

MÁSTER UNIVERSITARIO EN NÁUTICA Y TRANSPORTE MARÍTIMO

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MEDIDAS PARA PREVENIR Y REDUCIR LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PROVENIENTES DEL TRANSPORTE MARÍTIMO

Alumno/Alumna	<i>Cuesta, Álvarez, Jagoba</i>
Director/Directora	<i>Martínez, Lozares, Aitor Tomás</i>
Departamento	Ciencias y Técnicas de la Navegación, Máquinas y Construcciones Navales
Curso académico	<i>2018/2019</i>

Bilbao, septiembre, 2019

ÍNDICE

ÍNDICE	I
FIGURAS UTILIZADAS	II
RESUMEN	IV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ESTADO DEL ARTE	1
1.2. OBJETIVOS	2
2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	3
2.1. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	3
2.2. COMO AFECTA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA A LA SALUD DE LAS PERSONAS.....	6
2.3. COMO AFECTA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA AL MEDIOAMBIENTE.....	8
3. LAS EMISIONES DE GASES EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO	13
3.1. REGULACIÓN DE EMISIONES GENERADAS POR PARTE DE LOS BUQUES.....	14
3.2. ZONAS ECA (EMISSION CONTROL AREAS)	17
3.3. ANALIZADORES DE GASES.....	19
3.4. HERRAMIENTAS DE LA OMI PARA EL CONTROL DE EMISIONES PRODUCIDAS POR LOS BUQUES.....	20
3.5. CONTROL DE LOS NIVELES DE GASES EN LOS PUERTOS ESPAÑOLES.....	29
4. MEDIDAS PARA REDUCIR LAS EMISIONES GENERADAS POR EL TRANSPORTE MARÍTIMO	37
4.1. REDUCCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL BUQUE	37
4.2. DISEÑO	38
4.3. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS	39
4.4. CONEXIÓN DE LOS BUQUES A LA RED ELÉCTRICA.....	42
4.5. PROPULSIÓN HÍBRIDA DIESEL – ELÉCTRICO.....	50
4.6. ENERGÍA SOLAR.....	51
4.7. REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (SCR)	53
4.8. OPTIMIZACIÓN DEL ASIENTO	54
4.9. ROTOR FLETTNER	55
4.10. TENER LA ADECUADA RUGOSIDAD Y LIMPIEZA EN EL CASCO Y HÉLICE.....	58
5. CONCLUSIONES.....	61
6. BIBLIOGRAFÍA	63

FIGURAS UTILIZADAS

Figura 2.1: Ilustración efecto invernadero [5]	9
Figura 3.1: Emisiones estimadas de CO ₂ en millones de toneladas por año [6].....	13
Figura 3.2. Límites de emisiones de óxidos de nitrógeno [8]	15
Figura 3.3. Contenidos máximos de azufre en el combustible [8].....	16
Figura 3.4: Áreas con control de emisiones por óxidos de azufre y nitrógeno [10].....	18
Figura 3.5: Rutas transitadas por el tráfico marítimo mundial [11].....	18
Figura 3.6: Analizador de dióxido de azufre [12].....	19
Figura 3.7: Líneas de referencia EEDI desarrolladas por la OMI usando las técnicas de la Resolución MEPC.231(65) [17]	22
Figura 3.8: Factores de reducción para el EEDI requerido [17]	23
Figura 3.9: Concepto de los EEDI requeridos para las distintas fases [17].....	24
Figura 3.10: Cálculo del EEDI para un buque en concreto [17][Autor].....	24
Figura 3.11: Factores de conversión para distintos tipos de combustible [17].....	28
Figura 3.12: Herramientas EEDI, SEEMP y EEOI durante las distintas fases de la vida del buque [Autor]	29
Figura 3.13: Situación de las cabinas de medición [21]	32
Figura 3.14: Cabina ubicada en Las Arenas [Autor]	32
Figura 3.15: Instrumentos de la cabina de medición de emisiones de Las Arenas [22]	33
Figura 3.16: Cantidades en µg/m ³ medias diarias y horarias de PM10 y SO ₂ [21]	33
Figura 3.17: Cantidades en µg/m ³ y mg/m ³ de óxidos de nitrógeno y óxidos de carbono respectivamente [21]	34
Figura 3.18: Analizadores de gases y partículas instalados en un gran número de puertos españoles [22].....	35
Figura 4.1: Componentes de una instalación OPS [32]	43
Figura 4.2: Disposición de los elementos de acondicionamiento de la energía eléctrica [32]	44
Figura 4.3: Conexión de un buque a un OPS mediante una caja de conexiones vertical [32]	47
Figura 4.4: Ejemplo de grúa con base fija (izquierda) y operación de conexión de buque (derecha) [32]	47
Figura 4.5: Bloques del sistema OPS con convertidor de frecuencia [32]	48

Figura 4.6: Sistema comercializado de tipo OGSP [32]	49
Figura 4.7: Diferencias de emisiones generadas entre ambas propulsiones [33]	51
Figura 4.8: Diseño conceptual para el aumento del área de paneles solares [31].....	52
Figura 4.9: Ubicación del SCR en la sala de máquinas [34]	53
Figura 4.10: Programa optimizador de asiento [35]	54
Figura 4.11: Cilindro girando perpendicularmente a las líneas de corriente de un fluido[36]	56
Figura 4.12: Representación de la fuerza de sustentación generada por el cilindro anterior [36]	56
Figura 4.13: Buque actual con los rotores Flettner [37]	57
Figura 4.14: Casco de un buque con fouling [17].....	58

RESUMEN

La contaminación atmosférica a nivel mundial, lleva ya muchos años aumentando descontroladamente. Indudablemente el transporte marítimo tiene responsabilidad en este asunto. Afortunadamente la Organización Marítima Internacional (OMI) trabaja en este problema para ir moderándolo, por lo que se cita la regulación que establece esta Organización sobre los límites de la cantidad de emisiones que deben y que deberán generar los buques. No es fácil de desarrollar una solución ya que entran bastantes variables en juego. Este trabajo trata sobre los cambios que se tienen que producir en el modo de operar por el buque, en el diseño y equipamiento de los nuevos barcos y también la colaboración y adaptación por parte de los puertos a los cambios necesarios.

LABURPENA

Munduko kutsadura atmosferikoa handitzen hari da urtero kontrolik gabe. Zalantzarik gabe itsas garraioa erantzukizuna du kontu honetan. Zorionez, Itsasoaren Nazioarteko Erakundea lan egiten hari du arazo honetan ahal den neurrian moderatzeko. Beraz, aipatzen dira erakunde honen igorpenei buruzko arauak. Ez da erresa konponbidea ematea, aldagarri asko parte hartzen dutelako. Lan honetan ikus dezakegu zein aldaketak egin behar diren itsasontzien ekipamenduan, diseinuan, eta portuen kolaborazioan eta haien moldaketan batez ere.

ABSTRACT

The air pollution has been increasing uncontrollably for many years. Undoubtedly sea transport has responsibility in this matter. Hopefully, the International Maritime Organization works (IMO) on the problem to moderate it. So, on the below thesis, is cited the regulation that establish this Organization about the limits of the ships' emissions which will must be allowed. It's not easy to develop a solution because there are a lot of variables. This thesis

shows the changes that they have to make on ships from operational-level, to about design and the equipment of new ships. And also, the collaboration and adjustments from the ports.

PALABRAS CLAVE

Medidas, reducir, emisiones, buque, contaminación y transporte marítimo.

1. INTRODUCCIÓN

En la segunda década del siglo XXI la demanda del transporte marítimo sigue considerándose como una variable en continuo crecimiento. Más del 90% del comercio mundial se realiza por mar a través de unos 90.000 buques. Aunque quedan lejos las exageradas tasas de crecimiento de la flota mundial, para el periodo 2007 – 2012 (6-9% interanual), aún sigue creciendo significativamente el número de buques año tras año.

Por desgracia, el sector marítimo genera una contaminación atmosférica importante. De acuerdo a la OMI, el transporte marítimo actualmente es responsable de aproximadamente 1000 millones de toneladas de CO₂ (2,5% de las emisiones globales). Además de emitir otros contaminantes atmosféricos como los óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

Estas emisiones contribuyen directamente al calentamiento global, que representa una de las mayores amenazas que en la actualidad se ciernen sobre la vida humana y la del resto de los seres que habitan el planeta. De hecho, desde 1900 el calor del planeta ha aumentado en alrededor de 0,8°C. A finales del siglo XXI, sin embargo, a causa del calentamiento global es probable que la subida de las temperaturas sea de alrededor de 2 a 5°C.

En otras palabras, cuando la Tierra salió de la Edad del Hielo, el planeta se calentó también unos 5 grados, pero lo hizo en aproximadamente 5000 años. El cambio climático moderno amenaza con producir la misma cantidad de calentamiento en tan sólo un siglo.

Por lo que, el trabajo recopila información sobre el lugar que ocupa el sector marítimo en este problema medioambiental, también da a conocer las propuestas tomadas por las grandes organizaciones y plantea medidas disponibles para moderar las emisiones de este sector.

1.1. ESTADO DEL ARTE

Como se ha mencionado en la bibliografía del trabajo, hay numerosas publicaciones en internet sobre estudios que tratan el problema del sector marítimo y sus emisiones. O

también, las que exclusivamente hablan de una medida en concreto con la que se consiguen menores cantidades de emisiones.

La Organización Marítima Internacional ha resultado muy importante ya que, a proporcionado al trabajo el convenio *MARPOL* (2017) para la regulación sobre las emisiones, un curso sobre la eficiencia energética en las operaciones con el buque y otras publicaciones interesantes. También el informe *Red de control de la contaminación para las Autoridades Portuarias de A Coruña, Bilbao, Cartagena, Huelva, Santander, Tarragona y Valencia. Proyecto HADA – LIFE 02/ENV/E/274* (2005) ha sido muy relevante porque proporciona datos reales sobre el equipamiento que disponen casi todos los puertos españoles para la medición de la contaminación atmosférica.

Para la elaboración del apartado 4, la publicación *Future ship powering options* (2013) ha resultado de gran utilidad. Dispone de información sobre varias de las medidas de dicho apartado.

1.2. OBJETIVOS

El presente trabajo quiere dar a conocer la situación reciente que vivimos en cuanto a la contaminación atmosférica. Principalmente, por la generada debido al transporte marítimo. Ver qué lugar ocupa en este gran problema y conocer cuáles son las medidas que se pueden llevar a la práctica en el propio barco y en su entorno.

Es fundamental conocer la regulación existente y la que se aplicará a corto plazo. Para así tener una visión general de los cambios que veremos en las labores de la tripulación y en las modificaciones que tendrán que sufrir los buques.

Su objetivo primordial es el de mostrar que existen actualmente medidas útiles para reducir las emisiones de los buques. Tanto a nivel operacional en el propio barco, como con la modernización con maquinaria más eficiente, diseño del casco o también la colaboración por parte de la gestión portuaria. Se preocupará de analizar las medidas detenidamente para explicar los beneficios que pueden ofrecer.

2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera de sustancias que son perjudiciales para el medio ambiente y los seres vivos. Normalmente está asociada a las actividades humanas. Como pueden ser los procesos de la industria, el transporte terrestre, marítimo, aéreo, las calefacciones de las viviendas etc. La naturaleza en ocasiones también emite sustancias perjudiciales que no están en la atmósfera o sí, pero en otras concentraciones. La erupción volcánica es el ejemplo más conocido.

A continuación, veremos cuáles son las sustancias perjudiciales que se vierten a la atmósfera y como nos afecta esa contaminación a los humanos y al medioambiente.

2.1. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

La composición de los contaminantes químicos atmosféricos es muy variada. Además de su procedencia y su origen natural o antropogénico, los contaminantes se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son sustancias vertidas directamente a la atmósfera, entre los que se encuentran los aerosoles o partículas, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos. Los contaminantes secundarios son sustancias que se producen como consecuencia de las transformaciones, reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera. [1]

Los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno son los contaminantes más regulados por la legislación. Los primeros, se forman por la combustión de cualquier sustancia que contenga azufre, como el carbón o el petróleo, generando dióxido de azufre (SO_2) como contaminante primario. El trióxido de azufre (SO_3) se forma en la atmósfera, como contaminante secundario, por la acción fotoquímica sobre el anhídrido sulfuroso, así como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) que se produce por la oxidación catalítica de los óxidos de azufre en las gotas de agua de lluvia. Se estima que en el hemisferio norte más del 90% de la producción de óxidos de azufre es de origen antropogénico. [1]

Para los segundos, la mayor parte de las emisiones antrópicas de óxidos de nitrógeno se producen en forma de óxido nítrico (NO), como contaminante primario en los procesos de combustión de combustibles fósiles como petróleo, carbón o gas natural. La oxidación posterior del óxido nítrico da lugar al dióxido de nitrógeno (NO₂) y posteriormente al ácido nítrico (HNO₃), como contaminantes secundarios. [1]

Otro de los más perseguidos es el monóxido de carbono (CO). Es el contaminante más abundante en la capa inferior de la atmósfera, y su origen antropogénico es debido a la combustión incompleta de materias orgánicas (gas, carbón, madera, etc.), en especial los carburantes de los automóviles. Al oxidarse en la atmósfera genera dióxido de carbono (CO₂). [1]

También están presentes los siguientes, aunque son menos preocupantes [1];

- Las partículas o aerosoles: Como partículas se engloban tanto diminutos fragmentos sólidos como gotas de líquido de pequeño tamaño, que pueden tener composición química diversa. Este grupo incluye las partículas sedimentables, en suspensión y los humos. Alrededor de un 80% de las partículas presentes en la atmósfera tienen origen natural (aerosoles marinos, arrastre de polvo por el viento, erupciones, incendios, polen, etc.). Las fuentes antropogénicas más importantes son los procesos de combustión y las pérdidas en procesos extractivos e industriales (minería, canteras, fábricas de cemento, tratamientos de residuos, etc.). También es importante cuantitativamente la formación de aerosoles secundarios a partir de contaminantes gaseosos primarios. Las partículas tienen en una amplia gama de tamaños y se clasifican en función de su diámetro aerodinámico en PM₁₀ (partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micras) o PM_{2,5} (diámetro aerodinámico inferior a 2,5 micras).
- Compuestos orgánicos volátiles (COV): Forman parte de este grupo todos aquellos hidrocarburos que se presentan en estado gaseoso a temperatura ambiente normal o que son muy volátiles a dicha temperatura. Tienen un origen tanto natural como antropogénico (debido a la evaporación de

disolventes orgánicos, a la quema de combustibles, al transporte, etc.). Se caracterizan por participar en reacciones químicas en la atmósfera generando otros contaminantes, como el ozono.

- Ozono (O₃): El ozono es un contaminante secundario. Se denominan “precursores del ozono troposférico” a las sustancias que intervienen en la formación de ozono en la parte más baja de la atmósfera, siendo las principales los óxidos de nitrógeno, los compuestos orgánicos volátiles (COV) y el monóxido de carbono (CO).
- Compuestos halogenados: Entre los de mayor incidencia sobre la calidad del aire se encuentran los compuestos de flúor, los de cloro y los freones. Los compuestos de flúor son emitidos principalmente por las industrias de la cerámica, de aluminio y de vidrio. Los compuestos de cloro son emitidos principalmente por la industria petroquímica. Destacan en este grupo los clorofluorocarbonos (CFC), gases de los que no existen fuentes naturales, hasta hace poco muy utilizados en la industria de fabricación de espumas y aislantes, como fluidos refrigerantes y como propelentes en aerosoles.
- Metales pesados: Los metales pesados son elementos químicos que generalmente se hallan presentes en la atmósfera en muy bajas concentraciones por lo que su origen procede en su gran mayoría de fuentes antrópicas. Las emisiones de metales pesados se originan fundamentalmente en grandes instalaciones de combustión, industria de calcinación y síntesis de minerales metálicos, fundiciones, acerías y otras instalaciones metalúrgicas, industria de producción de cemento y vidrio e instalaciones de incineración de residuos urbanos y sanitarios. Una de las características más peligrosas de los metales tóxicos en el ambiente es que no son degradados ni química, ni biológicamente por la naturaleza. Entre los metales tóxicos más importantes por sus efectos sobre la salud del ser humano están el mercurio

(Hg) y el plomo (Pb), aunque también se encuentran en la atmósfera otros metales como cadmio, níquel, cobre, cromo o arsénico.

