



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

TRABALLO DE FIN DE GRAO

**“TRANSICIÓN GLOBAL CARA
COMBUSTIBLES MARIÑOS SOSTIBLES
POR MEDIO DO GAS NATURAL
LICUADO”**

MÁSTER EN “NÁUTICA E TRANSPORTE MARÍTIMO”

ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA E MÁQUINAS

XUÑO – 2023

AUTOR: MIGUEL ÁNGEL FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

DIRECTOR: JULIO LOURO RODRÍGUEZ



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE
NÁUTICA E MÁQUINAS

RESUMO

Pese a ser o medio de transporte de mercancías menos contaminante e máis respetuoso co medio ambiente, a día de hoxe o transporte marítimo continúa utilizando combustibles fósiles, principalmente fuel e gasoil, como fonte principal de alimentación na combustión dos motores dos buques. Orixínase nesta combustión a emisión de diversos gases contaminantes que son liberados á atmosfera, contribuíndo así tanto ao efecto invernadoiro e á contaminación do medio ambiente en xeral, coma á do medio mariño en particular.

Para facer fronte a esta problemática, puxéronse en marcha, por medio do consenso e cooperación internacional, diferentes acordos e iniciativas co fin de previr e minimizar os efectos da contaminación atmosférica orixinada polos buques e, á súa vez, limitar o contido de azufre nos combustibles empregados.

Co fin de comprender esta evolución, faise referencia aos distintos tipos de combustibles alternativos cos que combater este problema e acadar os criterios establecidos polas diferentes lexislacións dende que se comezou a regularizar o contido de xofre nos combustibles utilizados a bordo por medio da Directiva 93/12/CEE do Consello das Comunidades Europeas e ata o momento actual, no que a utilización de novos combustibles de baixas emisións é xa unha realidade, ao igual que o é o auxe dunha industria que poida cubrir as necesidades orixinadas en torno a esta transformación.

Tras a exposición dos diferentes tipos de combustibles orientados á descarbonización do transporte marítimo e o desenvolvemento da normativa aplicable, procederase coa exposición dos diferentes aspectos relacionados coa implantación no sector marítimo do considerado como o combustible alternativo máis factible en termos de madurez tecnolóxica e dispoñibilidade: o Gas Natural Licuado (GNL). Unha solución intermedia que ten coma principal obxectivo encamiñar á industria cara alternativas de cero emisións coas que acadar a total descarbonización do sector.

Por último, expóranse os principais proxectos internacionais e nacionais levados a cabo

ata o momento, así coma os que se encontran en desenvolvemento na actualidade, e que servirán para representar a evolución e o futuro dos combustibles alternativos na industria do transporte marítimo.

RESUMEN

Pese a ser el medio de transporte de mercancías menos contaminante y más respetuoso con el medio ambiente, a día de hoy el transporte marítimo continúa utilizando combustibles fósiles, principalmente fuel y gasoil, como fuente principal de alimentación en la combustión de los motores de los buques. Se origina en esta combustión la emisión de diversos gases contaminantes que son liberados a la atmósfera, contribuyendo así tanto al efecto invernadero y a la contaminación del medio ambiente en general, como al medio marino en particular.

Para hacer frente a esta problemática, se pusieron en marcha, por medio del consenso y cooperación internacional, diferentes acuerdos e iniciativas a fin de prevenir y minimizar los efectos de la contaminación atmosférica originada por los buques y, a su vez, limitar el contenido de azufre en los combustibles empleados.

A fin de comprender esta evolución, se hace referencia a los distintos tipos de combustibles alternativos con los que combatir este problema y alcanzar los criterios establecidos por las diferentes legislaciones desde que se comenzó a regularizar el contenido de azufre en los combustibles utilizados a bordo por medio de la Directiva 93/12/CEE del Consejo de las Comunidades Europeas hasta el momento actual, en el que la utilización de nuevos combustibles de bajas emisiones es ya una realidad, al igual que lo es el auge de una industria que pueda cubrir las necesidades originadas en torno a esta transformación.

Tras la exposición de los diferentes tipos de combustibles orientados a la descarbonización del transporte marítimo y al desarrollo de la normativa aplicable, se procederá con la exposición de los diferentes aspectos relacionados con la implantación en el sector marítimo del considerado como el combustible alternativo más factible en

términos de madurez tecnológica y disponibilidad: el Gas Natural Licuado (GNL). Una solución intermedia que tiene como principal objetivo encaminar a la industria hacia alternativas de cero emisiones con las que conseguir la total descarbonización del sector.

Por último, se expondrán algunos ejemplos de los principales proyectos internacionales y nacionales llevados a cabo hasta el momento en relación al GNL, así como los que se encuentran en desarrollo en la actualidad, y que servirán para presentar la evolución y el futuro de los combustibles alternativos en la industria del transporte marítimo.

ABSTRACT

Despite being the least least polluting and most environmentally friendly way of transporting goods, nowadays maritime transport continues to use fossil fuels, mainly fuel and diesel, as the main source of power in the combustion of ship engines. This combustion generates several polluting gases that are emitted into the atmosphere and contribute both to the greenhouse effect and to the pollution of the environment in general, as well as the marine environment in particular.

To combat this problem, different agreements and initiatives were put into operation, through consensus and international cooperation, in order to prevent and minimize the effects of air pollution caused by ships and, in turn, limit the sulfur content in the fuels used.

In order to understand this evolution, reference is made to the different types of alternative fuels with which to combat this problem and achieve the criteria established by the different legislations since the sulfur content in the fuels used onboard began to be regulated by means of Directive 93/12/EEC of the Council of the European Communities up to the present time, in which the use of new low-emission fuels is already a reality, as is the growth of an industry that can cover the needs originating around to this transformation.

After exposing the different types of fuels oriented towards the decarbonisation of

maritime transport and the development of the applicable regulations, we will proceed with the exposition of the different aspects related to the implementation in the maritime sector of what is considered the most feasible alternative fuel in terms of technological maturity and availability: Liquefied Natural Gas (LNG). An intermediate solution whose main objective is to guide the industry towards zero emission alternatives with which to achieve the total decarbonisation of the sector.

Finally, some examples of the main international and state projects carried out so far in relation to LNG will be presented, as well as those that are currently under development, and which will serve to present the evolution and future of fuel alternatives in the shipping industry.

ÍNDICE XERAL DE CONTIDOS

RESUMO.....	3
1. OBXECTO DO TRABALLO.....	8
2. PROBLEMÁTICA DERIVADA DA UTILIZACIÓN DOS COMBUSTIBLES FÓSILES.....	9
3. NORMATIVA	14
3.1. Evolución	14
3.2. Enmendas e resolucións a considerar	16
3.3. Plans de acción nacionais	18
3.4. Futuro.....	20
4. ALTERNATIVAS PARA ACADAR A DESCARBONIZACIÓN DO TRANSPORTE MARÍTIMO.....	21
4.1. Combustibles alternativos: Clasificación e características.....	21
4.1.1. De transición.....	22
4.1.2. De cero emisións.....	24
4.2. Torre de lavado de gases: <i>Scrubber</i>.....	30
5. IMPLANTACIÓN DO GNL NO SECTOR MARÍTIMO	33
5.1. Impacto Medioambiental	34
5.2. Impacto económico.....	36
5.3. Normativa GNL	38
5.4. Desenvolvemento da industria gasística cara o establecemento do GNL como combustible mariño.....	42
5.5. Cadea loxística asociada ao suministro de GNL como combustible ..	43
5.5.1. Instalacións de almacenamento e regasificación.....	45
5.5.2. Bunkering	47
6. PROXECTOS INTERNACIONAIS E NACIONAIS	51
7. CONCLUSIÓNS.....	54
8. BIBLIOGRAFIA E REFERENCIAS	55
9. DEFINICIÓNS, ABREVIATURAS E SIMBOLOS.....	60
10. INDICE DE TABOAS	62
11. INDICE DE FIGURAS	62

1. OBXECTO DO TRABALLO

O principal obxectivo deste traballo é dar a coñecer a gran influencia que ten a industria do transporte marítimo na sostibilidade do noso planeta e recoñecer os esforzos levados a cabo pola comunidade internacional para previr e tentar erradicar o problema da contaminación atmosférica e oceánica derivada da combustión dos motores dos buques, fomentando o desenvolvemento de medidas e tecnoloxías que se atopan en constante evolución. O traballo, pese a abordar a problemática existente e as diferentes opcións utilizadas na actualidade para facerlle fronte, enfocarase na opción alternativa que actualmente se considera como o fío conductor entre os combustibles convencionais, e máis empregados ata o momento, e os combustibles cos que se espera lograr acadar a emisión neutra de gases de efecto invernadoiro derivada da navegación comercial.

Como obxectivo secundario, e máis persoal, a intención deste traballo é indagar sobre a repercusión medioambiental, pero tamén a nivel operativo, que exercen os combustibles no sector marítimo. Polo que pretendo levar a cabo un estudo co que obter, pola miña parte, un coñecemento máis sólido sobre un dos aspectos da navegación que inflúe directamente tanto na rentabilidade operacional dun buque coma na sostibilidade do planeta, e sobre o que se deben tomar decisións durante o desenvolvemento da actividade profesional a bordo. Por outra banda, preténdese que este traballo, ademáis de coñecemento e aprendizaxe, aporte concienciación tamén ao lector, sobre un dos principais factores de contaminación desta industria.

2. PROBLEMÁTICA DERIVADA DA UTILIZACIÓN DOS COMBUSTIBLES FÓSILES

A mediados do s. XIX, e da man da Revolución Industrial, aparecen os combustibles fósiles como recurso enerxético, pasando a ser a principal fonte de abastecemento da demanda mundial de enerxía ata o momento actual.

Trátase do Carbón, o Petróleo e o Gas Natural, os cales proceden de restos orgánicos con milleiros de anos de antigüidade que precisaron dun longo proceso de formación. A súa reposición conleva dun gran periodo de tempo, polo que as reservas destes combustibles teñen data de caducidade. Por iso se lles denomina “Enerxías non renovables”. Ademais, outro dos factores negativos é que os residuos xerados durante os procesos de extracción, produción dos seus derivados ou consumo destes combustibles, dan lugar á contaminación do chan e da auga, pero tamén da atmosfera por mor da emisión de gases e partículas contaminantes entre os que se encontran os gases de efecto invernadoiro (GEI), que tamén son liberados á mesma como produto destas operacións e que teñen a capacidade de reter o calor da atmosfera, favorecendo así ao quentamento global. Procesos, polo tanto, que contribúen ao cambio climático e dan lugar ao deterioro da calidade do aire, o que tamén pode derivar en graves consecuencias para a saúde humana e o medio ambiente. Principalmente trátase dos gases:

- › **Dióxido de Carbono (CO₂)**, principal responsable do efecto invernadoiro;
- › **Óxidos de Nitróxeno (NO_x)**, os cales orixinan a chuvia ácida e dan lugar tamén ao denominado *smog fotoquímico*¹, moi perxudicial para a saúde humana.
- › **Óxidos de Xofre (SO_x)** que, ao igual que o NO_x, tamén é provocador da chuvia ácida e ocasiona graves consecuencias á saúde humana; ou
- › **Materia particulada**, dañina para a saúde humana e potenciadora de que se orixinen as reaccións entre gases na atmosfera, dando lugar a produtos contaminantes.

¹ Resultado das reaccións orixiadas na atmosfera entre óxidos de nitróxeno, compostos orgánicos e oxidantes baixo influencia da radiación solar.

Por tanto, cada etapa da cadea de suministro de combustibles fósiles, dende a extracción e o transporte ata o seu refinamento e queima, orixina importantes custos de carácter climático, medioambiental e de saúde que se reflexan en aspectos coma:

- **Quecemento da atmosfera:** Por mor do exceso de calor retido na mesma por medio dos gases de efecto invernadoiro, os cales impiden que a enerxía calorífica do sol retorne ao espazo, afectando así tanto á variación climática normal coma, especialmente, á perda da criosfera². Elemento fundamental para o reflexo da radiación solar, evitando que esa enerxía sexa absorbida pola terra. A perda gradual deste elemento, fundamental para combater o quecemento da atmosfera, é unha das maiores mostras visibles de como afecta o cambio climático ao aumento da temperatura do planeta.
- **Indicadores oceánicos:** Por un lado, e ao igual que sucede na atmosfera, os océanos tamén se ven afectados polo exceso de calor que non retorna ao espazo; absorbendo parte desa enerxía e, polo tanto, sufrindo o incremento gradual da súa temperatura co paso das décadas. Afectando isto tanto aos seus ecosistemas coma na influencia que os océanos teñen como moderadores da temperatura global e dos episodios de fenómenos climatolóxicos extremos.

De igual forma, estímase que polo menos a cuarta parte do Dióxido de Carbono emitido por mor dos combustibles fósiles é absorbida polos océanos, provocando isto unha modificación na composición química e no grado de acidez (pH)³ dos mesmos, a cal se viu aumentada nun 30% en menos de dous séculos. Algo que afecta directamente na biodiversidade das súas augas, na pesca, no turismo e na economía global. (Bertrand, 2021)

Por último, e tamén relacionado co mencionado no parágrafo anterior, outro dos indicadores do impacto que exercen estes elementos sobre a integridade dos océanos é o aumento no nivel dos mesmos. Tanto pola dilatación das súas augas coma polo cada vez máis acelerado derretemento dos glaciares e casquetes polares. Causa inmediata do quecemento oceánico e atmosférico derivado do

² Capa da Terra formada por todos os puntos que están permanentemente cubertos de xeo.

³ Coeficiente que indica o grado de acidez ou basicidade dunha solución acuosa.

acelerado cambio climático. Provocando inundacións, erosión dos litorais e a intensificación de fenómenos meteorolóxicos adversos.

