



UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

SECCION DE NAUTICA, MAQUINAS Y RADIOELECTRONICA

NAVAL

TRABAJO FIN DE GRADO

**ESTUDIO Y EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
GENERADA POR LOS BUQUES**

ALBA RODRÍGUEZ AGUINAGA

JUNIO 2020

Director/es

CINTIA HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

SARA GONZÁLEZ PÉREZ

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre la contaminación atmosférica ocasionada por los buques, así como sus consecuencias para la salud medioambiental y por tanto también, para la salud humana. Se estudia el convenio internacional MARPOL 73/78, el cual está compuesto de un conjunto de normativas para prevenir la contaminación por los buques, en concreto este trabajo ahonda en el Anexo VI, donde se encuentran las regulaciones para las emisiones de gases a la atmósfera.

En la actualidad, los buques usan alternativas para disminuir la contaminación atmosférica y cumplir con la normativa vigente, ya sea mediante uso de sistema de lavado de gases o combustibles en bajo sulfuro. No obstante, con las nuevas tecnologías en combinación de las energías renovables se buscan modos de propulsión menos contaminantes.

Con este estudio se busca concienciar a todo el sector marítimo de la importancia que tiene la obtención de las medidas adecuadas para crear un menor impacto en el medio ambiente y, en concreto, en la atmósfera. El objetivo principal de este estudio consiste en conocer la normativa y las posibles alternativas para reducir la contaminación atmosférica procedente de los buques.

PALABRAS CLAVE

Contaminación, buque, atmósfera, gases, MARPOL.

ABSTRACT

The present work deals with the atmospheric pollution caused by the ships, also about its consequences on the environment and therefore also on the human health. The international agreement MARPOL 73/78 has been studied, which is made up of a set of regulations to prevent the pollution caused by the vessels, specifically this work delves into the Annex VI, where we find the regulations about gas emissions into the atmosphere.

Nowadays, the ships use alternatives to reduce the atmospheric contamination and this way to fulfill the current regulations, either by the use of scrubbers or using low sulfide fuel. However, less pollution propulsion ways are being investigated combining new technologies and renewable energies.

The purpose of this study is, that the whole maritime sector raises awareness about the importance of obtaining appropriate measures to cause less impact into the environment, more concretely, into the atmosphere. The main objective of this study is to get to know the regulations and the possible alternatives to reduce the atmospheric pollution generated by the ships.

KEY WORDS

Pollution, vessel, atmosphere, gases, MARPOL.

ÍNDICE

1.	OBJETIVOS	1
2.	INTRODUCCIÓN	2
2.1	LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	2
2.1.1	LA ATMÓSFERA.....	3
2.1.2	PROCESO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	3
2.1.3	EFFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	6
2.1.3.1	EFFECTOS SOBRE LA SALUD AMBIENTAL.....	6
2.1.3.2	EFFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA	8
2.2	REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DE LOS BUQUES.....	10
2.2.1	CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN POR LOS BUQUES (MARPOL 73/78)	10
2.2.2	ANEXO VI: PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA OCASIONADA POR LOS BUQUES	16
2.2.3	ZONAS ECA.....	22
2.2.4	LOS BUQUES COMO FUENTE DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFFECTOS SOBRE LA SALUD	26
2.2.5	MÉTODOS PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE GASES DE LOS BUQUES A LA ATMÓSFERA	27
2.2.5.1	SISTEMA DE LAVADO DE GASES (SCRUBBERS).....	27
2.2.6	VENTAJAS DE LA REDUCCIÓN DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE .	30
2.3	POSIBLES ALTERNATIVAS DE COMBUSTIBLES PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	32
2.3.1	GAS NATURAL LICUADO	33
2.3.2	HIDRÓGENO	35
2.3.3	HÍBRIDO-ELÉCTRICO	37
2.4	OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE.....	41
3.	METODOLOGÍA	42

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1	ESTUDIO DEL COMBUSTIBLE Y SU CUMPLIMIENTO CON EL ANEXO VI	44
4.2	PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR CAMBIO DE FUELOIL	46
4.3	CALIDAD DEL AIRE EN ZONAS PORTUARIAS Y COSTERAS DE CANARIAS	50
5.	CONCLUSIÓN	61
6.	CONCLUSION	63
7.	BIBLIOGRAFÍA	64

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	ENMIENDAS ANEXOS I, II, III, IV Y V	16
TABLA 2.	ENMIENDAS ANEXO VI	18
TABLA 3.	SUCESOS MÁS IMPORTANTES ANEXO VI	21
TABLA 4.	EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES SO _x DENTRO Y FUERA ZONAS ECA	22
TABLA 5.	EMISIONES DE NO _x	23
TABLA 6.	ZONAS ECA Y SUS REGULACIONES	24
TABLA 7.	MUESTRAS DE COMBUSTIBLE BUQUE MONTE UDALA EN ALGECIRAS	44
TABLA 8.	MUESTRAS DE COMBUSTIBLE BUQUE MONTE UDALA EN ONSAN	45
TABLA 9.	RANGO DE VALORES ICA	51
TABLA 10.	ICA 8 DE ENERO 12 AM	54
TABLA 11.	ICA 29 DE ENERO 20 PM	54
TABLA 12.	ICA 10 DE FEBRERO 12 AM	55
TABLA 13.	ICA 26 DE FEBRERO 20 PM	55
TABLA 14.	ICA 4 DE MARZO 12 AM	56
TABLA 15.	ICA 31 DE MARZO 20 PM	56
TABLA 16.	ICA 2 DE ABRIL 12 PM	57

TABLA 17. ICA 22 DE ABRIL 20 PM.....	57
TABLA 18. RESULTADO DEL ESTUDIO DEL ICA EN LAS ESTACIONES SELECCIONADAS	58
TABLA 19. ESTUDIO DE ICA DE OTROS PAÍSES.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. DISTRIBUCIÓN DE CONTAMINANTES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS EN LA ATMÓSFERA	4
ILUSTRACIÓN 2. ZONAS ECA	24
ILUSTRACIÓN 3. BUNKERING PUERTO DE SINGAPUR	25
ILUSTRACIÓN 4. SCRUBBER.....	27
ILUSTRACIÓN 5. FUNCIONAMIENTO DE UN SCRUBBER	28
ILUSTRACIÓN 6. VENTAJAS DEL LÍMITE DE AZUFRE	31
ILUSTRACIÓN 7. PROYECTO PEACE BOAT ECOSHIP	34
ILUSTRACIÓN 8. PRODUCCIÓN DEL H ₂	36
ILUSTRACIÓN 9. BARCO ENERGY OBSERVER.....	37
ILUSTRACIÓN 10. VENTAJAS DE BARCOS ELÉCTRICOS.....	39
ILUSTRACIÓN 11. BUQUE VIKING PRINCESS.....	40
ILUSTRACIÓN 12. VENTILACIÓN Y ACCESO AL TANQUE	47
ILUSTRACIÓN 13. VENTEO DEL TANQUE	47
ILUSTRACIÓN 14. RIESGO DE CAÍDA MISMO NIVEL.....	48
ILUSTRACIÓN 15. ESPACIO CERRADO.....	50
ILUSTRACIÓN 16. ESTACIÓN LAS GALLETAS.....	52
ILUSTRACIÓN 17. ESTACIÓN EL PILAR-SC LA PALMA.....	52
ILUSTRACIÓN 18. MERCADO CENTRAL LPGC.....	53
ILUSTRACIÓN 19. CENTRO DE ARTE FUERTEVENTURA.....	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1.COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA.	3
---	---

LISTA DE ACRÓNIMOS

- COV → Compuestos orgánicos volátiles
- OMS → Organización Mundial de la Salud
- MARPOL → Convenio Internacional para prevenir la contaminación de los buques
- OMI → Organización marítima internacional
- Código IMDG → Código Internacional de Mercancías Peligrosas
- MEPC → Comité de protección del medio marino
- Certificado IOPP → Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación por Hidrocarburos
- Código RO → Código para las organizaciones reconocidas
- Código IBC y BCH → Código internacional para la construcción y el equipamiento de buques que transportan productos químicos peligrosos a granel.
- GESAMP → Grupo de expertos sobre los aspectos científicos de la protección del medio marino
- HME → Nocivo para el medio marino
- ECA → Zonas de control de emisiones
- Certificado IAPP → Certificado internacional de prevención de la contaminación atmosférica
- EEDI → Índice de eficiencia energética
- NECA → Zonas de control de emisiones de óxidos de nitrógeno
- Ro-ro → Carga rodada
- PVC → Cloruros de polivinilo
- GNL → Gas natural licuado
- GEI → Gas de efecto invernadero
- MGO/MDO → Diésel marino
- ICA → Índice calidad de aire
- PM → Materia particulada
- VLSFO → Fuel de muy bajo contenido de azufre
- ULSFO → Fuel ultra bajo en azufre
- DO → Diésel
- HFO → Fuel pesado

- EPI → Equipo de protección individual
- FOBAS → Servicio de análisis del búnker de fuel
- UNESCO → Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

LISTA DE UNIDADES

- Km → Kilómetro
- Kg → Kilogramo
- GT → Arqueo bruto
- kW → Kilovatios
- G → Gramos
- H → Hora
- M² → Metro cuadrado
- Cst → Centistokes
- L → Litro
- Rpm → Revolución por minuto

1. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo de fin de grado se dividen en objetivos de revisión bibliográfica y en objetivos experimentales.

Los objetivos de revisión bibliográfica que se quieren alcanzar, son los siguientes:

- Estudiar los efectos que tienen los contaminantes atmosféricos producidos por buques, sobre la salud ambiental y humana.
- Estudiar las medidas para solucionar o reducir las emisiones de gases contaminantes procedentes de los buques.
- Conocer la normativa actual en relación a la contaminación atmosférica causada por los buques.
- Evaluar distintas alternativas de combustibles en los buques.
- Relacionar el presente estudio con los objetivos del desarrollo sostenible.

Y los objetivos experimentales a alcanzar, son los siguientes:

- Estudiar el combustible de un buque para comprobar el cumplimiento del Anexo VI del MARPOL.
- Conocer el proceso del cambio de combustible de un buque y sus riesgos asociados.
- Estudiar la calidad del aire en zonas portuarias y costeras de Canarias.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se considera contaminación atmosférica a la presencia de sustancias en la atmósfera que, en ciertas cantidades, implican algún riesgo o molestia en la salud de las personas o del resto de los seres vivos, así como el ataque a distintos materiales, la reducción de la visibilidad o la producción de olores desagradables (Piédrola-Gil, 2016). Si nos vamos a la legislación, la definición de contaminación atmosférica recogida en la ley 34/2007, del 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, se aplica a las alteraciones y efectos nocivos que se producen sobre los seres vivos y los elementos materiales (Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera).

En cuanto al sector marítimo, el Anexo VI del Convenio MARPOL, adoptado en 1997, limita los principales contaminantes atmosféricos contenidos en los gases de escape de los buques, en específico los óxidos de azufre (SO_x) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) y se prohíben las emisiones intencionadas de sustancias que debilitan la capa de ozono. No obstante, también se regulariza la incineración a bordo y las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) procedentes de los buques tanque (Organización Marítima Internacional, 2019).

La contaminación del aire a corto plazo puede disminuir con el uso de combustibles que contengan bajos niveles de azufre o invirtiendo en depuradores de gases. Otra opción es el uso de alternativas al combustible que se viene usando hasta ahora, como puede ser el gas natural licuado (GNL), el hidrógeno o la propulsión híbrido-eléctrica, ya que estas opciones, no emiten gases a la atmósfera. La adopción de combustibles alternativos ayudará a cumplir con los estándares más estrictos de azufre que entraron en vigencia en este año 2020, además de diversificar las fuentes de suministro de combustible marítimo.

Se espera que las disposiciones revisadas produzcan un distinguido beneficio para el entorno atmosférico y la salud humana, fundamentalmente para aquellas personas que viven en ciudades portuarias y comunidades costeras.

2.1.1 LA ATMÓSFERA

Se conoce por atmósfera a la bola casi homogénea de gases que está concentrada alrededor de un planeta o astro celeste y estable en el lugar por la acción de la gravedad. La atmósfera terrestre tiene unos 10.000 km de altura desde la superficie del planeta y acoge en diversas capas los gases necesarios para preservar una temperatura estable y permitir el desarrollo de la vida humana en el planeta.

La atmósfera terrestre está compuesta por varios tipos de gases, cuyo mayor porcentaje de masa se acumula en los primeros 11 km de altura y cuya masa total ronda los $5,1 \times 10^{18}$ Kg (Raffino, 2020).

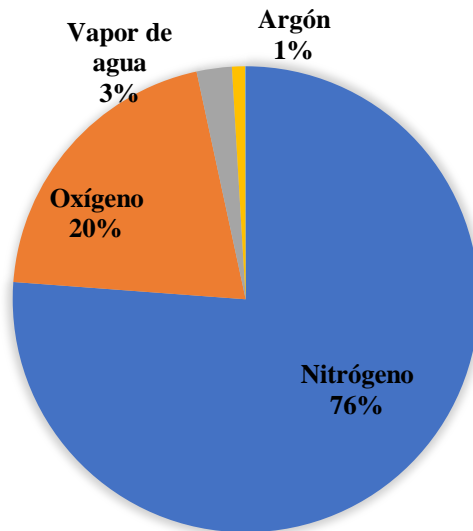


Gráfico 1. Composición de la atmósfera.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 PROCESO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La contaminación atmosférica es la presencia de sustancias en la atmósfera que en ciertas cantidades implican algún riesgo o molestia en la salud de las personas y del resto de seres vivos, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen los efectos nocivos en los seres vivos y los

elementos materiales, y no a otras alteraciones inofensivas (Martínez Ataz & de Mera Morales, 2004).

Los productos contaminantes se encuentran mezclados en el aire y sus propiedades son muy variadas, aunque algunos destacan por su elevada proporción en el aire o por sus efectos. Bastantes reaccionan entre sí o con otras sustancias que se encuentran en la atmósfera, como por ejemplo el vapor de agua, dando lugar a nuevos contaminantes. Así es la diferencia entre los contaminantes primarios, que son los emitidos directamente por una fuente, de los secundarios, fruto de reacciones subsiguientes en la atmósfera. El tiempo que permanece un contaminante en el aire se denomina tiempo de residencia.