- Dioxinas: Se trata de compuestos químicos generados a partir de procesos de combustión de productos en cuya composición participa el cloro, especialmente en procesos en que tiene lugar una combustión incompleta. En los países industrializados, los principales emisores son actualmente los incineradores sanitarios y de basuras, pero también se utilizan en el blanqueado de papel con cloro, o en diferentes biocidas. El término se aplica indistintamente a los policlorodibenzofuranos (PCDF) y las policlorodibenzodioxinas (PCDD).

2.2. COMO AFECTA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA A LA SALUD DE LAS PERSONAS

La contaminación atmosférica influye notablemente en la calidad de vida del ser humano. Aunque la gente que está expuesta no se dé cuenta, afecta negativamente a gran parte del organismo.

Son muchos los efectos a corto y a largo plazo que la contaminación atmosférica puede ejercer sobre la salud de las personas. En efecto, la contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía y crónicas como el cáncer de pulmón y las enfermedades cardiovasculares.

La contaminación atmosférica afecta de distintas formas a diferentes grupos de personas. Los efectos más graves se producen en las personas que ya están enfermas. Además, los grupos más vulnerables, como los niños, los ancianos y las familias de pocos ingresos y con un acceso limitado a la asistencia médica son más susceptibles a los efectos nocivos de dicho fenómeno.

Concretamente en los más pequeños, durante el proceso continuo de crecimiento y desarrollo del aparato respiratorio, existen períodos específicos durante los cuales las exposiciones tóxicas pueden interrumpir el normal desarrollo. Lo que podría causar daños a largo plazo. El sistema inmune inmaduro implica un sistema de detoxificación menos desarrollado, que dificulta el metabolismo de los componentes peligrosos en menos peligrosos. Los patrones de exposición y de conducta son importantes en los niños debido a que ellos son más activos y realizan más actividades al aire libre. Además, como respiran más cerca del suelo, están más expuestos a los contaminantes que tienden a caer al suelo (ej.: O₃). Su respiración más rápida y mayor tasa metabólica que los adultos aumenta su dosis de exposición, lo cual se incrementa aún más si la respiración es bucal (ej.: en el ejercicio). [2]

Se calcula que en el mundo suman 1,3 millones las personas que mueren al año a causa de la contaminación atmosférica urbana; más de la mitad de esas defunciones ocurren en los países en desarrollo. Los residentes de las ciudades donde hay niveles elevados de contaminación atmosférica padecen más enfermedades cardíacas, problemas respiratorios y cánceres de pulmón que quienes viven en zonas urbanas donde el aire es más limpio. [3]

Según la OMS (Organización Mundial de la Salud) reduciendo la materia particulada (PM10, PM2,5) de las zonas urbanas de 70 µg/m³ a 20, se podría reducir a largo plazo en un 15% la mortalidad provocada por la contaminación atmosférica.

Las maneras de mejorar la calidad del aire que respiramos en las ciudades, pueden ser más sencillas de lo que pensamos. Muchas de ellas se centran en concienciar a los ciudadanos que se tienen que cambiar ciertos hábitos que tenemos en nuestro día a día. Como por ejemplo utilizar el transporte público en vez del coche particular, ir a pie o en bicicleta si es posible, utilizar desodorantes de barra para evitar los de aerosol o conducir de manera eficiente sin revolucionar en exceso el coche. También se debe poner atención a la mejora de la eficiencia energética de las centrales eléctricas, edificios y demás industrias que se encuentren cerca de las ciudades. Las primeras se pueden mejorar cambiando el carbón que utilizan como combustible por otros más limpios y renovables. [Autor]

Cada día la gente está más concienciada del problema que sufrimos. Pero está claro que sin el aumento de propuestas destinadas a controlar las emisiones de contaminantes atmosféricos y sin el endurecimiento de la regulación en política medioambiental, no será posible ver una clara mejoría en la calidad del aire que tenemos en las ciudades. [Autor]

2.3. COMO AFECTA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA AL MEDIOAMBIENTE

El cambio climático es el principal problema con respecto al medioambiente, al que nos enfrentamos. El planeta Tierra ya ha sufrido periódicamente otros cambios climáticos, pero nunca uno como este generado por el ser humano.

Es global, es decir, más allá de los primeros impactos ambientales que afectaban sólo a áreas locales o regionales, desde la segunda mitad del siglo XX comienzan a aparecer los primeros problemas de alcance global, como también lo son la reducción del ozono estratosférico o la pérdida de biodiversidad. En segundo lugar, es exponencial, lo que significa que su variable se duplica en intervalos de tiempo que son cada vez más cortos, según la representación parabólica de una ecuación de segundo grado. Esta exponencialidad muestra directamente la rapidez a la que se está produciendo en concordancia con la intensidad de las actividades humanas y las emisiones que producen.

Finalmente, se trata de un hecho persistente, es decir, que aun atajándolo definitivamente desde ahora el problema se mantendría durante décadas debido a los largos tiempos de residencia de los productos implicados. Esta persistencia es la que también explica que muchos productos químicos de origen industrial, aunque comunes a nuestra actividad cotidiana, aparezcan en la grasa de las aves o mamíferos polares o incluso que se encuentren en nuestro organismo. [4]

El origen del cambio climático se encuentra en la emisión masiva a la atmósfera de los llamados “Gases invernadero”. Lo que ocurre es que estos gases generan una barrera que

permite que pase la radiación solar. Por otra parte, impide que la radiación infrarroja atraviese dicha barrera, dirigiéndola de nuevo hacia la superficie.

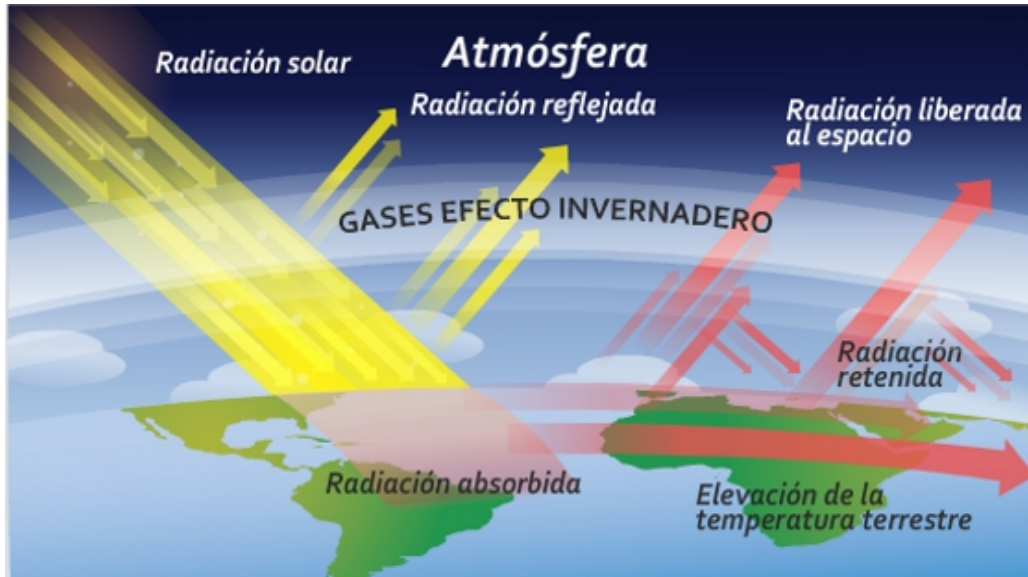


Figura 2.1: Ilustración efecto invernadero [5]

Debe señalarse que el efecto invernadero en sí no sólo no es perjudicial, sino que es necesario para que exista vida evolucionada en nuestro planeta. Sin el efecto invernadero natural generado por sus dos gases principales, el dióxido de carbono y el vapor de agua, la temperatura atmosférica media de la Tierra no sería de 15°C, temperatura óptima que permite la existencia de al menos diez millones de especies, sino de -20°C, con lo que las condiciones de vida serían mucho más difíciles. [4]

Siempre que a lo largo de la historia ha habido mayores concentraciones de dióxido de carbono atmosférico ha habido también mayores temperaturas (lo sabemos por el análisis de los hielos polares, verdadero registro fósil atmosférico del último millón de años, dado que la nieve lleva una porción de aire que incorporará luego al hielo). [4]

Prácticamente todos sabemos que nuestro ritmo de vida hace que generemos grandes cantidades de gases, entre ellos el CO₂ que lo tenemos muy presente debido a que lo genera en gran cantidad nuestros vehículos. Luego es obvio que nuestras actividades son las responsables en gran parte del aumento de temperatura global.

Este incremento, según diferentes escenarios previstos, puede variar entre 1,4°C y 5,8°C en los próximos cien años (para darnos cuenta de la magnitud de estos datos, baste recordar que en la última glaciación que sepultó de hielo el hemisferio norte, la diferencia de la temperatura media con la actual fue sólo de 5°C, naturalmente negativos). Actualmente la temperatura ha ascendido $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, originando según la Real Academia de Ciencias Sueca que la Tierra sea ahora más caliente que en cualquier otro momento de su historia. 1998 fue el año más cálido, de la década más cálida, del siglo más cálido hasta ahora registrado. En cualquier caso, el calentamiento no afectará por igual a todo el planeta, variando desde valores mínimos en el Ecuador hasta valores máximos en los polos. [4]

Otro de los impactos esperados del cambio climático a nivel geológico es el retroceso de los glaciares. En los que se ha producido una reducción del 10% desde 1960. Hoy en día la mayoría de los glaciares del mundo han experimentado retroceso. Como consecuencia del deshielo tenemos el aumento del nivel del mar, actualmente 6 cm desde el comienzo de este siglo. Y para el final de este podría alcanzar hasta los 88 cm. También la humedad del suelo se reduciría en algunas zonas por evaporación, incrementando la aridez y propiciando fenómenos de desertización. [4]

En cuanto a los impactos meteorológicos, destaca en primer lugar, la mayor intensidad de esta clase de fenómenos como vientos, precipitaciones o huracanes. Se puede deber a que la atmósfera posee mayor energía junto a una mayor evaporación de agua. El incremento de las olas de calor será otro de los fenómenos con importancia. Estas olas llevan consigo contaminantes atmosféricos, incrementando las tasas de mortalidad como ha sido observado en varias localidades españolas y europeas. Finalmente, los impactos pueden venir también de posibles cambios en las corrientes marinas, lo que trastocaría gran parte del panorama climático mundial: si el Ártico, como se espera, experimenta un calentamiento pronunciado, la corriente del Golfo, que lleva aguas cálidas desde el Golfo de México hasta latitudes septentrionales calentando a su paso el continente europeo, podría verse alterada al encontrarse con unas aguas más cálidas. Si nuestro continente perdiera la regularidad de esta fuente de calor, su temperatura media podría descender

hasta 10°C, originando así la paradoja de la existencia de zonas frías en un mundo globalmente más cálido. [4]

3. LAS EMISIONES DE GASES EN EL TRANSPORTE MARÍTIMO

El transporte marítimo obtiene su energía de la combustión de hidrocarburos fósiles. Las principales emisiones de gases que produce son el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NO_x), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂). Las cantidades que se emiten de estos gases dependen del tamaño y diseño del buque, potencia del motor utilizado, composición del combustible que se consuma...

La emisión de estos gases por parte del sector marítimo empezó a ser notable a finales del siglo pasado. Entre 1990 y 2007, debido a la globalización del comercio las emisiones se incrementaron en el sector en un 48%. Se espera que podrían incrementarse entre un 50 y un 250% para el año 2050. De acuerdo a declaraciones de la OMI, el transporte marítimo es responsable de aproximadamente 1.000 millones de toneladas de CO₂ que corresponde al 2,5% de las emisiones globales. Si no se adoptan medidas eficaces podrían representar en el año 2050 el 17% del total de las emisiones mundiales de dióxido de carbono. [6]

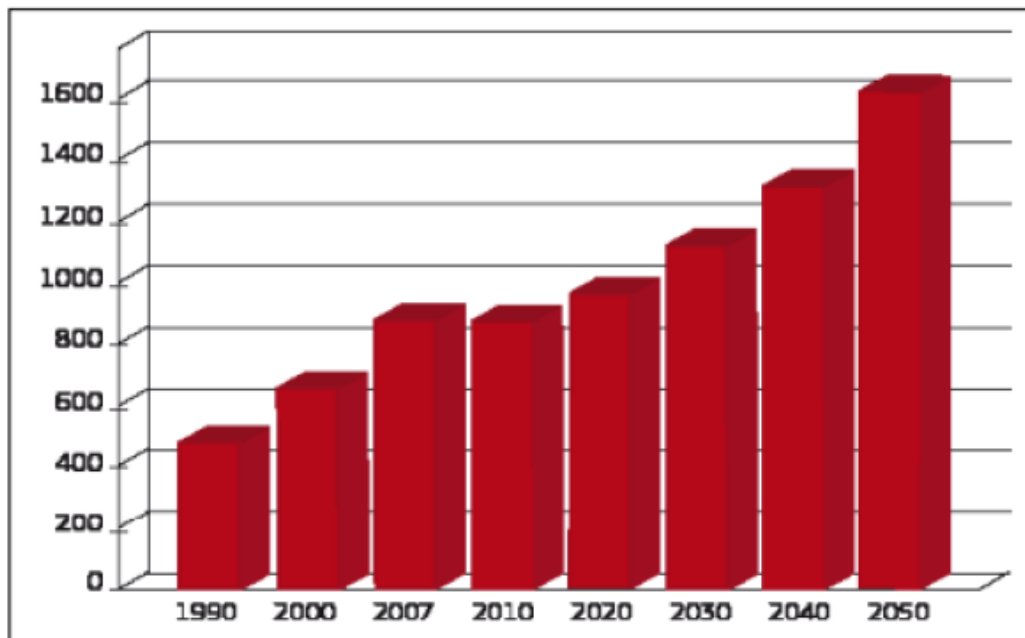


Figura 3.1: Emisiones estimadas de CO₂ en millones de toneladas por año [6]

Las emisiones de gases de efecto invernadero del sector podrían reducirse hasta en un 75% aplicando medidas asociadas a la operativa y tecnologías ya existentes. Esta reducción de emisiones podría ser aún mayor si se aplicasen nuevas tecnologías innovadoras. Los gobiernos deberán desempeñar una función fundamental apoyando la inversión en investigación, normas de producto y la subvención de nuevas tecnologías emergentes. [6]

3.1. REGULACIÓN DE EMISIONES GENERADAS POR PARTE DE LOS BUQUES

La OMI ha sido la principal encargada de regular la contaminación ocasionada por los buques. Esta Organización lleva trabajando desde los años sesenta para reducir los efectos perjudiciales del transporte marítimo en el medio ambiente. Concretamente en el Anexo VI del convenio MARPOL 73/78 (Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques) donde se recogen las “Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques”.

La regla 13 de este anexo regula las emisiones de los óxidos de nitrógeno (NO_x). El control de la IMO sobre las emisiones de NO_x de los motores diésel se lleva a cabo verificando que el motor dispone del Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica para motores (EIAPP) y mediante la demostración de cumplimiento durante el servicio de las prescripciones obligatorias del Código Técnico sobre los NO_x 2008. [7]

Las limitaciones del convenio se aplican a los siguientes motores:

- A todo motor diésel con una potencia de salida superior a 130 kW, instalado a bordo de un buque construido el 1 de enero de 2000 o posteriormente.
- A todo motor diésel con una potencia de salida superior a 130 kW, que se le haya realizado una transformación importante el 1 de enero de 2000 o posteriormente.

Esta regla no se aplica a los motores diésel marinos destinados a ser utilizados en caso de emergencia, o únicamente para accionar dispositivos o equipos destinados a ser utilizados solamente en caso de emergencia a bordo, ni a bordo de los botes salvavidas.

Ni tampoco a los motores diésel marinos instalados en buques que estén dedicados exclusivamente a realizar viajes dentro de las aguas sometidas a la soberanía o jurisdicción del estado cuyo pabellón están autorizados a enarbolar, a condición de que tales motores estén sometidos a otra medida de control de los NO_x establecida por la Administración. [8]

Hasta el momento existen tres niveles de limitación para las emisiones de óxidos de nitrógeno. Tier I, Tier II y Tier III. En la siguiente tabla se muestran la cantidad límite de cada uno de ellos.