- **Fenómenos climáticos e meteorolóxicos extremos:** Como se mencionou anteriormente, o cambio climático tamén contribúe á frecuencia e intensidade coa que se producen estes fenómenos. Tales coma inundacións, precipitacións de gran intensidade, ciclóns tropicais, vagas de calor ou sequías que son cada vez máis frecuentes e intensos.
- **Contaminación do aire:** Como xa foi mencionado anteriormente, a emisión de gases contaminantes á atmosfera conleva ao empeoramento da calidade do aire, perxudicando ó medio ambiente e a saúde humana. Podendo ser este feito o causante de diversas afeccións da saúde coma o asma, o cancer ou diferentes enfermidades cardíacas, así coma tamén de morte prematura.
- **Contaminación das augas:** Dende vertidos operacionais das embarcacións ou dos pozos de extracción ata catástrofes medioambientais derivadas de accidentes nos que se producen grandes derrames destes combustibles e que causan a contaminación das augas e perxudican ós ecosistemas dos mares e océanos. Contaminación que tamén se pode dar nas augas subterráneas durante a extracción destes produtos ou mesmo nas augas destinadas ao consumo humano por mor dos vertidos procedentes da industria de tratamento e manipulación dos combustibles fósiles.
- **Contaminación por plásticos:** Ademais da contaminación e perxuízos derivados da presenza de residuos nos ecosistemas mariños e terrestres e polo tempo que tarda en descompoñerse, o plástico tamén representa un problema climático e de saúde. Creado a partir de combustibles fósiles (principalmente do petróleo), durante a súa produción emítense gran cantidade de gases contaminantes e de residuos líquidos que contaminan tanto o aire coma a auga, polo que se pode afirmar que o plástico ten un impacto perxudicial para o medio ambiente dende o momento en que da comezo a súa produción. Con todo, o plástico semella ser un factor clave na transición ecolóxica e na dependencia da industria dos combustibles fósiles xa que, ante á crecente proxección de redución da

demanda dos mesmos como fonte enerxética, a industria advirte no sector petroquímico⁴ un substento e unha garantía de futuro en base ao aumento, cada vez maior, na demanda deste material. Espérase que de cara ao ano 2050 os produtos petroquímicos, incluído o plástico, representen case a metade do crecemento da demanda mundial de petróleo. (International Energy Agency (IEA), 2018)

- **Derrames:** A colación do mencionado no apartado de “Contaminación das augas”, débese mencionar tamén que durante a extracción, transporte ou refinamento destes combustibles poden darse derrames operacionais do produto que causen danos ou a destrución da vida ou ecosistemas dunha rexión, así como a erosión e contaminación dos litorais. Con todos os perxuízos económicos que acarrea (turismo, pesquerías, acuicultura, etc).

En canto ao tema a tratar, a emisión de gases contaminantes pola utilización de combustibles fósiles como fonte principal de alimentación na combustión dos motores dos buques de transporte de mercancías, dicir que na actualidade a meirande parte da flota mercante mundial utiliza combustibles obtidos a partir de residuos de baixa calidade derivados do refinamento do petróleo crú tras a extracción dos produtos lixeiros como a gasolina, o queroseno, a nafta, o gasóleo e o diesel. Obtendo un remanente pesado, viscoso e de alto contido en xofre; do que derivan os combustibles utilizados como fonte de enerxía para a propulsión destes buques durante a navegación. En función da cantidade de fuel residual que conteñan, éstos combustibles clasifícanse en:

- › **HFO (Heavy Fuel Oil):** Fuel pesado. Trátase de fuel residual practicamente puro e de alta concentración de xofre.
- › **IFO (Intermediate Fuel Oil):** Fuel intermedio. Mestura de fuel pesado, petróleo e gasóleo.
- › **MDO (Marine Diesel Oil):** Diesel mariño. Mezcla de gasóleos pesados de

⁴ Compostos derivados do petróleo e do gas natural, e utilizados na produción de elementos cotidianos como aparatos electrónicos, elementos textís, deterxentes ou, por suposto, o plástico.

baixa viscosidade.

- > **MGO (Marine Gas Oil):** Gasoil marino. Destilado sen ningunha porcentaxe de fuel residual.

O contido de xofre presente en maior ou menor medida nestes refinados é liberado á atmosfera tras a combustión dos mesmos nos motores dos buques, dando lugar a compostos de Óxidos de Xofre que, xunto co Dióxido de Carbono e o resto de gases e partículas orixinados pola combustión, contaminan tanto o aire coma o medio mariño e repercuten gravemente e de xeito moi perxudicial na a saúde humana e no medio ambiente.

Debemos destacar que o sector do transporte global de mercancías e persoas é unha das actividades de maior impacto medioambiental, demandando un terzo da enerxía global e sendo responsable de aproximadamente o 15% do total das emisións de dióxido de carbono. (Jones, 2019)

Con todo, e pese a ser o responsable de máis do 90% do comercio mundial, o transporte marítimo unicamente orixina o 3% do total de Dióxido de Carbono emitido á atmosfera a nivel global (King, 2022), polo que, aínda que forma parte dun dos sectores máis contaminantes e perxudiciais para o medio ambiente, o transporte de mercadorías por vía marítima resulta ser tamén o mais sostible e respetuoso co entorno que o rodea.

Por mor da tendencia á alza que está a experimentar a demanda deste medio de transporte, prevese que a porcentaxe de emisións de gases de efecto invernadoiro se incremente de maneira máis acentuada que noutros sectores e chegue a alcanzar cifras moito máis preocupantes nun futuro próximo, polo que reducir a pegada de xofre da industria marítima é na actualidade un dos principais obxectivos da comunidade internacional, e a utilización de combustibles alternativos é unha das vías para alcanzalo.

3. **NORMATIVA**

3.1. **Evolución**

Como se menciona no anterior apartado, con motivo da problemática medioambiental orixinada polo transporte marítimo por mor das emisións de gases contaminantes procedentes da combustión dos motores dos buques e considerando a tendencia á alza na demanda do sector, a comunidade internacional viuse na obriga de reaccionar e valorar medidas coas que poder afrontar esta cuestión e paliar as súas consecuencias.

A súa relevancia como organismo especializado das Nacións Unidas no establecemento de normas para a seguridade, a protección e o comportamento ambiental que se debe levar a cabo no transporte marítimo global, fai da Organización Marítima Internacional (OMI)⁵ un elemento capaz de establecer un marco normativo acordado, aplicado e adoptado internacionalmente, co fin de promover a eficacia e a innovación na industria do transporte marítimo mundial.

Polo tanto, a súa condición propiciou que tomase parte na cuestión e continúa a día de hoxe elaborando estratexias e políticas encamiñadas á limitación, á redución gradual e á prevención desta problemática por medio do Comité de protección do medio mariño (MEPC), así como lexislando e establecendo un marco normativo de aplicación internacional a través do Convenio internacional para previr a contaminación orixinada polos buques adoptado o 2 de novembro de 1973 e modificado polo Protocolo de 1978, o Convenio MARPOL 73/78.

No que respecta a este Convenio, pese a ser concebido coa finalidade de previr e reducir ao mínimo a contaminación ocasionada polos buques, tanto de tipo accidental como procedente das operacións normais e, ao igual que ocorre con outros instrumentos da OMI, ser obxecto de diversas enmendas co propósito de mantelo actualizado acorde coas novas tecnoloxías utilizadas na construción de naves e coas progresivas exixencias medioambientais; non foi ata 1997 cando, por medio da adopción dun Protocolo para

⁵ Organismo das Nacións Unidas especializado e responsable da seguridade e protección da navegación e de previr a contaminación derivada do transporte marítimo

introducir enmendadas, se engadiu un novo anexo, o Anexo VI, relativo ás regras encamiñadas a previr a contaminación atmosférica ocasionada polos buques, que entrou en vigor o 19 de maio de 2005 e que, acotándoas ao caso de estudo deste traballo, se corresponden coas instrucións orientadas a establecer os criterios en canto á calidade do fueloil que se entregue e utilice como combustible a bordo dos buques, a reducir progresivamente e impoñer límites ás emisións de óxidos de nitróxeno (NO_x), óxidos de xofre (SO_x) e materia particulada dos escapes dos buques, e a prohibir a emisión deliberada de substancias⁶ que esgoten a capa de ozono.

Anteriormente, na Conferencia do 26 de setembro de 1997 das Partes do Convenio MARPOL 73/78 aprobábase o Código Técnico relativo ao control das emisións de NO_x dos motores diésel mariños (Código Técnico sobre os NO_x, 2008) polo que, a partir da entrada en vigor do Anexo VI, todos os motores aos que lles sexa de aplicación a regra 13 de dito anexo han de axustarse ao disposto no Código.

Por outra banda, por medio da Directiva 1999/32/CE e previa entrada en vigor do xa mencionado Anexo VI, o Consello da Unión Europea⁷ aludiu ao establecemento, nun futuro próximo, de zonas de control de emisións procedentes da navegación e debidas á combustión de fuel con alto contido en xofre e que contribuían á contaminación atmosférica por SO_x e á acidificación dos océanos. As denominadas ECA's (*Emission Control Areas*): zonas nas que é preciso adoptar medidas especiais e de obrigado cumprimento co fin de previr, reducir e paliar a contaminación atmosférica por NO_x, SO_x e materia particulada, así coma tamén os seus efectos nocivos para o medio ambiente e a saúde humana. Desta definición xeral derivarían, posteriormente, os conceptos SECA's, para denominar ás zonas onde unicamente se limita o contido de xofre nas emisións, e NECA's, referentes unicamente ás emisións de óxidos de nitróxeno á atmosfera.

Coa entrada en vigor do Anexo VI establécense, mediante a Regra 14 e referente aos Óxidos de Xofre (SO_x), prescricións xerais en canto ás limitacións no contido de xofre

⁶ Definidas no parágrafo 4 do artigo 1 do *Protocolo de Montreal* relativo ás substancias que esgotan a capa de ozono, de 1987, que figuran nos anexos A, B, C y E de dito Protocolo.

⁷ Principal órgano de decisión, xunto co Parlamento Europeo, da Unión Europea.

de todo fueloil empregado ou suministrado como combustible a bordo dos buques (inicialmente 4,5% masa/masa), pero tamén prescripcóns de carácter máis estricto e aplicables ás SECA's e mediante as que se establecen as condicións mínimas e os requisitos cos que deben cumprir os buques que se atopen dentro das mesmas. De igual maneira, dita regra dicta tamén os criterios e procedementos para a designación das SECA's, por medio do seu *Apéndice III*⁸.

3.2. Enmendas e resolucións a considerar

De forma co estipulado na RESOLUCIÓN MEPC.328 (76)⁹ adoptada o 1 de maio de 2022 e que entrou en vigor o 1 de novembro de 2022 destacaremos de forma xenérica e esquemática as seguintes modificacións con respecto ás enmendas feitas anteriormente ao Anexo VI do Convenio:

* **Regra 13:**

- › (6) Zona de control de emisións: Calqueira zona marítima, incluída toda zona portuaria, designada cos criterios e procedementos indicados no apéndice III do anexo VI revisado de 2021. As zonas de control das emisións de NO_x de nivel III son:
 1. zona de Norteamérica, definida polas coordenadas que figuran no apéndice VII deste Anexo;
 2. zona do mar Caribe dos Estados Unidos, definida polas coordenadas que figuran no apéndice VII deste Anexo;
 3. zona do Mar Báltico, definida na regra 1.11.2 do Anexo I do Convenio; e
 4. zona do mar do Norte, definida na regra 1.14.6 do Anexo V do presente Convenio.

⁸ Criterios e procedementos para a designación de zonas de control das emisións de SO_x.

⁹ ENMENDAS AO ANEXO DO PROTOCOLO DE 1997 QUE ENMENDA O CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVER A CONTAMINACIÓN POLOS BUQUES, 1973, MODIFICADO POLO PROTOCOLO DE 1978 (Anexo VI revisado de 2021 do Convenio MARPOL).

* **Regra 14:** Tras a RESOLUCIÓN MEPC.176(58)¹⁰ pasou a denominarse “Óxidos de azufre (SO_x) e materia particulada”

› Prescripcions Xerais:

1. A fin de asentarmos o que viña estipulando a RESOLUCIÓN MEPC.176 (58) para datas posteriores ao 1 de xaneiro de 2020, esta nova resolución dictamina que o contido de xofre do fueloil utilizado ou transportado para a súa utilización a bordo dun buque non excederá do 0,50 % masa/masa.

› Prescripcions aplicables nas ECA's:

3. As zonas de control das emisións serán as citadas anteriormente coma zonas de control das emisións de NO_x de nivel III.
4. Asentando novamente o estipulado xa pola anterior RESOLUCIÓN MEPC.176(58) para datas posteriores ao 1 de xaneiro de 2015, esta nova resolución dictamina que mentras que un buque opere dentro dunha ECA, o contido de xofre do fueloil utilizado a bordo non excederá do 0,10% masa/masa.

Tras o 79º periodo de sesións do Comité de protección do medio mariño celebrado do 12 ao 16 de decembro de 2022 designouse ó mar Mediterráneo, no seu conxunto, como outra das zonas de control das emisións de óxidos de xofre e materia particulada por medio da RESOLUCIÓN MEPC.361(79)¹¹. Adoptando esta designación ás enmendas de obrigado cumprimento do Convenio MARPOL e entrando en vigor a partir do 1 de maio de 2024.

Mediante a RESOLUCIÓN MEPC.304 (72)¹² do 18 de abril de 2018, a OMI adoptou unha estratexia inicial para diminuír as emisións de gases de efecto invernadoiro dos buques.

¹⁰ ENMENDAS AO ANEXO DO PROTOCOLO DE 1997 QUE ENMENDA O CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVIŔ A CONTAMINACIÓN POLOS BUQUES, 1973, MODIFICADO POLO PROTOCOLO DE 1978 (Anexo VI revisado do Convenio MARPOL).

¹¹ ENMENDAS AO ANEXO VI DO MARPOL NO RELATIVO Á ZONA DE CONTROL DAS EMISIÓN DE ÓXIDO DE XOFRE E MATERIA PARTICULADA NO MAR MEDITERRÁNEO

¹² ESTRATEXIA INICIAL DA OMI SOBRE A REDUCCIÓN DA EMISIÓN DE GEI DOS BUQUES.

Tomando como referencia os niveles promedio do ano 2008, esta estratexia ten como obxectivo reducir as emisións de CO₂ do transporte marítimo global nun 40% de cara ao 2030 e seguir traballando para que ese valor acade o 70% de cara ao ano 2050; así como reducir nun 50% o total das emisións anuais de gases de efecto invernadoiro en comparación, ao igual que os anteriores porcentaxes, cos valores de 2008. Incluindo tamén unha referencia específica e relativa aos obxectivos de temperatura do *Acordo de París* (Nacións Unidas, 2015) en canto á traxectoria de redución de emisións de CO₂.

3.3. Plans de acción nacionais

A *Estratexia inicial da OMI sobre a redución de GEI dos buques* mencionada anteriormente inclúe, entre outras medidas, un proxecto a curto prazo para impulsar o desenvolvemento e a actualización de plans de acción nacionais a fin de desenvolver políticas e estratexias para abordar esta problemática de acordo coas indicacións establecidas pola organización e tendo en conta a necesidade de evitar medidas rexionais ou unilaterais. Actuacións que facilitarán a aplicación dos instrumentos da OMI no contexto nacional e coas que favorecer o cumprimento de compromisos internacionais a través de accións estatais complementarias.

Tras o 75º período de sesións do Comité de protección do medio mariño celebrado o 20 de novembro de 2020 adoptouse a RESOLUCIÓN MEPC.327 (75)¹³ e por medio da que se anima aos estados membros a desenvolver plans e accións nacionais voluntarias para abordar as emisións de GEI dos buques e que foi enmendada posteriormente pola RESOLUCIÓN MEPC.367 (79)¹⁴ para incluír referencias a rutas coas que se engadiron referencias a rutas de navegación coas que contribuir á descarbonización.