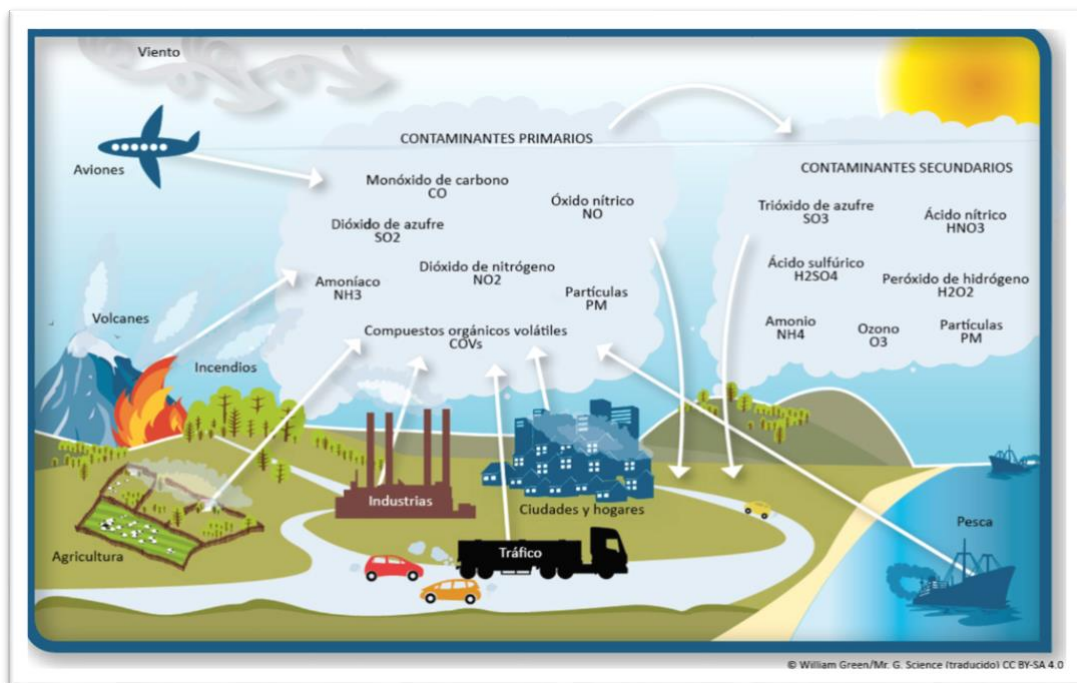


Ilustración 1. Distribución de contaminantes primarios y secundarios en la atmósfera

Fuente: William Green/Mr. G. Science (traducido) CC BY-SA 4.0

A continuación, se nombran los contaminantes atmosféricos más importantes según (de Castro González, 2019):

Los óxidos de azufre más importantes por lo que respecta a la contaminación atmosférica son el dióxido de azufre, SO₂ y el trióxido de azufre, SO₃.

- SO₂: Es un gas incoloro, irritante, no inflamable y con olor penetrante que se basa en un átomo de azufre y dos de oxígeno. El SO₂ con el tiempo y en contacto con el aire y la humedad se transforma en trióxido de azufre. Su vida media en la atmósfera ronda unos 2 a 4 días y se emite a la atmósfera en forma de SO₂ a consecuencia de la quema de combustibles y el proceso de los minerales.
- SO₃: Se obtiene a través de la oxidación catalítica del SO₂, siendo este compuesto un poderoso agente oxidante.

Otro grupo importante de contaminantes son los óxidos de nitrógeno, pero, los más importantes en cuanto a sus efectos contaminantes, son el dióxido de nitrógeno, NO₂ y el óxido nítrico, NO. Los óxidos de nitrógeno se generan a causa de las altas temperaturas, producidas en los procesos de combustión.

- NO: Es un gas sin color, y difícilmente soluble en agua, y también lo podemos encontrar en pequeñas cantidades en los mamíferos, a pesar de ser considerado como un agente tóxico. Es una molécula muy inestable en el aire ya que se oxida con la presencia de oxígeno y se convierte en dióxido de nitrógeno.
- NO₂: Es un compuesto químico gaseoso que posee un color marrón/amarillo y está formado por la combinación de un átomo de nitrógeno y dos de oxígeno. Este gas es tóxico e irritante. La mayor parte tiene su origen en la oxidación del NO que se produce en la combustión de los motores, fundamentalmente los Diesel. El NO emitido por los motores, una vez en la atmósfera, se oxida y se convierte en NO₂.

Los óxidos de carbono son otro grupo de contaminantes que agotan la capa de ozono, pero los principales son el monóxido de carbono, CO, y el dióxido de carbono, CO₂. El CO se crea por una combustión incompleta procedente de los combustibles orgánicos, es decir, por falta de oxígeno, la que impide la oxidación completa a CO₂.

- CO: Es un gas tóxico, inodoro, incoloro e insípido, parcialmente soluble en agua, alcohol y benceno y es el resultado de la oxidación incompleta del carbono

durante el proceso de combustión. Consta de un átomo de carbono unido mediante enlace covalente a un átomo de oxígeno (CO).

→ CO₂: Es un gas incoloro e inodoro formado por un átomo de carbono y dos de oxígeno en enlaces covalentes. Es el principal gas de acción antropogénica y el indicador más usado para medir los gases de efecto invernadero.

Finalmente, los compuestos orgánicos volátiles (COV) son otro grupo de contaminantes del aire que cuando se mezclan con óxidos de nitrógeno, reaccionan para formar ozono, siendo precursores de esta molécula que, aunque en la estratosfera es beneficiosa para la salud ambiental (protegiendo a la tierra de la radiación solar), en la troposfera es muy dañina para la salud humana (estudios demuestran afección a la función pulmonar).

Los COV se liberan debido a la quema de combustibles, así que el transporte y en este caso el marítimo es una de las principales fuentes de emisión de dichos compuestos. En concreto el RD 102/2011, relativo a la mejora de la calidad del aire (Real Decreto 102/2011, de 29 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire), recomienda la medición de un grupo de COVs, prestando especial atención al benceno y el benzo(a)pireno por ser cancerígenos demostrados para humanos.

2.1.3 EFECTOS SOBRE LA SALUD DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

2.1.3.1 EFECTOS SOBRE LA SALUD AMBIENTAL

En cuanto a los efectos ambientales, la contaminación atmosférica afecta a la vegetación y a los suelos sobre los que éstos crecen de forma directa, incluyendo la alteración de la función fotosintética de las plantas. La contaminación atmosférica es también causante de problemas ambientales de alcance global como la lluvia ácida, el deterioro de la capa de ozono, o el cambio climático. Los COV participan activamente en numerosas reacciones, en la troposfera y en la estratosfera, contribuyendo a la formación del smog fotoquímico y al efecto invernadero.

Son muchos los efectos sobre la salud ambiental a consecuencia de la contaminación atmosférica, por lo que a continuación, se definen algunos de ellos:

→ Lluvia ácida

Se entiende por lluvia ácida a cualquier forma de precipitación que contenga altas concentraciones de ácido sulfúrico y nítrico. La lluvia ácida la puede originar la capa vegetal en descomposición y los volcanes en erupción, ya que liberan algunos químicos a la atmósfera, pero la mayor parte de estas precipitaciones son el resultado de la acción humana, a consecuencia de la quema de combustibles fósiles procedentes de plantas de carbón generadoras de electricidad, las fábricas y los escapes de los coches.

Con la quema de combustibles fósiles, se liberan SO_2 y óxidos de nitrógeno (NO_x) a la atmósfera, gases que reaccionan con el agua, el oxígeno y otras sustancias para formar soluciones diluidas de ácido nítrico y sulfúrico, que se propagan en la atmósfera debido al viento. Una vez que la lluvia ácida alcanza la tierra, ésta fluye a través de la superficie mezclada con el agua residual y entra en los acuíferos y suelos de cultivo.

Según un artículo de National Geographic (National Geographic, 2010) en el año 2010 comenta que, la lluvia ácida tiene muchas consecuencias nocivas para el entorno, pero sin lugar a dudas, el mayor efecto lo tiene sobre los lagos, ríos, arroyos, pantanos y otros medios acuáticos. La lluvia ácida aumenta el nivel de ácido en los acuíferos, lo que permite la absorción de aluminio que se transfiere, a su vez, desde las tierras de cultivo, a los lagos y ríos.

La lluvia ácida también contamina selvas y bosques, principalmente los situados a mayor altitud. Esta precipitación nociva roba los nutrientes esenciales del suelo a la vez que libera aluminio, lo que dificulta la absorción del agua por parte de los árboles. Los efectos de la lluvia ácida, en combinación con otros agentes agresivos para el medioambiente, reduce la resistencia de los árboles y plantas a las bajas temperaturas, la acción de insectos y las enfermedades.

La forma de acabar con la lluvia ácida es reduciendo las emisiones de los contaminantes que la originan, lo que significa disminuir el consumo de combustibles fósiles, ahorro de energía o incentivar a la población al uso del transporte público o compartido.

→ Acidificación de los Océanos

La acidificación es uno de los cambios más notables que experimenta el océano, aparte de tantos otros como, el calentamiento del agua, la disminución de la concentración de oxígeno, la pesca excesiva y la eutrofización (acumulación de residuos orgánicos en el mar, lagos, embalses...y que causa la proliferación de ciertas algas).

A partir de la revolución industrial, el océano ha absorbido aproximadamente un 30% de todo el CO₂ liberado a la atmósfera por los humanos, lo que ha representado un aumento del 26% de la acidez del océano. Los niveles de CO₂ atmosférico son cada vez mayores a consecuencia de las actividades humanas, como, por ejemplo, la quema de combustibles fósiles, lo que está perjudicando al aumento de la acidificación de los océanos, provocada por una reacción química cuando el CO₂ se disuelve con el agua de mar formando el ácido carbónico. La acidificación del océano provoca cambios en los ecosistemas y en la biodiversidad marina. Puede afectar a la seguridad alimentaria y limita la capacidad del océano de absorber el CO₂ procedente de las emisiones antropogénicas. La única forma de minimizar riesgos a gran escala y a largo plazo es reduciendo las emisiones de CO₂ (Hood, Broadgate, Urban, & Gaffney, 2009).

2.1.3.2 EFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA

Los estudios de los efectos sobre la salud humana de los contaminantes atmosféricos están basados en la experimentación animal y en los resultados de cuadros agudos de carácter accidental (especialmente en el medio laboral). Los datos epidemiológicos, se han centrado en los últimos años en el análisis de series temporales de datos ambientales y de salud, cuyos objetivos son, establecer niveles seguros para el conjunto de la población, asegurar la vigilancia de los índices de calidad del aire y mejorar las intervenciones para proteger la salud de la población.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) hace años que considera la contaminación atmosférica una de las prioridades mundiales en la salud, estimando que puede causar 7 millones de fallecimientos anuales en el mundo. Los estudios epidemiológicos son básicos a la hora de establecer el efecto de los niveles de contaminantes atmosféricos

sobre la salud, pero todavía presentan algunos problemas por resolver, como la dificultad para valorar el efecto aislado de alguno de los contaminantes, dado que su presencia siempre está asociada a otros (World Health Organization, s.f.). Asimismo, es necesario destacar que no solo interesan los efectos de una exposición breve e intensa, que son los que permiten establecer con más facilidad de relación contaminación-salud en esas circunstancias, sino que es más importante establecer esta relación mediante el estudio de la exposición prolongada a los contaminantes atmosféricos (Piédrola-Gil, 2016).

→ Óxidos de azufre: Los efectos de dicho contaminante sobre la salud humana han sido ampliamente estudiados y dependen de sus concentraciones y del tiempo de exposición. Los óxidos de azufre se han valorado siempre en forma conjunta con las partículas en suspensión y son los únicos contaminantes de los que se disponen datos. Los efectos de las exposiciones breves sobre la mortalidad se han basado en el brusco aumento del número diario de defunciones en el transcurso de episodios de contaminación elevada y los más afectados fueron personas que ya sufrían afecciones cardíacas o pulmonares y ancianos. Los efectos de las exposiciones prolongadas sobre la morbilidad (índice de personas enfermas en un lugar y tiempo determinado) se manifiestan, según estudios, por el aumento de la prevalencia de síntomas respiratorios entre adultos y niños, así como por la mayor frecuencia de afecciones respiratorias agudas, comprobada especialmente entre los niños (Piédrola-Gil, 2016).

→ Óxidos de nitrógeno: Es un factor de riesgo de las enfermedades respiratorias según datos obtenidos de estudios realizados en animales y en condiciones experimentales con voluntarios humanos. Los estudios epidemiológicos de dicho contaminante demuestran un mayor riesgo de enfermedad respiratoria aguda y reducción de la función pulmonar, especialmente en escolares expuestos a una atmósfera que contiene dióxido de nitrógeno, óxidos de azufre, partículas y en algunos casos oxidantes fotoquímicos (Piédrola-Gil, 2016).

→ Monóxido de carbono: Su toxicidad aguda está bien documentada, pero últimamente se les ha prestado más atención a los efectos de la exposición a concentraciones mucho más bajas que las que causan intoxicación característica, las cuales se encuentran en la atmósfera urbana. Estudios indican que las concentraciones de carboxihemoglobina (proteína resultante de la unión de la hemoglobina con el

monóxido de carbono) causadas por la exposición a la contaminación ambiental y al tabaco, pueden causar un deterioro de la capacidad de atención y trabajos físicos en individuos sanos, además de la exaltación de síntomas, como la angina de pecho, en pacientes con enfermedades cardiovasculares que realizan esfuerzos (Piédrola-Gil, 2016).

→ Compuestos orgánicos volátiles: Cuando dicho contaminante se mezcla con óxido de nitrógeno reaccionan formando ozono. La presencia de concentraciones elevadas de ozono en el aire que respiramos es muy peligrosa. Los efectos sobre la salud de la exposición a ozono incluyen irritación de ojos y vías respiratorias, astenia, cefaleas, alergias, disminución de la función pulmonar y lesiones al hígado, riñones, pulmones y sistema nervioso central. Los efectos de los compuestos orgánicos volátiles para la salud varían según el compuesto y abarcan desde un alto grado de toxicidad hasta ausencia de efectos conocidos. Los efectos dependen de la naturaleza de cada compuesto y también del grado y del período de exposición al mismo.

La exposición a largo plazo a los compuestos orgánicos volátiles puede causar lesiones del hígado, riñones y en el sistema nervioso central. Por otro lado, la exposición a corto plazo puede causar irritación de los ojos y las vías respiratorias, dolor de cabeza, mareo, trastornos visuales, fatiga, pérdida de coordinación, reacciones alérgicas de la piel, náusea y trastornos de la memoria.

Algunos COV son muy tóxicos, como el benceno, el óxido de estireno, el percloroetileno o el tricloroetileno, que son cancerígenos, o el formaldehído y el estireno, que además son disruptores endocrinos (Gobierno de España, 2010).

2.2 REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DE LOS BUQUES

2.2.1 CONVENIO INTERNACIONAL PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN POR LOS BUQUES (MARPOL 73/78)

Las emisiones de gases generadas por un buque hacia la atmósfera están reguladas en el Convenio Internacional para prevenir la contaminación de los buques o también conocido como MARPOL 73/78, concretamente en el Anexo VI.

El MARPOL es el principal convenio internacional que trata sobre la prevención de la contaminación del medio marino a consecuencia de los buques por causa de factores de funcionamiento o accidentales.

Dicho convenio fue aprobado el 2 de noviembre de 1973 en la sede de la Organización Marítima Internacional (OMI). En 1978, en respuesta al gran número de accidentes de buques tanque ocurridos entre 1976 y 1977, se adoptó un protocolo. Debido a que el Convenio MARPOL de 1973 aún no había entrado en vigor, el protocolo de 1978 referente al Convenio MARPOL captó el Convenio original y entró en vigor el 2 de octubre de 1983. En 1997, se adoptó un protocolo para introducir enmiendas en el Convenio y se añadió un nuevo Anexo VI, el cual entró en vigor el 19 de mayo de 2005.

Tras los años, el Convenio MARPOL ha sido objeto de diversas actualizaciones mediante la incorporación de enmiendas. En él se plasman reglas encaminadas a prevenir y reducir al mínimo la contaminación ocasionada por los buques, tanto accidental como procedente de las operaciones normales, y actualmente consta de seis anexos técnicos. En la mayoría de los anexos figuran zonas especiales en las que se realizan controles estrictos respecto de las descargas operacionales.

