en la imagen 21, la producción de amoníaco verde sería la ideal ya que no genera ningún tipo de emisiones ni en el proceso de producción ni en su uso como combustible. Sin embargo, la mayoría de estas tecnologías todavía son demasiado costosas o están en fase experimental, por lo que su implantación en la industria necesitará de más tiempo.

Imagen 21. Ciclo de producción y uso del amoníaco “verde”.

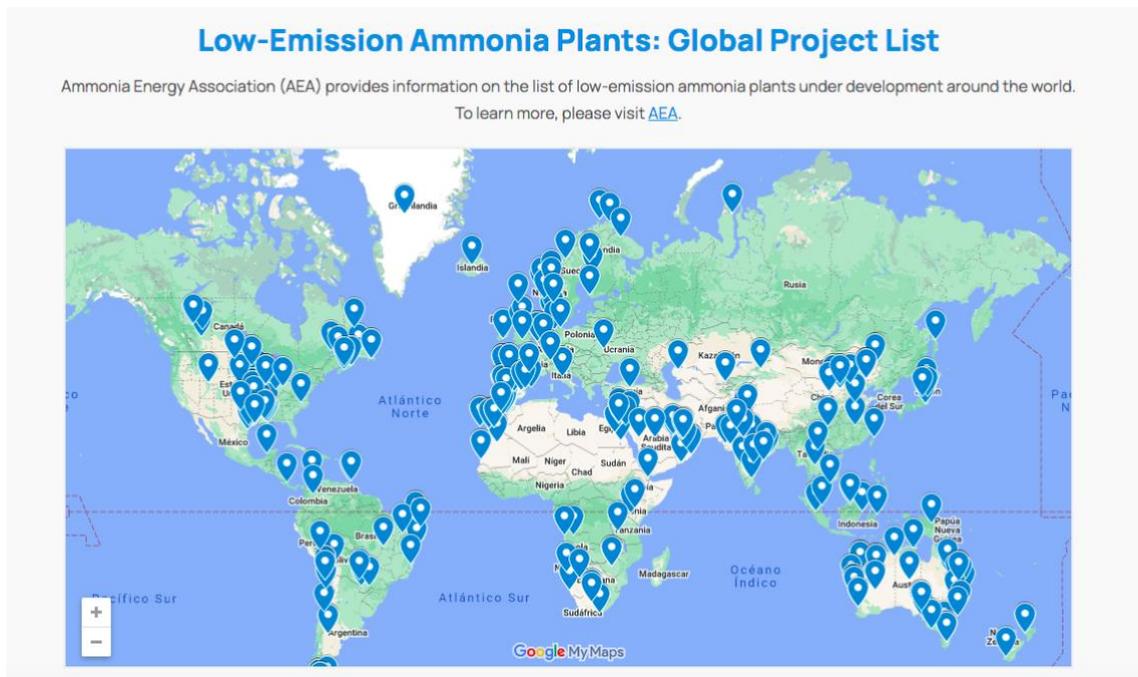


Fuente: <https://www.naucher.com/la-produccion-el-suministro-la-seguridad-y-la-tecnologia-los-retos-del-amoníaco-como-combustible/>

Por otra parte la adopción del amoníaco como combustible alternativo, no está exenta de desafíos y desventajas significativas, entre las cuales destacan: se trata de una sustancia muy tóxica, por lo que es esencial implementar medidas preventivas para proteger tanto a las personas como al medio ambiente, así como las instalaciones que lo almacenan y transportan. Además su densidad energética por unidad de volumen es menor a la del gasoil marino tradicional, lo que significa que para obtener la misma autonomía con el mismo contenido se necesitaría un volumen casi 3 veces superior. (Reyes, 2022)

En lo que respecta al coste de implementar el amoníaco como combustible alternativo, a principios del año 2023 la naviera noruega “Grieg star” publicó un informe en el cual desarrollaba todos los costes que le suponía sustituir el sistema actual de propulsión de uno de sus buques graneleros por un sistema alimentado por amoníaco. El informe arrojó que el coste de la conversión ascendería a 22 millones de dólares, frente a un valor de mercado del propio buque de unos 35. Todo esto unido a la gran incertidumbre sobre la disponibilidad de amoníaco verde a corto plazo y a la falta de una regulación específica sobre el seguro por parte los buques, no favorecen positivamente al uso de amoníaco como combustible verde. (ANAVE, 2023)

Imagen 22. Lista de proyectos globales de plantas de amoniaco verde.