Nivel	Fecha de construcción del buque	Límite de emisiones por cada ciclo (g/kWh)		
		n = régimen nominal del motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
Tier I	1 de enero de 2000	17	$45 \cdot n^{(-0,2)}$	9,8
Tier II	1 de enero de 2011	14,4	$44 \cdot n^{(-0,23)}$	7,7
Tier III	1 de enero de 2016	3,4	$9 \cdot n^{(-0,2)}$	2

Figura 3.2: Límites de emisiones de óxidos de nitrógeno [8]

Los controles de nivel III sólo se aplican a buques específicos mientras navegan en las zonas de control de las emisiones (ECA) establecidas para limitar las emisiones de NO_x; fuera de dichas zonas se aplican controles de nivel II. En conformidad con lo prescrito en la regla 13.5.2, no sería necesario que en determinados buques pequeños se instalen motores de nivel III. Sin embargo, todo motor diésel marino que se instale en un buque construido a partir del 1 de enero de 2016 y que navegue en la ECA de Norteamérica y del mar Caribe de los Estados Unidos deberá cumplir lo dispuesto en las normas de nivel III sobre las emisiones de NO_x. [8]

Para los óxidos de azufre hay que consultar la regla 14. El contenido de azufre en el fueloil utilizado en los buques no deberá superar las siguientes cantidades:

Fuera de las áreas de control de emisiones	Dentro de las áreas de control de emisiones
4,5% masa/masa hasta el 1 de enero de 2012	1,5% hasta el 1 de julio de 2010
3,5% masa/masa a partir del 1 de enero de 2012	1% él y después del 1 de julio de 2010
0,5% a partir del 1 de enero de 2020	0,1% a partir del 1 de enero de 2015

Figura 3.3: Contenidos máximos de azufre en el combustible [8]

La OMI se encarga de supervisar el contenido de azufre del fueloil utilizado a bordo de los buques en todo el mundo. Toman muestras de fueloil residual (el combustible “pesado” usado normalmente en los buques), así como del fueloil destilado (combustible “ligero” con bajo contenido en azufre, siendo el usando normalmente en zonas de control de emisiones que tienen límites más estrictos para las emisiones de azufre). [9]

El contenido medio de azufre de los combustibles residuales a escala mundial que se analizaron en 2016 fue de 2,58%. Para los combustibles destilados fue de 0,08%. Los buques que dispongan de fueloil para su uso a bordo de los buques deberán obtener una nota de entrega de combustible, que establecerá el contenido de azufre del fueloil que se les ha suministrado, pudiéndose tomar muestras para la verificación. [9]

Cada Estado de Abanderamiento tendrá que expedir a los buques un Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica (Certificado IAPP). Dicho certificado incluye una sección que indica que el buque utiliza fueloil con un contenido de azufre que no excede el valor límite aplicable según consta en las notas de entrega de combustible o que utiliza una disposición equivalente. [9]

Los Estados rectores de puertos y ribereños pueden utilizar la supervisión por el Estado rector del Puerto para verificar que el buque cumple las reglas. También podrían utilizar vigilancia, por ejemplo, vigilancia aérea para evaluar las columnas de humo y otras técnicas para identificar posibles infracciones. [9]

3.2. ZONAS ECA (EMISSION CONTROL AREAS)

A efectos de la regla 14 del Anexo VI del MARPOL, las zonas de control de emisiones de óxidos de azufre son la zona del mar Báltico, la zona del mar del Norte y la zona de Norteamérica. La zona de Norteamérica incluye la zona marítima frente a las costas del Pacífico de los Estados Unidos y Canadá, las zonas marítimas frente a las costas atlánticas de los Estados Unidos, Canadá, Francia (San Pedro y Miquelón) y la costa de los Estados Unidos en el golfo de México. También la zona marítima frente a las costas de las siguientes islas del archipiélago de Hawái: Hawái, Maui, Oahu, Molokai, Niihau, Kauai, Lanai y Kahoolawe. [8]

Mientras que para los óxidos de nitrógeno la zona de control de emisiones es Norteamérica. [8]

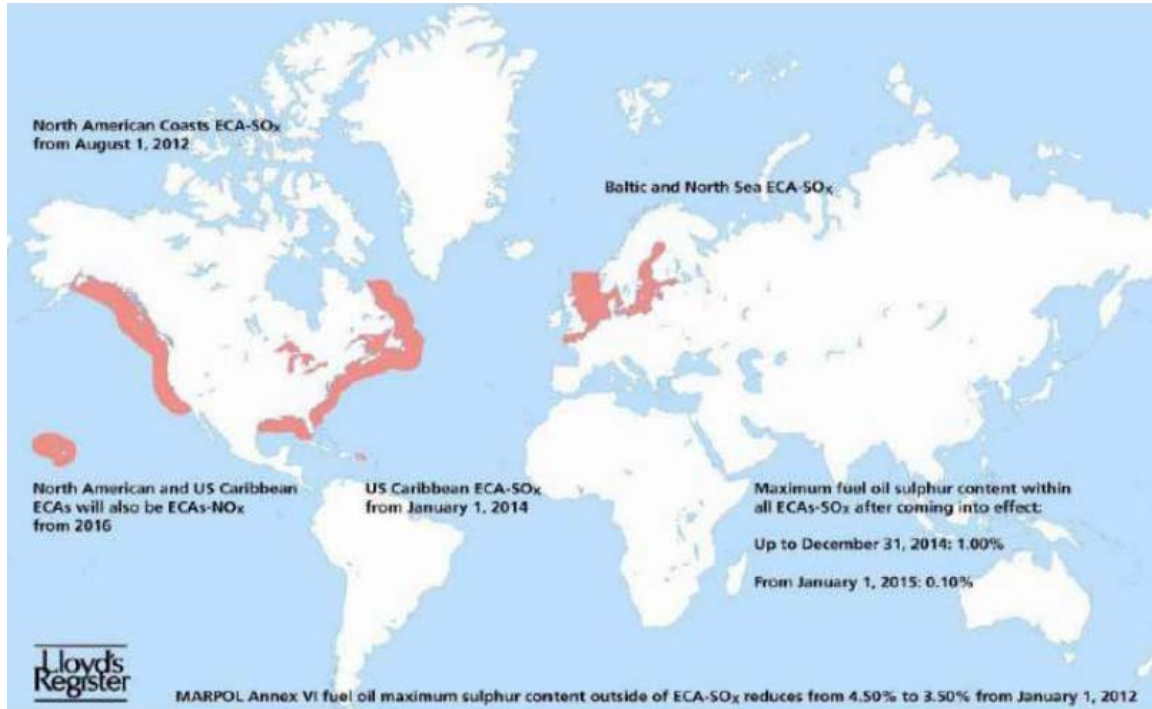


Figura 3.4: Áreas con control de emisiones por óxidos de azufre y nitrógeno [10]

Probablemente en un futuro cercano se aumentarán o se deberían de aumentar las zonas de control de emisiones. Países asiáticos como China, Japón o Corea del Sur tienen sus costas con un tráfico marítimo muy denso.

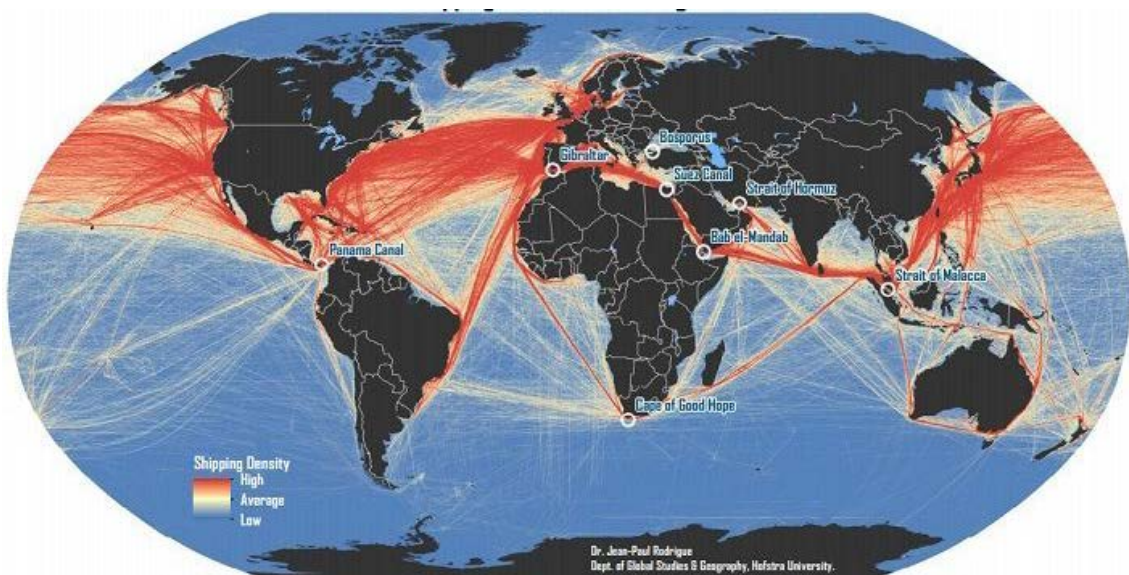


Figura 3.5: Rutas transitadas por el tráfico marítimo mundial [11]

3.3. ANALIZADORES DE GASES

Estos analizadores de gases para, SO_x, NO_x, CO y materia particulada que se citan a continuación son algunos de los usados en los puertos españoles. Se conocerá su funcionamiento de manera resumida.

El analizador de dióxido de azufre, en concreto el de la marca API modelo 100E, funciona midiendo la fluorescencia que producen las moléculas de SO₂ al absorber luz ultravioleta. Es controlado por microprocesador y posee capacidad de registro de datos gracias a su memoria interna. [12]



Figura 3.6: Analizador de dióxido de azufre [12]

El analizador de óxidos de nitrógeno mide la concentración del monóxido de nitrógeno, óxidos totales de nitrógeno y por cálculo determina la concentración de dióxido de Nitrógeno (NO₂). Su principio de funcionamiento se basa en captar la reacción química que se produce cuando el monóxido de nitrógeno entra en contacto con el ozono. Esta reacción liberará la luz llamada quimioluminiscencia. [13]

Por otra parte, los analizadores de monóxido de carbono utilizan sensores espectroscópicos para detectarlo en un ambiente gaseoso por su absorción característica. Los componentes clave son una fuente infrarroja, un tubo de luz, un filtro de interferencia (longitud de onda) y un detector de infrarrojos. El gas se difunde en el tubo de luz y la electrónica mide la absorción de la longitud de onda característica de la luz. [14]

Por último, están los analizadores de materia particulada (Pm 2,5 y Pm 10) que utilizan el método de micro balanza oscilante. El analizador mide la cantidad de masa recolectada de una muestra de aire a una velocidad casi continua. Las partículas se recolectan en un filtro colocado en el extremo de un elemento puntiagudo oscilante, que tiene su otro extremo fijo. La frecuencia de oscilación del elemento cambia en proporción directa a la masa a medida que esta se acumula en el filtro. La cantidad de masa en la muestra recolectada se calcula a partir del cambio en la frecuencia del elemento en un período de tiempo fijo. [15]

3.4. HERRAMIENTAS DE LA OMI PARA EL CONTROL DE EMISIONES PRODUCIDAS POR LOS BUQUES

Todo buque de pabellón extranjero que se encuentre en puerto nacional, debe ser inspeccionado por el Estado rector del puerto cada cierto tiempo. Las inspecciones tienen la finalidad de asegurarse de que el estado del buque y sus equipos se encuentran en cumplimiento con los reglamentos internacionales. Cuando el inspector sube a bordo y solicita los certificados del buque, dos de ellos son el Certificado Internacional para la prevención de la contaminación atmosférica (IAPP) y el Certificado Internacional de Eficiencia Energética (IEE). [Autor]

Estos certificados se los tiene que proporcionar al barco una Sociedad de Clasificación que este autorizada para inspeccionar buques y emitir certificados en nombre del estado bajo cuya bandera este registrado dicho buque. La Sociedad de Clasificación emitirá el certificado (IEE) tras verificar el cálculo del EEDI en la etapa inicial de diseño y en las pruebas de mar. [16]

El capítulo 4 del anexo VI del MARPOL sobre las reglas sobre la eficiencia energética de los buques, tiene como objetivo principal el de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo internacional. A través de mejorar el diseño y la operatividad de los barcos. Este capítulo es el que regula la herramienta EEDI y también el SEEMP (Plan de gestión de la eficiencia energética del buque). Entraron en vigor el 1 de

enero de 2013. Se aplica a todos aquellos que tengan un arqueo bruto igual o superior a 400 GT. A continuación, veremos de que tratan las herramientas EEDI y SEEMP: [16]

- **Índice de eficiencia energética de diseño (EEDI):**

El EEDI indica la eficiencia energética que posee un barco en términos de gramos de CO₂ generados por tonelada y milla (cantidad de carga transportada). Calculado para una condición específica operacional del barco. La intención es que, imponiendo límites en este índice, la OMI sea capaz de conducir las tecnologías de los buques a un grado de mayor eficiencia con el paso del tiempo. [17]

El EEDI está desarrollado para aplicarlo a buques de nueva construcción y para aquellos que hayan sufrido una modificación importante. Los diseñadores y constructores son libres de elegir las tecnologías que deseen para satisfacer los requisitos del índice de eficiencia energética. Ya que, para cada tipo de buque, tamaño y también dependiendo del año en el que hayan sido construidos, no tendrán que superar un valor de EEDI determinado. [17]

Para saber el EEDI requerido, el cual no hay que sobrepasar, tendremos que recurrir a la regla 21 del anexo anteriormente comentado. Para calcularlo hay que tener en cuenta las líneas de referencia como (constantes y capacidad del barco) usar los factores de reducción.

$$\text{Reference EEDI} = a * b^{-c}$$

Donde;

b = Capacidad del barco en tonelaje de peso muerto.

a y c = Constantes aceptadas en la regulación para cada tipo de barco.

Reference EEDI = Valor de referencia del EEDI.

Cada línea está hecha para un tipo de barco y en función de su tamaño. Están desarrolladas por la OMI usando datos de un gran número análisis realizados a barcos existentes como se muestra en las siguientes imágenes. [17]

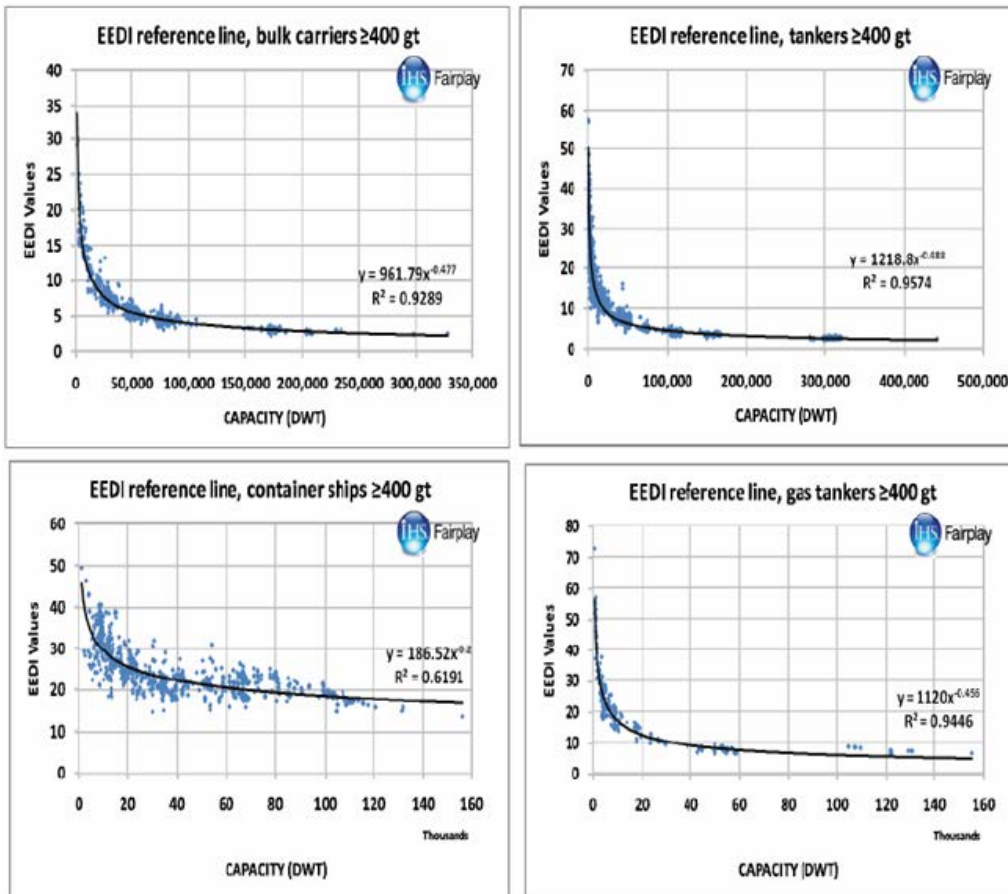


Figura 3.7: Líneas de referencia EEDI desarrolladas por la OMI usando las técnicas de la Resolución MEPC.231(65) [17]

Después hay que aplicar el factor de reducción dependiendo de la capacidad de carga del barco y del año de construcción.

$$\text{Required EEDI} = \left(1 - \frac{x}{100}\right) * (\text{Reference EEDI})$$

En donde;

X = Factor de reducción.