Anexo I. Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos.

En el Anexo I se aborda el asunto de la prevención de la contaminación por hidrocarburos originarios de medidas operacionales, así como de derrames accidentales. Las enmiendas de 1992 al Anexo I hicieron obligatorio el doble casco para los nuevos petroleros e incorporaron un calendario de introducción gradual para que los buques tanque existentes se adaptasen al doble casco, lo que fue revisado posteriormente en 2001 y 2003.

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

En el Anexo II se establecen con exactitud los criterios relativos a las descargas y medidas destinadas a prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel. La descarga de sus residuos se aprueba tan sólo en instalaciones de recepción, a

menos que se cumplan ciertas concentraciones y condiciones. En cualquier caso, no se permiten las descargas de residuos que contengan sustancias perjudiciales a menos de 12 millas de la tierra más próxima.

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

El Anexo III establece prescripciones generales para la divulgación de normas detalladas sobre empaquetado, marcado, etiquetado, documentación, estiba, limitaciones cuantitativas, excepciones y notificaciones de las mercancías transportadas.

A los efectos del presente anexo, se consideran sustancias perjudiciales las contaminantes del mar en el Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (Código IMDG) o las que cumplen los criterios que figuran en el apéndice del Anexo III.

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

En el Anexo IV se instauran prescripciones para controlar la contaminación del mar por aguas sucias. La descarga de éstas al mar está prohibida a menos que el buque utilice una instalación de tratamiento de aguas sucias aprobada o descargue aguas sucias previamente desmenuzadas y desinfectadas mediante un sistema aprobado, a una distancia superior de 3 millas náuticas de la costa más próxima, o a una distancia superior de 12 millas náuticas de la costa más próxima si no han sido previamente desmenuzadas ni desinfectadas.

Anexo V. Reglas para prevenir la contaminación por basuras.

El Anexo V trata los distintos tipos de basuras que se pueden verter al mar, así cómo y dónde. La característica más importante de dicho anexo es la total prohibición de vertidos de cualquier tipo de plásticos al mar.

Según su naturaleza, los residuos del anexo V del Convenio MARPOL se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Categoría A: Plásticos
- Categoría B: Residuos alimenticios

- Categoría C: Residuos domésticos
- Categoría D: Aceite de cocina
- Categoría E: Cenizas
- Categoría F: Residuos nocivos
- Categoría G: Residuos de la carga
- Categoría H: Animales
- Categoría I: Maquinaria de pesca

A la hora de verter, incinerar o entregar dichos residuos a un puerto determinado, se tiene que llevar un correcto registro en el correspondiente Libro de Registro de Basuras.

A cada uno de los Anexos que compone el MARPOL, a lo largo de los años, se le han ido realizando enmiendas nombradas a continuación en la Tabla 1:

Anexos	Enmiendas
<p>Anexo I: Reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos. Entrada en vigor el 2 de octubre de 1983</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1984, enmienda (MEPC.14(20)) • 1987 enmienda (MEPC.29(25)) (designación del Golfo de Adén como área especial) • 1990, enmienda (MEPC.39(29)) (sistema armonizado de encuesta y satisfacción), enmienda (MEPC.42(30)) (designación de la Antártica como área especial) • 1991, enmienda (MEPC.47(31)) (nueva regla 26 (plan de emergencia de contaminación por hidrocarburos a bordo) y otras enmiendas) • 1992, enmienda (MEPC.52(32)) (diseño de petrolero), enmienda (MEPC.51(32)) (criterio de descarga) • 1994, enmiendas (resoluciones de la conferencia 1-3) (control del estado del puerto sobre los requisitos operacionales) • 1997, enmienda (MEPC.75 (40)) (designación de las aguas del noroeste de Europa como área especial; nueva regulación 25A) • 1999, enmiendas (MEPC.78 (43)) (enmiendas a las reglas 13G y 26 y al Certificado IOPP del Anexo I y la adición de la nueva regla 16 al Anexo II) • 2001, enmiendas (MEPC.95 (46)) (enmiendas a las regulaciones 13G del Anexo I y al Suplemento al Certificado IOPP) • 2003, enmiendas (MEPC.111 (50)) (enmiendas a la regla 13G, adición de la nueva regla 13H y enmiendas consecuentes al suplemento al Certificado IOPP del Anexo I) • 2004, enmiendas (MEPC.117 (52)) (Anexo I revisado) • 2006, enmiendas (MEPC.141 (54)) (adición del nuevo 12A y enmiendas consiguientes), y (MEPC.154 (55)) (designación del área marítima del sur de Sudáfrica como área especial)

	<ul style="list-style-type: none"> • 2007, enmiendas (MEPC.164 (56)) (instalaciones de recepción fuera de áreas especiales y descarga de aguas residuales) • 2009, enmiendas (MEPC.187(59)) (enmiendas al Anexo I, suplemento al Certificado IOPP y al libro de registro de hidrocarburos, partes I y II) y enmiendas (MEPC.186 (59)) (adición de un nuevo capítulo 8 al Anexo I de MARPOL y enmiendas consecuentes al suplemento al Certificado IOPP, formulario B) • 2010, enmiendas (MEPC.189 (60)) (enmiendas al Anexo I) • 2012, enmiendas (MEPC.216 (63)) (disposiciones regionales para instalaciones portuarias de recepción en virtud de los Anexos MARPOL I, II, IV y V) • 2013, enmiendas (MEPC.235 (65)) (enmiendas al formulario A y al formulario B de suplementos al Certificado IOPP según el Anexo I de MARPOL), enmiendas (MEPC.238 (65)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I y II para hacer obligatorio el Código RO) • 2014, enmiendas (MEPC.248 (66)) (requisitos de transporte obligatorios para un instrumento de estabilidad), enmiendas (MEPC.246 (66)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I, II, III, IV y V para hacer obligatorio el uso del Código III), enmiendas (MEPC.256 (67)) (regla 43- requisitos especiales para el uso o transporte de aceites en la zona antártica) • 2015, enmiendas (MEPC.266 (68)) (reglamento 12- tanques para residuos de aceite (lodos)), enmiendas (MEPC.265 (68)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I, II, IV y V para hacer obligatorio el uso de las disposiciones ambientales del Código Polar) • 2016, enmiendas (MEPC.276 (70)) (enmiendas al formulario B del suplemento al Certificado IOPP)
<p>Anexo II: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas transportadas a granel. Entrada en vigor el 2 de octubre de 1983</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1985, enmiendas (MEPC.16 (22)) (enmiendas extensas al Anexo II en preparación para su implementación: bombeo, tuberías, control, etc. (códigos IBC y BCH) • 1989, enmiendas (MEPC.34 (27)) (lista de productos químicos) • 1990, enmiendas (MEPC.39(29)) (sistema armonizado de encuesta y satisfacción) • 1992, enmiendas (MEPC.57 (33)) (lista de productos químicos y la designación de la Antártida como área especial) • 1994, enmiendas (resoluciones de la conferencia 1-3) (control del estado del puerto sobre los requisitos operacionales) • 1999, enmiendas (MEPC.78 (43)) (enmiendas a las reglas 13G y 26 y al Certificado IOPP del Anexo I y la adición de la nueva regla 16 al Anexo II) • 2004, enmiendas (MEPC.118 (52)) (Anexo II revisado) • 2012, enmiendas (MEPC.216 (63)) (disposiciones regionales para instalaciones portuarias de recepción en virtud de los Anexos MARPOL I, II, IV y V), enmiendas (MEPC.225 (64)) (enmiendas a los capítulos 17, 18 y 19 del Código IBC) • 2013, enmiendas - (MEPC.238 (65)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I y II para hacer obligatorio el Código RO) • 2014, enmiendas (MEPC.246 (66)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I, II, III, IV y V para hacer obligatorio el uso del Código III), enmiendas (MEPC.256 (67)) (regla 43- requisitos especiales para el uso o transporte de aceites en la zona antártica) • 2015, enmiendas (MEPC.265 (68)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I, II, IV y V para hacer obligatorio el uso de las disposiciones ambientales del Código Polar)

	<ul style="list-style-type: none"> • 2016, enmiendas (MEPC.270 (69)) (procedimiento revisado de evaluación de riesgos de GESAMP)
<p>Anexo III: Reglas para prevenir la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas por mar en bultos.</p> <p>Entrada en vigor el 1 de julio de 1992.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1992, enmiendas (MEPC.58 (33)) (revisión del Anexo III para introducir el Código IMDG como vehículo para su implementación) • 1994, enmiendas (resoluciones de la Conferencia 1-3) (control del estado del puerto sobre los requisitos operacionales) • 2000, enmiendas (MEPC.84 (44)) (enmiendas al apéndice del anexo III) • 2006, enmiendas - (MEPC.156 (55)) (Anexo III revisado) • 2010, enmiendas (MEPC.193 (61)) (Anexo III revisado) • 2014, enmiendas (MEPC.246 (66)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I, II, III, IV y V para hacer obligatorio el uso del Código III), enmiendas (MEPC.257 (67)) (modificación del apéndice sobre criterios para la identificación de sustancias nocivas en forma de paquete)
<p>Anexo IV: Reglas para prevenir la contaminación por las aguas sucias de los buques.</p> <p>Entrada en vigor el 27 de septiembre de 2003</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2004, enmiendas (MEPC.115 (51)) (Anexo IV revisado) • 2006, enmiendas (MEPC.143 (54)) (adición de la nueva regla 13) • 2007, enmiendas (MEPC.164 (56)) (instalaciones de recepción fuera de áreas especiales y descarga de aguas residuales) • 2011, enmiendas (MEPC.200 (62)) (disposiciones sobre zonas especiales y la designación del mar Báltico como zona especial en virtud del Anexo IV del Convenio MARPOL) • 2012, enmiendas (MEPC.216 (63)) (disposiciones regionales para instalaciones portuarias de recepción en virtud de los anexos MARPOL I, II, IV y V) • 2014, enmiendas (MEPC.246(66)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I, II, III, IV y V para hacer obligatorio el uso del Código III) • 2015, enmiendas (MEPC.265 (68)) (enmiendas a los anexos MARPOL I, II, IV y V para hacer obligatorio el uso de las disposiciones ambientales del Código Polar) • 2016, enmiendas (MEPC.274 (69)) (enmiendas a las reglas 1 y 11 y al formulario del Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación de Aguas Residuales)
<p>Anexo V: Reglas para prevenir la contaminación ocasionada por las basuras de los buques.</p> <p>Entrada en vigor el 31 de diciembre de 1988</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 1989, enmiendas (MEPC.274 (69)) (enmiendas a las reglas 1 y 11 y al formulario del Certificado Internacional de Prevención de la Contaminación de Aguas Residuales) • 1990, enmiendas (MEPC.42(30)) (designación de la Antártica como área especial) • 1991, enmiendas (MEPC.48 (31)) (designación del área del Gran Caribe como área especial) • 1994, enmiendas (resoluciones de la Conferencia 1-3) (control del estado del puerto sobre los requisitos operacionales) • 1995, enmiendas (MEPC.65 (37)) (directrices para planes de gestión de basura) • 2000, enmiendas (MEPC.89 (45)) (enmiendas a las regulaciones 1, 3, 5 y 9 y al registro de descarga de basura) • 2004, enmiendas (MEPC.116 (51)) (enmiendas al apéndice del Anexo V) • 2011, enmiendas (MEPC.201 (62)) (Anexo V revisado de MARPOL) • 2012, enmiendas (MEPC.216 (63)) (disposiciones regionales para instalaciones portuarias de recepción en virtud de los anexos MARPOL I, II, IV y V) • 2014, enmiendas (MEPC.246(66)) (enmiendas al Anexo I, II, III, IV y V para hacer uso obligatorio del Código II)

	<ul style="list-style-type: none"> • 2015, enmiendas (MEPC.265 (68)) (enmiendas a los Anexos MARPOL I, II, IV y V para hacer obligatorio el uso de las disposiciones ambientales del Código Polar) • 2016, enmiendas (MEPC.277 (70)) (enmiendas a sustancias HME y libro de registro de formularios de basura)
--	--

Tabla 1. Enmiendas Anexos I, II, III, IV y V

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www.amsa.gov.au/marine-environment/marine-pollution/table-marpol-amendments>

2.2.2 ANEXO VI: PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA OCACIONADA POR LOS BUQUES

El Anexo VI del Convenio MARPOL, que fue adoptado en 1997, restringe los contaminantes atmosféricos que están contenidos en los gases de escape de los buques, en particular los SO_x y los NO_x, y prohíbe las emisiones intencionadas de sustancias que dañan la capa de ozono. No obstante, también se regula en el presente Anexo la incineración a bordo y las emisiones de COV derivadas de los buques tanque.

El 19 de mayo de 2005, tras la entrada en vigor del Anexo VI del Convenio MARPOL, el MEPC, en julio del mismo año, pactó revisarlo con la finalidad de reducir sensiblemente los límites máximos de emisión gracias a las mejoras tecnológicas existentes y la experiencia adquirida a través de la implantación. En octubre de 2008, el MEPC aprobó el Anexo VI revisado del Convenio y el Código técnico vinculado sobre los NO_x 2008, los cuáles entraron en vigor el 1 de julio de 2010. Los principales objetivos del Anexo VI revisado, son la reducción continua de las emisiones de SO_x, NO_x y materia particulada a nivel mundial y la creación de las zonas de control de las emisiones (ECA), con el fin de reducir aún más las emisiones de contaminantes atmosféricos en las zonas marítimas designadas, donde el límite máximo del contenido de azufre a nivel mundial se redujo de un 3,5 % a un actual límite máximo de 0,5 %, después de un estudio de viabilidad que se tenía que ultimar a más tardar en 2018. Finalmente, en octubre de 2016, el MEPC 70 examinó una evaluación de la disponibilidad de fueloil para informar de la decisión que debían adoptar las Partes en el Anexo VI, decidiendo que la norma de fueloil, con un límite máximo de 0,5 % de contenido de azufre, entraría en vigor el 1 de enero de 2020.

En el presente Anexo también se incluye la reducción progresiva de las emisiones de NO_x de los motores diésel marinos instalados en buques y se efectuaron revisiones de las reglas relativas a las sustancias que agotan la capa de ozono, los COV, la incineración, las instalaciones de recepción y la calidad del fueloil, a las cuales se añadieron reglas sobre la disponibilidad del fueloil.

Se espera que las disposiciones revisadas produzcan un notable beneficio para el medio atmosférico y la salud humana, especialmente para aquellas personas que viven en ciudades portuarias y comunidades costeras (Organización Marítima Internacional, 2020).