Fuente: <https://futurefuels.imo.org/home/future-insight/alternative-fuels/scalability-and-sustainability/ammonia/>

- Hidrógeno

El hidrógeno (H_2) es uno de los candidatos a convertirse en el principal combustible cero emisiones del transporte marítimo, debido a que es el elemento químico más abundante de la naturaleza, lo convierte en una fuente de energía prácticamente inagotable. El hidrógeno lleva estando presente en la industria desde principios del siglo XIX, ya que ha sido utilizado como combustible en diferentes medios de transporte como coches, camiones o incluso naves espaciales. (Iberdrola, s.f.)

A diferencia de los combustibles tradicionales, la combustión del hidrógeno solo emite vapor de agua, sin embargo y al igual que ocurre con el amoniaco, su producción no es neutra y dependiendo de que fuentes se utilicen para su elaboración se clasifican en tres tipos principalmente: hidrógeno gris, hidrógeno azul e hidrógeno verde.

Tabla 6. Tipos de hidrógeno según la tecnología empleada en su producción.

El pantoneo del hidrógeno

Tipos según la tecnología empleada en su producción

Autor: Álvaro Merino (2022)
 *El hidrógeno amarillo también puede referirse a aquel que es generado con fuentes mixtas

	NEGRO	MARRÓN	GRIS	AZUL	TURQUESA	ROSA	VERDE	AMARILLO	BLANCO
Fuente de energía 	Carbón bituminoso	Lignito	Hidrocarb. (gas natural principalmente)	Hidrocarb. (gas natural)	Hidrocarb. (gas natural)	Energía nuclear	Renovables	Energía solar*	Presente de por sí en la naturaleza
Proceso más usado 	Gasificación de carbón	Gasificación de carbón	Extracción con vapor (reformado)	Extracción con vapor	Pirólisis (descomposición mediante calor)	Electrólisis (separación mediante electricidad)	Electrólisis	Electrólisis	En exploración
Emisiones asociadas 	Muy altas	Muy altas	Altas	Medias (incluye sistemas de captura de carbono)	Bajas (carbono sólido, sin CO ₂)	Bajas	Bajas o nulas	Bajas o nulas	Nulas
	Tipos que emplean combustibles fósiles			El hidrógeno gris y azul son los más producidos en la actualidad		El hidrógeno rosa, verde y amarillo son los más eficientes y factibles de desarrollar a medio plazo			



Fuente: <https://elordenmundial.com/mapas-y-graficos/tipos-hidrogeno/>

Por una parte se encuentra el hidrógeno gris, que se obtiene a partir del gas natural mediante un proceso que emite enormes cantidades de dióxido de carbono. Actualmente más del 90% del hidrógeno producido a nivel mundial es gris, principalmente porque es el método más económico de producción. Por otra parte, el hidrógeno azul se obtiene de la misma forma, pero capturando y almacenando parte del CO₂ emitido. A pesar de ser una alternativa más limpia sigue dependiendo de los combustibles fósiles. (clima, 2023)

Por último, el hidrógeno verde, que se obtiene mediante un proceso denominado “electrólisis del agua”, que consiste en la separación del hidrógeno del oxígeno. Esta “electrólisis” se realiza con energía procedente de fuentes renovables, lo que hace que el proceso sea el más sostenible y a su vez el más costoso. (Iberdrola, s.f.)

Imagen 23. Diferencias entre los procesos de producción del hidrógeno verde y azul.