Required EEDI = valor del EEDI limite el cual no debe ser superado por el EEDI calculado en astillero.

Los valores del factor de reducción los decide la OMI y esta recogidos en esta tabla de la regla 21. [17]

Ship Type	Size	Phase 0 1 Jan 2013 – 31 Dec 2014	Phase 1 1 Jan 2015 – 31 Dec 2019	Phase 2 1 Jan 2020 – 31 Dec 2024	Phase 3 1 Jan 2025 and onwards
Bulk carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Gas carrier	10,000 DWT and above	0	10	20	30
	2,000 – 10,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Tanker	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
Container ship	15,000 DWT and above	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
General Cargo ships	15,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 15,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Refrigerated cargo carrier	5,000 DWT and above	0	10	15	30
	3,000 – 5,000 DWT	n/a	0-10*	0-15*	0-30*
Combination carrier	20,000 DWT and above	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 DWT	n/a	0-10*	0-20*	0-30*
LNG carrier***	10,000 DWT and above	n/a	10**	20	30
Ro-ro cargo ship (vehicle carrier)***	10,000 DWT and above	n/a	5**	15	30
Ro-ro cargo ship***	2,000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	1,000 – 2,000 DWT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*
Ro-ro passenger ship***	1000 DWT and above	n/a	5**	20	30
	250 – 1,000 DWT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*
Cruise passenger ship*** having non-conventional propulsion	85,000 GT and above	n/a	5**	20	30
	25,000 – 85,000 GT	n/a	0-5*,**	0-20*	0-30*

Note: n/a means that no required EEDI applies.

* Reduction factor to be linearly interpolated between the two values dependent upon ship size. The lower value of the reduction factor is to be applied to the smaller ship size.

** Phase 1 commences for those ships on 1 September 2015.

*** Reduction factor applies to those ships delivered on or after 1 September 2019, as defined in paragraph 43 of regulation 2.

Figura 3.8: Factores de reducción para el EEDI requerido [17]

Según la regulación, en la fase 1 de construcción que comprende desde 2015 a 2019, los buques deberán ser un 10% más eficientes. Para la fase 2 (2020 - 2024) un 20% y para la fase 3 (2025 en adelante) un 30%. De ahí que haya que aplicar los factores de reducción para calcular el EEDI requerido. En la siguiente imagen

se puede apreciar claramente cómo deben ir disminuyendo los gramos de CO₂ por tonelada que consumen los buques. [17]

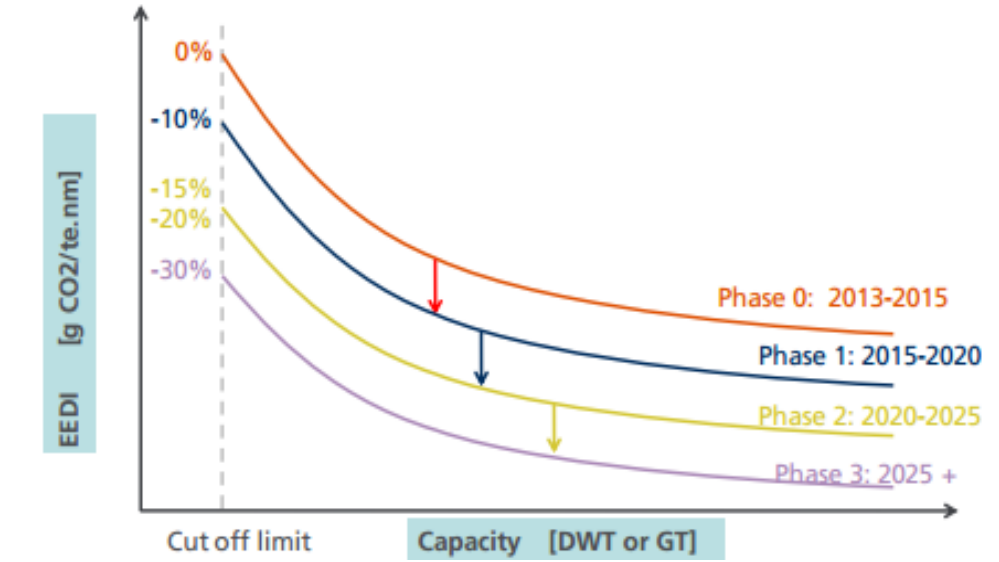


Figura 3.9: Concepto de los EEDI requeridos para las distintas fases [17]

Para el cálculo del EEDI de un buque que se ha logrado en astillero, se requiere la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{Factor diseño} & \quad \text{Motores principales y generadores de cola} & \quad \text{Potencia auxiliar} \\
 \text{EEDI} = & \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE})}{f_i \cdot f_c \cdot \text{Capacidad} \cdot f_w \cdot V_{ref}} \\
 & + \frac{\left\{ \left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEeff(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right\} - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot \text{Capacidad} \cdot f_w \cdot V_{ref}} \\
 & \quad \text{Tecnologías innovadoras de eficiencia energética para generación de potencia} & \quad \text{Tecnologías innovadoras de eficiencia energética para la propulsión}
 \end{aligned}$$

Figura 3.10: Calculo del EEDI para un buque en concreto [17] [Autor]

Esta fórmula la proporciona la OMI en un curso que ofrece, llamado “IMO Train the Trainer (TTT) on Energy Efficient Ship Operation”. Antes de nada, decir que la resolución de esta tediosa fórmula para obtener el índice de eficiencia puede ser más rápida. Ya que en los documentos del curso se dispone de un archivo Excel en el que se van introduciendo en las distintas páginas, las diferentes variables que contiene la fórmula. De modo que cuando introduzcamos todas, nos resolverá la incógnita del EEDI sin demasiado esfuerzo. Por supuesto el EEDI calculado con la fórmula deberá ser menor o igual al EEDI requerido para cumplir la regulación.

Las variables de la fórmula necesarias para la resolución, vienen a significar lo siguiente: [18]

f_j = factor de diseño o factor de corrección de diseño específico del buque

P_{ME} = potencia de motores principales

C_{FME} = factor de conversión entre el consumo de fuel y emisiones de CO₂ de motores principales

SFC_{ME} = consumo específico de fuel de motores principales

P_{AE} = potencia de los motores auxiliares

C_{FAE} = factor de conversión entre el consumo de fuel y emisiones de CO₂ de los motores auxiliares

SFC_{AE} = consumo específico de fuel de los motores auxiliares

P_{PTI} = potencia del motor acoplado al eje de cola

f_{eff} = factor de disponibilidad de tecnología innovadora de eficiencia energética

P_{AEeff} = reducción de la potencia auxiliar

P_{eff} = potencia de salida de la tecnología innovadora mecánica de eficiencia energética

f_i = factor de corrección de capacidad (por ejemplo barcos “Ice – Class”)

f_c = factor de corrección de capacidad cubica (gaseros, quimiqueros...)

f_w = factor de corrección por condiciones meteorológicas

V_{ref} = velocidad de referencia del buque

- **Plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP):**

El propósito del SEEMP es establecer un mecanismo para la compañía y/o para el barco, para mejorar la eficiencia energética del mismo durante su operatividad.

Disponer de este plan de eficiencia energética a bordo es obligatorio. Suele formar parte del sistema de gestión de la seguridad del buque (SGS). Debe realizar bajo las directrices de la OMI. El SEEMP debe ser específico para cada buque, ya que cada uno opera en condiciones geográficas y comerciales diferentes. [17]

Las pautas están divididas en cuatro fases. Planificación, Implantación, Supervisión y Autoevaluación y mejora. [17]

- Planificación: es una de las fases más importantes. Se debe analizar la situación del buque con respecto a las medidas de eficiencia empleadas. Tales como la optimización de la velocidad, derrotas meteorológicas, arribada a puerto justo a tiempo, mantenimiento del casco, asiento óptimo...
Se deben evaluar y buscar los cambios necesarios para mejorar esas variables. El trabajo debe ser tanto de la tripulación como de los armadores, astilleros, fletadores...
- Implantación: Una vez la compañía tenga claro las medidas que tiene que implantar, deberá organizar los procedimientos que la gente cualificada tendrá que implantar. Las personas deberán recibir una formación adecuada y se las concienciará de que los cambios en sus tareas habituales son necesarios. Los procedimientos estarían en la fase de planificación.
- Supervisión: los niveles de eficiencia energética deben controlarse. Preferiblemente por un método aprobado. Para esto la OMI tiene la

herramienta EEOI que se explicará más adelante. El objetivo en esta fase es el de llevar un registro adecuado para poder ver los resultados obtenidos con los cambios que se han implantado.

- Autoevaluación y mejora: la última fase tiene la finalidad de comparar la diferencia entre los niveles de eficiencia energética antes de aplicar el SEEMP y los niveles una vez aplicado. Comprobar si han funcionado cada una de las medidas implantadas y cuáles deberían modificarse, cuales desechar...

- **Indicador operacional de la eficiencia energética (EEOI)**

Cómo se ha mencionado antes, el Indicador operacional de la eficiencia energética (EEOI) puede incluirse como complemento en la fase de supervisión del SEEMP. A diferencia de los dos anteriores este es de carácter voluntario. [19]

El EEOI permite a los armadores medir el consumo eficiente de combustible de un buque en servicio y calibrar el efecto de cualquier cambio que se produzca en el funcionamiento del buque como, por ejemplo, mejorar la planificación de la travesía, viaje o realizar una limpieza más frecuente de las hélices, o introducir medidas técnicas como sistemas de recuperación del calor residual o una nueva hélice. [19]

El EEOI proporciona la cantidad real de CO₂ emitido por el buque, debido a la combustión del combustible utilizado durante una distancia navegada. Es calculado multiplicando el consumo total de combustible (fuel destilado, fuel refinado o LNG, etc.) por el factor de carbono específico del combustible en cuestión. Mientras que el trabajo de transporte llevado a cabo se calcula multiplicando la masa de la carga transportada (toneladas, nº TEUs, nº coches, etc.) por la distancia navegada en millas náuticas. [19]

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{\text{carga}} \times D}$$

Donde:

- j = tipo de combustible
- FC_j = masa de combustible consumida
- C_{Fj} = factor de conversión de masa de CO₂ para el combustible “j”
- m_{carga} = masa de la carga transportada
- D = distancia navegada

Tipo de combustible	Referencia	Contenido de Carbón	C _F (t-CO ₂ /t – Fuel)
Diesel /Gas Oil	ISO 8217 Grades DMX through DMC	0,875	3.206000
Fuel – Oil Ligerro (LFO)	ISO 8217 Grades RMA through RMD	0,86	3.151040
Fuel Oil Pesado (HFO)	ISO 8217 Grades RME through RMK	0,85	3.114400
Gas Licuado de Petróleo (GLP)	Propano	0,819	3.000000
	Butano	0,827	3.030000
Gas Natural Licuado (GNL)	N/A	0,75	2.750000

Figura 3.11: Factores de conversión para distintos tipos de combustible [17]

A continuación, se muestra un cuadro resumen de las tres herramientas (EEDI, SEEMP, EEOI) según su momento de utilización.



Figura 3.12: Herramientas EEDI, SEEMP y EEOI durante las distintas fases de la vida del buque [Autor]

Aunque el EEDI de la fase de diseño no será igual al que se verifica más tarde durante las fases de construcción y pruebas de mar, deberá ser muy parecido. Una vez se hallan pasado las pruebas de mar y se conozca suficiente información sobre los próximos viajes que realizará el buque, se podrá proceder a elaborar el SEEMP para intentar gestionar la energía de abordo lo mejor posible. Por último, cuando el buque se encuentre en operaciones se podrá, si se desea, monitorizar la gestión de la energía utilizando la herramienta EEOI. [17]

3.5. CONTROL DE LOS NIVELES DE GASES EN LOS PUERTOS ESPAÑOLES

A continuación, veremos el sistema instalado en el Puerto de Bilbao para conocer los niveles de contaminación atmosférica. Otros puertos del estado español como el de Valencia, Tarragona, Cartagena, Santander, Huelva y A Coruña, tienen instalaciones bastante parecidas ya que todos ellos forman parte del mismo proyecto europeo. [20]

La política ambiental de la Unión Europea ha establecido una legislación básica orientada a la precaución, la prevención y la responsabilidad ambiental promoviendo iniciativas que contribuyen de forma eficaz a su aplicación y actualización. Una de estas iniciativas fue el Instrumento Financiero para el Medio Ambiente LIFE.

Dentro del Programa LIFE estaba el proyecto HADA, que Puertos del Estado desarrolló en colaboración con varios puertos estatales, entre ellos el Puerto de Bilbao. [20]

En la actualidad las instalaciones ubicadas en el Puerto de Bilbao pertenecientes al Proyecto HADA han pasado a formar parte del patrimonio de esta Autoridad Portuaria que junto con las derivadas del Plan de Vigilancia Ambiental establecido en la Declaración de Impacto Ambiental de las Obras de Ampliación del Puerto de Bilbao en el Abra Exterior, forman el Sistema de Monitorización que controla y permite dar respuesta en tiempo real tanto a los problemas de contaminación sonora como de contaminación atmosférica.

Los principales focos de emisión del puerto son los referidos al almacenamiento de materiales pulverulentos al aire libre, chimeneas de calefacción y chimeneas de las empresas situadas en la zona industrial entre el Puerto de Santurce y Punta Lucero. Pero también tienen en cuenta las emisiones procedentes de buques y cruceros atracados, aunque en menor medida. [20]

En 2016 se recibieron 3 quejas relativas a emisiones de polvo o a la calidad del aire. La Autoridad Portuaria no dispone de un procedimiento específico para la recepción y gestión de quejas ambientales. [20]

Medidas implantadas por la Autoridad Portuaria para controlar las emisiones ligadas a la actividad del conjunto del puerto: [20]

- Seguimiento a operadores portuarios de autorizaciones y notificaciones reglamentarias en materia de emisiones a la atmósfera.
- Guías de buenas prácticas y códigos ambientales voluntarios
- Supervisión directa en muelle por técnicos de la Autoridad Portuaria
- Se dispone de sistemas de medida de parámetros de calidad del aire o campañas periódicas.
- Se han realizado estudios de caracterización del efecto de la actividad del puerto sobre la calidad del aire.

- Reordenación de la actividad en planta del puerto para alejar focos de emisión de zonas sensible.
- Firmas de convenios de buenas prácticas
- Medidas técnicas específicas ligadas al control de emisiones de polvo como sistemas de riego de acopios de gráneles y viales
- La Autoridad Portuaria, al presentar la solicitud de concesiones y operadores de servicios, requiere la firma del Convenio de Buenas Prácticas. (G4-EN32)

La APB viene desarrollando numerosos estudios e informes para el control y seguimiento de las emisiones al aire ligadas a la actividad del conjunto del puerto y entre otras las siguientes:

- Propuesta Acciones Correctoras. Plan de Acción de Calidad del Aire del Puerto de Bilbao.
- Vigilancia Ambiental de las Actividades del Puerto de Bilbao. Periodo 2007-2009. Estudio de la evolución de la calidad del aire. Informe anual.
- Plan de Acción de Calidad del Aire del Puerto de Bilbao. Diagnóstico de la contaminación atmosférica.
- Programa de vigilancia ambiental del Puerto de Bilbao: Calidad del aire y acústica, periodo 2010 - 2012 TECNALIA, Informe Anual 2013.
- Memoria Medioambiental anual.