Algúns dos plans e estratexias nacionais máis relevantes son os que se amosan na *Taboa 3.3.1*.

¹³ FOMENTO DA ELABORACIÓN E PRESENTACIÓN DE PLANS DE ACCIÓN NACIONAIS VOLUNTARIOS POR PARTE DOS ESTADOS MEMBROS CON MIRAS A ABORDAR AS EMISIÓN DE GEI PROCEDENTES DOS BUQUES.

¹⁴ FOMENTO DA ELABORACIÓN E PRESENTACIÓN DE PLANS DE ACCIÓN NACIONAIS VOLUNTARIOS POR PARTE DOS ESTADOS MEMBROS EN RELACIÓN COAS EMISIÓN DE GEI PROCEDENTES DOS BUQUES.

ESTADO MEMBRO	TÍTULO DO PLAN ESTATAL	ANO DE ADOPCIÓN	DOCUMENTO
Finlandia	<i>Resolucións do goberno para reducir as emisións de gases de efecto invernadoiro procedentes do transporte marítimo</i>	2021	Resolución sobre a redución das emisións de GEI do transporte marítimo e das vías navegables interiores
India	<i>Visión marítima da India 2030</i>	2021	Visión marítima da India 2030
Xapón	<i>Mapa de ruta cara ás cero emisións do transporte marítimo internacional</i>	2020	Mapa de ruta cara ás cero emisións do transporte marítimo internacional
Illas Marshall	<i>Rebbelib 2050: Un catalizador para o cambio-Marco de descarbonización do transporte nacional da Illas Marshall</i>	2022	Rebbelib 2050
Noruega	<i>Plan de acción gubernamental para o transporte marítimo verde</i>	2021 2019	Actualización do plan nacional de actuación noruego (2021) Plan de acción gubernamental para o transporte marítimo verde (2019)
Singapore	<i>Plano de descarbonización marítima de Singapore: Traballando cara o 2050</i>	2022	Plano de descarbonización marítima de Singapore
Reino Unido	<i>Plan marítimo limpo: Mapa de ruta medioambiental marítimo 2050</i>	2019	Clean Maritime plan

Taboa 3.3.1. – Plans e estratexias nacionais relevantes con respecto ás emisións de GEI dos buques. Elaboración propia. Fonte: <https://www.imo.org>.

Por último, debemos mencionar o *GreenVoyage2050*, un proxecto publicado conxuntamente entre a OMI e Noruega co obxectivo de impulsar a implementación efectiva da estreteira inicial da OMI e, a súa vez, axudar a países en desenvolvemento a reducir as emisións de GEI. Un proxecto de análise cláusula por cláusula do Anexo VI do Convenio MARPOL e que ten como finalidade facilitar unha maior transparencia e comprensión deste anexo para favorecer que os países o incorporen na súa lexislación nacional. Aplicable dende o 1 de novembro de 2022, está dispoñible nos seis idiomas oficiais da OMI.

3.4. Futuro

A partir do 1 de xullo de 2024 entrarán en vigor as enmendas ao Anexo I do Convenio MARPOL, as cales incorporarán unha nova regra, a 43A, para introducir a prohibición de utilizar ou transportar fueloil pesado como combustible polos buques que transiten por augas do Ártico. Exceptuando aos que estén adicados a garantir a seguridade doutros buques ou a operacións de busca e salvamento, e aos adicados a tarefas de reparación e resposta ante derrames de hidrocarburos. Ao igual que tamén estarán exentos de cumprir con esta norma, temporalmente, os buques abandeirados en estados firmantes do convenio que teñan o seu litoral limítrofe con augas do Ártico mentras operan en augas nos que eses estados teñan xurisdicción, e os buques que cumpran determinadas normas de construción en relación ca protección dos depósitos de combustible. En ámbolos casos, deberán comezar a cumprir con ditas enmendas a partir do 1 de xullo de 2029. (Organización Marítima Internacional (OMI))

Todo elo, co fin de acadar a estratexia inicial da OMI para diminuír as emisións de gases de efecto invernadoiro dos buques. Estratexia que será revisada neste mesmo ano 2023 na 80ª sesión do MEPC que se celebrará no mes de xullo e da que se espera que se adopte a estratexia revisada da OMI para a redución das emisións de gases de efecto invernadoiro procedentes dos buques.

Por último, destacar tamén que a apertura de novas vías para o tráfico marítimo polo Ártico a consecuencia do acelerado derretemento das masas polares é xa unha realidade que se vai consolidando gradualmente. Estímase que para o ano 2030 as augas do Ártico serán navegables durante dous meses ao ano, aumentándose este período conforme ao paso das décadas e chegando a acadar, para o ano 2065, a posibilidade de navegar libremente pola denominada Ruta Transpolar. (Cánovas Sánchez, 2022)

Polo tanto, esta nova perspectiva de futuro ademais de acortar distancias e minimizar tanto o custo como a contaminación do transporte marítimo, tamén será, xunto cas zonas ECA's, un factor decisivo e determinante na evolución dunha normativa coa que acadar, nun futuro próximo, as cero emisións e a transición aos combustibles alternativos no transporte marítimo global.

4. ALTERNATIVAS PARA ACADAR A DESCARBONIZACIÓN DO TRANSPORTE MARÍTIMO

En comparación cos xa coñecidos coma combustibles fósiles, a concentración de xofre presente nestes combustibles mariños alternativos é moi baixa ou nula. Os máis representativos e utilizados na industria marítima que se recollen dentro desta categoría son: o biodiesel, o gasoil mariño (Marine Gas Oil, MGO), o metanol, o hidróxeno, o amoniaco ou o gas natural (Gas Natural Licuado, GNL). Todos eles representaron no ano 2021 menos do 1% do total da demanda de enerxía global e menos do 2% do total dos combustibles empregados pola industria do transporte marítimo según recentes estudos realizados pola OMI, Sociedades de Clasificación e a Axencia Internacional da Enerxía (IEA). Datos que están estrictamente relacionados ca baixa dispoñibilidade dos mesmos e cun mercado escaso e limitado co que poder dar resposta a esta demanda na industria do transporte marítimo e que precisa de medidas coas que fomentar un desenvolvemento acorde coa estratexia inicial da OMI para o ano 2050 e, á súa vez, coas que acadar unha perspectiva de futuro de cero emisións. Algo que deriva, como xa se mencionou, do establecemento e da aplicación de normativas internacionais, pero tamén da promulgación de políticas e da inversión, cooperación e financiación entre os gobernos co fin de estimular un proceso que sexa real e co que poder acadar tanto os obxectivos fixados coma os futuros, por medio dun proceso necesario de transición entre os combustibles fósiles actuais e os alternativos de cero emisións de carbono da man dos combustibles alternativos de baixas emisións e denominados coma *combustibles de transición*.

Espérase que para o ano 2030 estes combustibles alternativos cubran o 15% do total da demanda enerxética do sector.

4.1. Combustibles alternativos: Clasificación e características

Polo tanto, tomando en consideración a súa concentración de xofre e as emisións de CO₂ que derivan da súa combustión, identifícanse dous grupos diferenciados dentro dos combustibles alternativos: os de baixas emisións de CO₂, considerados como combustibles de transición, e os de emisións neutras de carbono, os denominados como

combustibles de cero emisións. Ambosos dous tipos contribúen tamén á diminución da emisión de GEI e materia particulada.

4.1.1. De transición

Como se mencionou anteriormente, son combustibles cos que poder comezar a descarbonizar a industria e dar paso a unha etapa de transición entre os fósiles e os de cero emisións debido, principalmente, á inmediatez en canto a súa dispoñibilidade por tratarse de combustibles asequibles grazas ás tecnoloxías, infraestructuras e medios xa desenvolto e aplicados noutras industrias como poden ser as da construción, o transporte por estrada ou á aviación. Trátase de combustibles que, na maioría dos casos, levan xa anos sendo utilizados na industria marítima e que dende a súa entrada no sector se viron sometidos a un proceso de monitoreo, levado a cabo baixo a supervisión da OMI, co que poder evaluar o seu impacto medioambiental no tempo e factores relativos á dispoñibilidade, custo ou infraestructuras necesarias cos que poder satisfacer eficientemente a demanda da industria. Evaluacións que, á súa vez, deron paso a diversas innovacións e desafíos no desenvolvemento de mecanismos e tecnoloxías coas que avanzar na sustentabilidade do transporte marítimo.

Debido ao elevado coste destes combustibles en comparación co fueloil, na maioría dos casos son destinados unicamente a ser empregados en situacións ou áreas de navegación con limitacións en canto ás emisións de gases contaminantes e de efecto invernadoiro, co fin de cumprir coas normativas aplicables nos diferentes casos, principalmente durante o tránsito do buque polas xa mencionadas zonas ECA's ou en operacións de entrada e atraque dos buques en porto. O que fai necesario que estes dispoñan dun sistema combinado co que poder alternar o suministro de fuel oil pesado ou do combustible alternativo que utilice (e aos que se fará referencia posteriormente) ao motor principal e aos auxiliares según se precise, a fin de cumprir coas especificacións e normativas en canto ás limitacións nas emisións de gases procedentes dos buques que sexan aplicables á zona de navegación.

Pertencen a este tipo:

- **Gasoil Mariño (Marine Gas Oil, MGO):** Pese a ser un combustible composto por mezclas de hidrocarburos derivados do refinado do petróleo e, por tanto,

considerarse tamén un combustible fósil, o seu baixo concentrado en azufre xunto coa súa dispoñibilidade no mercado grazas a unha infraestrutura de produción e distribución firmemente establecida, fan que sexa o de maior demanda e consumo no transporte marítimo actual por ser o combustible máis asequible e relativamente económico en comparación coas demais opcións que se poden atopar actualmente e estar contemplado e cumprir coas especificacións recollidas na Regra 13 do Anexo VI do *Convenio MARPOL*. Dentro deste combustible podemos diferenciar entre:

- › Diesel Mariño (Marine Diesel Oil, MDO): De baixo contido de xofre e utilizado principalmente en operacións portuarias.
- › Fuel Oil de Moi Baixo contido en Xofre (Very Low Sulphur Fuel Oils, VLSFO): De moi baixa concentración de xofre e empregado na navegación a través das zonas ECA's.
- **Biodiesel**: A diferenza do gasoil, prodúcese a partir de materia orgánica, é economicamente máis caro e ten unha eficiencia enerxética lixeiramente máis baixa. Dende o punto de vista social, adicar amplias áreas de cultivo para a produción de enerxía que na súa maior parte sería consumida polo primeiro mundo abriría un debate ético e moral fronte ao problema global de innanición e hambruna existente aínda a estas alturas do século XXI. Con todo, e pese a contribuir notablemente na redución das emisións dos GEI e representar un menor risco medioambiental tamén no caso de producirse un vertido de combustible, conclúese que a súa utilización no transporte marítimo non é rentable.
- **Gas Natural Licuado (GNL)**: O Gas Natural é un combustible fósil extraído do subsolo que se conforma principalmente por moléculas de metano que ao combustionar nos motores dos buques orixinan dióxido de carbono. Encóntrase en estado gaseoso con valores de temperatura e presión estándar, pero sométese ao proceso de licuefacción por baixa temperatura para facilitar o seu transporte e almacenamento.

Actualmente lidera a demanda global de combustibles gaseosos e, pese a ser un combustible fósil, posiciónase como a fonte de enerxía sostible máis inmediata coa que poder reducir a pegada de carbono no transporte marítimo e coa que encabezar o camiño a acadar o obxectivo de cero emisións netas de carbono de cara ao ano 2050 da OMI, xa que pode conducir a unha diminución de ata un 100% nas emisións de SO_x, preto dun 85% nas de Nox e un 20% das de CO₂. Polo que se considera como a mellor opción dos combustibles alternativos de transición e espérase que a súa demanda como combustible para buques aumente gradualmente por ser o máis asequible economicamente en canto a dispoñibilidade, grazas a ter unha rede de distribución xa establecida, ademáis das baixas emisións de CO₂ en comparación ca maioría de combustibles fósiles convencionais.

Posteriormente exporase todo o relativo á utilización deste elemento como combustible no transporte marítimo.

4.1.2. De cero emisións

- * **Hidróxeno:** Posicionándose coma o máis limpo de todos os combustibles alternativos, prodúcese, principalmente, de dous xeitos: utilizando enerxías renovables, o denominado hidróxeno verde, ou mediante combustibles fósiles coma o gas natural. Este segundo tipo é o que presenta un maior porcentaxe de consumo pese a que se obtén mediante o proceso de termólisis denominado como *Reformado de metano con vapor* e no que o gas natural, composto principalmente por metano, se mestura con auga en estado vapor co fin de sometelos a condicións de temperatura e presión elevadas que deriva nunha reacción química rica en hidróxeno e monóxido de carbono coñecida como *syngas* e que se somete posteriormente a un proceso de cambio de gas a auga no que se fai reaccionar o monóxido de carbono co vapor de auga a fin de producir dióxido de carbono e unha maior porcentaxe de hidróxeno que, posteriormente, se separan mediante un proceso por oscilación de presión co que finalmente se obtén unha concentración de hidróxeno puro e no que se liberan importantes cantidades de CO₂ á atmosfera.

Pola contra, o hidróxeno verde ou hidróxeno renovable prodúcese grazas á separación molecular da auga mediante electrólisis¹⁵ e con enerxía renovable, recollendo as partículas de hidróxeno e liberando o osíxeno e calor residual. A ausencia de residuos contaminantes e perxudiciais derivados da súa produción convirte a este combustible nun dos máis respetuosos co medio ambiente e fai que represente un papel fundamental na descarbonización tanto do transporte, incluído o marítimo, coma da industria pesada en xeral, substituíndo tanto aos combustibles convencionais coma ao hidróxeno orixinado mediante combustibles fósiles e presente na industria actual. En cambio, a obtención de hidróxeno por este método supón un proceso costoso e para o que se precisa moita enerxía eléctrica procedente de fontes renovables, un factor que contribúe a que non sexa viable a súa aplicación nos buques nun futuro próximo. Ademais, este elemento presenta a problemática do almacenamento, xa que require dun proceso de licuefacción por frío ou presión e dun maior volume de almacenamento que para os combustibles convencionais, o que deriva tamén en custes económicos, de infraestrutura e en capacidade de distribución. Polo que, pese a non ser unha opción alternativa viable para un futuro próximo do transporte marítimo de longa distancia, desenvolver a infraestrutura necesaria de transporte e almacenamento e adecuar as tecnoloxías e equipamentos da industria a este combustible será fundamental para garantir a súa contribución na redución progresiva das emisións máis alá do ano 2030 e convertilo no principal combustible alternativo co que acadar a total descarbonización e as cero emisións netas de cara ao ano 2050.

Polo momento, a súa utilización como combustible límitase a buques prototipo experimentais e de pequeno porte financiados con fondos de investigación e sin carácter comercial, principalmente por parte das sociedades de clasificación, as cales estiman comezar coa súa aplicación comercial de cara ao ano 2030.