Las enmiendas realizadas al Anexo VI desde su adopción se encuentran en la siguiente Tabla 2:

	Enmiendas
<p>Anexo VI: Reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques.</p> <p>Entró en vigor el 19 de mayo de 2005.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2005: (MEPC.132 (53)) (Enmiendas al Anexo VI y al Código Técnico de NO_x)
	<ul style="list-style-type: none"> • 2008, enmiendas (MEPC.176 (58)) (anexo VI revisado)
	<ul style="list-style-type: none"> • 2010, enmiendas (MEPC.190 (60)) Área de control de emisiones de América del Norte, enmiendas (MEPC.194 (61)) Forma revisada del Suplemento al Certificado IAPP
	<ul style="list-style-type: none"> • 2011, enmiendas (MEPC.203 (62)) Inclusión de reglamentos sobre eficiencia energética para buques, enmiendas (MEPC.202 (62)) Designación del Área de Control de Emisiones del Mar Caribe
	<ul style="list-style-type: none"> • 2012, enmiendas (MEPC.217 (63)) Disposiciones regionales para instalaciones portuarias de recepción en virtud del Anexo VI de MARPOL y certificación de motores diésel marinos equipados con sistemas de reducción catalítica selectiva bajo el Código Técnico de NO_x 2008
	<ul style="list-style-type: none"> • 2014, enmiendas (MEPC.251 (66)) Enmiendas a las regulaciones 2, 13, 19, 20 y el Suplemento al Certificado IAPP y certificación de motores de combustible dual bajo el Código Técnico de NO_x 2008, enmiendas (MEPC.247 (66)) hacer obligatorio el uso del Código III, enmiendas (MEPC.258 (67)) Enmiendas a las regulaciones 2 y 13 y el Suplemento al Certificado IAPP
	<ul style="list-style-type: none"> • 2016, enmiendas (MEPC.271 (69)) Enmiendas a la regulación 13, requisitos de registro para el cumplimiento operativo de las áreas de control de emisiones de nivel III de NO_x, enmiendas (MEPC.278 (70)) Enmiendas para implementar un sistema de recopilación de datos para el consumo de combustible de los buques
	<ul style="list-style-type: none"> • 2017, enmiendas (MEPC.286 (71)) Enmiendas al Anexo VI de MARPOL, Designación de las Áreas de Control de Emisiones del Mar Báltico y del Mar del Norte para el control de Nivel III de NO_x e información que se incluirá en el albarán de entrega

	<ul style="list-style-type: none"> • 2018, enmiendas (MEPC.301 (72)) Enmiendas al Anexo VI de MARPOL (ECA y EEDI requerido para buques de carga ro-ro y buques de pasajeros ro-ro), enmiendas (MEPC.305 (73)) Enmiendas al Anexo VI de MARPOL (Prohibición del transporte de fuelóleo no conforme para fines de combustión para propulsión u operación a bordo de un barco))
--	---

Tabla 2. Enmiendas Anexo VI.

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www.amsa.gov.au/marine-environment/marine-pollution/table-marpol-amendments>

En el Capítulo 3 del presente Anexo VI del MARPOL se encuentran las reglas para el control de las emisiones de los buques, siendo las siguientes las que regulan los contaminantes atmosféricos:

→ **Regla 12. Sustancias que agotan la capa de ozono:**

Dicha regla no se aplica al equipo permanentemente sellado, el cuál no tenga conexiones de carga de refrigerante ni componentes potencialmente desmontables que posean sustancias que dañan la capa de ozono.

Además, se prohíbe la emisión deliberada de sustancias que agoten la capa de ozono, las emisiones deliberadas incluyen las que se producen durante el mantenimiento, la revisión, la reparación o eliminación de sistemas o equipos, pero no la liberación de cantidades mínimas durante la recuperación o el reciclaje de una sustancia que daña la capa de ozono.

El registro de las sustancias que dañan la capa de ozono estará indicado en términos de masa (Kg) de la sustancia y se ejecutará sin retraso con respecto a las siguientes actividades: recarga, reparación o mantenimiento del equipo que contenga sustancias que dañan la capa de ozono, descarga a la atmósfera de sustancias que dañan la capa de ozono, descarga de sustancias que dañan la capa de ozono en instalaciones de recepción que están situadas en tierra y suministro al buque de sustancias que dañan la capa de ozono.

→ **Regla 13. Óxidos de Nitrógeno:**

Se aplica a los motores diésel marino con una potencia de salida superior a los 130 kW que esté instalado en un buque y los que con la misma característica hayan sufrido una transformación importante a partir del 1 de enero de 2000, salvo cuando quede demostrado que el motor constituye una sustitución idéntica del motor al que sustituye.

Las zonas de control de las emisiones para los óxidos de nitrógeno serán las zonas de Norteamérica, la zona del mar Caribe de los Estados Unidos y cualquier otra zona marítima, incluida las portuarias, que designe la Organización.

→ **Regla 14. Óxidos de Azufre y Materia Particulada:**

El contenido de azufre de todo fueloil que se use a bordo de los buques no puede exceder los límites de:

- 4,5 % masa/masa antes del 1 de enero de 2012.
- 3,5 % masa/masa posterior al 1 de enero de 2012 e inclusive.
- 0,5 % masa/masa a partir del 1 de enero de 2020, es decir, el actual límite que puede emitir un buque en óxidos de azufre y materia particulada.

Las zonas de control de emisiones establecidas para dichos gases son las zonas del Mar Báltico y la zona del Mar del Norte, la zona de Norteamérica, la zona del Mar Caribe de los Estados Unidos y cualquier otra zona marítima, incluida las portuarias, que designe la Organización.

En el supuesto de que los buques operen dentro de las zonas de control de las emisiones, el nivel del contenido de azufre del fueloil usado a bordo no puede exceder de:

- 1,50 % masa/masa antes del 1 de julio de 2010.
- 1,00 % masa/masa posterior al 1 de julio de 2010 e inclusive.
- 0,10 % masa/masa a partir del 1 de enero de 2015, es decir, el actual límite que se puede emitir de dichos gases en las zonas de control de las emisiones.

→ **Regla 15. Compuestos orgánicos volátiles:**

Esta regla sólo se aplica a los buques tanque, aunque también se aplicará a los buques gaseros solo en el caso de que los sistemas de embarque y contención de la carga sean de un tipo que permita la retención sin riesgos a bordo de los COV que no presenten metano o el retorno sin riesgo de éstos a la tierra.

Todo buque tanque que transporte crudo debe disponer a bordo un plan de gestión de los COV, el cuál será específico para cada buque y debe contener al menos:

- Procedimientos escritos que reduzcan al mínimo las emisiones de COV durante la carga, descarga y la travesía.
- Tendrá que tener en cuenta los COV que se generan por el lavado con crudo.
- Nombre de la persona encargada de su ejecución.
- En buques que realicen viajes internacionales el plan de gestión debe de estar redactado en el idioma de trabajo del capitán y de los oficiales.

→ **Regla 16. Incineración a bordo:**

La incineración a bordo se permitirá solamente en el caso de disponer de un incinerador a bordo, estando prohibida la incineración de las siguientes sustancias:

- Residuos de las cargas que estén regidas en los anexos I, II y III o correspondientes materiales de embalaje o envases contaminados.
- Bifenilos policlorados que son contaminantes orgánicos persistentes.
- Basuras que contengan metales pesados en concentraciones que no sean simples trazas.
- Productos refinados del petróleo que contengan compuestos halogenados.
- Fangos cloacales y oleosos que no se hayan generado en el buque.
- Residuos del sistema de limpieza de los gases de escape.

Además, se prohibirá la quema a bordo de los cloruros de polivinilo (PVC), salvo a incineradores que se le haya dado homologación.

A continuación, en la siguiente Tabla 3, se encuentran los sucesos más importantes del Anexo VI desde que se adoptó hasta la actualidad:

Fecha de entrada en vigor	Suceso
1997	Se adopta el Anexo VI
19 de mayo 2005	Entrada en vigor del Anexo VI
22 de noviembre 2006	2005, enmiendas al Anexo VI y al Código Técnico de NO _x
1 de julio 2010	Octubre 2008, Aprobación Anexo VI revisado y Código Técnico NO _x
1 de agosto 2011	2010, adición de una nueva zona de control de emisiones (América del Norte)
1 de enero 2016	2014, enmiendas al uso obligatorio del Código III
1 de enero 2019	2017, enmiendas para la designación de las Áreas de Control de Emisiones del Mar Báltico y del Mar del Norte
1 de enero de 2020	2018, enmiendas al Anexo VI

Tabla 3. Sucesos más importantes Anexo VI

Fuente: Elaboración propia a partir de Convenio MARPOL

2.2.3 ZONAS ECA

En la actualidad el transporte marítimo es uno de los principales contaminantes, debido a la gran afluencia de buques operativos alrededor de todo el mundo. Aunque un buque puede contaminar de diversas maneras, ya sea por el sistema de agua de lastre, basuras y aguas negras producidas en el día a día de a bordo, las incrustaciones marinas y el uso de lubricantes, uno de los más perjudiciales es la emisión de gases a la atmósfera debido al uso de motores de combustión interna.

Por este motivo la OMI tomó las medidas necesarias para impedir el uso de combustibles altamente contaminantes, aunque no de manera inmediata ya que los combustibles, métodos o equipos necesarios para reducir las emisiones tienen altos costos, lo que puede afectar gravemente al comercio marítimo, no solo a los buques sino también a las infraestructuras de puertos y terminales.

No obstante, se han tomado acciones ante esta situación y han surgido las denominadas Zonas ECA, que son áreas donde existe un control de los gases emitidos por los buques. Dentro de ellas los buques que utilicen fueloil en la máquina principal y auxiliares tendrán que sustituirlo por otro que tenga bajo contenido en sulfuro.

En las siguientes Tablas 4 y 5, se muestran los límites máximos permitidos de SO_x y NO_x dentro y fuera de las zonas ECA:

	2010	2012	2015	2020
Mundial	4,5 %	3,5 %	-*	0,5 %
Zonas ECA	1,5 %	-*	0,1 %	-*

*El valor se mantiene como el del año anterior

Tabla 4. Evolución de las emisiones SO_x dentro y fuera Zonas ECA

Fuente: Elaboración propia a partir de Convenio MARPOL

Nivel	Fecha de construcción del buque	Valor límite de emisión ponderada total del ciclo (g/kWh) n = régimen nominal del motor (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 enero 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 600 rpm – 12.5	9.8
II	1 enero 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ por ejemplo, 600 rpm – 10.1	7.7
III	1 enero 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ por ejemplo, 600 rpm – 2.5	2.0

Tabla 5. Emisiones de NO_x.

Fuente: Elaboración propia a partir de [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-(NOx)-Regulation-13.aspx)

Los controles de nivel III se aplican solamente a buques específicos, mientras navegan en las zonas ECA establecidas para limitar las emisiones de NO_x, fuera de estas zonas se aplican controles de nivel II. De acuerdo con lo prescrito en la regla 13.5.2, no sería necesario que en determinados buques pequeños se instalen motores de nivel III. No obstante, todo motor diésel marino, que se instale en un buque, construido a partir del 1 de enero de 2016 y que navegue en la zona ECA de Norteamérica y del mar Caribe de los Estados Unidos debe cumplir lo dispuesto en las normas de nivel III sobre las emisiones de NO_x.

Las zonas ECA establecidas con sus correspondientes regulaciones (Tabla 6) y que podemos observar en el mapa (Ilustración 2) son las siguientes:

Regulación de Emisiones

Zonas	SO _x	NO _x	Materia Particulada
Mar Báltico	X		
Mar del Norte	X		
Zona de Norteamérica*	X	X	X
Zona Mar Caribe**	X	X	X

Tabla 6. Zonas ECA y sus regulaciones

Fuente: Elaboración propia a partir de Convenio MARPOL

* Zonas marítimas frente a las costas del Pacífico de los Estados Unidos y Canadá, las zonas marítimas frente 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 y finalmente las zonas marítimas frente a las costas de las islas de Hawái, Maui, Oahu, Molokái, Niihau, Kauái, Lanái y Kahoolawe.

** Zona del mar Caribe de los Estados Unidos, que incluye la zona marítima frente a las costas del Atlántico y del Caribe del Estado Libre Asociado de Puerto Rico y las Islas Vírgenes de los Estados Unidos.

En el mapa (Ilustración 2) se puede observar que las zonas ECA actuales son las que aparecen destacadas en rojo y las zonas ECA que posiblemente se establezcan en un futuro son las que se destacan en amarillo.

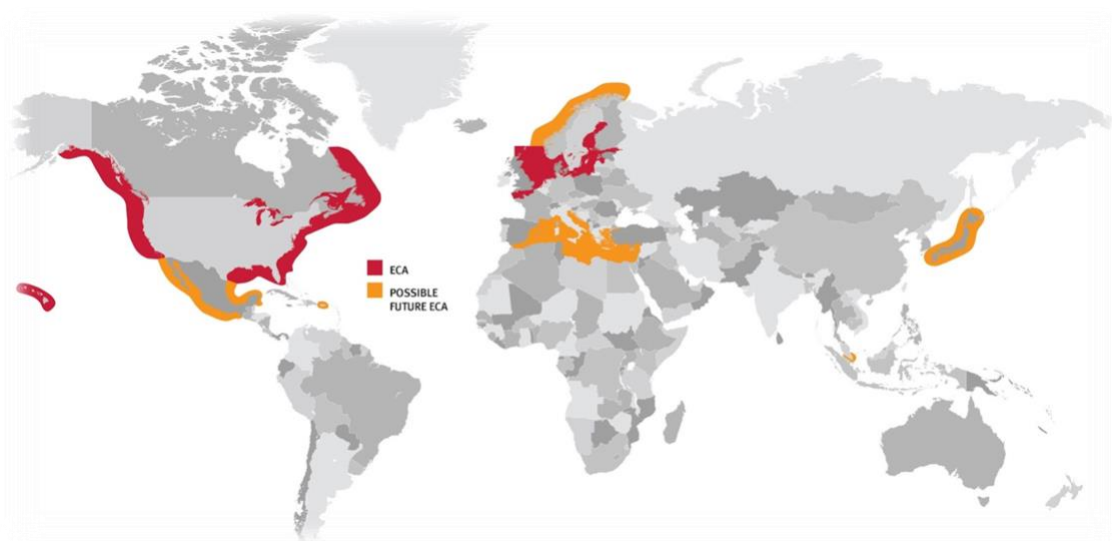


Ilustración 2. Zonas ECA

Fuente: <http://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html>

El cambio de combustible se tiene que realizar antes de ingresar a la zona ECA y después de haber salido de ella, además se tiene que registrar en los libros y diarios correspondientes la hora y posición de entrada a la zona y del cambio de combustible, además de la cantidad que se utilizó dentro de dicha área.

El control sobre el combustible comienza desde que se abastece al buque, el proveedor debe declarar ante el buque, en la nota de entrega, los niveles de azufre que contiene el combustible suministrado. A partir de ese momento la tripulación es la encargada de chequear que el combustible suministrado no se mezcle con otros que tengan un mayor contenido de azufre, para así evitar una pérdida del control de las emisiones.