La APB cuenta con protocolos de requisitos medioambientales exigibles a concesionarios y contratistas con un apartado específico referido a la gestión de las emisiones atmosféricas.

La red de estaciones de control de la calidad del aire de la Autoridad Portuaria de Bilbao está compuesta por una Estación Meteorológica Automática y tres cabinas fijas de medición (Las Arenas, Santurtzi, Contradique). [20]

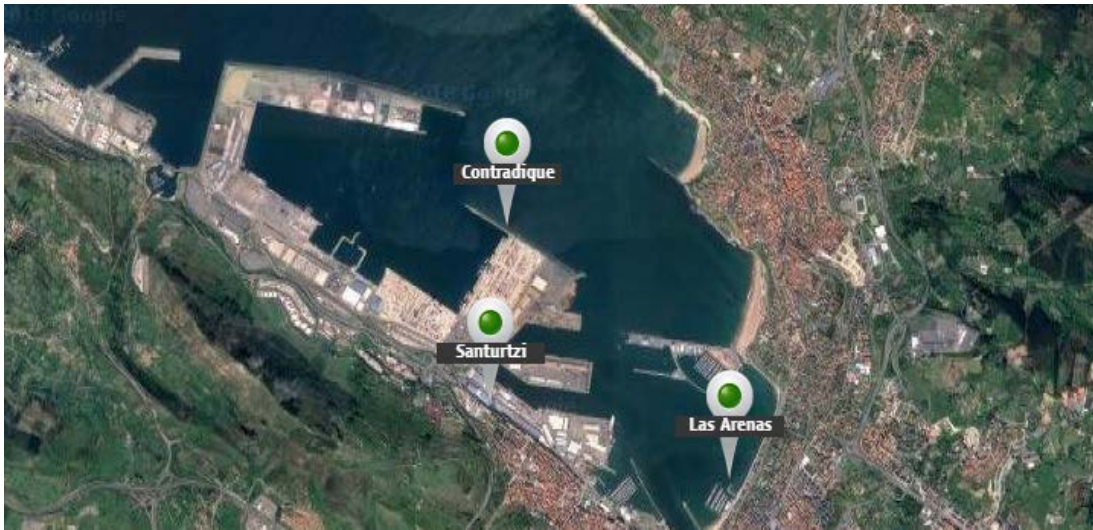


Figura 3.13: Situación de las cabinas de medición [21]

La cabina de Las Arenas, que es la que más analizadores utiliza se instaló el día 25 de febrero de 2004. La estación está ubicada al extremo de uno de los pantalanes del puerto deportivo próximo a la zona de Neguri, en el interior de un enrejado metálico ya instalado, como se aprecia en la fotografía.



Figura 3.14: Cabina ubicada en Las Arenas [Autor]

La cabina va dotada de los siguientes instrumentos:

Analizador	Técnica analítica	Marca	Modelo
Analizador de dióxido de azufre	Fluorescencia ultravioleta	API	100 E
Analizador de óxidos de nitrógeno	Quimiluminiscencia	API	200 E
Analizador de Monóxido de carbono	Espectrómetro infrarrojo no dispersivo	API	300 E
Analizador de partículas	Espectrómetro de luz láser	Grimm	1108

Figura 3.15: Instrumentos de la cabina de medición de emisiones de Las Arenas [22]

La red proporciona la información necesaria para conocer las condiciones climatológicas existentes en el recinto portuario, así como la concentración de partículas (partículas sedimentables, PM10, PM2,5, SO₂) en tiempo real. Se puede consultar estos datos actualizados y de manera gratuita en la página web de la Puerto de Bilbao.

ÚLTIMOS DATOS MEDIDOS LAS ARENAS

A continuación se muestran los valores medios diarios y horarios de la estación [Las Arenas](#). Seleccione el día que desea consultar, desde hoy hasta siete días atrás

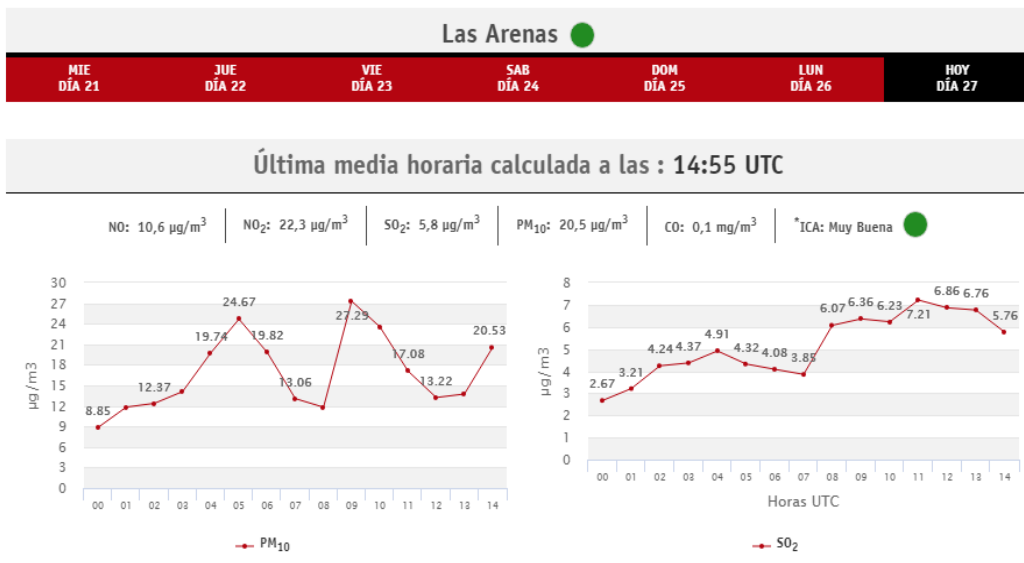


Figura 3.16: Cantidades en µg/m³ medias diarias y horarias de PM10 y SO₂ [21]



Figura 3.17: Cantidades en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y mg/m^3 de óxidos de nitrógeno y óxidos de carbono respectivamente [21]

La cabina de Contradique solamente mide partículas PM10. Y la de Santurtzi PM10, PM2,5 y SO₂.

El Centro de Control de Emergencias (C.C.E.) de la Autoridad Portuaria de Bilbao realiza un seguimiento de todas las operaciones que se efectúan con mercancías pulverulentas en el Puerto de Bilbao y elabora informes diarios que reflejan todas las operaciones de acarreo, tanto horizontal como vertical de mercancías susceptibles de originar una contaminación pulverulenta en los distintos muelles.

Se hace uso también de los datos que proporciona la red de vigilancia de la calidad del aire perteneciente al Gobierno Vasco, en concreto los correspondientes a las estaciones de Santurtzi, Zierbena y Náutica, por estar situadas en la zona de previsible impacto de las actividades del Puerto de Bilbao.

Una vez recogida la información que proporciona la Estación Meteorológica, la de los Analizadores y la resultante de los informes del C.C.E., se efectúa una intercomparativa de

los datos de manera que se pueda llevar un seguimiento de la evolución de la dispersión de partículas en tiempo real.

De la misma forma, mediante una aplicación informática se pueden simular y prever posibles episodios de contaminación por partículas, lo que permite disponer en cada momento de la información necesaria para la toma de decisiones acorde con las situaciones de contaminación planteadas.

Estos son los analizadores de gases y partículas instalados en distintos puertos de España. Como se ha dicho anteriormente, al formar parte del mismo proyecto un gran número de puertos españoles utilizan analizadores idénticos para conocer la contaminación atmosférica.

Analizador	Técnica analítica	Marca	Modelo	Puertos
Analizador de dióxido de azufre	Fluorescencia ultravioleta	API	100 E	A Coruña, Cartagena, Valencia, Bilbao, Huelva, Santander, Tarragona
Analizador de óxidos de nitrógeno	Quimiluminiscencia	API	200 E	A Coruña, Cartagena, Valencia, Bilbao, Huelva, Santander, Tarragona
Analizador de monóxido de carbono	Espectrómetro infrarrojo no dispersivo	API	300 E	A Coruña, Cartagena, Valencia, Bilbao, Huelva, Santander, Tarragona
Analizador de partículas PM ₁₀ / PM _{2,5}	Microbalanza	R&P	Teom 1400	A Coruña Cartagena Valencia
Analizador de partículas	Espectrómetro láser	Grimm	1108	Bilbao Huelva Santander Tarragona Barcelona
Captador de Alto Volumen Pm ₁₀ / PM _{2,5}	Gravimétrico	Tisch Environmental		Tarragona
Analizador de Benceno, Tolueno, Xileno (BTX)	Cromatografía	SYNTECH Spectras	GC955	Barcelona

Tabla 1. Analizadores de gases y partículas instalados.

Figura 3.18: Analizadores de gases y partículas instalados en un gran número de puertos españoles [22]

4. MEDIDAS PARA REDUCIR LAS EMISIONES GENERADAS POR EL TRANSPORTE MARÍTIMO

4.1. REDUCCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL BUQUE

Reduciendo la velocidad de los barcos a una distancia prudente de los puertos, tanto en la llegada como en la salida, se reduce la demanda de fuel. Por consiguiente, se emite una cantidad menor de emisiones al tener que quemar menos combustible. La reducción de la velocidad en un 10% puede reducir las emisiones en un 20% aproximadamente. Estas cantidades son estimaciones para las visitas recogidas en el inventario de todo un año a los puertos de “New South Wales (Botany, New Castle, Kembla y Jackson)” en Australia. Los límites para empezar a reducir la velocidad, se situaron entre las 20 y las 30 millas náuticas. Se estimó que la reducción del 10% en la velocidad, evitaría anualmente 1280 toneladas de óxidos de nitrógeno, 755 toneladas de SO₂ y 103 de PM10. [23]

Otra manera de contribuir a reducir las emisiones mediante la reducción de velocidad, es la de llegar a puerto “just in time”. Es decir, bajando la velocidad si el barco todavía no tiene autorizada la entrada al atraque. Esto supone que en bastantes ocasiones se tendría que reducir la velocidad antes de las 20 o 30 millas. Pero contribuiría claramente a reducir las emisiones en las inmediaciones del puerto y también en los fondeaderos. [23]

Pero esto, no es beneficioso para todos. Los navieros tendrán sus barcos operando más tiempo que de costumbre. Aunque por otra parte también podrían reducir los costes de combustible. Ya que los barcos que tengan muchas arribadas a puertos con zonas de velocidad reducida, tendrán una notable reducción anual del consumo de combustible.

Hay que tener en cuenta que los barcos necesitan navegar a una cierta velocidad para ser capaces de capear un temporal o escapar de él. El estándar de mínima potencia de propulsión está basado en una velocidad mínima de navegación de 4 nudos y de 4 a 9 nudos para los graneleros y buques tanque (dependiendo de las formas del barco). Otros estudios consideran que la velocidad de superficie tiene que ser al menos de 6 nudos.

Luego se debería conocer la velocidad mínima de cada barco para gobernar en condiciones adversas. [24]

También otra solución que podrían valorar los navieros, sería la de aumentar la velocidad de crucero en zonas sin restricción para compensar el tiempo que pierden sus buques en las aproximaciones a los puertos. [23]

Algunos puertos reducen las tasas portuarias a aquellos buques que empiecen a cumplir con el programa de reducción de velocidad. [23]

4.2. DISEÑO

Parámetros como la eslora, la manga, el calado, la superestructura y las formas del casco son clave en la eficiencia energética del barco. Las restricciones en estos, impuestas por los accesos a los puertos y canales, limitan el diseño y la eficiencia que se puede llegar a conseguir.

Un diseño con un alto rendimiento medioambiental esta normalmente asociado con costes adicionales, y por eso en muchas ocasiones no son escogidas las nuevas tecnologías mas respetuosas con el medio ambiente. Los ingenieros navales llevan mucho tiempo intentando mejorar cada vez más los diseños de los barcos para hacerlos cada vez más eficientes. La capacidad de reducir las emisiones de dióxidos de carbono de los buques a través del diseño, se estima que puede llegar a ser de hasta el 50%. Este gran potencial se puede obtener si los buques están diseñados para navegar a velocidades relativamente bajas. Y después que operen bajo las especificaciones de diseño. [25]

Las regulaciones internacionales son las que realmente pueden provocar cambios significativos en los futuros diseños, ya que los programas locales de algunos puertos o regiones no tienen el suficiente poder. De acuerdo con la decisión del comité de protección del medio marino de la OMI, todos los nuevos buques desde el 1 de enero de 2013 en

adelante están obligados a reportar el Índice de Eficiencia Energética de Proyecto (“Energy Efficiency Design Index” EEDI) anteriormente comentado. Estudios recientes muestran que los diseños han mejorado significativamente entre el 2009 y 2015, y que normalmente superan los valores de referencia del “Índice de Eficiencia Energética” para varios tipos de barcos. Pero los efectos del EEDI ocurrirán despacio y gradualmente, ya que la media de edad de los buques se sitúa en 22 años aproximadamente. [26]

Los buques pequeños tienen mayor potencial para ser optimizados en cuanto al consumo de fuel, con respecto a los grandes buques. Históricamente se ha invertido menos la optimización de los buques de pequeño porte. [25]

Lo que se conoce es que se puede considerar que la optimización de la forma del casco y de la superestructura puede reducir el consumo de combustible un 15% para todos los tipos de buques de más de 5000 toneladas de registro bruto. Otra de las razones por la que se ha invertido más en la optimización de los grandes, es porque se ha llegado a la conclusión de que estos son energéticamente más eficientes. Calculado por consumo de fuel y por unidad de carga transportada entre barcos del mismo tipo.

A fin de reducir las emisiones en los puertos, los beneficios de recibir grandes buques respecto a recibir los pequeños, no es tan claro. En parte debido a que se pasan periodos más largos en el atraque para las operaciones de carga y descarga. [26]

4.3. COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

El cambio de combustibles fósiles a biocombustibles en el sector marítimo está muy lejos de la realidad. Pero, por otra parte, el uso de gas natural licuado (GNL) y el metanol sí que se está incrementando en los últimos años.

El gas natural licuado se está utilizando como combustible marino para barcos distintos de los gaseros que lo transportan. Normalmente se utiliza en una planta de propulsión dual. Que puede funcionar tanto a gas como a fueloil. A las navieras les será mucho más viable pedir barcos con esta propulsión si en general operan con barcos de línea regular o si

suelen arribar en puertos con infraestructuras de GNL. Su éxito reside en que su impacto medioambiental es muy beneficioso. Emite cero óxidos de azufre, prácticamente no emite materia particulada, comparado con los fueloiles pesados emite un 90% menos de óxidos de nitrógeno y un 25% menos de CO₂. Además, de que es el combustible fósil más limpio. Representa claramente un paso hacia delante en la reducción de gases de efecto invernadero. [26] [27]

El GNL presenta un menor coste de energía por tonelada que el fueloil pesado. Ya que aporta 50GJ por tonelada por los 40.5GJ del fueloil. Dicho de otra manera, 2000 toneladas de GNL aportan la misma cantidad de energía que 2469 toneladas de fueloil pesado. [27]

En la actualidad el uso del GNL como combustible marino se encuentra regulado por la OMI. El Código internacional de seguridad para los buques que utilizan gases y otros combustibles de baja temperatura de ignición (Código IGF) entro en vigor el 1 de enero de 2017. El Código IGF es obligatorio para todos los buques de más de 500 GT construidos o transformados a partir de esta fecha y que utilicen GNL como combustible. No se aplicará, sin embargo, a los buques que lo transporten como carga, que se regulan por su propio código de seguridad, el IGC.

Pero no todo lo relacionado con el GNL son buenas noticias. El cambio a gas natural conlleva un problema serio. Nadie quiere invertir en las infraestructuras necesarias hasta que no haya una demanda clara. Mientras que las navieras no quieren cambiar los sistemas de propulsión de sus buques hasta que no exista una infraestructura que asegure el suministro de este combustible. Además, de la problemática de ubicar tanques de almacenamiento del GNL en los buques remotorizados. Son tanques más especiales ya que requieren un recubrimiento que proporcione aislamiento para que se mantenga en estado líquido. Lo que repercute en un menor espacio para el almacenamiento de la carga.