En cambio, pode ser factible a súa utilización na produción de outros combustibles de cero emisións como o Amoníaco e o Metanol, que exporemos a continuación, ou na pila de hidróxeno para a propulsión eléctrica dos buques.

¹⁵ Proceso que separa os elementos dun composto por medio da electricidade.

Innovacións que podería derivar nunha demanda significativa coa que impulsar un futuro na demanda de hidróxeno puro como combustible.

Nesta liña de desenvolvemento atópase o buque GAIA, deseñado pola empresa *LH2 Europe* en colaboración con *C-job Naval Architects* e que consiste nun prototipo de buque tanque para o transporte de hidróxeno líquido propulsado con enerxía eléctrica proporcionada por pilas de hidróxeno alimentadas polo *boil-off*¹⁶ capturado dos tanques, polo que o buque únicamente emitirá auga como residuo. Estímase que o buque comece a operar en 2027.



Figura 4.1.2.1.- Prototipo buque GAIA. Fonte: lh2europe.com

Por outra banda, e como exemplo de modelo de solución dual, destaca o remolcador HYDROTUG 1 construído no estaleiro Armón Navia. Trátase do primeiro buque en activo desta categoría a nivel mundial propulsado por hidróxeno puro grazas ao deseño dos seus motores duales, que poden funcionar tanto con este combustible, comprimido e almacenado en tanques sobre a cuberta, como con diésel. Dando como resultado a redución das emisións de CO₂ ata nun 85%.

¹⁶ Cantidad de líquido que se evapora nunha carga.



Figura 4.1.2.2.- Imaxe real e imaxe do prototipo no que se amosa a distribución dos motores do buque e tanques de almacenamento do hidróxeno. Fonte: cmb.tech

- * **Amoniaco:** Ao igual que o resto dos combustibles deste tipo, non emite CO_2 á atmosfera tras a súa combustión, e tampouco gas metano. Pese a que o seu almacenamento resulta ser máis sinxelo que a do resto dos combustibles deste tipo, trátase dunha substancia tóxica e moi perxudicial que emite NO_x cando combustiona, o que contribue gravemente ao efecto invernadoiro e á contaminación do aire, ademais de ter efectos perxudiciais para a saúde humana. Con todo, existe unha tecnoloxía en desenvolvemento e perfeccionamento destinada á limpeza dos gases de escape derivados da combustión do amoniaco. Pola súas características de almacenamento, pola capacidade tecnolóxica existente para a súa produción e polas facilidades económicas e de dispoñibilidade derivadas de ser orixinado mediante hidróxeno producido con gas natural, o amoniaco posiciónase coma o combustible de reemplazo máis atractivo na actualidade para os armadores de buques que realicen transportes de longa distancia.

Como o exemplo máis representativo da aplicación desta tecnoloxía na industria marítima destaca o proxecto VIKING ENERGY, primeiro buque propulsado por enerxía eléctrica orixinada por unha pila de amoníaco que produce auga e nitróxeno como únicos produtos residuais. Con esta tecnoloxía avaliada e aprobada pola sociedade de clasificación Det Norske Veritas (DNV) e que utiliza amoníaco verde (derivado de hidróxeno orixinado con fontes de enerxía renovable) preténdese suministrar un 90% da demanda total de enerxía do buque, cubrindo o consumo restante por medio de GNL, co que o buque leva operando íntegramente dende o ano 2003. Estímase que comece a operar

comercialmente con este modelo de propulsión entre finais deste mesmo ano e principios do ano 2024. Convertíndose así no primeiro buque en realizar navegacións de longa distancia sin emitir gases de efecto invernadoiro. Un hito que pode converterse no exemplo que posicione a esta tecnoloxía á fronte da transformación do sector cara métodos de propulsión eficientes a través de combustibles que axuden a reducir a pegada de carbono do transporte marítimo.

- * **Metanol:** Trátase dun combustible de fácil e asequible aplicación na flota que xa foi deseñada para o consumo de combustibles convencionais coma o MGO, xa que a adaptación tanto dos tanques para albergar este combustible coma dos motores para o seu consumo resulta máis sinxela e de menor custo económico que, por exemplo, a adaptación ao GNL. Pola súa condición de boa solubilidade na auga, onde ademais tamén se orixina de maneira natural por medio do fitoplacto e é absorbido por bacterias e microorganismos, resulta ter un impacto medioambiental menor ca o de outros combustibles si a súa concentración non resulta ser extremadamente elevada.

Pola contra, o seu baixo contido enerxético fai que se precise dun espazo de almacenamento superior ao dos combustibles convencionais. Ademais de que, ao igual que ocorre co amoniaco, precísase de gas natural como materia prima coa que orixinar o hidróxeno necesario para unha produción rentable deste combustible, emitindo neste proceso máis CO₂ que as emisións do MGO ao que se pretende substituír. Pero, ao igual que ocorre cos anteriores, tamén se pode obter por medio de fontes de enerxía renovables, o metanol verde. Polo que o derivado do GNL pódese plantexar como unha opción temporal e de adaptación cara á rentabilidade do que se obtén por medio de fontes renovables.

Aunque xa existen buques operando con motores duales que utilizan esta fonte de alimentación para a súa propulsión, debemos destacar que a compañía danesa Maersk, que manexa arredor do 20% do comercio mundial de contenedores e cunha flota de aproximadamente 700 buques, reflexou a súa aposta por este combustible mediante o encargo de 18 buques de propulsión dual destinados a consumir tanto metanol verde derivado de CO₂ e Hidróxeno

procedentes de fontes renovables, como combustible convencional baixo en azufre e que lles serán entregados á navieira entre 2024 e 2025. Acción que, sin lugar a dudas, é unha mostra clara e unha declaración de intencións da navieira en canto ao seu posicionamento de cara á elección deste combustible como alternativa para acadar a neutralidade das súas emisións e que, ademais, marcará un punto de inflexión en canto ao camiño que tomará o sector de cara ao combustible alternativo a utilizar no futuro, debido á gran influencia que ten este xigante da industria do transporte marítimo.

Outra mostra de que a industria está a apostar por este combustible é que actualmente 122 portos a nivel global contan con instalacións de almacenamento para o suministro deste combustible e algúns deles, como o de Gotemburgo, xa contan con servizos de suministro (bunkering) a flote e regras coas que xestionar as operacións de abastecemento. Na seguinte imaxe (Figura 4.1.2.3) amósase a primeira operación buque-buque (Ship to ship, STS) para o suministro de metanol como combustible que se fixo a un buque non pertencente á categoría dos buques tanque, concretamente ao buque de carga rodada e pasaxeiros Stena Germanica, e que levou a cabo o buque de abastecemento Stolt Sandpiper no porto de Gotemburgo en xaneiro deste mesmo ano.



Figura 4.1.2.3.- Primeira operación bunkering STS de metanol no mundo a un buque non-tanqueiro. Porto de Gotemburgo. Xaneiro 2023. Fonte: Gothenburg Port Authority.

Un recente estudo levado a cabo por investigadores da Universidade de Deakin (Mateti et al., 2022) achegou un novo método co que separar, almacenar e transportar grandes cantidades de gas en estado sólido sin orixinar ningún tipo de residuos e de reducido coste económico. Aínda que os investigadores seguen a traballar na redución da enerxía que se precisa para a liberación do gas, esta tecnoloxía semella ser a clave para facer realidade a transición cara combustibles de cero emisións no futuro.

Con todo, orixinar enerxía renovable suficiente e a baixo custo é un reto a abordar no futuro próximo a fin de facer posible que estas opcións para a descarbonización do transporte marítimo se posicionen definitivamente como a alternativa realmente sostible fronte aos combustibles convencionais.

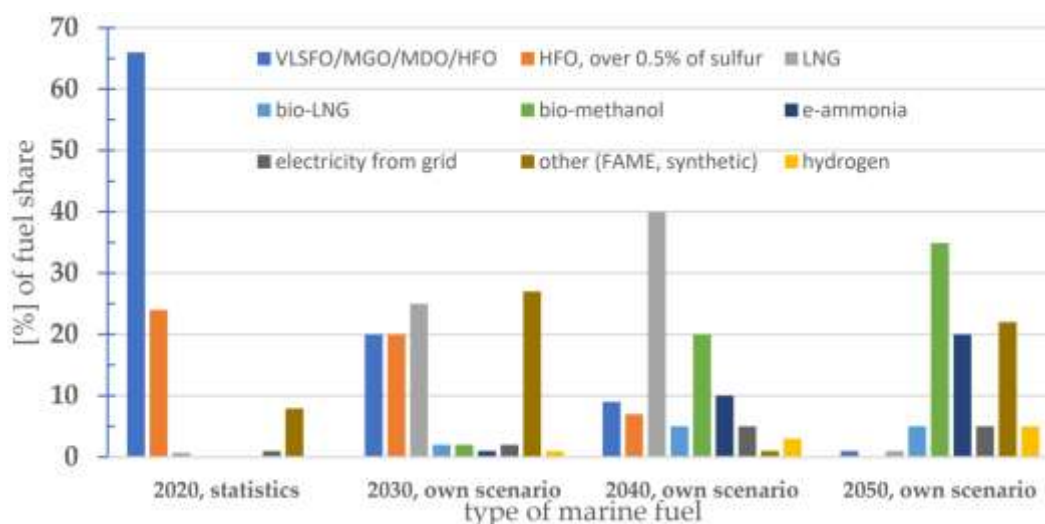


Figura 4.1.2.4.- Estadísticas do ano 2020 e escenarios hipotéticos para a posible distribución dos diferentes tipos de combustibles no mercado do transporte marítimo de cara ao ano 2050. Fonte: (Grzelakowski & Herdzik, 2022)

4.2. Torre de lavado de gases: *Scrubber*

Ademais dos combustibles alternativos xa mencionados, existe outra opción, mecánica neste caso, que permite aos buques poder cumprir coas especificacións sobre a emisión de GEI e coas limitacións na concentración de SO_x no Fueloil empregado ou transportado para para ser empregado na propulsión; o depurador de gases de exhaustación. Máis coñecido co nome de *Scrubber*¹⁷.

¹⁷ Término anglosajón que fai referencia á torre de lavado ou depurador dos gases de escape dos buques.

Brevemente, diremos que se trata de sistemas de depuración dos gases procedentes da combustión dos motores por medio, normalmente, do pulverizado con auga de mar ou auga tratada químicamente mediante aspersores instalados a través da estrutura do sistema, pola que circulan os gases procedentes da máquina antes de ser exhaustados á atmosfera, facendo que os gases e a materia particulada se mesturen co líquido e caian á parte inferior do sistema, no que se denomina como proceso de absorción e tras o que a mestura é enviada a un tanque de tratamento de augas ou purificadora a fin de cumprir cas restriccións definidas polo MARPOL para a súa posterior descarga ao mar.

Os sistemas poden ser de ciclo aberto, híbrido ou pechado. Da súa modalidade dependerá tanto que que a auga de lavado sexa posteriormente descargada ao mar ou, pola contra, sexa almacenada nun tanque de residuos para a súa posterior descarga a terra; como tamén a necesidade de engadir aditivos á auga destinada ao lavado, normalmente hidróxido de sodio, si ésta non contén a salinidade suficiente para neutralizar os efectos dos elementos contaminantes ou para restaurar a súa capacidade neutralizadora despois do lavado na modalidade de recirculación, no caso da scrubber de ciclo pechado.

O 10 de outubro de 2008 adoptáronse enmendas ao convenio, por medio da xa mencionada RESOLUCIÓN MEPC.176(58), e nas que se incrementou a 0,50% masa/masa o límite de contido de xofre permitido para utilizar como combustible nos buques, o cal entraría en vigor en xaneiro do ano 2020. Posteriormente á adopción desas enmendas, durante a súa 73ª sesión, o MEPC adoptou, mediante a RESOLUCIÓN MEPC.305(73), unha nova enmenda complementaria que serviu para respaldar e motivar o cumprimento coa nova limitación, actualizando as anteriores prescricións dictaminando a prohibición de transportar fueloil destinado para consumo do buque cunha concentración de xofre superior ao especificado pola Regra 14, pero añadiendo a cláusula de: si o buque dispón de medios, de conformidade coa normativa a aprobados pola administración do estado de abandeiramento do buque, tan eficaces en canto á redución das emisións de SO_x como a utilización dun fueloil que cumpla coa mencionada limitación, estará exento de cumprir con dita prohibición. Pese a entrar en vigor o 1 de marzo de 2020, esta enmenda complementaria non serviu para aplazar

a aplicación da nova limitación á concentración de xofre dos fueloil transportados para servir como combustible, a cal se fixo efectiva o 1 de xaneiro de 2020.

Dende o comezo da aplicación das normativas relacionadas coas limitacións das emisións de gases contaminantes procedentes dos buques por parte da OMI, e en vista ás esixentes medidas ás que darían paso nun futuro, moitos armadores optaron pola instalación de depuradores de gases de exhaustación tanto en buques de nova construción coma en buques que xa se atopaban operativos, grazas a tratarse de sistemas relativamente máis sinxelos de adaptar e instalar a bordo e, pese a non tratarse dunha solución barata, son máis asequibles economicamente e de cara a cumprir coas emisións a curto prazo fronte á transformación dos buques en activo ou a construción de novos buques para o consumo de combustibles alternativos. En cambio, son sistemas que precisan ocupar un gran espazo a bordo, polo que a súa adaptación non sempre é compatible co tamaño do buque. Principalmente son utilizados en buques de pasaxe, os cales navegan maioritariamente en zonas SECA's.

Hoxe en día, moitos armadores seguen optando por equipar estes buques con scrubbers, xa non pola asequibilidade dos mesmos e a súa adaptabilidade ás embarcacións cunhas dimensións adecuadas, senon pola rentabilidade que lles supón poder empregar combustibles convencionais e cun coste moi inferior aos alternativos, principalmente fueloil pesado.

Con todo, pese a contribuir a reducir as emisións de GEI á atmosfera, a utilización destes sistemas lavadores de gases fai ralentizar a transición cara combustibles máis limpos, ademais da contribución á contaminación mariña por mor das augas residuais orixinadas por este lavado que, pese a ser tratadas e estar regulada a súa descarga, seguen sendo perxudiciais para a acidificación dos océanos e a contaminación do medioambiente.

5. IMPLANTACIÓN DO GNL NO SECTOR MARÍTIMO

Pola experiencia, maduración e evolución a nivel loxístico, tecnolóxico e normativo derivada de ser producido e transportado internacionalmente a granel por máis de 60 anos, pódese afirmar rotundamente que a día de hoxe o GNL é o combustible fósil máis limpo e rentable para o transporte marítimo de longas distancia co que cumprir os, cada vez máis estrictos, criterios de emisións de GEI producidos polos buques.