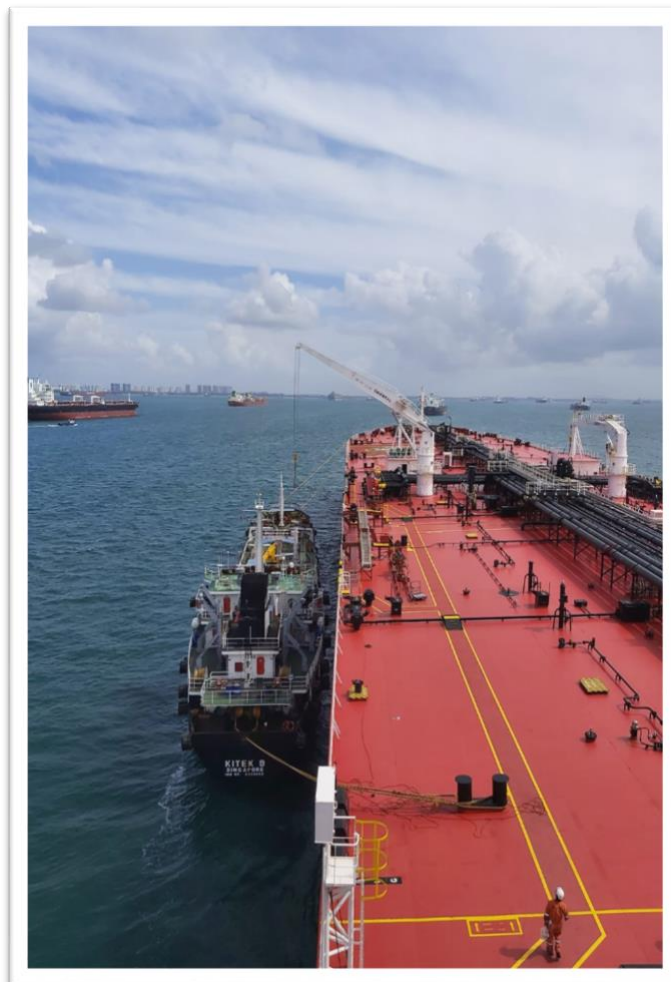


Ilustración 3. Bunkering puerto de Singapur

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones de NO_x, SO_x y materia particulada que proceden de los buques de navegación marítima contribuyen a las concentraciones ambientales de la contaminación atmosférica en ciudades y zonas costeras alrededor del mundo.

Por ello la OMI considera adoptar una zona de control de las emisiones cuando se demuestre que es necesario para prevenir, reducir y controlar las emisiones emitidas por lo buques. Las propuestas para designar una zona dada como zona de control de emisiones deben de presentarse ante la OMI, cumpliendo entre otras lo siguiente:

- Clara delimitación de la zona propuesta junto con una carta de referencia donde se indique la zona.
- Tipo de emisión cuyo control se propone.
- Descripción de la población y zonas ambientales que corren riesgos de sufrir efectos a causa de las emisiones de los buques.
- Evaluación que demuestre que las emisiones de los buques que navegan en la zona propuesta contribuyen a las concentraciones ambientales de la contaminación atmosférica o a efectos perjudiciales del medio ambiente.
- Información de las condiciones meteorológicas de la zona propuesta.
- La naturaleza del tráfico marítimo, incluyendo sus características y su respectiva densidad.

Finalmente, la OMI examinará las propuestas que se le presenten evaluando los criterios anteriormente citados.

2.2.4 LOS BUQUES COMO FUENTE DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD

El principal tipo de hidrocarburo que se usa como combustible en los buques es el fueloil pesado, derivado del residuo de la destilación del petróleo crudo. El petróleo crudo contiene azufre que, tras la combustión en el motor, es liberado a la atmósfera junto con el resto de emisiones del buque. Los SO_x son conocidos por ser perjudiciales para la salud humana, causando síntomas respiratorios y enfermedades de los pulmones. En la atmósfera, los SO_x pueden producir lluvia ácida, que puede a su vez provocar daños en

los cultivos, bosques y especies acuáticas, y contribuye además a la acidificación de los océanos (Organización Marítima Internacional, s.f.).

No obstante, un buque no solo contamina la atmósfera a través de los gases de escape del motor y auxiliares, sino que también la incineración de residuos contamina la atmósfera, contribuyendo primordialmente al efecto invernadero. Los gases producidos a consecuencia de la incineración son metano y dióxido de carbono, que tienen como propiedad conservar el calor generado por la radiación solar y elevar la temperatura del planeta.

2.2.5 MÉTODOS PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE GASES DE LOS BUQUES A LA ATMÓSFERA

2.2.5.1 SISTEMA DE LAVADO DE GASES (SCRUBBERS)

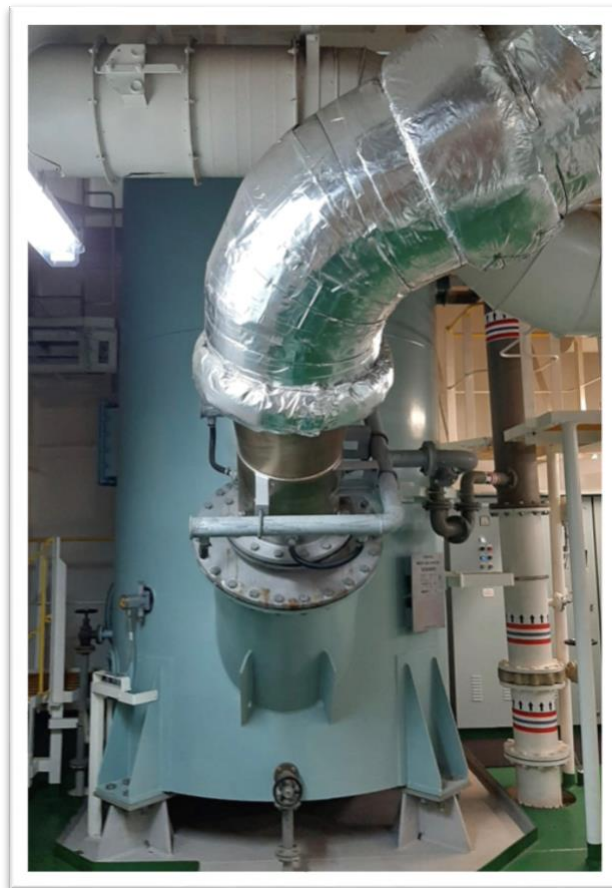


Ilustración 4. Scrubber

Fuente: Elaboración propia

Los scrubbers, también conocidos como sistema de lavado de gases, son sistemas de depuración de emisiones atmosféricas. Su funcionamiento se encarga de neutralizar los componentes contaminantes del flujo gaseoso al entrar en contacto con un líquido. Por lo tanto, hay una transferencia de componentes en fase gaseosa a fase líquida, también denominada absorción. El líquido a usar puede ser agua, un reactivo químico o una mezcla de ambos, dependiendo de los contaminantes a tratar. Una vez que el flujo gaseoso esté lavado, es libre de contaminantes, con lo cual puede ser emitido a la atmósfera, en cambio el contacto del contaminante con el líquido depende del tipo de scrubber.

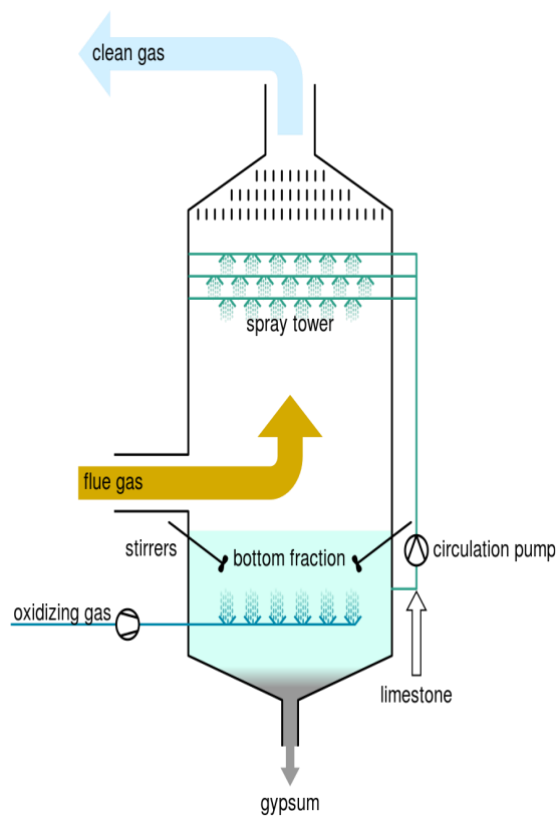


Ilustración 5. Funcionamiento de un scrubber

Fuente: https://ca.m.wikipedia.org/wiki/Fitxer:Flue_gas_desulfurization_unit_EN.svg

Habitualmente, el lavado de gases se utiliza para eliminar contaminantes del aire como olores, vapores y gases tóxicos. Por ello, en la mayor parte de los casos, los contaminantes presentes en los gases son susceptibles de ser oxidados o absorbidos en un medio ácido o

en un medio alcalino, por ejemplo, los derivados del nitrógeno pueden ser absorbidos en un medio ácido, mientras que los derivados del azufre pueden ser eliminados en un medio alcalino u oxidante. Aunque también hay ciertos contaminantes muy solubles al agua que no necesitan de reactivos químicos en el proceso de lavado.

Sin embargo, el resultado del contacto del líquido con el gas es siempre el mismo, la separación de las moléculas contaminantes, obteniendo así un gas limpio, sin toxicidad y cuyas emisiones no afecten a la atmósfera.

Hay cuatro tipos diferentes de sistemas de limpieza de gases de escape disponibles:

- Modo bucle abierto: El agua de mar se utiliza como agua de lavado para limpiar los gases de escape. Este proceso simple hace uso de la alcalinidad natural del agua de mar. El pH es de 7.8 - 8.3 en la absorción química de los SO_x. El gas de escape tratado se puede liberar al medio ambiente y el efluente también se descarga de acuerdo con el requisito de la OMI. La aplicación del modo de bucle abierto se puede hacer fuera de las zonas ECA y en mar abierto a más de 200 millas de la costa.
- Modo bucle cerrado: El medio de lavado es agua de mar o agua dulce, este modo se aplica en áreas de baja alcalinidad o agua dulce. Se agrega una alta concentración de NaOH (hidróxido de sodio) para obtener una cierta capacidad de DeSO_x (desoxidante). El agua de lavado se recicla y puede funcionar sin necesidad de descarga. La potencia es menor que la del modo de bucle abierto. La aplicación de bucle cerrado se puede hacer tanto en mar abierto como dentro de una zona ECA.
- Modo híbrido: Es la combinación de los modos de bucle abierto y cerrado. En este modo, es posible cambiar entre estos dos procesos dependiendo de la condición de la alcalinidad del agua de mar y las restricciones de descarga. Durante la navegación en mar abierto, normalmente funcionará en un circuito abierto, para así reducir el consumo de NaOH cáustico y de agua de lavado. Al contrario, cuando se navegue cerca de un puerto o zona ECA, normalmente funcionaría en modo de bucle cerrado. Este modo proporciona una gran flexibilidad y permite elegir la mejor solución técnico-económica.

→ Tipo seco: Las unidades de lavado en seco no usan ningún líquido en el proceso ya que los gases de escape se limpian con hidróxido de calcio, comúnmente conocido como cal cáustica.

La OMI ha instaurado normativas correspondientes para los vertidos de agua del lavado que contengan azufre de los scrubbers de tipo abierto que usan agua salada. Dicha agua tiene una elevada cantidad de sal y alta alcalinidad, con el fin de neutralizar las emisiones de los ácidos, lo que resulta un problema para los islotes, ríos y otros ambientes severamente influenciados por la acidificación.

En cambio, los sistemas de limpieza de gases cerrados de agua dulce neutralizan el azufre desde el flujo de los gases de escape en el barco con ayuda de sosa cáustica y son más aceptables para el medioambiente, ya que no hay una emisión hacia el exterior. Sin embargo, se encuentran problemas en cuanto a la seguridad del trabajo en las instalaciones de recepción de los puertos, ya que dichos residuos requieren un cierto cuidado y manejo. Éstos, en ningún caso podrán ser mezclados con lodos o derrames de combustibles, ya que son distintos tratamientos (Oil Companies International Marine Forum, 2016).

Los sistemas de lavado de gases de escape para controlar las emisiones de gases de los buques cumplen con las regulaciones de la OMI y por lo tanto puede ser un método para reducir la contaminación atmosférica. No obstante, implantar scrubbers en buques que ya están operando no sería rentable, pues su instalación tiene altos costes y afectarían al transporte de mercancías/productos debido a su largo tiempo de instalación. Por dicho motivo, los scrubbers son sistemas que pueden ser instalados en buques pero que todavía estén en construcción o se vayan a construir.

2.2.6 VENTAJAS DE LA REDUCCIÓN DE LOS ÓXIDOS DE AZUFRE

El nuevo límite establecido en el Anexo VI del MARPOL supondrá una reducción del 77% en las emisiones totales producidas por los buques, lo que equivale a una reducción anual de aproximadamente de 8,5 millones de toneladas métricas de óxidos de azufre.

Como resultado, se prevé que disminuyan los derrames cerebrales, el asma, el cáncer de pulmón y las enfermedades cardiovasculares y pulmonares, especialmente en las

poblaciones vinculadas a las zonas portuarias y costeras. Reducir las emisiones de azufre de los buques también ayudará a prevenir la lluvia ácida y la acidificación de los océanos, lo que beneficiará a los cultivos, los bosques y las especies acuáticas (Organización Marítima Internacional, s.f.).

Dicho sencillamente, limitar las emisiones de óxidos de azufre procedentes de los buques reduce la contaminación y tiene como resultado un medio ambiente más adecuado. Al reducir los óxidos de azufre, también se reduce la materia particulada, que son pequeñas partículas nocivas que se forman cuando se quema el combustible.

Un estudio sobre los efectos en la salud humana de las emisiones de óxidos de azufre procedentes de los buques, presentado al Comité de protección del medio marino (MEPC) en 2016 por Finlandia, estimó que, de no reducir los límites de óxidos de azufre procedentes de los buques en 2020, la contaminación atmosférica de los buques contribuiría a más de 570.000 muertes prematuras en todo el mundo en el periodo de 2020 a 2025 (Organización Marítima Internacional, s.f.).

Cinco ventajas del límite de azufre de la OMI en el fueloil de los buques

Azufre 2020

- Aire más limpio**
Un descenso del 77% en el total de emisiones de óxidos de azufre procedentes de los buques, lo que supone una reducción anual de aproximadamente 8,5 millones de toneladas métricas de óxidos de azufre.
- Efectos positivos en la salud humana**
Se reducirán las muertes prematuras, las enfermedades cardiovasculares, respiratorias y pulmonares.
- Combustibles de mayor calidad**
Para cumplir con el límite, la mayoría de buques comenzará a usar a fueloiles de mayor calidad y bajo contenido de azufre.
- Los armadores y propietarios + refinerías ya se han adaptado**
La OMI y otras partes interesadas ha publicado material de orientación para reforzar la preparación antes de la entrada en vigor de la medida.
- Cambios en las autoridades encargadas del cumplimiento**
Los Estados rectores del puerto y los Estados de abanderamiento se asegurarán de que los buques cumplen con la regla.

OMI ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL

Ilustración 6. Ventajas del límite de azufre

Fuente: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Sulphur-2020.aspx>

2.3 POSIBLES ALTERNATIVAS DE COMBUSTIBLES PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El interés en utilizar combustibles alternativos como el amoníaco, el hidrógeno y el biodiesel aumentó significativamente después de que la OMI adoptara su estrategia inicial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques para 2050. Este acuerdo se produjo poco antes de la implementación de las zonas ECA y regulaciones más estrictas sobre emisiones de azufre, que entraron en vigor este año 2020. (Organización Marítima Internacional, 2020)

Aunque los biocombustibles avanzados, el hidrógeno y el amoníaco son posibles opciones con bajo contenido en carbono para reemplazar los combustibles convencionales, presenta una desventaja importante, que es su alto coste en comparación con los combustibles convencionales. En los casos de amoníaco e hidrógeno uno de los inconvenientes son los altos costes debido a la falta de infraestructura. Por otro lado, todas las nuevas tecnologías llevan asociado un coste de implantación, que en el caso de los buques tradicionales que usan combustibles fósiles ya ha sido históricamente financiado. No obstante, esto no debe ser un obstáculo que impida su futuro desarrollo y podría verse como una inversión de futuro.