El desconocimiento sobre el GNL es muy elevado no solo entre la población en general, sino también en los propios ambientes portuarios y entre bastantes expertos energéticos. De ello se deriva un desconocimiento de los riesgos del día a día del GNL. [28]

El metanol es otro combustible que como el GNL se puede utilizar en plantas de propulsión dual. Es más fácil de almacenar y suministrar que el GNL ya que es líquido a temperatura ambiente. El transporte por mar es similar al de otros hidrocarburos como el petróleo crudo, gasolina y gasoil. Se puede almacenar sin problema en tanques no presurizados. Por supuesto, se debe de evitar que se produzcan derrames al mar de este producto, pero presenta menor riesgo para el medioambiente que otros hidrocarburos. El metanol puro se solubiliza en agua completamente y con rapidez.

La producción y combustión del metanol causa una menor cantidad de emisiones de CO₂ (por unidad de energía del combustible) que el GNL a 100 años vista, pero peor de aquí a 20 años. Pero sobre todo lo bueno de este combustible es que genera menos óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y materia particulada que los combustibles convencionales. También, que la infraestructura actual se puede aprovechar para suministrarlo. [26] [29]

La naviera sueca “Stena Line” ha ido reemplazando todos los motores convencionales de su ferry “Stena Germanica” por unos que funcionen con metanol. La línea a la que se dedica este barco se encuentra entre el mar báltico y el mar del norte. Ambos mares con futuras restricciones de emisiones más duras. [26]

Por el momento el metanol tiene un coste mas alto que el fueloil pesado, por lo que no tiene sentido utilizarlo fuera de zonas con restricciones de emisiones de azufre, ríos o aguas interiores. [Autor]

Por último, otro combustible que puede ser un candidato para sustituir a los combustibles actuales es el hidrogeno. Es el elemento más abundante, constituyendo casi tres cuartas partes del universo. Se encuentra en el agua, que cubre el 70% de la superficie terrestre, y en toda la materia orgánica. Es incoloro, inodoro e inocuo. No produce lluvia acida, ni reduce el ozono ni produce emisiones nocivas. El hidrógeno ofrece 2-3 veces más energía que la mayoría de los combustibles comunes. Se combina fácilmente con el oxígeno, liberando una considerable cantidad de energía en forma de calor. [30]

A diferencia de los combustibles basados en el carbono, el hidrógeno no produce subproductos nocivos con su combustión. Solo se genera energía y agua limpia cuando se combina con el oxígeno en una pila de combustible (energía para utilizar motores eléctricos). Cuando se combina con aire, sí que genera emisiones de óxidos de nitrógeno como ocurre en cualquier motor de combustión interna, pero en menor cantidad que los motores fueloil y gasoil. [30]

El proceso más económico para producir hidrogeno se realiza mediante la aplicación de calor al gas natural. También se puede obtener mediante la aplicación de procesos químicos a otros combustibles fósiles y mediante la electrolisis. Aun así, tiene un precio más elevado que el fueloil pesado.

Por otra parte, hay que destacar que requiere un volumen de almacenamiento bastante mayor que el de los combustibles convencionales. Si se almacenaría a 700 bares de presión, los tanques deberían ser por lo menos seis veces más grandes que para los actuales. Los nuevos diseños de buques requerirían utilizar espacios en cubierta para su almacenamiento. Dificultando también la adaptación a este combustible de barcos ya construidos. Apenas hay experiencia con este combustible en el sector marítimo. [31]

4.4. CONEXIÓN DE LOS BUQUES A LA RED ELECTRICA

La principal finalidad de que el buque se conecte a la red eléctrica es la reducción de quema de combustibles fósiles. Por consiguiente, la reducción de emisiones. Muchos puertos se encuentran cerca de los núcleos urbanos, lo que da todavía más sentido a impulsar esta medida. La contaminación conjunta del tráfico rodado, las fábricas y el tráfico marítimo acumulan grandes cantidades de gases perjudiciales. Si se pueden reducir considerablemente porque no hacerlo.

Hay dos sistemas para el suministro de energía eléctrica a buques. El primero y el más utilizado es el llamado OPS (On Shore Power Supply). El segundo es el llamado OGSP (Off-Grid Shore Power Supply).

El OPS es un sistema de suministro de energía eléctrica a buques que se basa en obtener la energía eléctrica de la red eléctrica nacional y adaptarla de forma que sea compatible con el sistema eléctrico del buque mediante una conexión no permanente. La instalación de este sistema se puede dividir en tres partes:

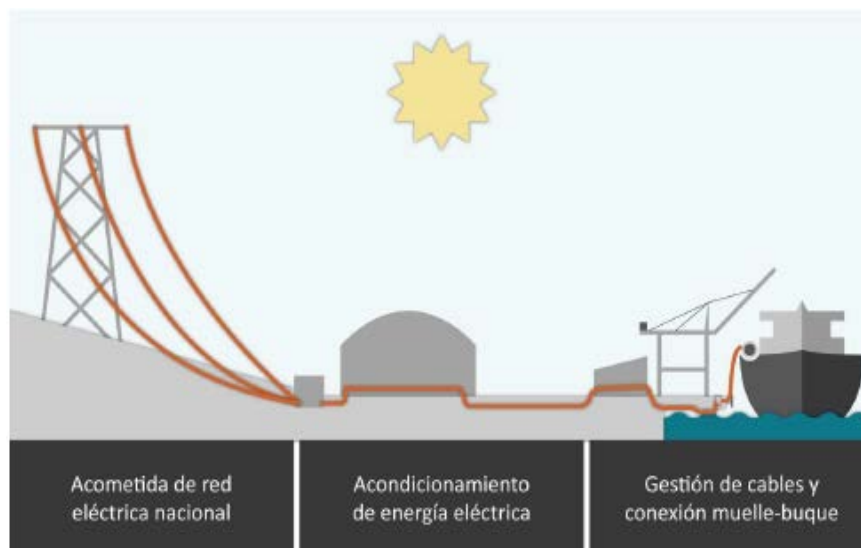


Figura 4.1: Componentes de una instalación OPS [32]

a) Acometida a la red eléctrica nacional

Para implantar un sistema de suministro eléctrico a buques desde puerto es la disponibilidad de potencia eléctrica cercana al muelle donde se va a hacer la instalación. Para ello hay que buscar la subestación de donde se va a alimentar al OPS y conocer la disponibilidad de la potencia necesaria. En puertos españoles se puede averiguar la ubicación de las subestaciones a través de la Red Eléctrica Española. [32]

b) Acondicionamiento de la energía eléctrica

La energía proveniente de la red eléctrica tiene que transformarse y acomodarse a las necesidades de los buques. No es tarea nada fácil ya que existen múltiples configuraciones en los buques, ya sea por su procedencia o año de construcción. Debido a la imposibilidad de clasificar los buques es necesario hacer una investigación exhaustiva para cada caso. [32]

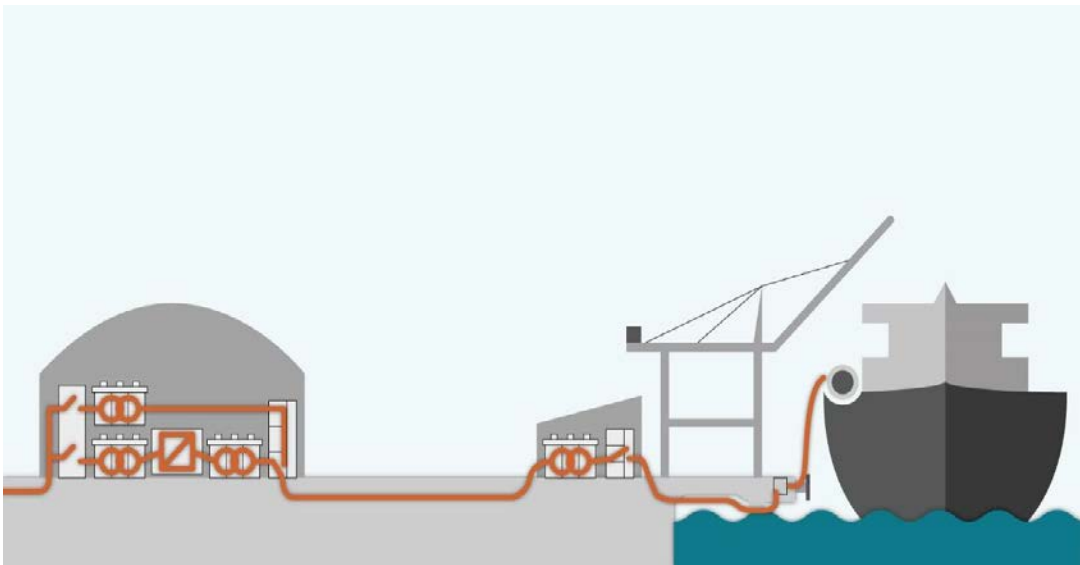


Figura 4.2: Disposición de los elementos de acondicionamiento de la energía eléctrica [32]

Los buques actualmente acoplan un generador eléctrico a sus motores auxiliares (quemando combustibles fósiles) para transformar la energía mecánica en energía eléctrica. Esta energía eléctrica transmite directamente a las barras del sistema eléctrico del barco que suelen trabajar en baja tensión. A 380V, 400V, 440V o 450V. En cambio, el voltaje de distribución de la red general es del orden de 20 o 30 kV. Por lo tanto, es necesario reducirlo mediante un transformador dimensionado para la potencia necesaria en el punto de conexión. [32]

Otro punto a tener en cuenta es la frecuencia de suministro del buque. Dependiendo del país de construcción del buque, las frecuencias de trabajo de estos buques pueden trabajar en una u otra. Pero también dependiendo del destino habitual o de la finalidad del barco se equipa con equipos que trabajan a una

determinada frecuencia. Es necesario conectar una etapa de transformación de frecuencia entre la primera etapa de transformación y la conexión del buque, en el caso de que sean distintas las frecuencias del barco y de tierra. Desde principios del siglo XX la frecuencia de generación, transporte y distribución se estableció a 60Hz o 50 Hz, la primera se fijó como estándar en Estados Unidos y la segunda en Europa y Asia. [32]

Finalmente, la transmisión de la potencia al sistema eléctrico del buque se realiza mediante una conexión cableada entre el centro de transformación y el buque directamente, pasando por las celdas de protección y los transformadores de protección galvánica por cada una de las tomas del puerto. [32]

En las normas IEC/IEEE 80005-1 e IEC/IEEE 80005-3 se establecen los estándares para la conexión de buques correspondientes a la conexión de sistemas de conexión en alto voltaje (HVSC) y bajo voltaje (LVSC) respectivamente. En ellas se recogen las guías para las interfaces eléctricas y mecánicas, seguridad y rangos de potencia. Se establece una referencia de potencia máxima de 1 MVA para suministrar en bajo voltaje al buque; para potencias mayores se recomienda el suministro a alta tensión (6,6 kV. o 11 kV.). No hay que olvidar que la conexión en alta tensión permite ahorrar costes de inversión en cables, adaptadores y reducir el tiempo de conexión. No obstante, el buque necesita adaptar la tensión a la tensión de sus propios equipos mediante un transformador a bordo (por ejemplo, de 6,6 kV. a 400 V.). Esto requiere la reserva de espacio e incremento en el coste de inversión en el lado buque. [32]

En definitiva, los componentes mínimos necesarios para la adaptación de un muelle son los siguientes: [32]

- Transformador eléctrico: es una máquina que transfiere energía eléctrica de un circuito a otro variando la tensión de la misma.
- Sistema de seccionamiento y enclavamiento: Son sistemas que sirven para aislar los diferentes elementos del circuito eléctrico con el fin de

que se garantice que no existe contacto eléctrico cuando estos sistemas están activados.

- Sistemas protección y control: Son sistemas que se encargan de manejar y controlar el flujo de energía eléctrica. También son los encargados de cortar ese suministro en caso de detectar cualquier mal funcionamiento o alerta que pueda afectar al funcionamiento del sistema en general.
- En cuanto a la pequeña subestación que sería necesario instalar cerca del muelle, ésta debe ser lo más compacta posible. Este edificio alojará tanto el transformador como todos los sistemas necesarios para el control y manejo de este sistema.

c) Gestión de cables y conexión muelle-buque

La conexión entre el punto de conexión y el muelle es una operación compleja y peligrosa que debe ser realizada con equipamiento especializado. Fabricantes como ABB, Siemens, Cavotec, Sam Electronics, Cochran Marine, etc. Se dedican a diseñar equipos para esta finalidad.

Existen diferentes configuraciones para llevar la potencia directamente a los buques desde el muelle. Estas conexiones deben ser accesibles a la vez que deben interferir lo menos posible en las operaciones que se realizan normalmente en los muelles. Los cables son conducidos desde el equipo de protección y aislamiento galvánico hasta el punto de conexión en el cantil por medio de galería subterránea que permite ocultar la instalación. Una vez llegada la potencia al muelle debe ser preparada para conectar el buque a ella. Este diseño no es sencillo debido a los requisitos de seguridad, facilidad de conexión y tamaño del equipo. [32]



Figura 4.3: Conexión de un buque a un OPS mediante una caja de conexiones vertical [32]



Figura 4.4: Ejemplo de grúa con base fija (izquierda) y operación de conexión de buque (derecha) [32]

En resumen, la disposición del sistema OPS se podría presentar de la siguiente manera.

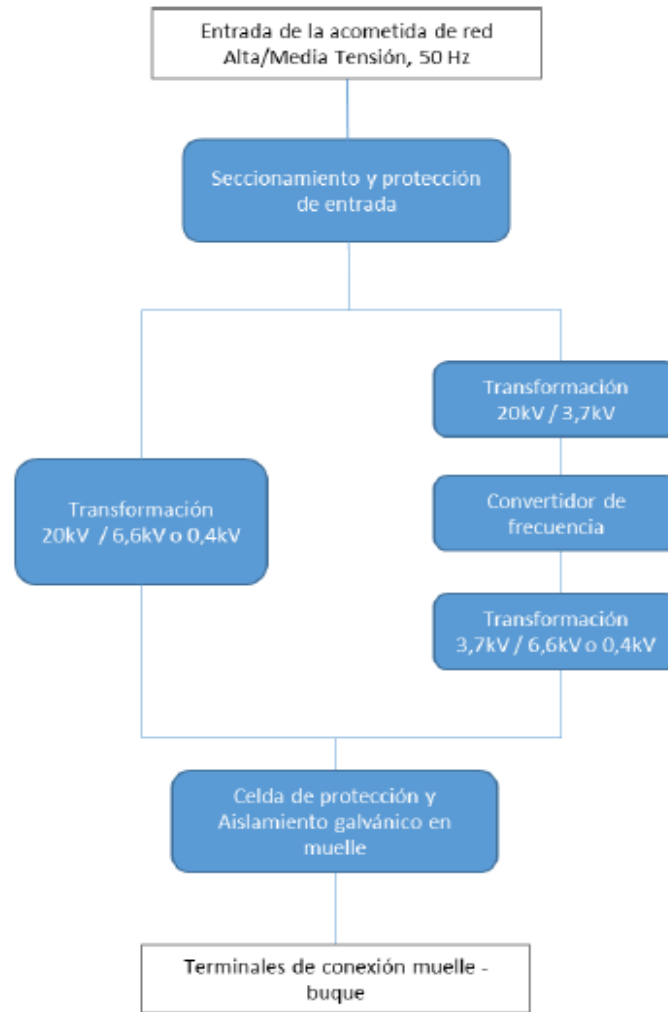


Figura 4.5: Bloques del sistema OPS con convertidor de frecuencia [32]

Ahora veamos la alternativa al sistema OPS. El OGSP. Este sistema se basa en la generación de energía mecánica por medio de un ciclo alternativo de combustión y el acople de un generador eléctrico que proporciona la energía eléctrica. Presenta algunas ventajas ante el OPS.

Pueden utilizar distintos tipos de combustible, la generación con un sistema de ciclo combinado con gas natural es una opción muy interesante para realizar el suministro con una emisión reducida de CO₂ y con niveles nulos de contaminantes en óxidos de nitrógeno y de azufre. Todo el sistema puede ser almacenado en un contenedor de 40 pies y ser transportado fácilmente por las grúas de puerto.