Conta, ademais, con grandes reservas que aseguran o abastecemento global a longo prazo e cunha infraestrutura de produción, suministro e distribución ben establecido. Xustificacións que, como xa se mencionou anteriormente, fan que se lle considere o combustible de transición de maior proxección na actualidade. Unha visión avalada polo auxe da demanda global deste combustible que deriva tamén na diversificación das rutas comerciais e no impulso a proxectos de desenvolvemento combustibles alternativos de cero emisións como o bio-GNL e, máis adiante, o hidróxeno, o amoníaco ou o metanol verde.

A utilización do GNL como combustible de transición cara un futuro de cero emisións é xa unha realidade e a súa utilización no transporte marítimo de mercancías e en cruceiros aumenta de xeito moi alentador. A principios deste ano, a sociedade de clasificación DNV contabilizou uns 355 buques propulsados por GNL que estaban en operativo e máis de 521 atopábanse en proceso de construción. Pese ao incremento de prezos deste último ano, a consecuencia do conflito armado entre Rusia e Ucraína, o 2022 rematou co rexistro de 222 novos pedidos de buques, unicamente 20 menos que o ano anterior, o cal marcou un récord co rexistro de 240 pedidos de buques propulsados con este combustible. Ademais de que a entrada en actividade de 104 buques representou un crecemento de máis do 40% dentro da flota global.

O incremento tanto da flota en activo coma dos pedidos de buques propulsados por este combustible trouxo consigo o aumento das opcións para abastecelos en terra, mediante instalacións en portos e terminais, pero tamén o fomento da construción de buques de suministro e a súa distribución en portos estratéxicos das rutas marítimas. No ano 2004 púxose en funcionamento o primeiro buque de suministro que permitiu o

abastecemento a flote de GNL, o Pioneer Knutsen. Sin embargo, non foi ata estes últimos cinco anos cando se experimentou un crecemento exponencial da flota en activo. O *World LNG Report 2022* da Union Internacional do Gas (International Gas Union, IGU) publicou que, en abril dese ano 2022, a flota de buques de suministro de GNL estaba conformada por 30 unidades ás que se lle sumaron un total de 13 buques que entraron en actividade e 18 encargos vixentes de novas embarcacións ata principios deste ano 2023, según informou DNV. Buques que, na súa maioría, operan en Europa, onde as regulacións de control das emisións son máis estrictas, mentres que a flota en Asia e América do Norte tamén comezou a proliferar. Cabe destacar tamén que, en portos tan importantes como o de Singapur ou Brasil, os primeiros buques de bunkering de GNL comezaron a operar no ano 2021.

Trátase, por tanto, dunha situación relativamente recente, cunha flota moi nova e en periodo de crecemento que fai incrementar tanto a oferta como a demanda de GNL, dando paso, á súa vez, ao desenvolvemento dunha rede de suministro que, por medio tanto de instalacións en porto e terminais como polo suministro a flote, permite facer unha distribución cada vez máis eficiente deste combustible. Contribuindo de igual modo á rentabilidade da súa produción e do do seu consumo.

5.1. Impacto Medioambiental

Como se mencionou anteriormente, a comunidade internacional está apostando polo desenvolvemento do Gas Natural Licuado como a alternativa limpa e a solución intermedia coa que achegarse ás expectativas de descarbonización e cese das emisións de gases contaminantes. Un combustible de transición co cal encamiñar á industria cara solucións finais de cero emisións de carbono coas que acadar a total descarbonización do sector.

As súas principais vantaxes fronte aos combustibles convencionais son:

- * 25% menos de CO₂.
- * 80% menos de NO_x.
- * Ningunha cantidade de SO₂, nin de partículas en suspensión.

En cambio, non fai referencia ou ignora o preocupante aumento de gas metano que este combustible achega á atmosfera. Recentes estudos demostran que, ao contrario do considerado pola Unión Europea, o gas natural non representa unha fonte de enerxía limpa nin alternativa xa que, ademais dun potencial de redución dos gases de efecto invernadoiro moi inferior en comparación cos de outros combustibles convencionais aos que pretende substituír (coma o xa mencionado Gasoil), provoca un aumento da presenza do gas metano na atmosfera derivado dos escapes de GNL durante a súa combustión nos motores e liberando directamente importantes cantidades de gas metano á atmosfera (Figura 5.1.1). Un perigoso GEI moito mais perxudicial que o CO₂. (Transport & Environment, 2022)



Figura 5.1.1.- Emisións de calor e gas metano das chimeneas de escape dos motores de dous buques.
Fonte: transportenvironment.org

Estes estudos demostran que, pese a plantearse como unha alternativa limpa mediante a que acadar os obxectivos promulgados pola OMI para a descarbonización do sector, polo momento os buques propulsados por este combustible son moito mais perxudiciais para o medio ambiente, no que á emisión de GEI se refire, que os propulsados por combustibles convencionais aos que están destinados a substituír. Polo que, a fin de potenciar os seus beneficios e minimizar os seus riscos medioambientais, deberanse incrementar os esforzos no desenvolvemento de tecnoloxías coas que poder paliar e facer fronte aos inconvintes derivados das fugas de GEI durante a súa extracción, transformación e consumo a fin de optimizar e potenciar o seu papel como alternativa

eficiente fronte aos combustibles convencionais.

Ademais, os impulsos levados a cabo pola comunidade internacional para incentivar aos armadores á transformación dos seus buques ou á construción de novas embarcacións propulsadas por este combustible e as cales suelen ter unha vida útil duns 15-25 anos, avocan á perpetuar a dependencia dos combustibles fósiles nas próximas décadas.

5.2. Impacto económico

Por unha banda, o maior reto relacionado coa utilización do GNL coma combustible mariño é o custe asociado á construción de novos buques ou a adaptación da flota existente para facelo posible. Un factor económico que inflúe nos gastos de capital, gastos operativos, nas dimensións das embarcacións e distribución de espazos, ou na fiabilidade e eficiencia do propio buque. Gastos que moitos armadores consideran de elevado custo de amortización.

Na mesma liña, outro dos obstáculos cos que se enfrenta esta medida é a dispoñibilidade de abastecemento, almacenamento e transporte deste combustible. Algo que, por outra banda, brinda unha gran variedade de oportunidades comerciais tanto de cara a flota coma de cara os portos, xa que o crecemento do número de buques propulsados por este combustible traerá consigo un aumento na demanda en canto á abastecemento en porto ou por medio de buques suministradores de GNL, incentivando de igual maneira infraestruturas e cadeas de suministro. Algo que xa se está a demostrar na actualidade e que supón á súa vez un importante incentivo para que os armadores realicen modificacións nas súas flotas para adaptalas a este combustible pero tamén para operar con combustibles máis limpios basados no hidróxeno, en vista a que o cambio e a proxección actual no mercado do GNL derivará na súa utilización como materia prima para o proceso de produción do hidróxeno (que non hidróxeno verde), xa que se estima que a oferta supere a demanda nos próximos anos. Polo que a produción de hidróxeno a partir de gas natural dalle a éste último o protagonismo tamén na transición económica, actuando como o axente transformador da actual economía dos combustibles fósiles cara á futura economía baseada no hidróxeno verde.

A última publicación do World Bank's sobre o uso do GNL como combustible mariño admite os beneficios deste combustible en canto ás melloras na calidade do aire pero tamén discrepa con que sexa unha vía asequible economicamente por considerar que o seu papel como combustible de transición será efímero xa que igual que podería continuar co seu protagonismo despois de 2030 tamén podería ser suplantado por alternativas de cero emisións de carbono para ese mesmo ano debido á preocupación existente sobre as fugas de metano procedentes da súa combustión e os gastos derivados das medidas a tomar para paliar este problema, polo que o informe conclúe que é pouco probable que o GNL desempeñe un papel importante na descarbonización do transporte marítimo máis alá da súa utilización como materia prima para impulsar a produción de combustibles de cero emisións de carbono. Polo que a investigación oponse á unha política que impulse o GNL como combustible mariño e avoga polo impulso da política existente e a regulación das emisións de metano.

Pese a isto, os datos demostran que a demanda de buques de nova construción propulsados a gas nos últimos cinco anos viuse incrementada de maneira extraordinaria, o que fai evidente o cambio de tendencia na flota mundial cara a dependencia do GNL, o cal aumentará a súa presenza a unha quinta parte dos combustibles mariños empregados de cara ao ano 2030.

Con respecto ao panorama socioeconómico actual, os elevados prezos da enerxía e a inestabilidade en canto á seguridade enerxética por mor da guerra, que afectan directamente ao suministro mundial de gas, non ralentizarán a transición a longo prazo, senón todo o contrario, xa que probablemente Europa axuste as políticas neste aspeto en busca de acelerar esta transición e deixar de depender dos combustibles fósiles exportados por Rusia, compromiso feito pola Unión Europea de cara ao ano 2027. Para elo, debe posicionar a seguridade enerxética á cabeza do debate político co convencemento de que a súa estabilidade depende do desenvolvemento dun sistema dominado polas fontes renovables e de medidas que aceleren a súa eficiencia enerxética. Mentrestanto, asegurar unha rede de suministro segura resulta crucial para esta estabilidade da que falamos, e O GNL representa o vehículo co que acadala grazas á capacidade lóxística e de diversificación da que xa dispón esta industria que pretende

fomentar o crecemento de mercados de exportación actuais, coma o de Estados Unidos ou Qatar, pero tamén o de outros novos mercados coma o de África.

A capacidade de regasificación a nivel global tamén desempeña un papel crucial na diversificación e capacidade de expansión da industria e no que as instalacións FSU (Unidade Flotante de Almacenamento, coas súas siglas en inglés) ou FSRU (Unidade Flotante de Almacenamento e Regasificación) tanto en portos coma offshore¹⁸, e nas que tamén se inclúen buques deseñados ou transformados para tal fin, desempeñan un gran protagonismo. Na liña das medidas de restricción a Rusia, os mercados europeos planean medidas para que estas unidades reduzcan a súa dependencia das importacións de gas de esta potencia, e seis países plantexan comezar a operar novas FSRU's nos próximos dous anos. Como o caso de Alemaña que, a finais do pasado ano 2022, puxo en funcionamento no porto de Wilhelmshaven a súa primeira terminal de regasificación, coa que afirmou a súa decisión de deixar de depender do gas ruso que recibía a través do gaseoducto Nord Stream no mar Báltico. Esta terminal recibiu en decembro do pasado ano ao buque Höegh Esperanza, do tipo FSRU, cun cargamento procedente da planta de regasificación española de Sagunto e o cal quedou amarrado no porto alemán para operar como instalación de almacenamento e regasificación das entregas que reciba por vía marítima. Trátase da primeira terminal FSRU en entrar en funcionamento dun total de seis proxectadas para tal fin e coas que se pretende abastecer un tercio da demanda total de gas do país. Actualmente están en funcionamento tres terminais FSRU nos portos de Wilhelmshaven, Brunsbuettel e Lubmin.

5.3. Normativa GNL

- * ***Código Internacional de Seguridade para Buques que utilizan gases ou outros combustibles de baixo punto de inflamación, o Código IGF da OMI.***

O obxectivo deste reglamento é proporcionar unha norma internacional para os buques, distintos dos cubertos xa polo Código CIG (Código internacional de construción e equipamento de buques que transporten gases licuados a granel), que operen con gas ou líquidos de baixo punto de inflamación como

¹⁸ Situadas a gran distancia do litoral.

combustible. Para elo, proporciona criterios obrigatorios de cara á disposición e instalación de maquinaria, equipo e sistemas a bordo destes buques a fin de minimizar o risco para o buque, a súa tripulación e o medio ambiente, tendo en conta a natureza dos combustibles involucrados. Aínda que se centra no consumo de GNL, tamén contempla outros tipos de combustible coma o metanol, o etanol ou o hidróxeno.

No caso que nos ocupa, o GNL como combustible, o obxectivo do Código é proporcionar criterios para a disposición e instalación de máquinas de propulsión e auxiliares, que utilicen este combustible, a fin de lograr un nivel de integridade en términos de seguridade, fiabilidade e seguridade equivalentes, e en comparación, ao que se pode lograr cunha maquinaria principal e auxiliar nova convencional alimentada con petróleo.

De igual maneira, o código fai referencia á regra V/3 do convenio STCW a fin de regular a formación da xente de mar a bordo deste tipo de buques. Esixindo:

- * Certificado de suficiencia en formación básica para buques rexidos polo Código IGF á xente de mar ao cargo de cometidos específicos de seguridade vinculados ás precaucións de manipulación do combustible.
- * Certificado de suficiencia en formación avanzada para buques rexidos polo Código IGF a Capitáns, oficiais de máquinas e a toda persoa directamente responsable das precaucións e dos sistemas.

En canto a esta formación solicitada, debido á existencia de certificados avanzados para a carga de gas licuado a granel, estes oficiais poderán validar o certificado IGF co acompañamento dun certificado da empresa que demostre a realización de operacións deste tipo.

Debido a acelerada evolución no desenvolvemento das tecnoloxías en relación aos novos combustibles, a IMO revisa periódicamente este código tomando en consideración tanto a experiencia como os avances técnicos.

* **ISO 23306:2020: *Especificacións para o gas natural licuado empregado como combustible mariño***

Pese a que a Organización Internacional de Normalización (ISO) xa viña de publicar diferentes normativas en canto a guías e especificacións co referente ao suministro de GNL enfocadas tanto a instalacións como a buques propulsados por este combustible, o incremento na utilización do GNL como combustible mariño a nivel global fixo necesario o desenvolvemento dunha regulación coa que abordar unha solución común a armadores, operadores de buques e suministradores de GNL. Como resposta a esta necesidade, a ISO publicou, en outubro do ano 2020, a norma que especifica os requisitos de calidade cos que debe cumprir o Gas Natural Licuado (GNL) destinado a ser utilizado como combustible para aplicacións mariñas, definindo os parámetros relevantes a medir, así como os valores requeridos e os métodos de referencia para comprobalos.

A ISO 23306:2020 funciona coma un complemento do Código IGF e contempla todos os tipos de GNL en referencia á súa orixe, tanto os derivados de procesos de síntesis a partir de combustibles fósiles coma os orixinados por medio de fontes renovables, recollendo as especificacións que se lle requiren no momento de proceder coas operacións de transferencia dende o seu lugar de almacenamento.

* **ISO 18683:2021: *Directrices para a seguridade e avaliación de riscos nas operacións de suministro de GNL como combustible.***

Orienta, en base aos riscos, sobre o deseño e operación do sistema de suministro de GNL como combustible, incluíndo a interface entre as instalacións de suministro e os buques receptores.

* **ISO 20519:2021: *Buques e tecnoloxía mariña – Especificacións para o suministro de gas natural licuado como combustible aos buques.***

Requerimentos para os sistemas e equipamento empregados para o suministro

de GNL como combustible e que non están contemplados polo CIG. Sirve de apoio aos operadores no momento de seleccionar provedores de combustible que cumplan cos estándares definidos de seguridade e calidade do combustible. Recolle toda a información que se precisa para que as operacións de suministro sexan seguras e se realicen de maneira sostible.