Además de diversificar las fuentes de suministro de combustible marítimo, la adopción de combustibles alternativos ayudará a cumplir con los estándares más estrictos de azufre que entraron en vigencia en este año 2020. Estos objetivos de disminución de la contaminación del aire a corto plazo generalmente se pueden cumplir cambiando a diésel con bajo contenido de azufre o invirtiendo en depuradores, también el gas natural licuado (GNL) es una opción, ya que no emite SO_x.

A largo plazo, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del transporte marítimo internacional deben reducirse en al menos un 50 % para 2050. Un desafío para cumplir con este objetivo de la OMI es que la vida útil de los barcos habitualmente abarca de dos a tres décadas. Sin embargo, dependiendo de los costos e incentivos eventuales, el uso de amoníaco o hidrógeno podría ser una solución. Son varias las alternativas que existen de combustibles que apuestan por la sostenibilidad y el medio ambiente.

2.3.1 GAS NATURAL LICUADO

Existen diferentes alternativas al uso de combustibles destilados, por ejemplo, el gasoil marino (MGO) o el de las tecnologías que reducen las emisiones de SO_x del transporte marítimo, como por ejemplo el gas natural licuado (GNL).

El gas natural es un combustible fósil que se halla en reservas subterráneas y se produce en plantas especiales de gas o a su vez con la producción de combustibles petroléos. Las reservas de gas en el mundo ya son más que las reservas de petróleo y continuamente se van encontrando nuevas reservas. Por dicho motivo, la situación de los recursos mundiales de gas natural es mejor que para el petróleo en cuanto a términos de reservas-producción. El gas natural es el combustible fósil más limpio, se compone de metano con pequeñas concentraciones de hidrocarburos más pesados, como el etanol y el propano. Los principales productores de gas natural son Rusia, Irán y Qatar, y este puede ser presentado en dos formas, licuado o comprimido, aunque este último no interesa demasiado pues su distribución y transporte son más complejos.

El GNL se está consolidando como alternativa mucho más sostenible, más económica y más eficiente que la mayoría de los combustibles usados en los buques de todo el mundo. Es uno de los combustibles fósiles más respetuosos con el medio ambiente que genera hasta un 25% menos de emisiones de CO₂ que el resto de combustibles tradicionales y, además, contribuye a la reducción casi total de las emisiones de SO_x, reduce más de un 80% los NO_x y elimina casi por completo las partículas, ocupando un espacio 600 veces menor que el gas natural en estado gaseoso. Como principal inconveniente destaca que debe conservarse a temperaturas inferiores a los -160°C, hecho que complica su almacenamiento y manipulación por razones de seguridad.

Utilizando el GNL como combustible en los barcos, no son necesarias medidas adicionales de reducción de emisiones para cumplir con los requisitos de la OMI. El GNL es un combustible sostenible que limita el contenido de azufre al 0,5% desde enero de 2020. Asimismo, permite avanzar hacia la consecución de los objetivos de emisiones de la OMI, que establecen una reducción del 40% de las emisiones de CO₂ en 2030 y del 70% en 2050, de cara a la descarbonización del transporte marítimo (Gasnam, s.f.).

El ferry llamado Glutra fue el primer buque de la historia propulsado por gas natural, que se puso en servicio en el año 2001 y operado por la compañía Fjord Lines (Gregory, 2013). Según Gasnam en el año 2019, había 136 buques propulsados por GNL en el mundo, una cifra que crecerá un 87%, hasta los 254 en el año 2020. En España operan desde 2019, 6 buques, de los cuáles 4 son ferris y 2 cruceros, propulsados a GNL. En los próximos dos años, serán al menos once los buques de estas características operando en nuestro país (Gasnam, s.f.).

El Proyecto Ecoship Peace Boat (Peace Boat Ecoship, s.f.) es un programa de transformación para construir el barco de cruceros más sostenible para el medio ambiente del planeta. A partir de 2015, se espera que el Ecoship funcione con 4 combustibles diferentes, GNL, biogás (metano), diésel marino (MDO) y biodiesel de subproductos de cultivos no comestibles. Estos combustibles cubrirán el 95% de las necesidades de propulsión y el 60% de las necesidades para el hotel, y el resto estará cubierto por energías renovables o de reutilización de energía residual.



Ilustración 7. Proyecto Peace Boat Ecoship

Fuente: <http://ecoship-pb.com>

El Ecoship estará equipado con 10 velas retráctiles que se espera que produzcan un promedio del 4% de la potencia de propulsión necesaria. La máxima eficiencia de las

velas en condiciones óptimas de navegación será del 10%. Además, el barco estará equipado con 10 aerogeneradores retráctiles que entregan aproximadamente 300 kW con una velocidad del viento de aproximadamente de 23 nudos. La energía eólica se puede generar y utilizar cuando se esté en puerto o cuando se navegue bajo las condiciones de viento adecuadas. Bajo buenas condiciones de viento, el 30% de las necesidades de energía en el puerto para el hotel podrían cubrirse con energía eólica. Contará también con 6.000 m² de paneles solares efectivos en cualquier momento que proporcionarán 750 kW de capacidad de iluminación, pero el área total instalada de paneles solares es mucho mayor, aproximadamente de 12.000 m² ya que grandes áreas del barco estarán cubiertas con paneles solares, como ventanas en espacios públicos, barandas de balcón para pasajeros, la cubierta superior y las velas del barco. Las velas estarán cubiertas con paneles fotovoltaicos transparentes y toda la iluminación externa será alimentada por los sistemas de producción de energía solar fotovoltaica. El buque EcoShip espera cubrir con energía solar el 100% de las necesidades de electricidad para la iluminación de las cabinas de pasajeros y las áreas públicas exteriores (Peace Boat EcoShip, s.f.).

2.3.2 HIDRÓGENO

Es el elemento químico de número atómico 1 y es el más ligero que existe. Su átomo está formado por un protón y un electrón siendo estable en forma de molécula diatómica (H₂). En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso y es insípido, incoloro e inodoro. El hidrógeno es muy abundante en la Tierra y constituye aproximadamente el 75% de la materia del Universo encontrándose mezclado con otros elementos como el oxígeno, formando moléculas de agua, o carbono, formando compuestos orgánicos. Por dicho motivo, no es un combustible que pueda adquirirse directamente de la naturaleza, sino que es un vector energético, como la electricidad y por ello se tiene que producir (Centro Nacional del Hidrógeno, 2018).

Hay diversos métodos de producción de hidrógeno, pudiéndose producir a partir de distintas materias primas, distintas fuentes de energía y por distintos procedimientos como se muestra en la Ilustración 8.

Se podrá hablar de procesos 100% renovables, 100% fósiles o híbridos en un determinado porcentaje dependiendo de la materia prima y la fuente energética utilizada para producirlo.

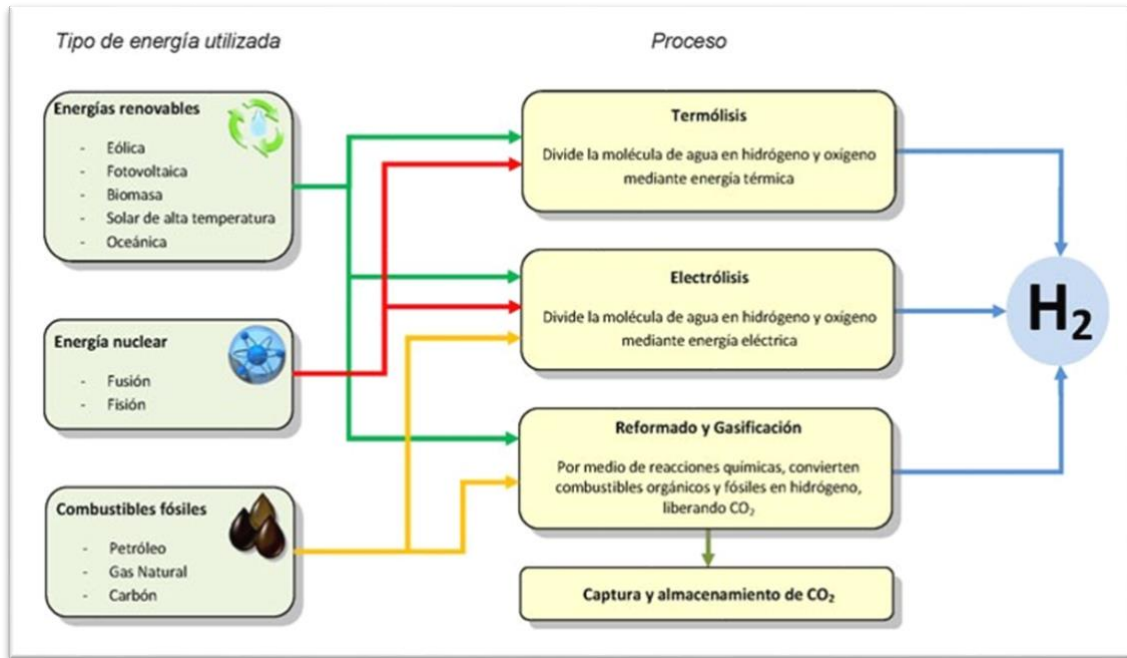


Ilustración 8. Producción del H_2

Fuente: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/#tab-id-4>

El hidrógeno se puede reconvertir en electricidad a partir de una pila de combustible. La pila de combustible es un dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en eléctrica y surge de un combustible, que generalmente se trata del hidrógeno, y de un comburente, el oxígeno, para producir agua, electricidad en forma de corriente continua y calor. Un kilogramo de hidrógeno libera más energía que cualquier otro combustible y para liberar esa energía no emite dióxido de carbono, sólo vapor de agua, por lo que el impacto ambiental es nulo. Son varias las ventajas que presenta el hidrógeno, tales como, inagotable, lleno de energía, mejor aliado de las energías renovables, ligero, limpio, silencioso y se recarga fácilmente.

El Energy Observer (Energy Observer, s.f.) es el primer buque de propulsión eléctrica que funciona por la combinación de energías renovables, solar y eólica, y un sistema de obtención de hidrógeno. En 2015, el propietario del buque presentó un proyecto para

incorporar las posibilidades del hidrógeno marino como fuente de energía, pues no siempre se dispone de viento y sol. Para obtener el hidrógeno, un sistema de a bordo desmineraliza el agua marina, separando luego el hidrógeno y el oxígeno que la componen mediante la electrólisis. El hidrógeno se comprime y se almacena en tanques que recargan las pilas de energía.



Ilustración 9. Barco Energy Observer

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 HÍBRIDO-ELÉCTRICO

Se trata de una modalidad de propulsión que utiliza dos fuentes de energía diferentes, frecuentemente una de tipo convencional y otra de tipo alternativo. La propulsión híbrida diésel – eléctrica es un sistema a tener en cuenta en el momento de buscar una reducción de emisiones, un aumento de la eficiencia y un menor consumo con respecto a la propulsión diésel tradicional. Se prevé que este sistema de propulsión consume al menos un 20% menos de combustible que un buque con propulsión diésel mecánica.

La propulsión híbrida se puede encontrar de dos maneras según (N&Y Náutica y Yates M@gazine, 2014):

→ En serie

El principio de la propulsión híbrida en serie es un sistema en el que se reemplaza el motor convencional por un motor eléctrico, el cual se alimenta mediante un parque de baterías. Aunque este sistema parezca simple, necesita un motor que posea un rendimiento óptimo, una gran capacidad de batería y medio de carga rápido. Al navegar en modo eléctrico, el motor se alimenta con las baterías. Cuando la capacidad de las baterías se encuentra al límite, el grupo electrógeno se pone automáticamente en funcionamiento y asegura a la vez la alimentación del motor eléctrico y la recarga de las baterías.

→ En paralelo

En la propulsión híbrida en paralelo nos encontramos un motor térmico acoplado a una bobina (motor eléctrico y generador). La bobina, que es de tamaño reducido se adapta tanto a las propulsiones por eje como a la propia de algunos veleros.

Su funcionamiento consiste en que la bobina asume dos funciones, que son, la producción de la corriente y la motorización eléctrica. Se entiende que, en modo térmico, alimentada por el motor del barco, recarga un parque de baterías y cuando pasa a modo eléctrico se transforma en un motor de propulsión que es alimentado por la energía almacenada en las baterías. Un sistema de gestión electrónica informa de la autonomía del sistema en tiempo real. El cambio de un sistema a otro es sencillo, consiste en apagar el motor cuando está en modo térmico y después pulsar un botón para alimentar la bobina que hace de motor. Para volver a modo térmico se hace a la inversa, donde el paso de un modo a otro se hace a través de una caja única de mando. El motor térmico posee su propia batería de arranque y es totalmente independiente del modo eléctrico.



Ilustración 10. Ventajas de barcos eléctricos

Fuente: <https://www.cosasdebarcos.com/blog/mercado/barcos-electricos/>

El buque noruego Viking Princess de 89,6 metros de eslora (Wärtsilä, 2017) es el primer buque de suministros de altura en el que un banco de baterías, el cual incluye un transformador y un convertidor, reduce el número de generadores a bordo. Esta solución de almacenamiento de energía mejora la eficiencia del motor, genera ahorro de combustible (de hasta un 30 %) y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, donde las emisiones de CO₂ se reducen hasta un 13-18 % dependiendo de las condiciones.

Cuando el barco sube una ola, la batería soporta la energía adicional necesaria para que los motores puedan funcionar con una carga óptima estable, y cuando el barco baje la ola, obtendrá un excedente de energía, devolviendo el exceso de energía a las baterías. Cuando el buque está navegando, la batería proporciona energía de recarga para alcanzar los picos de carga, esto permite que los motores de combustible dual trabajen con la máxima eficiencia del motor, produciendo las emisiones más bajas posibles y consumiendo la menor cantidad de combustible.

En el caso que se esté usando posicionamiento dinámico cerca de una plataforma, la batería funciona en combinación con un motor, siempre cargando lo suficiente como para llevar la embarcación a una zona segura si el motor falla y cuando se encuentra en puerto, el barco da uso máximo a las baterías como única fuente de energía, reduciendo las emisiones y el ruido al mínimo.

Además, el buque Viking Princess también es propulsado con LNG. Cuando esto ocurre, las emisiones a la atmósfera se reducen aproximadamente de la siguiente manera: NO_x en un 84% y CO₂ en un 20%, en comparación cuando se opera con MDO



Ilustración 11. Buque Viking Princess

Fuente: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Viking_Princess_\(26457838676\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Viking_Princess_(26457838676).jpg)

No obstante, el Viking Princess no es el único buque que utiliza este tipo de propulsión, pues el primer buque de carga del mundo que opera únicamente con electricidad fue botado en la ciudad china de Guangzhou el 12 de noviembre de 2017.

El buque tiene un desplazamiento de 2.000 toneladas, mide 70,5 metros de largo y requiere una tripulación de seis personas. La nave cuenta con dos motores eléctricos alimentados con una batería de litio con capacidad de 2.400 kW/h. Ésta requiere dos horas para recargarse permitiendo navegar al buque unas 50 millas. El barco se utilizará principalmente para operar en la sección interior del río de las Perlas y permitirá trasladar carbón para centrales eléctricas (Russia Today, 2017).