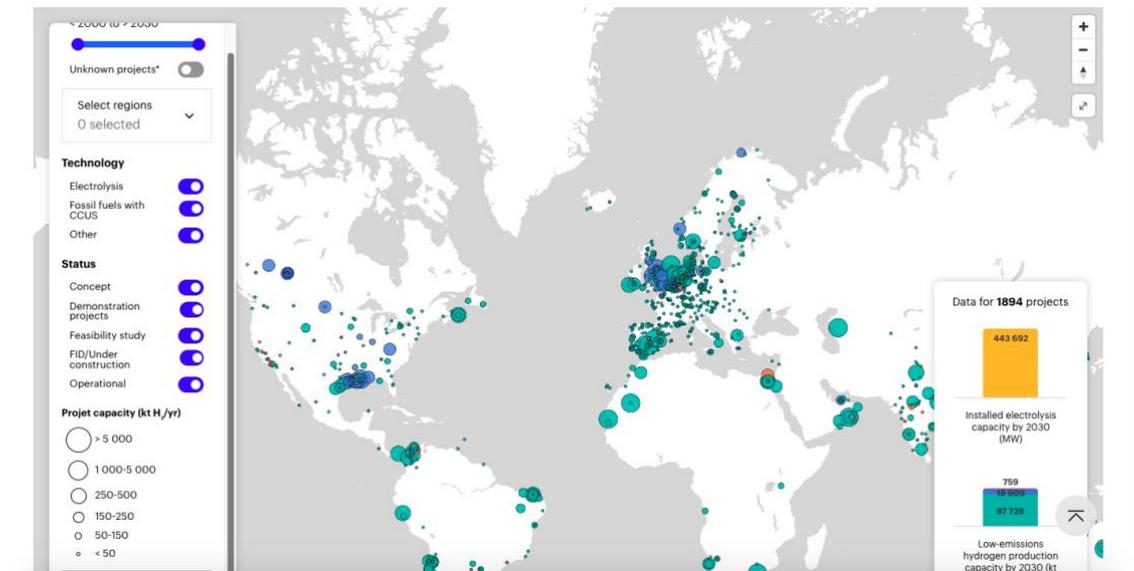
Fuente: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/diferencia-hidrogeno-verde-azul>

Entre las principales ventajas del hidrógeno como combustible alternativo destacan: 100% de sostenibilidad en el caso del hidrógeno verde, además de su gran versatilidad y facilidad a la hora de almacenarse. Por el contrario, el hidrógeno también tiene aspectos negativos: elevado coste, muy inflamable y mayor gasto energético durante su combustión en comparación con otros combustibles. (Iberdrola, s.f.)

Actualmente España está desarrollando una infraestructura de hidrógeno para posicionarse como líder a nivel mundial en la transición hacia energías limpias y sostenibles. El país cuenta con recursos naturales abundantes y una creciente capacidad de energías renovables, lo que facilita principalmente la producción de hidrógeno verde. (Giménez, 2019)

Entre los principales proyectos destaca la planta de hidrógeno verde que Iberdrola ha instalado en Puertollano (Ciudad Real), convirtiéndose en la mayor fábrica de hidrógeno verde de Europa. Como se puede observar en la imagen 24, tan solo Reino Unido y los países de la zona nórdica superan a España a nivel de infraestructura de hidrógeno en Europa.

Imagen 24. Mapa de los proyectos de hidrógeno a nivel internacional.



Fuente: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/hydrogen-production-projects-interactive-map>

7. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha expuesto la importancia del transporte marítimo, crucial para el comercio internacional y la economía global, desempeñando un papel vital en la conexión de mercados y facilitando el intercambio de bienes a gran escala. En primer lugar el análisis de los diferentes tipos de buques ha permitido comprender la diversidad de la flota marítima actual y su especialización según las necesidades del mercado, así como conocer la corriente de los últimos años del gigantismo especialmente en los buques portacontenedores. Asimismo conocer la historia del contenedor y sus principales tipos ha ayudado a comprender la importancia de estandarizar el transporte de mercancías no solo para favorecer a la intermodalidad sino también para mejorar la eficiencia operativa.

Uno de los factores a tener en cuenta son los incoterms que facilitan de manera clara y transparente las transacciones comerciales de todo tipo, así como, evitar problemas logísticos. No obstante, es importante destacar que las reglas de Hamburgo (1978) continúan siendo las principales directrices que regulan el transporte marítimo a nivel internacional, pese a que en 2008 las Naciones Unidas firmarán las reglas de Rotterdam que a día de hoy aún siguen sin estar ratificadas.

Otro de los factores a tener muy en cuenta es el apartado seis, en cual hemos analizado como la situación actual del sector del transporte marítimo está profundamente influenciado por tres sucesos de la actualidad. Por una parte el cambio de rutas debido a los conflictos bélicos ha incrementado los costes y tiempos de transporte, lo cual se ha visto afectado en los precios de mercado.

Por otro lado, la sequía del Canal de Panamá ha resaltado la vulnerabilidad de las principales rutas marítimas frente los climas extremos. La escasez de lluvia ha obligado a las navieras a buscar alternativas, evidenciando de esta manera la importancia de saber adaptarse en un sector tan expuesto a las condiciones climáticas como es el transporte marítimo.