* **ISO/TS 16901:2022: Orientacións sobre a realización dunha avaliación de riscos no deseño de instalacións de GNL en terra, incluída a interface buque/terra**

Proporciona un enfoque global e serve de orientación para a realización unha avaliación dos principais riscos de seguridade como parte da planificación, o deseño e a operación das instalacións de GNL en terra para permitir o desenvolvemento de deseños e operacións seguras. Aborda os perigos derivados da interface entre a instalación en terra e o buque, asumindo que os buques metaneros (buques destinados tanto a cargar como a consumir GNL) están deseñados acorde co *Código IGC*, e os buques propulsados por GNL, que reciben suministro de combustible, están deseñados de acordo co *Código IGF*.

* **Sociedades de Clasificación:**

Cada sociedade de clasificación establece normativas propias que especifican criterios e serven de orientación para a disposición e instalación segura e respetuosa co medio ambiente de sistemas de propulsión e auxiliares que empregan este gas como combustible. O que favorece á toma de decisións de armadores e estaleiros no referente á adaptación e deseño dos buques de cara a un novo mercado de combustibles alternativos e de desempeño ambiental.

* **SIGTTO: Sociedade de operadores de buques de transporte de gases licuados a granel e terminales**

O seu propósito fundamental é promover que as operacións portuarias e de transporte relacionadas cos gases licuados sexan seguras, respetuosas co medio ambiente e se fagan acorde ás boas prácticas e pautas operacionais.

* **SGMF: Sociedade para o Gas como Combustible Mariño**

Trátase dunha organización non gubernamental (ONG) que se orixinou coa intención de promover a seguridade e as boas prácticas da industria na utilización do gas como combustible mariño, coa finalidade de contribuir ao desenvolvemento da mesma, elaborando directrices e velando pola seguridade nas operacións.

* **GASNAM: Asociación ibérica de transporte sostible**

Integra a cadea de valor do gas e do hidróxeno para alcanzar os retos medioambientais, económicos e operacionais do transporte por terra, mar e aire en España e Portugal. Trátase dunha plataforma de desenvolvemento de actividades enfocadas a fomentar a utilización do GNL, o hidróxeno e o gas derivado de fontes renovables na mobilidade xeral e, particularmente no transporte terrestre e marítimo.

Da mesma maneira, establece criterios homoxéneos no marco lexislativo, particularmente en temas de seguridade na utilización das instalacións, así como o desenvolvemento de estruturas fiscais, financeiras ou de axuda para dar un impulso na implantación do gas natural no transporte.

5.4. Desenvolvemento da industria gasística cara o establecemento do GNL como combustible mariño

Según a última edición do *World LNG report*, do ano 2022, a recuperación post pandemia trouxo consigo un crecemento anual do 4,5% no comercio deste combustible a nivel global, chegando a alcanzar máximos históricos entre os anos 2020 e 2021, pese a continuar lonxe da taxa de crecemento anual do 13% rexistrada no ano 2019 e anterior á recesión económica ocasionada polo COVID-19.

No sector marítimo este auxe no comercio refléxase, como se veu expoñendo anteriormente, no aumento da flota relacionada co transporte ou suministro deste combustible a nivel global, debido ao aumento do comercio deste produto no primeiro

caso, á intensificación das restriccións medioambientais sobre as emisións provocadas polos buques xunto coa dispoñibilidade e rebaixa dos prezos deste combustible no segundo. Pero tamén no aumento de novos proxectos FSRU a raíz do recente conflito entre Rusia e Ucraína, co obxectivo de asegurar o abastecemento e suministro de enerxía.

Os buques gaseros representan a vangarda na distribución de combustibles limpos e, no caso do GNL, destaca o crecemento actual na flota dos buques metaneros, instalacións flotantes para o almacenamento, suministro e tamén regasificación deste combustible, así como buques de abastecemento. Buques en ámbolos casos, tanto os de transporte coma os de abastecemento deste combustible, que xa están deseñados na súa maioría con motores de combustible dual e capaces, á súa vez, de empregar a propia carga como combustible. Algo que beneficia tanto á industria gasística por estar proxectados, xunto co resto de buques deseñados para empregalo como combustible, a desempeñar un papel fundamental na demanda total de GNL no futuro; como tamén ao sector do transporte e abastecemento do GNL por medio deste tipo de buques, xa que estes deseños de aproveitamento da carga como combustible permiten tanto a flexibilidade de cara ao combustible a empregar en cada situación, coma tamén a redución dos costes do propio flete. Para fomentar a súa utilización como combustible mariño, a industria do GNL está actualmente traballando na redución das emisións de metano do GNL empregado a bordo, especialmente as derivadas dos escapes producidos durante a combustión nos motores.

5.5. Cadea loxística asociada ao suministro de GNL como combustible

A fin de garantir a competitividade no suministro de GNL, o seu abastecemento debe ser posible para cada tipo de buque nas mesmas condicións que o abastecemento do combustible convencional. O cal inclúe que se garanten tanto os medios adecuados para levar a cabo as operacións, como a seguridade durante as mesmas. Varios mercados de importación de GNL transformaron as súas terminais en centros loxísticos cos que brindar ofertas de servizos diversificados máis alá dos tradicionais de almacenaxe e regasificación, incluíndo tamén servizos de abastecemento de GNL coma combustible, transbordo de cargas, recarga de tanques de almacenamento portátiles ou

carga de camiões. Dando lugar a actividades de re-exportación que ofrecen unha maior rentabilidade e exténdense comercialmente a un maior grupo de sectores.

No ano 2021, España e Francia, conxuntamente, rexistraron a maior re-exportación de cargamentos en todo o mundo, e que representou o 48% do volumen total re-exportado a nivel global.

A cadea completa de suministro de GNL como combustible aos buques abarca dende a produción e acondicionamento do gas natural licuado e o seu transporte a través de gaseoductos, transporte por carretera por medio de camiões e transporte marítimo en buques de carga de gas licuado a granel ata instalacións de almacenamento para a súa posterior transferencia como combustible aos buques, e a cal se exporá nos seguintes apartados. A continuación adxúntase unha imaxe na que se mostra gráficamente e de maneira esquemática este concepto.(Figura 5.5.1.)

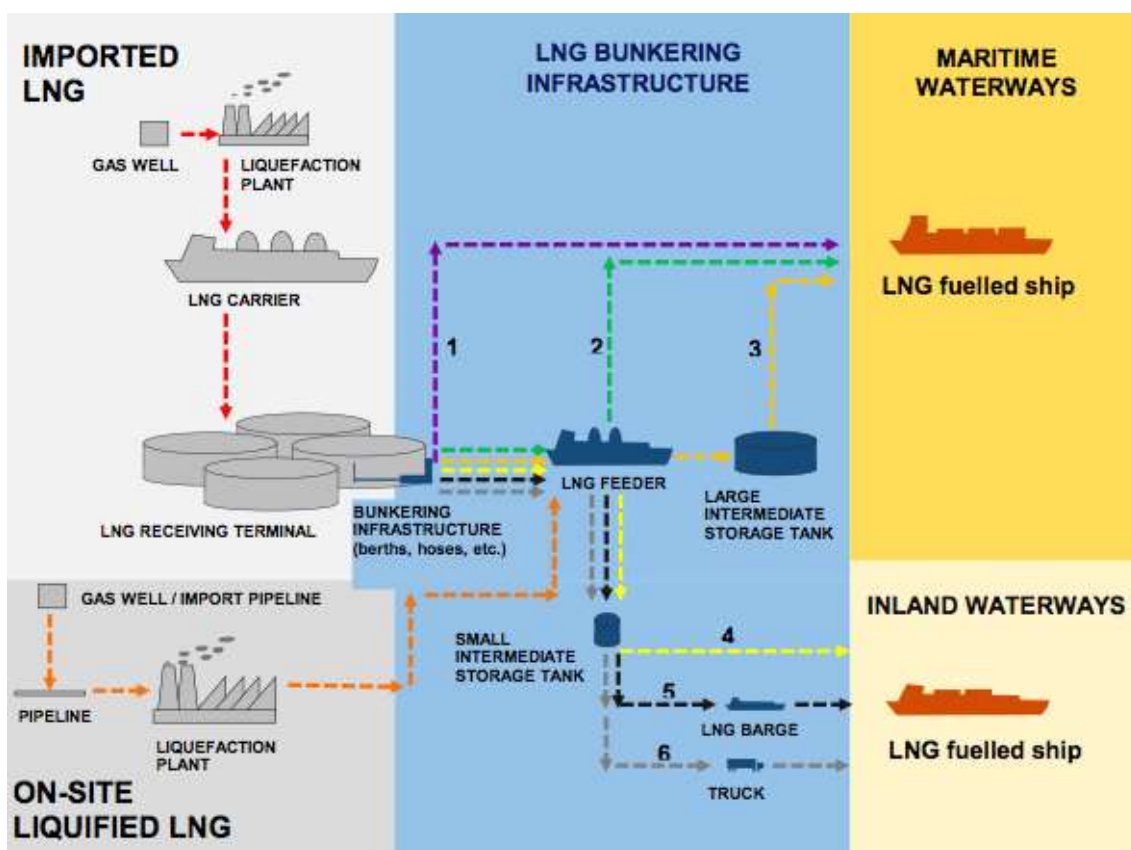


Figura 5.5.1.- Esquema da cadea loxística asociada ao abastecemento de GNL como combustible.

Fonte: globallnghub.com

A infraestrutura de abastecemento de GNL como combustible ofrécese actualmente en máis de 95 portos e máis de 50 están a traballar no desenvolvemento de instalacións e medios que o fagan posible.

Cabe destacar que, ao igual que sucede cos buques, toda a infraestrutura está capacitada tamén para transportar, almacenar e suministrar GNL procedente de fontes renovables sin necesidade de ter que realizar modificacións ou inversións adicionais no futuro, cando a súa utilización semelle asequible.

No aspecto operacional, o GNL destinado a combustible dos buques manéxase do mesmo xeito que si se tratase de carga a granel, polo que a maduración e a dilatada experiencia con estas operacións deu lugar, dende un principio, a uns patróns xa establecidos no que respecta a procedementos e riscos asociados como os de inflamabilidade ou crioxenización.

5.5.1. Instalacións de almacenamento e regasificación

Na actualidade, a infraestrutura de almacenamento de GNL existente atópase moi estendida e son xa moitos os portos que contan con instalacións deste tipo, especialmente onde existen fortes mercados de importación de GNL. Na actualidade, o número de terminais, tanto en terra, a flote ou offshore, que dispoñen de capacidade para recibir e almacenar este combustible, supera as 145 unidades.

Ditas instalacións contan con tanques aislados que minimizan a perda de calor e preveñen que se produza o *Boil Off Gas (BOG)*¹⁹, do produto e a sobrepresión dos mesmos. Ao igual que os empregados para o transporte e almacenamento a bordo, estas instalacións poden empregar tanques de fondo plano para o almacenamento a presión atmosférica do GNL, ou tanques presurizados e de forma cilíndrica ou esférica. Coa construción de novas terminais ou a ampliación das instalacións que xa se atopan en funcionamento, a capacidade de almacenamento experimentou un crecemento

¹⁹ Evaporación do produto que causa o aumento de presión dentro do tanque crioxenizado por mor do calor que ingresa no meso durante o almacenamento e transporte do produto, modificando a súa calidade.

exponencial nos últimos anos, ao igual que o fixo a distribución de instalacións destinadas á regasificación. Ambos crecementos reflectidos no incremento da capacidade de almacenamento nos mercados xa establecidos e, no que se corresponde coas plantas regasificadoras, na aparición de novos mercados e na aposta polas FSRU.

* **En terra:**

En terra as terminais ofrecen un conxunto de vantaxes en comparación coas FSRU e as FSU, xa que cumprindo cunha serie de requisitos en canto a capacidade de almacenamento ou de almacenamento e regasificación, poden beneficiarse do desenvolvemento dunha rede terrestre de distribución e da capacidade de expandirse físicamente a fin de acadar unha maior capacidade operacional, algo que se tercia máis complicado nas unidades a flote. Outra das vantaxes é unha menor exposición a factores de risco derivados da súa localización, como as condicións meteorolóxicas ou as complicacións derivadas das operacións cos buques en alta mar e que, á sua vez, poden causar demoras prolongadas nas operacións. Actualmente son as que rexistran unha capacidade operativa de almacenamento moito maior que en terminais flotantes ou situadas en alta mar a nivel global.

Como dato relevante, cabe destacar o comezo da construción do tanque de almacenamento de GNL máis grande do mundo, na terminal china de Qingdao, cunha capacidade de 270.000m³ e que estará operativa en novembro deste ano 2023.

* **Flotante e offshore:**

Na última década, experimentouse un crecemento notable en canto ao desenvolvemento de instalacións de almacenamento e regasificación flotantes e offshore coa posta en marcha de numerosos proxectos deste tipo. Auxe relacionado, principalmente, cun gasto de capital e un tempo de construción relativamente baixos en comparación ás instalacións terrestres, o que os fai atractivos especialmente en mercados máis limitados en canto á infraestrutura

e espazo en terra, e potenciando a súa independencia enerxética e a súa entrada nos mercados de importación. Nos últimos anos, varios mercados puderon recibir as súas primeiras cargas de GNL e iniciar a súa actividade neste sector grazas á implementación de FSRU.

Pese a posuir menor capacidade de almacenamento que as instalacións en terra, o tempo de construción e a diminución dos prazos de entrega, xunto coa facilidade de reubicación en comparación coas instalacións terrestres, dotan ás FSRU da capacidade de satisfacer aumentos repentinos na demanda de gas de maneira eficiente e nun curto espazo de tempo. Polo mesmo motivo, considérase ás FSRU coma un elemento clave co que poder contribuir tanto á capacidade de produción do mercado como a acelerar o proceso de transición cara combustibles limpos a nivel global.



Figura 5.5.1.1. - Esquema cadea lóxica asociada á distribución de Gas Natural dende unha instalación FSRU. Fonte: www.portalmorski.pl

5.5.2. Bunkering

Como se veu expoñendo, a intensificación das regulacións sobre as emisións de GEI a partir do ano 2020, exerceron como medidas de presión que levaron a moitos armadores a decantarse polo GNL para cumprir coa normativa, orixinando unha reacción en cadea de retroalimentación e reforzamento onde o desenvolvemento

dunha cadea de suministro eficiente, segura e competitiva de abastecemento e suministro deste combustible é fundamental para favorecer o emprego deste combustible como fonte de propulsión dos buques.

Hoxe en día existen diferentes modalidades de abastecemento, podendo levarse a cabo por medio de:

- * **Instalacións en terminais portuarias/offshore (Terminal/Pipeline to Ship transfer, PTS):** Suministro ao buque dende unha terminal en terra ou flotante composta por unha instalación de almacenamento ou almacenamento e regasificación de GNL, un muelle equipado con brazos de carga ou mangueriras, conectores e sistemas de carga específico para o bunkering e, por último, unha tubería dende os depósitos ata o muelle.