2.4 OBJETIVOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de desarrollo sostenible es un proyecto para conseguir un futuro sostenible. Lo integran 17 objetivos, los cuáles se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales a los que nos enfrentamos día a día, como el clima, la degradación ambiental, la salud y el bienestar. Es importante que se logren los objetivos entre los años 2020 y 2030.

Este trabajo está relacionado con algunos de los objetivos de desarrollo sostenible como por ejemplo el número 3, que trata sobre salud y bienestar, pues evitar la contaminación atmosférica sería una forma de contribuir a la salud y el bienestar de la población mundial, el número 7, energía asequible y no contaminante, ya que hemos estudiado alternativas de combustibles actuales no contaminantes o que cumplen con la normativa actual, el número 13, acción por el clima, recurrir a la energía renovable y a otras soluciones para reducir las emisiones y el número 14, vida submarina, pues la contaminación atmosférica influye en la acidificación de los océanos.

3. METODOLOGÍA

La parte del trabajo relacionada con la revisión bibliográfica y la metodología empleada para su elaboración, ha sido consultada en fuentes bibliográficas tales como: libros, trabajos de fin de grado y artículos de revista relacionados con el tema. La biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval y la biblioteca Pública del Estado en Santa Cruz de Tenerife, han sido las principales fuentes de documentación, zona de estudio y preparación del Trabajo fin de grado (TFG).

A través de las redes informáticas utilizadas pude consultar en las fuentes y archivos de la Organización Marítima Internacional (OMI), de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). Con la ayuda del PuntoQ de la Universidad de La Laguna, pude llevar a cabo descargas de artículos de investigación sobre la temática del estudio.

Para la parte experimental del trabajo, se ha contado con la información y fotografías obtenidas durante el período de embarque. También se han realizado consultas al sistema de información geográfica que ofrece GRAFCAN para el estudio de la calidad del aire en Canarias. Con esta información, pude llevar a cabo la consulta y descarga de la información necesaria en relación a la calidad de aire de las distintas estaciones de medición consultadas.

Con la utilización de las redes informáticas, se pudo realizar la consulta de información y búsqueda de la bibliografía relacionada con el presente trabajo, por lo que la conexión a internet es en este caso una de las herramientas más adecuadas para la realización del mismo. La mayor parte de las consultas realizadas se han hecho a través de los navegadores web Safari y Chrome. El equipo utilizado para la realización de la búsqueda de la información, ha sido un ordenador portátil personal, concretamente un MacBook Pro, con procesador 3,1 GHz Intel Core i5, una memoria de 8 GB 2133 MHz LPDDR3 y un disco de arranque Macintosh Hd y un disco duro externo de 1T para almacenar la información encontrada relacionada con el TFG. Se han usado diversos programas como, por ejemplo, el paquete de Microsoft Office, destacando el Word para la redacción del trabajo, Excel para los estudios de la calidad del aire y Power Point, para su presentación.

Para la bibliografía que incluye el presente documento se ha utilizado el sistema APA (American Psychological Association) del año 2018, 6ª edición. Dentro de esta normativa se aceptan tres métodos de citación, los cuáles son, sistema de nombre y fecha (Harvard), sistema numérico y notas continuas, utilizando para la realización del presente proyecto el método Harvard.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ESTUDIO DEL COMBUSTIBLE Y SU CUMPLIMIENTO CON EL ANEXO VI

El buque Monte Udala fue el usado para estudiar el grado de cumplimiento de su combustible en relación con el Anexo VI. Se comprobó que el buque cumple con la normativa vigente referente al Anexo VI del MARPOL 73/78, ya que se realizó un cambio de fueloil y se comprobó que el combustible presentaba un menor contenido de sulfuro que el exigido. Los tanques de HFO que están a bordo del buque Monte Udala se limpiaron antes de finalizar el año 2019, eliminando todo el sedimento de dicho combustible para poder utilizar combustible de bajo sulfuro como el VLSFO, ULSFO y Marine Gasoil.

En la siguiente Tabla número 7 se encuentran los valores del resultado de la toma de muestras (FOBAS) de los diversos combustibles que se usaban en el buque Monte Udala, realizada el día 21 de Julio de 2019 en Algeciras, España por la sociedad clasificadora Lloyd's Register.

<i>Parámetros</i>	<i>Heavy Fuel Oil</i>		<i>Very Low Sulphur</i>		<i>Diesel</i>	
	MAX	Muestra	MAX	Muestra	MAX	Muestra
Viscosidad 50°C cSt	380	384.6	80	40.9	6.0 (40 °C)	4.868 (40 °C)
Densidad 15°C Kg/l	0.9910	0.9865	0.9800	0.8814	0.8900	0.8665
Sulfuro % m/m	3.50	2.80	0.10	0.094	0.10	0.055
Contenido de agua % v/v	0.50	0.10	0.50	0.05	-	< 0.02

Tabla 7. Muestras de combustible buque Monte Udala en Algeciras

Fuente: Elaboración propia

En los resultados de la anterior Tabla número 7 se puede observar que el buque cumplía con la normativa previa al 2020, donde las emisiones tenían un límite máximo de 3,5 % de contenido de sulfuro fuera de las zonas ECA, usando así el HFO o un límite máximo de 0,1 % de contenido de sulfuro dentro de las zonas ECA, usando para dicha ocasión el VLSFO o Diesel. No obstante, el tipo de fueloil pesado que se usaba previo al 2020, tenía un contenido de sulfuro de 2,8 % y por lo tanto no cumple con la normativa actual, este se tuvo que eliminar y se sustituyó por VLSFO o Diesel.

La Tabla número 8 que se observa a continuación es el resultado de la toma de muestras que se le realizó al búnker de VLSFO con fecha de 4 de marzo de 2020 en Onsan, Corea.

<i>Very Low Sulphur</i>		
<i>Parámetros</i>	MAX	Muestra
Viscosidad 50°C cSt	380	18.1
Densidad 15°C Kg/l	0.9910	0.9400
Sulfuro % m/m	0.5	0.45
Contenido de agua % v/v	0.50	0.05

Tabla 8. Muestras de combustible buque Monte Udala en Onsan

Fuente: Elaboración propia

El resultado que se obtiene de la muestra es inferior al límite máximo de la nueva normativa para navegar fuera de las zonas ECA, no obstante, el valor de sulfuro en este tipo de fueloil ha aumentado, por lo tanto, no se puede usar para navegar dentro de ellas, ya que en este caso no cumple con el límite máximo de la normativa actual del 0,1 %.

La solución que se ha adoptado para cumplir con la normativa vigente es navegar con VLSFO fuera de zonas ECA y con Diesel dentro de las zonas ECA, pues éste último sigue teniendo los mismos valores de la Tabla de muestras número 7.

4.2 PROCEDIMIENTOS PARA REALIZAR CAMBIO DE FUELOIL

El Anexo VI del MARPOL creado para controlar las emisiones de gases a la atmósfera, exige que a partir del 1 de enero del presente año 2020 las emisiones de SO_x estén por debajo del 0,5 % fuera de las zonas ECA y 0,1 % dentro de ellas, por lo tanto, todos los buques que usen fueloil con niveles de SO_x superiores a lo estipulado en la normativa, deberán realizar un cambio de fueloil que contenga bajos niveles de sulfuro.

Para llevar a cabo una correcta y adecuada limpieza del tanque de combustible es importante realizar uno a uno los pasos nombrados a continuación, para no poner en riesgo la salud de las personas que realicen el trabajo, ya que entrar a un tanque de fuel expone al trabajador a sustancias tóxicas, deficiencia de oxígeno o atmósfera explosiva entre otras.

1. Ventilación del tanque

Para poder realizar una correcta ventilación del tanque en el que se va a ingresar es necesario que se ventile al menos 2 días antes de la realización del trabajo. Si el tanque dispone de dos tapas de acceso, como la que se observa en la ilustración 12, la ventilación se realizará por ambas, en caso de que solo disponga de una tapa de acceso, el tanque se ventilará a través de ella y a su vez a través del venteo del tanque, como se observa en la ilustración 13.



Ilustración 12. Ventilación y acceso al tanque

Fuente: Elaboración propia

Para la ventilación se utilizan ventiladores accionados por aire o agua de mar con la finalidad de evitar que se produzcan chispas eléctricas y pueda afectar a la explosividad del espacio cerrado, en este caso, de un tanque de combustible.

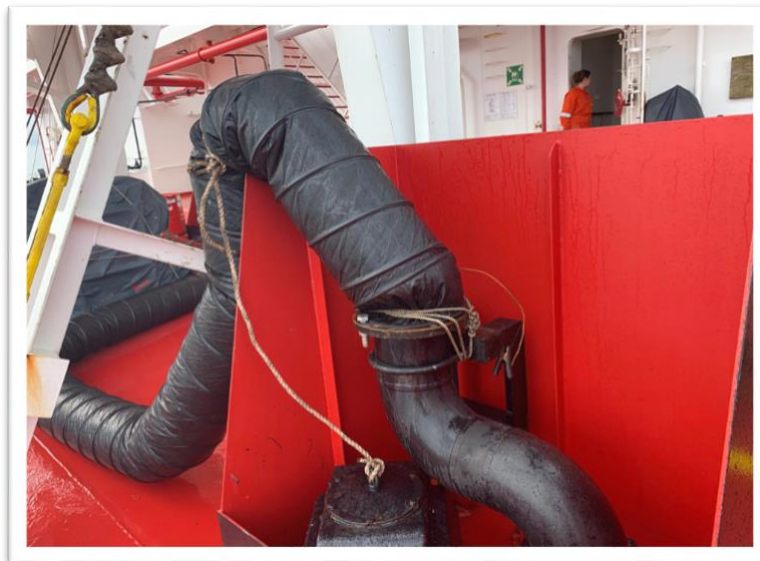


Ilustración 13. Venteo del tanque

Fuente: Elaboración propia

2. Valoración de riesgos

Es el análisis de todos los momentos críticos que puedas tener en el momento de realizar un trabajo o tarea y a su vez las medidas que se van a adoptar.

Los riesgos principales que pueden aparecer en estos espacios pueden ser:

- Asfixia: Por la falta de oxígeno.
- Intoxicación: A causa de los gases de los productos almacenados en el espacio confinado.
- Incendio o explosión: Atmósfera inestable.
- Riesgos de caídas mismo nivel: El suelo contiene restos de productos.
- Riesgo de caída a distinto nivel: Cuando el tanque posee distintos niveles durante el acceso a este.



Ilustración 14. Riesgo de caída mismo nivel.

Fuente: Elaboración propia

3. Reunión de seguridad previa al trabajo

Antes de llevar a cabo los trabajos en espacios confinados, se realiza una reunión con los responsables de la seguridad del buque. En esta reunión se pondrá en conocimiento de todos los trabajadores que ingresan al espacio confinado (tanque de fuel), así como al resto de tripulación para que se tenga constancia, todos los riesgos específicos del trabajo a realizar y por lo tanto las medidas que se adoptan, tratando aspectos de seguridad y la secuencialidad del trabajo.

Las medidas que se adoptan para este caso son:

- Portar medidores de gases.
- Hacer uso de equipos de protección individual, tales como, casco, guantes, botas de seguridad, gafas protectoras, etc.
- Usar líneas de vida.
- Si es necesario hacer uso de equipos de respiración autónoma.

4. Entrada a espacios cerrados

Un espacio cerrado es un sitio con acceso limitado y que posee una desfavorable ventilación, donde pueden acumularse contaminantes tóxicos. Por este motivo el trabajador no puede permanecer en su interior de manera continua. Se solicitará un permiso de entrada al tanque al responsable, quedando este firmado e indicando el tiempo de su validez.



Ilustración 15. Espacio cerrado

Fuente: Elaboración propia

5. Ingreso a los tanques

Antes de ingresar al tanque en el que se va a realizar el trabajo se tienen que hacer las mediciones de nivel de oxígeno, benceno y toxicidad ya que se trata de un tanque de combustible. Los valores adecuados para el ingreso serían, oxígeno 20.5 %, benceno 0% y toxicidad 0%. Una vez realizadas las mediciones de los parámetros anteriores, el personal ingresa al tanque para realizar su debida inspección y remoción de sedimentos. Tal y como se nombró en las medidas que se adoptan para este trabajo el personal ingresará con todos los equipos de protección individual (EPI) y con un medidor portátil de gases, además se tiene que mantener una comunicación frecuente con el exterior.

4.3 CALIDAD DEL AIRE EN ZONAS PORTUARIAS Y COSTERAS DE CANARIAS

Para conocer la calidad del aire en zonas portuarias y costeras de Canarias, se ha hecho uso del índice de calidad del aire (ICA). Este índice es calculado a partir de los datos de los diversos contaminantes que son recogidos en las estaciones de medida de la red de control y vigilancia de la calidad del aire de Canarias. El cálculo del ICA se realiza con

respecto a la Orden TEC/351/2019, de 18 de marzo, por la que se aprueba el índice de calidad del aire (Gobierno de Canarias, 2020):

	<i>Muy bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Regular</i>	<i>Malo</i>	<i>Muy malo</i>
<i>SO₂</i> <i>µg/m³</i>	0 - 100	101 - 200	201 - 350	351 - 500	501 - 1250
<i>NO₂</i> <i>µg/m³</i>	0 - 40	41 - 100	101 - 200	201 - 400	401 - 1000
<i>PM_{2,5}</i> <i>µg/m³</i>	0 - 10	11 - 20	21 - 25	26 - 50	51 - 800
<i>PM₁₀</i> <i>µg/m³</i>	0 - 20	21 - 35	36 - 50	51 - 100	101 - 1200
<i>O₃</i> <i>µg/m³</i>	0 - 80	81 - 120	121 - 180	181 - 240	241 - 600

Tabla 9. Rango de valores ICA

Fuente: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddel aire/ica.do>

Los siguientes valores se obtienen de las estaciones de medida de la red de control y vigilancia de la calidad del aire en Canarias (Gobierno de Canarias, 2020), consultados durante 4 meses, desde enero hasta abril del presente año y eligiendo dos días de cada mes siempre en la misma franja horaria. Las estaciones se han elegido en función de la cercanía a zonas costeras o portuarias.