Del análisis de las diferentes alternativas para la descarbonización del sector situada en séptimo apartado se desprende que a pesar de los avances tecnológicos y operativos, el transporte marítimo sigue siendo un emisor significativo de gases de efecto invernadero y se incurre en la necesidad de reducir estas emisiones para cumplir con los objetivos climáticos internacionales.

Gracias a la comparación de los diferentes combustibles alternativos se puede concluir que, a día de hoy, la opción más favorable es el amoníaco, ya que, si se produce a partir de fuentes renovables (amoníaco verde), no genera emisiones de gases perjudiciales. Además, es un compuesto químico que cuenta con numerosas aplicaciones, pudiendo incluso utilizarse para transportar hidrógeno de manera más segura y eficiente. Sin embargo, la alternativa más viable a corto plazo es el Gas Natural Licuado (GNL), ya que, aunque no sea 100% verde, permite reducir las emisiones de NO_x, SO_x y CO₂ así como las partículas en suspensión. Además, España cuenta con la ventaja de ser uno de los países con la mayor y más desarrollada infraestructura de GNL en toda Europa.

8. BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, K. E., 2022. *LA ECONOMÍA DEL METANOL VERDE COMO COMBUSTIBLE. DESARROLLO ACTUAL E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL*, Sevilla: s.n.

2050, E. d. d. a. l. p., 2020. *Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico*. [En línea]
Available at: https://ec.europa.eu/clima/sites/lts/lts_es_es.pdf

AFP, 2023. Transporte marítimo mundial se acerca a una zona de turbulencias. *El economista*, 10 Noviembre.

Aguilar-Vargas, E. A., Romero-Armijos, J. N. & León-Serrano, L. A., 2022. Análisis de la escasez de contenedores en el transporte marítimo a nivel mundial año 2020. *Dominio de las Ciencias*, 28 Enero, 8(1), pp. 1046-1070.

AIMPLAS, 2023. *Blog: Metanol, el motor para alcanzar la transición energética*. [En línea]
Available at: <https://www.aimplas.es/blog/metanol-el-motor-para-alcanzar-la-transicion-energetica/#:~:text= Puede%20mezclarse%20con%20gasolina%20o,veh%C3%ADculo s%20de%20gasolina%20o%20di%C3%A9sel.>

Alcalde, E. M. & Fusco, P. M., 2022. El cambio de paradigma ante la inclusión del transporte marítimo en el sistema europeo de comercio de derechos de emisión. *Oikonomics: Revista de economía, empresa y sociedad*, Mayo, Issue 18, pp. 50-59.

ANAVE, 2014. *Archivos de noticias: Stena Lines primera naviera en transformar un ferry para operar con metanol como combustible*. [En línea]
Available at: <https://anave.es/stena-lines-primera-naviera-en-transformar-un-ferry-para-operar-con-metanol-como-combustible/>

ANAVE, 2018. *Documentos: Reducir a cero las emisiones de CO₂: el «acuerdo de París» para el transporte marítimo*. [En línea]
Available at: https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/2018/tribuna_bia0918.pdf

ANAVE, 2023. *Archivo de noticias: Publican un informe sobre el coste real de la adopción de amoniaco en un buque.* [En línea] Available at: <https://anave.es/publican-un-informe-sobre-el-coste-real-de-la-adopcion-de-amoniaco-en-un-buque/>

Aponte, I. C., 2022. *Estudio e implementación de combustibles alternativos a los tradicionales en el camino hacia la descarbonización del transporte marítimo*, Barcelona: s.n.

Arrillaga, C. A. y J., 2024. Evitar el mar Rojo retrasa 20 días la ruta y encarece un 60% el transporte. *El economista*, 4 Enero.

Caro, R. V., 2015. ¿BARCO O BUQUE? TIPOLOGÍAS DE LOS MISMOS. *Revista general de marina*, 268(5), pp. 663-682.

Carrera, I., 2024. Las apuestas de los gigantes: MSC por el gas y Maersk por el metanol. *El mercantil*, 23 Abril.

clima, M., 2023. 10 claves sobre el hidrógeno para producir energía. *Maldito clima*, 28 Noviembre.