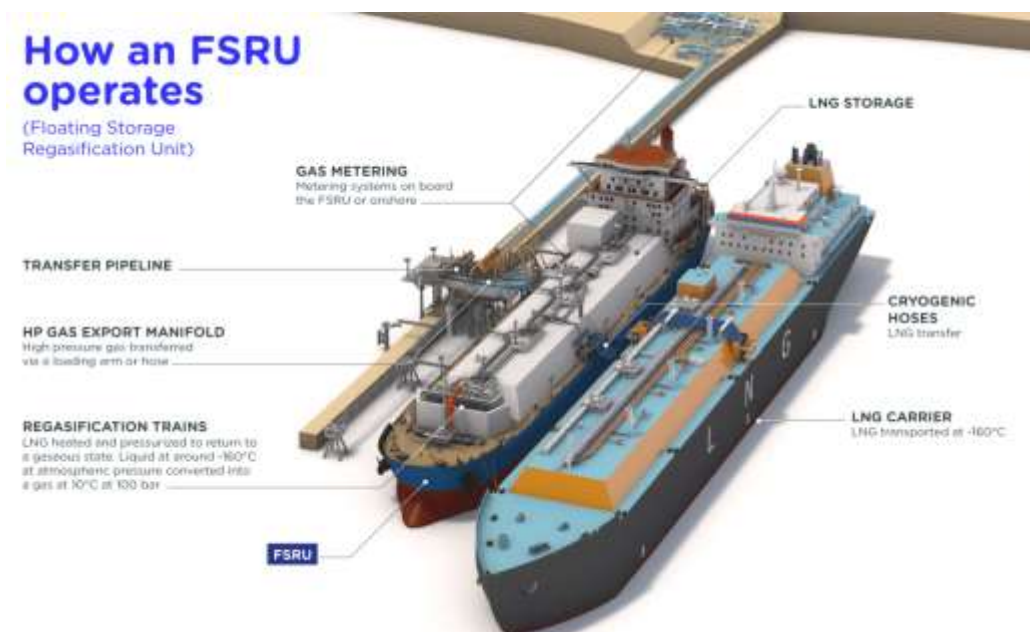


Figura 5.5.2.1. – Exemplo dun modelo FSRU. Explicación esquemática dunha peración bunkering dende unha instalación deste tipo. Fonte: totalenergies.com

- * **Camións (Truck to ship transfer, TTS):** Suministro ao buque dende camións cisterna situados no muelle.
- * **Buques de suministro (Ship to ship transfer, STS):** Existen buques específicos para o suministro de GNL pero tamén gabarras multicomcombustible, destinadas ao suministro de combustible convencional pero tamén equipadas con tanques sobre cuberta e todos os sistemas necesarios para o suministro de GNL.
- * **Tanques portátiles:** Tanques de combustible con capacidade de recarga.

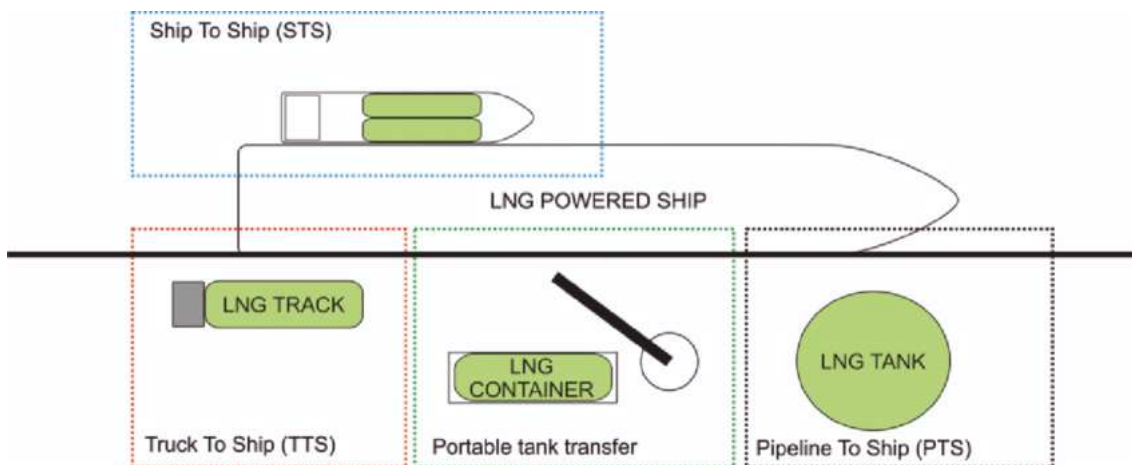


Figura 5.5.2.2.- Modalidades de abastecemento. Fonte: (Philipp & Hensey, 2019)

Como xa se mencionou anteriormente, na última década o mercado de abastecemento de GNL experimentou un crecemento tal que orixinou a aparición tando dun gran número de buques de abastecemento, como tamén de terminais con instalacións destinadas ao suministro de GNL como combustible. Sendo éstas dúas as maneiras máis eficientes e adecuadas para tal operación, así como as que soportan maiores capacidades de almacenamento e suministro. O abastecemento mediante camiións, pese a ser a das máis utilizada ata o momento polas comodidades en canto á estrutura requirida e á baixa inversión de capital, está destinado, xunto cos tanques portátiles, a suministros de combustible a pequena escala: normalmente ao abastecemento de buques de pequeno porte, como remolcadores, os primeiros; e a buques de navegacións curtas, coma os ferris, no caso dos tanques portátiles.

No ano 2004 púxose en funcionamento o primeiro buque de suministro que permitiu o abastecemento a flote de GNL, o Pioneer Knutsen. Sin embargo, non foi ata estes últimos cinco anos, a raíz da imposición dunha maior limitación ao contido de xofre dos combustibles dos buques, cando se experimentou un crecemento exponencial da flota en activo, comezando tamén a operar en rexións onde non existía ningún barco deste tipo, coma o FueLNG Bellina e o Avenir Accolade, por exemplo, que no ano 2021 foron os primeiros en operar en Singapur e Brasil, respectivamente.

No primeiro trimestre do 2022, a flota operativa para o abastecemento de GNL como combustible alcanzou as 30 unidades, entre a que destaca o buque suministro de GNL máis grande do mundo, o Avenir Allegiance de 20.000 metros cúbicos de capacidade e

que, tras o cambio de nome a Hai Gang Wei Lai, converteuse no primeiro buque deste tipo en entrar en activo en China. Pese as súas capacidades, as dimensións deste buque fan que precise do apoio de remolcadores para as operacións de abarloomamento en porto, polo que a súa rentabilidade operacional pasaría por cubrir a demanda de buques de gran porte ou o suministro a buques en alta mar. Como resposta a esta reflexión, cabe mencionar que en xaneiro do ano 2022 a operadora do buque, SHIPG, e a navieira CMA CGM firmaron un acordo de abastecemento de combustible durante 10 anos en virtude do cal este buque se comprometeu a suministrar combustible aos buques portacontenedores de 15.000 teu²⁰ desta navieira no porto de Yabdsan, Shanghai.

En definitiva, e repetindo o xa mencionado, trátase dunha flota moi nova e a cal experimentou a entrada en activo da maioría dos buques deste tipo nos últimos cinco anos e que se mantén en constante crecemento tanto en número de unidades coma no tamaño das mesmas.

Con todo, pese a estarse a desenvolver proxectos de abastecemento de GNL en diversas terminais a nivel global, precísase impulsar o crecemento dunha maior infraestrutura no hemisferio Sur, xa que na actualidade a maioría dos portos con capacidade para desempeñar estas funcións atópanse principalmente no hemisferio Norte.

Por último cabe destacar que na bahía de Tokio, en Xapón, estase a desenvolver un proxecto de abastecemento de GNL STS empregando o buque multi-bunker EcoBunker Tokyo Bay, que é capaz tanto de suministrar GNL como VLSFO; por outra banda, na terminal de Kochi LNG da India, o operador Petronet LNG ten plans para iniciar os servizos de abastecemento de combustible a buques en alta mar.

²⁰ TEU (Twenty-foot Equivalent Unit): Unidade equivalente á capacidade de carga dun contenedor estándar de vinte pés.

6. PROXECTOS INTERNACIONAIS E NACIONAIS

O proxecto *Nautilus* (*Sistema Náutico Integrado de Enerxía Híbrida para cruceiros de grandes rutas*), financiado polo programa de investigación e innovación *Horizonte 2020* da Unión Europea, está a traballar dende o ano 2020 no desenvolvemento dun sistema enerxético de baixas emisións para grandes buques de pasaxe e que funcionará con gas natural licuado. O proxecto de investigación para a construción dunha tecnoloxía piloto coa que conseguir un grupo electrógeno híbrido de pila de combustible GNL integrada cos xeneradores dos motores de combustión interna existentes a bordo, aos que reemplazará gradualmente co obxectivo de chegar a cubrir completamente a demanda de enerxía do buque coa tecnoloxía desta pila alimentada con combustibles renovables. O proxecto comezou en xullo do ano 2020 e rematará en xuño do ano 2024, comezando coas probas a bordo no ano 2026. Estímase que entre en funcionamento para o transporte de pasaxeiros de cara ao ano 2030.

Por outra banda, debemos destacar que as terminais Ibéricas se atopan entre as primeiras en comezar a diversificar os seus servizos para o bunkering de GNL grazas, principalmente, ao respaldo da iniciativa *CORE LNGas hive*, orientada a construír unha rede ibérica eficiente e segura para o suministro de GNL á industria do transporte, particularmente para o transporte marítimo da península ibérica . Contribuíndo tamén á descarbonización dos corredores europeos do Mediterráneo e do Atlántico. Son moitos dos portos españois os que desenvolveron a infraestrutura necesaria e destinada ao abastecemento de combustible mediante camións cisterna, xunto coa implementación de melloras adicionais para dar cabida a cargueiros de reducidas dimensións e tamén co desenvolvemento de terminais con medios apropiados para o suministro directo ao buques propulsados por GNL dende a planta de almacenaxe ou almacenaxe e regasificación. Na liña de fomentar o desenvolvemento do bunkering de GNL nas terminais de regasificación españolas, esta iniciativa tamén apostou pola redución nas tarifas de recarga, especialmente na de buques de pequenas dimensións e destinados ao abastecemento de combustible STS. Medida que se comezou a implementar a finais do ano 2020 e que continuará aplicándose ata o ano 2028.



Figura 6.1.- Rede ibérica para o abastecimento de GNL. Fonte: corelngashive.eu

Por último, cabe destacar que, no referente ao noso país, dende principios deste ano 2023 o buque Haugesund Knutsen ten a súa base permanente no Porto de Barcelona, tratándose do primeiro buque de suministro de GNL construído en España, así como tamén o primeiro en pasar a ter unha base fixa nun porto nacional. Unha situación que facilita e reduce os custos das operacións de suministro. O buque dispón de catro manifolds distribuídos en ambos costados: dous a popa e outros dous no centro da eslorra. Dita distribución, xunto cas dimensións do propio buque e equipos, concédennlle unha gran versatilidade durante as operacións de abarloomamento e suministro a buques en diferentes circunstancias, xa que as estacións de abastecemento por popa e media eslorra a ambos costados, xunto ca disposición da ponte de mando na proa permítenlle minimizar os riscos e flexibilizar as maniobras de abastecemento. Dispón, tamén, de dúas hélices azimutais tipo Schottel a popa e outra a proa, o que lle outorga ao buque unha gran potencia e unha capacidade de manobra moi precisa no momento do abarloomamento e posicionamento con respecto ás tomas de combustible do buque a suministrar, tanto en espazos reducidos coma en condicións meteorolóxicas adversas. A posibilidade ser controladas individualmente fai que estes modelos de propulsión favorezan unha maior axilidade e eficiencia operacional da embarcación. Construíuse como parte do proxecto *LNGhive 2 Barcelona*, da iniciativa anteriormente mencionada *CORE LNGas hive*. Proxecto que se pretende consolidar a este porto coma o centro loxístico ou punto de referencia do bunkering de GNL no Mediterráneo tendo en consideración o gran tráfico de buques de pasaxe que concentra, que son os que máis están apostando na actualidade por este combustible.



Figura 6.2.- Primeiro suministro STS do buque Haugesund Knutsen. Abarloado por estribor ao cruceiro italiano Costa Esmeralda. Fonte: Knutsen Group

7. CONCLUSIONES

Alcanzar as emisións netas cero de cara ao ano 2050 é un desafío complexo que precisa do esforzo e unidade globais cos que acadar un cambio relevante nas actitudes, compromisos e infraestructuras.

Está demostrado que a cooperación internacional é un factor clave e necesario no desenvolvemento de tecnoloxías e na implementación de medidas efectivas coas que poder facer fronte á contaminación atmosférica e oceánica provocada pola emisión de gases de efecto invernadoiro e materia particulada procedentes do transporte marítimo en particular e da industria. Medidas e investigacións que se manteñen en constante evolución e coas que se vai acurtando o camiño para conseguir erradicar por completo esta problemática medioambiental.

Os combustibles de nova xeración cos que suplantará aos hidrocarburos e facer fronte ao problema plantexan o desafío de desenvolver a experiencia e a capacidade de producilos, transportalos e distribuilos a un nivel que garantice o abastecemento da demanda global dos mesmos.

Pese á cantidade de sistemas e tecnoloxías que se encontran aínda en desenvolvemento, e comparando os combustibles tanto alternativos coma convencionais que se empregan actualmente a bordo dos buques, determínase que, pese a non ser unha solución absoluta nin definitiva, gas natural licuado resulta ser a opción máis evolucionada tecnolóxicamente e a que se presenta coma a máis asequible actualmente polo feito de contar con reservas que aseguran o abastecemento global a longo prazo e cunha infraestructura de produción, suministro e distribución ben establecido. Polo que se presenta como o combustible fósil máis respetuoso co medio ambiente e a opción alternativa máis rentable a nivel operacional das que se dispoñen na actualidade para conseguir reducir as emisións e, á súa vez, poñer rumbo a acadar a total descarbonización do sector.