También puede ser transportado en una barcaza la cual se puede abarload al buque para realizar el suministro sin molestar las operaciones de carga o descarga.

Puede proporcionar el suministro de electricidad a diferentes voltajes y frecuencias de red. El sistema puede adaptar la frecuencia de red de 50 o 60 Hz. para el suministro, lo hace que la solución contenerizada ahorre mucho el coste de una instalación con un convertidor de frecuencia para los casos donde se necesite suministrar a 60 Hz. En concreto el sistema comercializado GPEC ha sido diseñado para trabajar en dos niveles de voltaje/frecuencia: 400 V. a 50 Hz. y 480 V. a 60 Hz. [32]

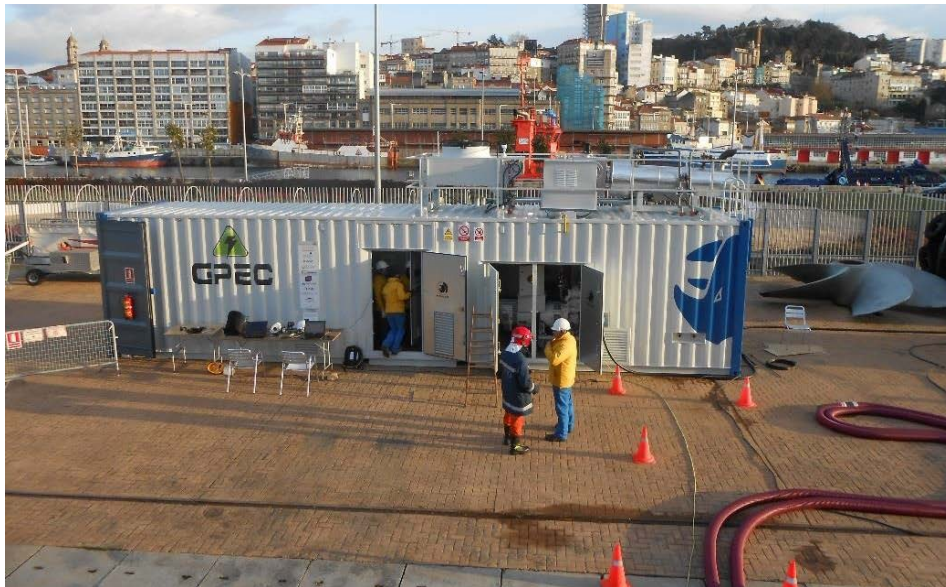


Figura 4.6: Sistema comercializado de tipo OGSP [32]

Ambos sistemas son muy interesantes. No solo es beneficioso para el medioambiente de la zona, sino que también para el barco. Ya que se puede eliminar el ruido y las vibraciones de los motores auxiliares, mejorando el confort de la tripulación y del pasaje. A la vez que se produce un menor desgaste y menores costes de mantenimiento en estos motores. Incluso puede recibir bonificaciones en las tasas portuarias al estar conectado.

4.5. PROPULSIÓN HÍBRIDA DIESEL – ELÉCTRICO

La propulsión híbrida diésel – eléctrica seguramente será una de las alternativas hacia la reducción de emisiones, eficiencia y menor consumo más utilizadas de la actualidad. Se estima que con este tipo de propulsión los barcos consumen alrededor de un 20% menos de combustible que un barco equivalente con propulsión convencional. [31]

La planta de propulsión se compone generalmente de unos generadores eléctricos diésel encargados de suministrar la energía eléctrica. Esta energía es distribuye a uno o dos motores principales eléctricos que son los encargados de accionar las hélices.

Tiene ciertas ventajas respecto a otras plantas de propulsión. Se reducen los costes de operación ya que el número de motores diésel a bordo es menor, pues los mismos motores son usados para la propulsión y para el suministro eléctrico del buque. También, los motores eléctricos son mas eficientes en un rango mayor de velocidades y pueden estar conectados directamente a los ejes de propulsión sin la necesidad de la existencia de cajas reductoras. Su mantenimiento es menos frecuente y más simple. Los barcos en los que en sus plantas propulsoras dispongan de baterías, en puerto pueden operar generando cero emisiones. Durante un periodo menor que con los generadores diésel, pero contribuyendo a un menor impacto medioambiental en la zona. [31]

Las emisiones de un motor diésel aumentan radicalmente cuando el motor no opera a su velocidad y rango de potencia óptimos. Lo que se puede evitar con el diésel – eléctrico en gran medida como se aprecia en la siguiente figura.

Se emite menos NO_x si la carga en el motor es alta (Fuente: Wärtsilä Diesel).

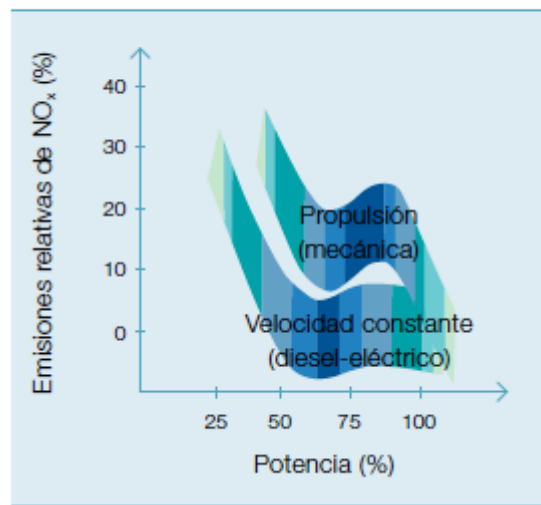


Figura 4.7: Diferencias de emisiones generadas entre ambas propulsiones [33]

El uso de esta propulsión está muy extendido en sectores como los buques de apoyo offshore, remolcadores y cruceros, en los que la maniobrabilidad, la variación en la demanda de potencia y el ruido del motor para el último mencionado son factores prioritarios. [Autor]

4.6. ENERGÍA SOLAR

Los sistemas fotovoltaicos son capaces de generar unas cantidades limitadas de electricidad. Aunque las pruebas afirman que tiene beneficios para necesidades de potencia auxiliar. Se descarta que la energía proporcionada por estos sistemas pueda contribuir significativamente para la propulsión principal del buque. [31]

La potencia bruta de la luz solar depende de la latitud y del ángulo con el cual la placa fotovoltaica este posicionada respecto del sol. Para hacerse una idea el valor de la potencia media a lo largo del año en Gran Bretaña es de unos 100 W/m² en una superficie montada horizontalmente. En otras zonas de la tierra puede oscilar entre unos 87 W/m² y 273 W/m². Este ultima valor pertenece a un lugar de la costa de Mauritania. Así que, las condiciones meteorológicas y la posición de la tierra son factores que afectan al desarrollo del potencial de la energía solar. [31]

El principal problema está en donde encontrar en cubierta una zona despejada y de gran tamaño para albergar los paneles solares. Sin que interfiera con el propósito para el cual esta diseñado el buque. Los cocheros o barcos que únicamente transportan carga rodada son buenos candidatos para utilizar esta tecnología. [31]

Ya existen diseños conceptuales para aumentar el área de captación de energía sin interrumpir demasiado en partes del buque destinadas a la carga o a las maniobras. Mediante unas estructuras verticales con paneles solares colocadas en cubierta. Como se aprecia en la siguiente figura. Se pueden orientar hacia el sol para aumentar su efectividad. Aunque su propósito sigue siendo proporcionar energía a la potencia auxiliar del barco. [31]



Figura 4.8: Diseño conceptual para el aumento del área de paneles solares [31]

Es una medida para contribuir a la reducción del consumo de combustibles fósiles, pero la inversión en estructuras será considerable respecto a la cantidad de energía que proporciona. Y sobre todo dependiendo en que zonas transite el barco la rentabilidad sería cuestionable. [31]

4.7. REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA (SCR)

Consiste en una técnica para eliminar los óxidos de nitrógeno de los gases de escape. A estos gases normalmente se les inyecta amoníaco (NH_3) como agente reductor a una temperatura entre 300 y 450 °C. El amoníaco al reaccionar con los óxidos de nitrógeno, se forma nitrógeno y agua. [34]

La reducción de los óxidos de nitrógeno en los gases de escape puede llegar a ser superior al 90%. La vida del catalizador será de entre 3 y 5 años. A pesar de esto y de que los costes de inversión y mantenimiento sean elevados, es otra de las medidas mas utilizadas en la actualidad. [34]

Su ubicación en la sala de maquinas se puede ver la siguiente imagen.

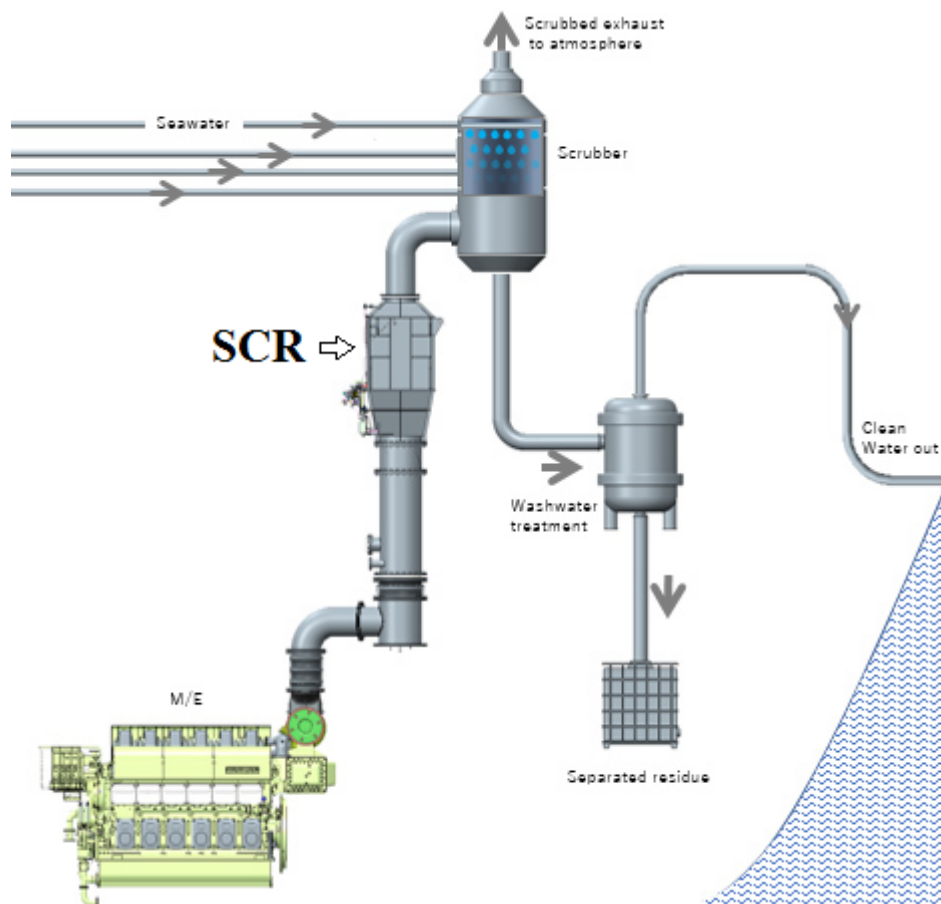


Figura 4.9: Ubicación del SCR en la sala de máquinas [34]

4.8. OPTIMIZACIÓN DEL ASIENTO

La mayoría de los barcos están diseñados para transportar una cierta cantidad de carga a una velocidad de diseño, consumiendo una cierta cantidad de combustible en una condición de asiento específica. Bien cargado o en lastre, el asiento tiene una influencia importante en la resistencia del buque a través del agua. Es más, optimizando el asiento se puede conseguir un ahorro significativo. [17]

Para cualquier calado y velocidad existe un asiento que proporciona la mínima resistencia. Vienen recogidos en unas tablas proporcionadas por el astillero con distintos valores razonables de velocidad y calado. Obteniendo finalmente el asiento óptimo estático. Pero debido al viento y al estado de la mar, el buque pasa a estar en unas condiciones dinámicas que son distintas a las iniciales en el puerto. Por lo que es más fiable utilizar programas optimizadores de asiento (junto con los debidos sensores) para conseguir una reducción de consumo de combustible y por consiguiente de emisiones. [17]

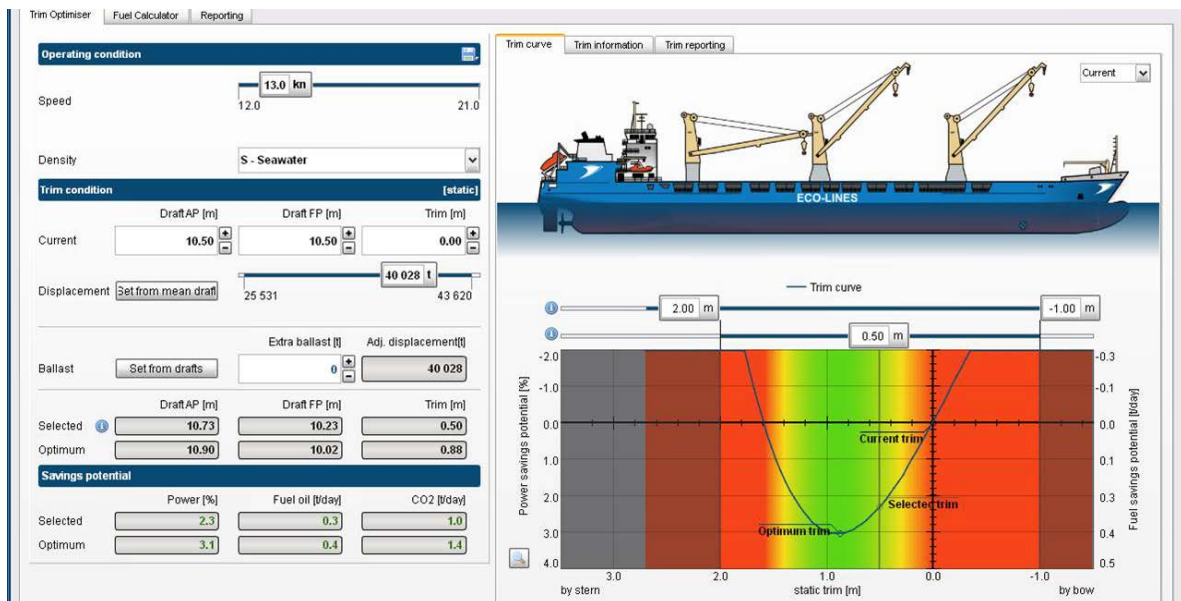


Figura 4.10: Programa optimizador de asiento [35]

Los beneficios económicos en ahorro de combustible pueden ser considerables. Dependen mucho del tamaño y tipo de barco. Conviene destacar que hasta cambios pequeños en el asiento puede tener un gran impacto en el rendimiento del barco. Navegar con 5 o 10 cm. fuera del asiento óptimo pueden generar consumos bastante altos. En el caso de un VLCC, el beneficio puede ser significativo debido a su tamaño y a su gran consumo diario de combustible. Aunque también va a depender del compromiso o de la capacidad de la tripulación en conseguir el asiento recomendado. Los estudios indican que se pueden conseguir ahorros en la energía de propulsión del 1,8%. Que se equipara a unas 500 toneladas de fuel al año, es decir, unos 200.000\$. [17]

Aunque siempre hay que tener muy presente que la posibilidad de trimar el buque siempre debe de ir con relación a la estabilidad, maniobrabilidad, y otros aspectos operacionales y de seguridad. [Autor]

4.9. ROTOR FLETTNER

El rotor Flettner hace uso del efecto Magnus. Por lo tanto, es necesario conocer dicho efecto para entender como son capaces los rotores de proporcionar desplazamiento al buque.