Convenio de las Naciones Unidas sobre el transporte marítimo de mercancías, 1. (. d. H., s.f. *Naciones Unidas.* [En línea] Available at: https://uncitral.un.org/sites/uncitral.un.org/files/media-documents/uncitral/es/hamburg_rules_s.pdf

Crespo, L. T., 2023-2024. *CONDICIONES DE ENTREGA EN LA COMPRAVENTA INTERNACIONAL: INCOTERMS 2020*, s.l.: s.n.

Demográfico, M. p. I. T. E. y. e. R., s.f. *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.* [En línea] Available at: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/la-union-europea.html>

Deportivos, P., 2024. Llega el bioetanol a la náutica gracias a Repsol Marítimo y su apuesta sostenible. *Puertos Deportivos*, 23 Abril.

Diego, Á. R. d., 2020. *“RETROFIT DE UN MOTOR MARINO CONVENCIONAL A UN MOTOR DUAL”*, s.l.: s.n.

Diesel, S., s.f. *Motores marinos: Potencia marina con HVO: un combustible sostenible para un futuro más verde.* [En línea] Available at: <https://www.solediesel.com/es/combustible-sostenible-hvo-aceite-vegetal-en-propulsion-marina>

Dorta-González, P., 2014. *TRANSPORTE Y LOGÍSTICA INTERNACIONAL.* [En línea] Available at: https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/11886/4/Transporte_logistica_internacional.pdf

Elorriaga, J. C. G., 2022. GNL para la descarbonización del transporte marítimo. *Gas actual*, Enero/Marzo, Issue 162, pp. 42-45.

Enbridge, 2023. *Amoniaco*, s.l.: s.n.

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE MARÍTIMO Y DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR

Estado, P. d., s.f. *Puertos del Estado*. [En línea]
Available at: <https://www.puertos.es/es-es/medioambiente/Paginas/Agenda2030.aspx>
Estévez, R., 2012. Biodiésel y nuestro Medio Ambiente. *ECO Inteligencia*, 22 Mayo.
Europea, C., 2021. *Comisión Europea*. [En línea]
Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/qanda_21_6685

Europea, C., 2022. *Avances científicos: El metanol verde al rescate de la industria del transporte*. [En línea]
Available at: <https://cordis.europa.eu/article/id/441972-green-methanol-to-the-transport-industry-s-rescue/es>

Europea, C. d. I. U., 2023. *Comunicado de prensa: Iniciativa «FuelEU Maritime»: el Consejo adopta un nuevo Reglamento para descarbonizar el sector marítimo*. [En línea]
Available at: <https://www.consilium.europa.eu/es/press/press-releases/2023/07/25/fueleu-maritime-initiative-council-adopts-new-law-to-decarbonise-the-maritime-sector/>

Europea, C. d. I. U., 2024. *Consejo de la Unión Europea*. [En línea]
Available at: <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/fit-for-55-refueleu-and-fueleu/#0>

Europeo, P., 2019. *Cambio climático: Emisiones de aviones y barcos: datos y cifras (infografía)*. [En línea]
Available at: <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20191129STO67756/emisiones-de-aviones-y-barcos-datos-y-cifras-infografia>

Fernández, I. d. R., 2023. Las condiciones de entrega en el comercio exterior español. *Estudios de Economía Aplicada*, Enero, 31(1), pp. 1-24.

Giménez, J. C., 2019. La hora del hidrógeno verde. *Gas actual*, Volumen 153, pp. 24-30.

Gonzalez, F., 2024. AVANCES TECNOLÓGICOS EN EL AMONIACO COMO COMBUSTIBLE. *Es hidrógeno*, 19 Marzo.

Graham, J. N. y. P., 2023. Tarifas de transporte marítimo: ascenso y caída. *Funds Society*, 14 Diciembre.

Gómez, E., s.f. *contenedoresmaritimos.eu*. [En línea]
Available at: <https://contenedoresmaritimos.eu/historia-del-transporte-maritimo/>

Iberdrola, s.f. *Nuestra actividad: La importancia de los colores del hidrógeno*. [En línea]
Available at: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/diferencia-hidrogeno-verde-azul>

Iberdrola, s.f. *Sostenibilidad: El hidrógeno verde: una alternativa para reducir las emisiones y cuidar nuestro planeta*. [En línea]
Available at: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>

“El transporte marítimo: indispensable para el mundo”, s. c. I. d. D. m. d. 2., 2015. *OMI*. [En línea]

Available at: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/47-WMD-theme-2016-.aspx>

Issa, M., Ilinca, A. & Martini, F., 2022. Ship Energy Efficiency and Maritime Sector Initiatives to Reduce Carbon Emissions. *Energies*, 15(21), p. 7910.