8. BIBLIOGRAFIA E REFERENCIAS

- Bertrand, S. (Diciembre de 2021). *Climate, Environmental, and Health Impacts of Fossil Fuels*. Obtenido de Environmental and Energy Study Institute, EESI: <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-climate-environmental-and-health-impacts-of-fossil-fuels-2021>
- Cánovas Sánchez, B. (Outubro de 2022). *Año 2065, ¿cómo será el tráfico marítimo en el Ártico?* Obtenido de Documento de Opinión IEEE 73/2022: https://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_opinion/2022/DIEEEE073_2022_BARCAN_Artico.pdf
- C-Job. (2022). *C-Job Naval Architects*. Obtenido de c-job.com: <https://c-job.com/press/new-class-of-hydrogen-ship-design-will-revolutionize-renewables-market/>
- CMB.TECH. (s.f.). Obtenido de cmb.tech: <https://cmb.tech/>
- Consejo superior de investigaciones científicas, CSIC. (s.f.). *csic.es*. Obtenido de <https://www.csic.es/es>
- CORE LNGas hive. (s.f.). Obtenido de <http://corelngashive.eu/>: <http://corelngashive.eu/en/about-the-project/>
- Det Norske Veritas, DNV. (Abril de 2023). *Methanol as fuel heads for the mainstream in shipping*. Obtenido de dnv.com: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Methanol-as-fuel-heads-for-the-mainstream-in-shipping.html#>
- EIDESVIK OFFSHORE ASA. (s.f.). Obtenido de eidesvik.no: <https://eidesvik.no/>
- Englert, D. L. (2021). *The Role of LNG in the Transition Toward Low- and Zero-Carbon Shipping*. World Bank. Washington, DC: PROBLUE.
- equinor. (s.f.). Obtenido de equinor.com: <https://www.equinor.com/>
- GASNAM Neutral Transport. (s.f.). Obtenido de gasnam.es: <https://gasnam.es/>
- Grzelakowski, A., & Herdzyk, J. (2022). Maritime Shipping Decarbonization: Roadmap to Meet. *Energies*, 15(6150). Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/17/6150>
- Intergovernmental Panel on Climate Change, ipcc. (s.f.). Obtenido de [ipcc.ch](https://www.ipcc.ch/):

<https://www.ipcc.ch/>

International Energy Agency (IEA). (Outubro de 2018). *Petrochemicals set to be the largest driver of world oil demand, latest IEA analysis finds*. Obtenido de [iea.org](https://www.iea.org/news/energy/2018/10/18/energy-outlook-2018):

<https://www.iea.org/news/energy/2018/10/18/energy-outlook-2018>

International Organization for Standardization, ISO. (2020). *Especificación para o Gas Natural Licuado empregado como combustible mariño (ISO 23306:2020)*.

Obtenido de

<https://cdn.standards.iteh.ai/samples/75199/ebd0d169c5604c4a85d64c5e97599fa8/ISO-23306-2020.pdf>

Islam Rony, Z. M.-L. (2023). Alternative fuels to reduce greenhouse gas emissions from marine transport and promote UN sustainable development goals. *Fuel*, 338.

Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236122040443>

Jones, P. R. (2019). Economic feasibility and long-term sustainability criteria on the path to enable a transition from fossil fuels to biofuels. *Current Opinion in Biotechnology (COBIOT)*, págs. 57:175-182.

King, A. (2022). Emissions-free sailing is full steam ahead for ocean-going shipping. *Horizon Magazine (European Commission)*.

LH2 Europe. (2022). Obtenido de [lh2europe.com](https://www.lh2europe.com/en/news/): <https://www.lh2europe.com/en/news/>

Marine Environment Protection Committee, MEPC. (10 de Outubro de 2008).

RESOLUCIÓN MEPC.176(58). Obtenido de ENMENDAS AO ANEXO DO PROTOCOLO DE 1997 QUE ENMENDA O CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVIŔ A CONTAMINACIÓN POLOS BUQUES, 1973, MODIFICADO POLO PROTOCOLO DE 1978 (Anexo VI revisado do Convenio MARPOL): <https://www.directemar.cl/directemar/asuntos-internacionales/resoluciones-comite-mepc/mepc-58/mepc-176-58>

Marine Environment Protection Committee, MEPC. (10 de Outubro de 2008).

RESOLUCION MEPC.177(58). PRESCRIPCIONES AL C3DIGO T3CNICO RELATIVO AL CONTROL DE LAS EMISIONES DE 3XIDOS DE NITR3GENO DE LOS MOTORES DI3SEL MARINOS. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/asuntos-internacionales/resoluciones->

comite-mepc/mepc-58/mepc-177-58

- Marine Environment Protection Committee, MEPC. (13 de Abril de 2018).
RESOLUCIÓN MEPC.304 (72). *ESTRATEGIA INICIAL DA OMI SOBRE A REDUCCIÓN DA EMISIÓN DE GEI DOS BUQUES*. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/asuntos-internacionales/resoluciones-comite-mepc/mepc-72/mepc-304-72>
- Marine Environment Protection Committee, MEPC. (20 de Novembro de 2020).
RESOLUCIÓN MEPC.327(75). *FOMENTO DA ELABORACIÓN E PRESENTACIÓN DE PLANS DE ACCIÓN NACIONAIS VOLUNTARIOS POR PARTE DOS ESTADOS MEMBROS CON MIRAS A ABORDAR AS EMISIÓN DE GEI PROCEDENTES DOS BUQUES*. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/asuntos-internacionales/resoluciones-comite-mepc/mepc-75/mepc-327-75>
- Marine Environment Protection Committee, MEPC. (1 de Maio de 2022).
RESOLUCIÓN MEPC.328(76). *ENMENDAS AO ANEXO DO PROTOCOLO DE 1997 QUE ENMENDA O CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVI R A CONTAMINACIÓN POLOS BUQUES, 1973, MODIFICADO POLO PROTOCOLO DE 1978*. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/asuntos-internacionales/resoluciones-comite-mepc/mepc-76/mepc-328-76>
- Marine Environment Protection Committee, MEPC. (16 de Decembro de 2022).
RESOLUCIÓN MEPC.361(79). *ENMENDAS AO ANEXO VI DO MARPOL NO RELATIVO Á ZONA DE CONTROL DAS EMISIÓN DE ÓXIDO DE XOFRE E MATERIA PARTICULADA NO MAR MEDITERRÁNEO*. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/asuntos-internacionales/resoluciones-comite-mepc/mepc-79/mepc-361-79>
- Marine Environment Protection Committee, MEPC. (16 de Decembro de 2022).
RESOLUCIÓN MEPC.367(79). *FOMENTO DA ELABORACIÓN E PRESENTACIÓN DE PLANS DE ACCIÓN NACIONAIS VOLUNTARIOS POR PARTE DOS ESTADOS MEMBROS EN RELACIÓN COAS EMISIÓN DE GEI PROCEDENTES DOS BUQUES*. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/mepc-367-79>
- Marquez, C. (2023). *Marine Methanol Future-Proof Shipping Fuel*. METHANOL

INSTITUTE. Methanol Institute. Obtenido de https://www.methanol.org/wp-content/uploads/2023/05/Marine_Methanol_Report_Methanol_Institute_May_2023.pdf

Mateti, S. Z. (2022). Superb storage and energy saving separation of hydrocarbon gases in boron nitride nanosheets via a mechanochemical process. *Materials Today*, 57, 26-34. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1369702122001614?dgcid=author#f0025>

Naciones Unidas. (2015). *Acordo de París*. París.

NAUTILUS. (s.f.). Obtenido de nautilus-project.eu: <https://nautilus-project.eu/>

Oil Spill Response. (s.f.). Obtenido de [oilspillresponse.com](https://www.oilspillresponse.com): <https://www.oilspillresponse.com/es/>

Oil Spill Response Limited. (s.f.). Obtenido de <https://www.oilspillresponse.com/es/>

OMI & Ministerio Noruego del Clima y el Medioambiente. (2021). GreenVoyage. *Análisis cláusula a cláusula del Convenio MARPOL*. Obtenido de Análisis cláusula a cláusula del Anexo VI del Convenio MARPOL: <https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2022/09/Clause-by-clause-analysis-of-2021-Revised-MARPOL-Annex-VI-ES-min.pdf>

Organización Marítima Internacional (OMI). (s.f.). *Lista de enmiendas que entrarán en vigor el presente año y en los próximos años*. Obtenido de [imo.org](https://www.imo.org): <https://www.imo.org/es/About/Conventions/Paginas/Action-Dates.aspx#:~:text=Entrada%20en%20vigor%20de%20las%20enmiendas%20al%20Anexo%20I%20del,1%20de%20julio%20de%202024>.

Ørsted . (s.f.). *Hidrógeno verde*. Obtenido de orsted.es: <https://orsted.es/nuestras-soluciones-de-energia-renovable/hidrogeno-verde>

Philipp, R., & Hensey, L. (2019). EVALUATING LNG BUNKERING AUTOMATION. *World of Shipping Portugal*. Carcavelos, Portugal.

SGMF. (s.f.). Obtenido de [sgmf.info](https://www.sgmf.info): <https://www.sgmf.info/>

SIGTTO. (s.f.). Obtenido de [sigtto.org](https://www.sigtto.org): <https://www.sigtto.org/>

Transport & Environment. (Abril de 2022). *Methane at Sea: Finding the Invisible*

Climate Killer. Obtenido de transportenvironment.org:

<https://www.transportenvironment.org/discover/methane-finding-the-invisible/>

United Kingdom Government. (Marzo de 2021). *£20 million fund to propel green shipbuilding launched*. Obtenido de GOV.UK:

<https://www.gov.uk/government/news/20-million-fund-to-propel-green-shipbuilding-launched>

United States Environmental Protection Agency, EPA. (s.f.). Obtenido de epa.gov:

<https://www.epa.gov/nutrientpollution/sources-and-solutions-fossil-fuels#:~:text=When%20fossil%20fuels%20are%20burned,referred%20to%20as%20nitrogen%20oxides.>

United States Environmental Protection Agency, EPA. (Enero de 2023). *The Sources and Solutions: Fossil Fuels*. Obtenido de epa.gov:

<https://www.epa.gov/nutrientpollution/sources-and-solutions-fossil-fuels#:~:text=When%20fossil%20fuels%20are%20burned,referred%20to%20as%20nitrogen%20oxides.>

9. DEFINICIÓNS, ABREVIATURAS E SIMBOLOS

Boil-off: Cantidade de líquido que se evapora nunha carga.

Bunkering: Operación de abastecemento de combustible.

CO₂: Dióxido de Carbono.

CIG: Código internacional de construción e equipamento de buques que transporten gases licuados a granel.

Consello da Unión Europea: Principal órgano de decisión, xunto co Parlamento Europeo, da Unión Europea.

Criosfera: Capa da Terra formada por todos os puntos que están permanentemente cubertos de xeo.

DNV: Sociedade de clasificación Det Norske Veritas.

ECA: Emission Control Areas

Electrólisis: Proceso que separa os elementos dun composto por medio da electricidade.

FSRU (Float Storage and Regasification Unit): Unidade Flotante de Almacenamento e Regasificación.

FSU (Float Storage Unit): Unidade Flotante de Almacenamento.

GASNAM: Asociación ibérica de transporte sostible.

GEI: Gases de efecto invernadoiro.

GNL: Gas natural licuado.

HFO (Heavy Fuel Oil): Fuel pesado. Trátase de fuel residual practicamente puro e de alta concentración de xofre.

IFO (Intermediate Fuel Oil): Fuel intermedio. Mestura de fuel pesado, petróleo e gasóleo.

IGF Code (International Code of Safety for Ships using Gases or other Low-flashpoint Fuels): Código Internacional de Seguridade para Buques que utilizan gases ou outros combustibles de baixo punto de inflamación

IMO: International Maritime Organization.

ISO (International Organization for Standardization): Organización Internacional de Normalización.

m³: Metro cúbico.

MARPOL: Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques.

MDO (Marine Diesel Oil): Diesel mariño. Mezcla de gasóleos pesados de baixa viscosidade.

MEPC (Marine Environment Protection Committee): Comité de protección do medio mariño.

MGO (Marine Gas Oil): Gasoil marino. Destilado sen ningunha porcentaxe de fuel residual.

NECA: Nitrogen Oxide Emission Control Area

NO_x: Óxidos de nitróxeno.

Offshore: Situado a gran distancia do litoral

OMI (Organización Marítima Internacional): Organismo das Nacións Unidas especializado e responsable da seguridade e protección da navegación e de previr a contaminación derivada do transporte marítimo

Petroquímico: Composto derivados do petróleo e do gas natural, e utilizados na produción de elementos cotidianos como aparatos electrónicos, elementos textís, deterxentes ou, por suposto, o plástico.

ONG: Organización non gubernamental.

pH: Coeficiente que indica o grado de acidez ou basicidade dunha solución acuosa.

PTS: Terminal/Pipeline to Ship transfer.

Scrubber: Término anglosajón que fai referencia á torre de lavado ou depurador dos gases de escape dos buques.

SECA: Sulphur Emission Control Area

Smog fotoquímico: Resultado das reaccións orixiadas na atmosfera entre óxidos de nitróxeno, compostos orgánicos e oxidantes baixo influencia da radiación solar

SO_x: Óxidos de xofre.

STS: Ship to ship transfer.

teu (twenty-foot Equivalent Unit): Unidade equivalente á capacidade de carga dun contenedor estándar de vinte pés.

TTS: Truck to ship transfer.

VLSFO (Very Low Sulphur Fuel Oils): Fuel Oil de Moi Baixo contido en Xofre.

10. INDICE DE TABOAS

Taboa 3.3.1. – Plans e estratexias nacionais relevantes con respecto ás emisións de GEI dos buques. Elaboración propia. Fonte: <https://www.imo.org>. 19

11. INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1.2.1.- Prototipo buque GAIA. Fonte: lh2europe.com 26

Figura 4.1.2.2.- Imaxe real e imaxe do prototipo no que se amosa a distribución dos motores do buque e tanques de almacenamento do hidróxeno. Fonte: cmb.tech 27

Figura 4.1.2.3.- Primeira operación bunkering STS de metanol no mundo a un buque non-tanqueiro. Porto de Gotemburgo. Xaneiro 2023. Fonte: Gothenburg Port Authority. 29

Figura 4.1.2.4.- Estadísticas do ano 2020 e escenarios hipotéticos para a posible distribución dos diferentes tipos de combustibles no mercado do transporte marítimo de cara ao ano 2050. Fonte: (Grzelakowski & Herdzik, 2022) 30

Figura 5.1.1.- Emisións de calor e gas metano das chimeneas de escape dos motores de dous buques. Fonte: transportenvironment.org 35

Figura 5.5.1.- Esquema da cadea loxística asociada ao abastecemento de GNL como combustible. Fonte: globallnghub.com 44

Figura 5.5.1.1. - Esquema cadea loxística asociada á distribución de Gas Natural dende unha instalación FSRU. Fonte: www.portalmorski.pl 2..... 47

Figura 5.5.2.1. – Exemplo dun modelo FSRU. Explicación esquemática dunha peración bunkering dende unha instalación deste tipo. Fonte: totalenergies.com 48

Figura 5.5.2.2.- Modalidades de abastecemento. Fonte: (Philipp & Hensey, 2019) 49

Figura 6.1.- Rede ibérica para o abastecemento de GNL. Fonte: corelngashive.eu 52

Figura 6.2.- Primeiro suministro STS do buque Haugesund Knutsen.Abarloado por estribor ao cruceiro italiano Costa Esmeralda. Fonte: Knutsen Group 53