Sea un cilindro que gira en el sentido de las agujas del reloj, y que está colocado perpendicularmente a las líneas de corriente de un fluido en régimen laminar con velocidad constante. [36]

Por efecto de la viscosidad, los elementos de un fluido que se encuentran en contacto con la superficie límite, son arrastrados por el movimiento de giro del cilindro, de tal forma que en la parte superior del cilindro A los elementos de fluido aumentarán de velocidad y en cambio, en la parte inferior B su velocidad disminuirá tal como se ve en la figura. [36]

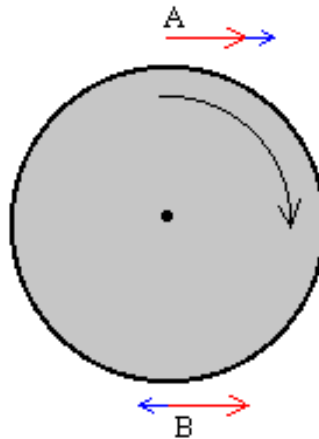


Figura 4.11: Cilindro girando perpendicularmente a las líneas de corriente de un fluido [36]

De acuerdo con la ecuación de Bernoulli la presión en **A** será menor que en **B**, el mismo razonamiento se aplica a otros puntos del fluido por encima y por debajo de la línea horizontal que pasa por el centro del cilindro. La resultante de todas las fuerzas que actúan sobre el cilindro debido a la presión del fluido es una fuerza vertical denominada sustentación que tiende a desplazar al cilindro en una dirección perpendicular a las líneas de corriente. [36]

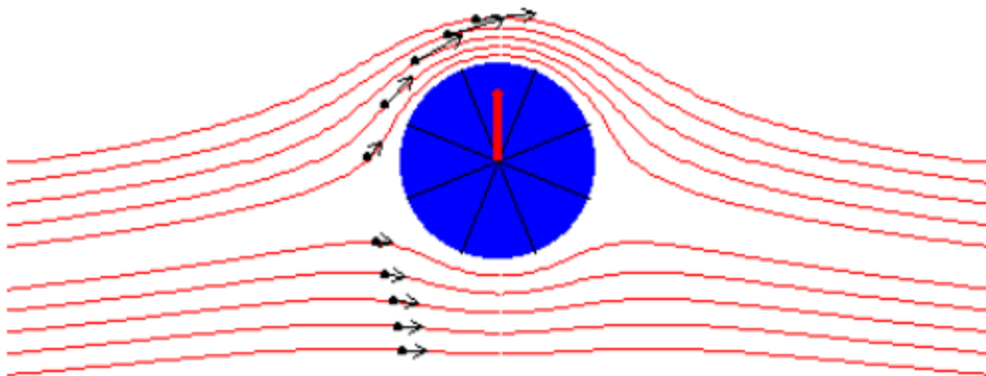


Figura 4.12: Representación de la fuerza de sustentación generada por el cilindro anterior [36]

Una vez conocido el efecto Magnus ya es más fácil pensar cómo funciona un buque con el rotor Flettner. Consiste en disponer de grandes cilindros verticales (rotores Flettner) y hacerlos girar con un motor para que, junto con la fuerza del viento, se consiga esa fuerza de empuje resultante que nos mueva el barco.

A día de hoy hay un buque de carga llamado “E-SHIP 1” que utiliza este sistema y cuenta con 4 rotores verticales Flettner que apoyan al sistema de propulsión principal. La propulsión del barco está a cargo de nueve motores marinos Mitsubishi, con una potencia total de 3,5 MW., lo curioso es que la salida de gases de combustión está conectadas a intercambiadores de calor; este calor se transmite a una planta de vapor, que genera el movimiento de los rotores Flettner, por lo que se utiliza energía residual para moverlos. [37]

Los rotores de la cubierta, miden 27 metros de alto, y 4 de diámetro. El fabricante declara un ahorro de entre 30 y 40% a una velocidad de 16 nudos, algo muy interesante en un sector donde el consumo de combustible es clave. [37]



Figura 4.13: Buque actual con los rotores Flettner [37]

4.10. TENER LA ADECUADA RUGOSIDAD Y LIMPIEZA EN EL CASCO Y HELICE

Una superficie del casco rugosa puede generarse por distintos motivos. Uno muy común es el de cometer fallos a la hora de aplicar la patente o antifouling. Otro es, el de no preparar debidamente la superficie antes de aplicarla. Por otra parte, cuando no se aplica correctamente la patente es más fácil que el llamado fouling aparezca debido a que se adhieren al casco distintas especies como las lapas, mejillones o una especie de capa verde parecida a la hierba. [Autor]



Figura 4.14: Casco de un buque con fouling [17]

Además de los anteriores, el aumento en el crecimiento de la suciedad o fouling en el casco y en la hélice está influenciado por más factores. La robustez de la capa de la patente frente a golpes y rozaduras con muelles o defensas. La temperatura del agua, la salinidad, la cantidad de algas en la zona y la velocidad a la que navegue el buque. Así como su frecuencia de operaciones, ya que los que pasan mucho tiempo en puerto o en el fondeadero son mas propicios a tener mas suciedad en el casco. Todo lo anterior lo que genera es un aumento de la resistencia considerable. [17]

Eliminar una capa de fouling importante podría reducir el consumo de fuel de propulsión entre un 15 y un 18%. Se puede minimizar la cantidad de suciedad realizando inspecciones regularmente del estado de la obra viva. Limpiar el casco y aplicar la patente apropiada sobre una superficie del casco bien lisa a intervalos apropiados a la actividad del buque.

[17]

5. CONCLUSIONES

Lógicamente casi todos los cambios para reducir las emisiones implican esfuerzos económicos. Ya sean modificaciones en los buques, elección de diseños más eficientes, formación para las navieras... Tarde o temprano se tendrán que adaptar todos debido a los cambios de la regulación que entrará en vigor.

Es obvio que el esfuerzo debe ser en conjunto. Así que al igual que en otros sectores como por ejemplo el del automóvil, para el cual los gobiernos empiezan a ofrecer ayudas económicas por la adquisición de vehículos que funcionan con combustibles alternativos o con electricidad, también se debería notar el esfuerzo por parte de estos para incentivar al sector marítimo.

Por lo que creo que ya va siendo hora de que se vieran mas barcos usando alternativas para reducir emisiones. Sobre todo, aquellos que pasan estancias largas o continuamente en puerto. Ya que en numerosas ciudades existe el problema de la contaminación por la estancia de barcos cerca de estas. Por supuesto los armadores tienen que entrar en razón y actuar para colaborar con el asunto. Tienen que ver que los barcos que explotan deben de ir convirtiéndose en medios de transporte más eficientes y con mayor consideración con el medio ambiente. Desafortunadamente creo que si no se ven forzadas por la legislación y por las autoridades no se verán cambios.

Por otra parte, una de las medidas para reducir las emisiones que actualmente más se está utilizando es el uso del gas natural licuado. Aunque no es considerado en el entorno conservacionista como un combustible limpio, por su carácter fósil y no renovable, por los escapes no deseados dado el carácter de gas de efecto invernadero del metano y por los métodos no convencionales empleados para su extracción. Si es un paso positivo que puede servir de ejemplo para nuevas construcciones que se estén planteando a corto plazo. Incluso cabe la posibilidad de remotorizar un buque existente para que opere con este combustible, sin demasiados inconvenientes ya que se dispone de experiencia en este asunto.

Para finalizar, después de recoger en el presente trabajo distintas maneras de emitir menos gases contaminantes, la elección sobre cuál sería la más conveniente requerirá un estudio exhaustivo. Según las necesidades del buque, características, vida comercial restante, zona de navegación, etc. Mientras tanto, lo ideal sería combinar varias medidas, pero eso ya lo dejamos a criterio del armador.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1]

<http://movil.asturias.es/portal/site/medioambiente/menuitem.1340904a2df84e62fe47421ca6108a0c/?vgnextoid=daca2ae109539210VgnVCM10000097030a0aRCRD&vgnnextchannel=761ab1cc11b6a110VgnVCM1000006a01a8c0RCRD&i18n.http.lang=es>

Consultada en septiembre de 2018

[2] Dr. Carlos Ubilla, Dra. Karla Yohannessen. (2017). Contaminación atmosférica efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista Médica Clínica Las Condes*, Enero – Febrero 2017, 111-118. Consultada en enero de 2019 desde

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864017300214>

[3] <https://www.who.int/es>

Consultada en septiembre de 2018

[4] Velázquez de Castro González, Federico. (2005). Cambio climático y protocolo de Kioto. Ciencia y estrategias. Compromisos para España. *Revista española de salud pública*, Marzo – Abril 2005, 191-201. Consultada en enero de 2019 desde

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200007

[5] <https://fisicablognacho.weebly.com/el-efecto-invernadero-y-el-calentamiento-global.html>

Consultada en octubre de 2018

[6] Larrea, I. & Flavia Peñalva, I (2017). *Nuevas obligaciones para el sector marítimo asociadas al seguimiento, notificación y verificación de sus emisiones de CO₂*. Extraído en marzo de 2018 desde

<https://www.wearefactor.com/es/nuevas-obligaciones-para-el-sector-maritimo-asociadas-al-seguimiento-notificacion-y-verificacion-de-sus-emisiones-de-co2/noticia/187>

[7]

[http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93Regulation-13.aspx)

Consultada en enero de 2019

[8] Organización Marítima Internacional (OMI) (2017). *MARPOL EDICION REFUNDIDA 2017*. Londres: O.M.I.

[9]

<http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/2020%20sulphur%20limit%20FAQ.pdf>

Consultada en febrero de 2019

[10] Sabatini Martin, L (2013). *Análisis del flujo del tráfico marítimo en el Mediterráneo Oriental*. Proyecto Final de Carrera. Barcelona: Facultad de Náutica de Barcelona. Consultada en febrero de 2019 desde <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/20409>

[11]

<https://masqueingenieria.com/blog/cambio-climatico-las-rutas-maritimas-polares/>

Consultada en enero de 2019

[12] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Analizador de dióxido de azufre (SO₂)*. Bogotá, Colombia: Sanambiente. Consultada en enero de 2019 desde <http://www.ideam.gov.co/documents/41590/242303/M100A.pdf/551cfa60-a94f-4d10-9061-5a22263ebaae>

- [13] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Analizador de óxidos de nitrógeno (NO_x)*. Bogotá, Colombia: Sanambiente. Consultada en enero de 2019
<http://www.ideam.gov.co/documents/41590/242303/M200A.pdf/0e7ea635-db76-4285-a8d4-813835a3ccb7>
- [14] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Analizador de monóxido de carbono (CO)*. Bogotá, Colombia: Sanambiente. Consultada en enero de 2019 desde
<http://www.ideam.gov.co/documents/41590/242303/M300.pdf/f82fa21f-ed80-4fe3-98c1-b04f7ada0769>
- [15] <http://www.gazteaukera.euskadi.eus/informacion/contaminacion-atmosferica/r58-801/es/>
Consultada en enero de 2019
- [16] Organización Marítima Internacional (OMI) (2011). *Resolución MEPC.203(62), del Comité de Protección del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional, del 15 de julio de 2011. Por la que se establecen las enmiendas al anexo del protocolo de 1997 que enmienda el convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por el protocolo de 1978*. Consultada en febrero de 2019 desde
<http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/GHG/Documents/MEPC%20203%2062.pdf>
- [17] International Maritime Organization (IMO) (2016). *IMO Train The Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation*. London, England: International Maritime Organization. Consultado en noviembre de 2018 desde

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/IMO-Train-the-Trainer-Course.aspx>

- [18] Organización Marítima Internacional (OMI) (2014). *Resolución MEPC.245(66), del Comité de Protección del Medio Marino de la Organización Marítima Internacional, del 4 de abril de 2014. Por la que se establecen las directrices de 2014 sobre el método del cálculo del índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) obtenido para buques nuevos.* Consultada en noviembre de 2018 desde https://www.directemar.cl/directemar/site/artic/20170307/asocfile/20170307095758/245_66.pdf
- [19] Bauzá Sosa, X (2018). *Estudio y aplicación del Plan de Gestión de la Eficiencia Energética del Buque (SEEMP) en un buque tipo.* Trabajo de Fin de Grado. Barcelona: Facultad de Náutica de Barcelona. Consultado en diciembre de 2018 desde https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/16382/Vacas_Forns_Luis_TFC.pdf
- [20] <https://www.bilbaoport.eus/memoria-sostenibilidad/es/calidad-del-aire/index.html>
Consultada en enero de 2019
- [21] <https://www.bilbaoport.eus/responsabilidad-social-corporativa-rsc/compromiso-verde/cuadro-de-mando-ambiental/>
Consultada en enero de 2019
- [22] Ministerio de fomento. Puertos del Estado (2005). *Red de contaminación atmosférica para las autoridades portuarias de A Coruña, Bilbao, Cartagena, Huelva, Santander, Tarragona y Valencia. Proyecto HADA – LIFE 02/ENV/E/274.* Madrid, España: Autor. Consultado en enero de 2019 desde <http://www.puertos.es/es-es/medioambiente/Documents/pro4.pdf>

- [23] NSW Office of Environment & Heritage (2011). *Potential Measures For Air Emissions From NSW Ports*. New South Wales, Australia: Autor. Consultado en diciembre de 2018 desde <https://www.environment.nsw.gov.au/resources/air/portspreliminarystudy.pdf>
- [24] CE Delft (2017, Octubre). *Regulating speed: a short-term measure to reduce maritime emissions (Código de publicación: 17.7L90.155)*. Delft, Países Bajos: Autor. Consultado en diciembre de 2018 desde <https://www.cleanshipping.org/download/Slow-steaming-CE-Delft-final.pdf>
- [25] International Maritime Organization (2009). *Second IMO GHG Study 2009*. London, England: CPI Books Limited. Consultado en noviembre de 2018 desde <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/SecondIMOGHGStudy2009.pdf>
- [26] Winnes, H., Styhre, L. y Fridell, E. (2015). Reducing GHG emissions from ships in port areas. *Research in Transportation Business & Management*, Noviembre 2015, 73-82. Consultada en septiembre de 2018 desde <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210539515000590>
- [27] SEA/LNG LTD. (2019). *LNG as a marine fuel – The investment opportunity*. Oxford, England: Autor. Consultado en marzo de 2018 desde https://sea-lng.org/wpcontent/uploads/2019/01/190123_SEALNG_InvestmentCase_DESIGN_FINAL.pdf
- [28] Folia consultores (2017). *Estudio de percepción social del GNL como combustible marino*. Madrid, España: Autor. Consultado en abril de 2019 desde http://corelngashive.eu/wp-content/uploads/2018/03/170324_Estudio-percepcion-social-GNL_Informe-final.pdf

- [29] Methanol Institute (2013). *Manual de manipulación segura del metanol*. Washington, DC: Autor. Consultado en mayo de 2019 desde http://www.methanol.org/wp-content/uploads/2016/06/Methanol-Safe-Handling-Manual-Final_Spanish.pdf
- [30] <http://www.carbuos.com/Industries/Energy/Power/Power-Generation/hydrogen-basics.aspx>
Consultada en mayo de 2019
- [31] ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (2013). *Future ship powering options. Exploring alternative methods of ship propulsion*. London, England: Autor. Consultado en marzo de 2019 desde <https://www.raeng.org.uk/publications/reports/future-ship-powering-options>
- [32] INOVALABS (2016). *Medidas para la dotación de suministro eléctrico a buques en los puertos de interés general*. Vigo, España: Autor. Consultado en mayo de 2019 desde http://poweratberth.eu/?page_id=208&lang=es
- [33] Canela Badrinas, V (2018). *Desarrollo del sistema de propulsión diésel – eléctrico de un catamarán*. Trabajo de Fin de Grado. Barcelona: Facultad de Náutica de Barcelona. Consultada en marzo de 2019 desde https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/117057/132186_Desarrollo%20del%20sistema%20de%20propulsi%C3%B3n%20di%C3%A9sel-el%C3%A9ctrico%20de%20un%20catamar%C3%A1n%20-%20V%C3%ADctor%20Canela%20Badrinas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [34] Ruiz Saráchaga, A (2012). *Calculo y diseño de un sistema de reducción de NO_x para un motor de 4T*. Trabajo de Fin de Grado. Santander: Escuela Técnica Superior de Náutica – Universidad de Cantabria. Consultada en marzo de 2019 desde

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/1510/TFG-Alexandra%20Ruiz%20Sar%C3%A1lchaga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[35]

<https://production.presstogo.com/fileroot7/gallery/DNVGL/files/original/6a40ec4017884ae99d8c1ac206de8f96.pdf>

Consultada en marzo de 2019

[36] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/fluidos/dinamica/magnus/magnus.htm>

Consultada en mayo de 2019

[37] <https://nergiza.com/barcos-con-rotor-flettner-no-todo-son-velas/>

Consultada en julio de 2019