Juárez, C., 2023. Sequía del Canal de Panamá retrasará envío de cereales en 2024. *The Logistics World*, 28 Diciembre.

KINDELÁN, C. G., 2023. El Ártico, un frío objeto de deseo para las potencias mundiales que se pelearán por sus rutas marítimas cuando desaparezca el hielo. *20 Minutos*, 11 Junio.

Laterrade, R. V., 2021. Reflexiones sobre el Convenio Internacional para prevenir la contaminación por Buques (MARPOL). Efectos de la pandemia en su aplicabilidad. *Revista Jurídica Crítica y Derecho*, Julio-Diciembre, 2(3), pp. 90-104.

Logístico, E. C. M. y., 2023. La industria marítima teme que la crisis en el Mar Rojo desajuste el mapa de contenedores vacíos. *El Canal Marítimo y Logístico*, 29 Diciembre.

Lopez, P. G., 2023. *DESCARBONIZACION DEL TRÁFICO MARÍTIMO: ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES OPCIONES*, s.l.: s.n.

Martínez, A. S., 2021. Malcom McLean, el padre de los contenedores que revolucionó el transporte marítimo y la economía mundial. *El economista*, 18 Diciembre.

Mauvecin, M., 2020. Escenario del Transporte Marítimo Internacional en el Contexto de la Pandemia Covid-19. *INNOVA UNTREF. Revista Argentina De Ciencia Y Tecnología*.

McDonald, P. M. y. M. D., 2024. Salvar el Canal de Panamá llevará años y costará miles de millones (si es que es posible). *Social Investor*, 5 Enero.

Mercantil, E., 2023. Evolución de la capacidad de transporte marítimo de contenedores. 24 Noviembre.

Moncloa, L., 2024. La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: ¿qué son y para qué sirven?. *La Moncloa*, 6 Mayo.

Monteagudo, P. A. E., 2022. Los ODS y el transporte marítimo en México: el marco legal internacional para alcanzar las metas del ODS 3 buena salud y del ODS 13 acción por el clima. *REVISTA DE LA FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIAS POLÍTICAS*, Enero-Junio, 52(136), pp. 24-38.

Montenegro, M. R., 2018. *Transporte en contenedores*. [En línea] Available at: <https://docplayer.es/88315182-Transporte-en-contenedores.html>

Moraleda, M. G., 2015. *Guía para el trincaje y sistema de carga de un buque Ro-Ro en una línea regular*. [En línea] Available at: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7499/Mar%C3%ADa%20Gonz%C3%A1lez%20Moraleda.pdf>

ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DEL TRANSPORTE MARÍTIMO Y DESCARBONIZACIÓN DEL SECTOR

Moreno, Á., 2024. España se 'pasa de frenada' con el GNL: "La desproporcionada infraestructura será una desventaja estratégica". *El economista*, 21 Febrero.

MundoMarítimo, 2023. Líneas navieras y el insalvable problema del exceso de capacidad. *Mundo Marítimo*, 16 Octubre.

Muñoz, J. L. A. C., 2022. *EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRANSPORTE MARITIMO DE HIDRÓGENO EN ESTANQUES HACIA MERCADOS ENERGÉTICOS*, Santiago de Chile: s.n.

NAUCHER, R., 2024. Ucrania consigue exportar 13 millones de toneladas de materia prima a través de su corredor del mar Negro. *Naucher Global*, 5 Enero.

Nicoll, A., 2021. Una revolución en los combustibles marinos: cinco características de comportamiento. *Oil spill response*, 3 Mayo.

OMI, 2019. *Sala de prensa: OMI 2020: el límite de azufre en el combustible entra en vigor el 1 de enero.* [En línea] Available at: [https://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/34-IMO-2020-sulphur-limit-.aspx#:~:text=20%20diciembre%202019-.OMI%202020%3A%20el%20%20C3%ADmite%20de%20azufre%20en%20el%20combustible%20entra,vigor%20el%201%20de%20enero&text=A%20partir%20del%201%20de,3%2C50%25%20actual\).](https://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/34-IMO-2020-sulphur-limit-.aspx#:~:text=20%20diciembre%202019-.OMI%202020%3A%20el%20%20C3%ADmite%20de%20azufre%20en%20el%20combustible%20entra,vigor%20el%201%20de%20enero&text=A%20partir%20del%201%20de,3%2C50%25%20actual).)

OMI, s.f. *Lo que hacemos: Prevención de la contaminación.* [En línea] Available at: <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Pollution-Prevention.aspx>

OMI, s.f. *OMI.* [En línea] Available at: <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/Technical-and-Operational-Measures.aspx>

OMI, s.f. *Sala de prensa: La labor de la OMI para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.* [En línea] Available at: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>

Panamá, A. a. l. s. a. c. d., 2023. *National Geographic.* [En línea] Available at: https://www.nationalgeographic.com.es/medio-ambiente/asi-afecta-sequia-canal-panama_20670

Pérez, A., 2023. Cepsa y Maersk invertirán 1.000 millones en la mayor planta de metanol verde de Europa. *El economista*, 1 Diciembre.

Ramos, M. F., 2016. *Estiba y trincaje del buque portacontenedores Veronica B.* [En línea] Available at: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/3151/ESTIBA%20Y%20TRINCAJE%20DEL%20BUQUE%20PORTACONTENEDORES%20VERONICA%20B.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Repsol, s.f. *Movilidad sostenible: Un combustible de automoción renovable, limpio y de origen natural.* [En línea]

Available at: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/biodiesel/index.cshtml#:~:text=El%20biodi%C3%A9sel%20es%20un%20combustible,aceites%20vegetales%20o%20grasas%20animales>).

Repsol, s.f. *Movilidad sostenible: Una alternativa renovable como combustible de origen agrícola*. [En línea]

Available at: <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/movilidad-sostenible/bioetanol/index.cshtml>

Reyes, J. M. Á., 2022. "ANÁLISIS DE IMPLEMENTACIÓN DE AMONÍACO COMO COMBUSTIBLE PARA LA PROPULSIÓN DE BUQUES MERCANTES", s.l.: s.n.

Rojas, J. A. G., 2019. *LA CARGA PROYECTO EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO*. [En línea]

Available at: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/43793/TFM001312.pdf?sequence=1>

Ruiz, F. J. C., 2021. *Graneles Sólidos*. [En línea]

Available at: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1855/course/section/1477/02GranelesSolidosv2022.pdf>

Sánchez, Ó. L., 2020. *Análisis de la operativa del buque petrolero y diseño de la zona de carga*. [En línea]

Available at: [file:///Users/Ricardo/Downloads/159433_An%C3%A1lisis%20de%20la%20operativa%20del%20buque%20petrolero%20y%20dise%C3%B1o%20de%20la%20zona%20de%20carga%20\(1\).pdf](file:///Users/Ricardo/Downloads/159433_An%C3%A1lisis%20de%20la%20operativa%20del%20buque%20petrolero%20y%20dise%C3%B1o%20de%20la%20zona%20de%20carga%20(1).pdf)

Segura, C. L. G. d., 2010. LAS REGLAS DE ROTTERDAM (I). *Cuadernos de derecho transnacional*, Enero.pp. 165-185.

Shaw, A., Blaxekjær, L., Spiegelenberg, F. & Leitão, A. M., 2022. *Descarbonizar el transporte marítimo garantizando una transición equitativa*, s.l.: s.n.

Sputnik, 2023. Putin dice que la eficiencia de la ruta marítima del Norte supera la del canal de Suez. *Diario Digital Nuestro País*, 18 Diciembre.

suministro, L. m. c. p. o. l. c. d., s.f. *Fulfillment Hub USA*. [En línea]

Available at: <https://fulfillmenthubusa.com/logistica-maritima-claves-para-optimizar-la-cadena-de-suministro/>

Velasco, L., 2023. *La Razón*. [En línea]

Available at: https://www.larazon.es/andalucia/cadiz/asi-portacontenedores-mas-grande-mundo-que-llegado-algeciras_20230605647df3bca7fe8d0001d4cddf.html

XIX, H. L. b. d. v. y. l. p. e. e. s., 2018. *Puertocanarias*. [En línea]

Available at: <https://puertocanarias.com/es/node/960>