- Estación de las Galletas-Sur de Tenerife

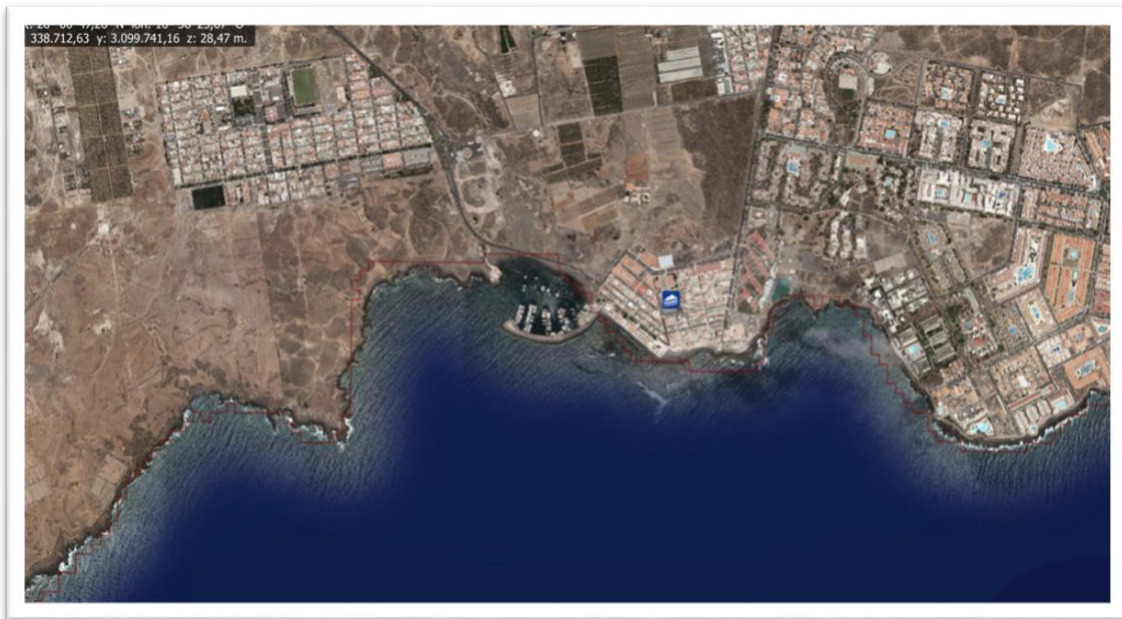


Ilustración 16. Estación Las Galletas

Fuente: <https://visor.grafcan.es/visorweb/>

- Estación El Pilar-Santa Cruz de La Palma



Ilustración 17. Estación El Pilar-Sc La Palma

Fuente: <https://visor.grafcan.es/visorweb/>

- Estación Mercado Central-Las Palmas de Gran Canaria



Ilustración 18. Mercado Central LPGC

Fuente: <https://visor.grafcan.es/visorweb/>

- Estación Centro de Arte-Fuerteventura, Puerto del Rosario



Ilustración 19. Centro de Arte Fuerteventura

Fuente: <https://visor.grafcan.es/visorweb/>

8 de enero de 2020, 12:00					
	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
Galletas–Sur Tenerife	5	13	7	31	79
Centro de Arte-Fuerteventura	6	19	5	27	57
Mercado Central- LPGC	6	30	8	20	51
El Pilar-Sc de La Palma	1	6	6	39	76

Tabla 10. ICA 8 de enero 12 am

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

29 de enero de 2020, 20:00					
	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
Galletas–Sur Tenerife	2	34	11	58	50
Centro de Arte-Fuerteventura	0	13	15	81	64
Mercado Central- LPGC	5	31	11	33	48
El Pilar-Sc de La Palma	3	46	13	53	17

Tabla 11. ICA 29 de enero 20 pm

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

10 de febrero de 2020, 12:00					
	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
<i>Galletas–Sur Tenerife</i>	4	8	6	28	85
<i>Centro de Arte- Fuerteventura</i>	6	41	11	52	38
<i>Mercado Central- LPGC</i>	4	23	18	48	58
<i>El Pilar-Sc de La Palma</i>	1	7	5	38	68

Tabla 12. ICA 10 de febrero 12 am

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

26 febrero de 2020, 20:00					
	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
<i>Galletas–Sur Tenerife</i>	5	9	8	43	82
<i>Centro de Arte- Fuerteventura</i>	0	6	5	28	59
<i>Mercado Central- LPGC</i>	6	45	10	27	55
<i>El Pilar-Sc de La Palma</i>	2	18	13	39	47

Tabla 13. ICA 26 de febrero 20 pm

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

<i>4 de marzo de 2020, 12:00</i>					
	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
<i>Galletas–Sur Tenerife</i>	5	13	5	30	82
<i>Centro de Arte-Fuerteventura</i>	1	4	4	39	79
<i>Mercado Central- LPGC</i>	5	39	13	48	60
<i>El Pilar-Sc de La Palma</i>	2	4	13	37	68

Tabla 14. ICA 4 de marzo 12 am

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

<i>31 de marzo de 2020, 20:00</i>					
	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
<i>Galletas–Sur Tenerife</i>	6	6	2	18	82
<i>Centro de Arte-Fuerteventura</i>	2	2	1	6	74
<i>Mercado Central- LPGC</i>	4	28	4	13	49
<i>El Pilar-Sc de La Palma</i>	2	6	13	19	69

Tabla 15. ICA 31 de marzo 20 pm

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

<i>2 de abril de 2020, 12:00</i>					
	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
<i>Galletas–Sur Tenerife</i>	3	6	5	15	92
<i>Centro de Arte-Fuerteventura</i>	0	2	1	9	64
<i>Mercado Central- LPGC</i>	5	9	1	19	76
<i>El Pilar-Sc de La Palma</i>	0	7	11	20	71

Tabla 16. ICA 2 de abril 12 pm

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

<i>22 de abril de 2020, 20:00</i>					
	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
<i>Galletas–Sur Tenerife</i>	7	11	5	25	95
<i>Centro de Arte-Fuerteventura</i>	4	2	1	6	73
<i>Mercado Central- LPGC</i>	2	6	4	19	86
<i>El Pilar-Sc de La Palma</i>	1	5	13	34	97

Tabla 17. ICA 22 de abril 20 pm

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>

Una vez consultado y estudiado los datos de las Tablas anteriores se ha hecho un promedio para obtener los siguientes resultados del índice de calidad del aire en Canarias de zonas costeras o portuarias:

	<i>Dióxido de azufre SO₂</i>	<i>Dióxido de nitrógeno NO₂</i>	<i>Partículas PM_{2.5}</i>	<i>Partículas PM₁₀</i>	<i>Ozono O₃</i>
<i>Galletas–Sur Tenerife</i>	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno	Bueno
<i>Centro de Arte- Fuerteventura</i>	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno	Muy Bueno
<i>Mercado Central- LPGC</i>	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno	Muy Bueno
<i>El Pilar-Sc de La Palma</i>	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno	Bueno	Muy Bueno

Tabla 18. Resultado del estudio del ICA en las estaciones seleccionadas

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que las zonas costeras y portuarias de Canarias poseen buenos índices de calidad de aire, ya que después del estudio se ha obtenido un rango entre muy bueno/bueno.

Esto puede deberse a varios motivos:

- Por el poco tráfico marítimo que navega cerca de las costas canarias a diferencia de otros países o ciudades del mundo.
- Utilización de combustibles poco contaminantes.

- Compromiso de las empresas con el medio ambiente.
- Al clima favorecedor que poseen las Islas, como, por ejemplo, la existencia de los vientos alisios, que hacen que se limpie el ambiente.
- La poca actividad industrial.

A continuación, se muestran algunos estudios realizados a nivel mundial en distintos puertos, dando como resultado los siguientes valores de la Tabla 19. La tabla, sintetiza las mediciones llevadas a cabo de contaminantes en t/año en distintos puertos del mundo, integrando las emisiones producidas por buques y otras actividades portuarias:

Puerto de estudio y año	Contaminantes(t/año)							Autor
	NO _x	SO _x	CO	CO ₂	PM ₁₀	COV	Otros	
Piombino, 1993	280	293	128	25.370	-	66	CH ₄ : 9 TSP: 41	Trozzi et al, 1994
Venecia, 1993	853	507	324	79.748	-	139	CH ₄ : 19 TSP: 121	Trozzi et al, 1994
Copenhagen, Elsinore y Køge, 2001	743	SO ₂ : 162	-	-	-	-	TSP: 17	Saxe & Larsen, 2004
Aberdeen, 2004	NO ₂ : 376	SO ₂ : 52	-	36.720	14	-	-	McArthur & Osland, 2013
Rotterdam, 2005	4.400	SO ₂ : 3.233	-	397.007	245	-	-	McArthur & Osland, 2013
Mumbai, 2006	802	SO ₂ : 345	-	-	903	-	TSP: 4452	Joseph et al, 2008
Bergen, 2010	664	SO ₂ : 19,4	-	39.387	8,7	-	-	McArthur & Osland, 2013
Oslo, 2013	759,37	SO ₂ : 260,04	-	56.288,88	18,03	-	CH ₄ : 2,03	López-Aparicio, 2017
Terminal de portacontenedores de Nanjing Longtan, 2014	196	2,9	20,62	12.554,29	3,45	-	PM _{2.5} : 2,76	Zhang et al, 2017
Barranquilla, 2018	4.583,18	SO ₂ : 1.417,34	136,19	105.677,85	182,52	-	PM _{2.5} : 179,42 HC: 87,1 CH ₄ : 0,77	Prieto Montañez, 2019

Tabla 19. Estudio de ICA de otros países

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la anterior tabla número 19, todos los puertos o ciudades costeras alrededor del mundo emiten contaminantes a la atmósfera.

Los sitios estudiados más contaminantes son Barranquilla y Rotterdam, esto se puede deber a:

- Existencia de mucha industria naval, como por ejemplo astilleros.
- Mayor densidad de tráfico marítimo y actividades portuarias.
- Mayor número de operaciones realizadas en puertos.

5. CONCLUSIÓN

1. El estudio de los efectos ocasionados por los contaminantes atmosféricos procedente de los buques, tanto en la salud ambiental (lluvia ácida, acidificación de los océanos...) como en la salud humana (reducción de la función pulmonar, irritación de ojos y vías respiratorias, cefaleas, alergias...) son muy dañinos, ocasionando así daños al medio ambiente o enfermedades en la población.
2. Son varias las medidas que se pueden adoptar para la reducción de emisión de gases a la atmósfera, entre ellas encontramos sistemas de lavado de gases de escape o más comúnmente llamados scrubbers, que se encargan de separar las moléculas de contaminantes del aire del flujo gaseoso al entrar en contacto con un líquido. No obstante, otra de las medidas a adoptar es la utilización de combustibles bajos en sulfuro, cumpliendo así en ambos casos con la normativa vigente.
3. La normativa vigente, que trata sobre los aspectos de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques, se encuentra en el Convenio Internacional MARPOL, concretamente en el Anexo VI.
4. Los buques pueden optar por distintas alternativas de combustibles menos contaminantes o con cero emisiones, como por ejemplo, la propulsión mediante hidrógeno en combinación con energías renovables, el GNL el cual se está consolidando como alternativa mucho más sostenible, más económica y más eficiente que la mayoría de los combustibles usados en los buques de todo el mundo y la propulsión híbrida diésel – eléctrica que es un sistema que reduce las emisiones, aumenta la eficiencia y tiene un menor consumo con respecto a la propulsión diésel tradicional.
5. Los ODS relacionados con este trabajo son el número 3, que trata sobre salud y bienestar, el número 7, energía asequible y no contaminante, el número 13, acción por el clima y el número 14, vida submarina.
6. El buque Monte Udala cumple con la normativa del Anexo VI del MARPOL, pues los valores obtenidos en el estudio del combustible se encuentran por debajo de los límites máximos exigidos.
7. El cambio de combustible en un buque conlleva riesgos especiales, relacionados con el trabajo en espacios confinados, especialmente riesgo de asfixia, incendio, explosión, intoxicación o riesgo de caída a mismo y distinto nivel, por lo que hay que tomar las medidas preventivas necesarias.

8. La calidad del aire de Canarias de zonas costeras y portuarias es muy buena/buena, ya que así se ha demostrado con la información obtenida durante 4 meses de la red de control y vigilancia de la calidad del aire de Canarias.

6. CONCLUSION

1. The study of the effects of air pollutants from vessels, both on environmental health (acid rain, ocean acidification...) and human health (reduced lung function, eye and respiratory tract irritation, headaches, allergies...), has proven them to be extremely harmful to the environment, as well as a source of diseases among the population.
2. Various measures can be taken to reduce the emission of gases into the atmosphere, such as exhaust gas cleaning systems, commonly known as scrubbers, which separate air pollutant molecules from gas flow when coming into contact with a liquid. Another measure would be to use low-sulphur fuels, both in compliance with current legislation.
3. Current legislation on air pollution caused by ships is included in the MARPOL International Convention, more specifically in its Annex VI.
4. Ships can choose from different alternatives of less polluting or zero emission fuels, such as hydrogen combined with renewable energies propulsion, LNG which is consolidating itself as a much more sustainable, cost-effective and efficient alternative than most fuels used in ships worldwide, and hybrid diesel-electric propulsion which is a system that reduces emissions, increasing efficiency and having lower fuel consumption compared to traditional diesel propulsion.
5. SDGs related to this project are number 3 on health and wellbeing, number 7 on affordable and non-pollutant energy, number 13 on climate action and number 14 on underwater life.
6. Monte Udala vessel complies with the regulations included in Annex VI of the MARPOL Convention, as values obtained in the fuel study are below the maximum compulsory limits.
7. Vessel refueling entails specific risks related to working in confined spaces, especially suffocation, fire, explosion, poisoning or risk of falling on the same level from a height which require adequate preventive measures.
8. Air quality in the coastal areas and ports of the Canary Islands is very good/good, as proven by the information obtained during 4 months by the Air Quality Control and Surveillance Network of the Canary Islands.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Australian Government. (26 de febrero de 2020). *Amendment table for MARPOL, including date of entry into force*. Obtenido de Table of MARPOL amendments: <https://www.amsa.gov.au/marine-environment/marine-pollution/table-marpol-amendments>
- Centro Nacional del Hidrógeno. (2018). *El Hidrógeno*. Obtenido de Centro Nacional del Hidrógeno: <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/#tab-id-4>
- de Castro González, F. V. (2019). *Contaminación Atmosférica*. Acribia.
- Energy Observer. (s.f.). *Hydrogen*. Obtenido de Energy Observer: <https://www.energy-observer.org/en/#hydrogene>
- Energy Observer. (s.f.). *The vessel*. Obtenido de Energy Observer: <https://www.energy-observer.org/en/#bateau>
- Gasnam. (s.f.). *El número de buques propulsados por GNL aumentará un 87% hasta 2020*. Obtenido de Gasnam: <https://gasnam.es/numero-buques-propulsados-gnl-aumentara-87-2020/>
- Gobierno de Canarias. (23 de marzo de 2020). *Índice de calidad del aire*. Obtenido de Red de Control y Vigilancia de la Calidad del Aire de Canarias: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medioambiente/calidaddelaire/ica.do>
- Gobierno de España. (julio de 2010). *Compuestos orgánicos volátiles (COV)*. Obtenido de Base de datos de sustancias tóxicas y peligrosas RISCTOX: <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=621>
- Gregory, D. M. (julio de 2013). *LNG Emerging As Fuel Of Choice For Vessels, Ferries*. Obtenido de The American Oil & Gas Reporter: <https://www.aogr.com/web-exclusives/exclusive-story/lng-emerging-as-fuel-of-choice-for-vessels-ferries>
- Hood, M., Broadgate, W., Urban, E., & Gaffney, O. (2009). *La acidificación del océano*.
- Ing. Marítima. (s.f.). *Zonas ECA*. Obtenido de Ing. Marítima: <http://ingmaritima.blogspot.com/2017/06/zonas-eca.html>
- Joseph, J., Patil, R. S., & Gupta, S. K. (2008). *Estimation of air pollutant emission loads from construction and operational activities of a port and harbour in Mumbai, India*. Bombay.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. Boletín Oficial del Estado, núm. 275, de 16 de noviembre de 2007. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2007/BOE-A-2007-19744-consolidado.pdf>

- López-Aparicio, S., Tønnesen, D., Neilson, H., & Than, T. N. (2017). *Shipping emissions in a Nordic port: Assessment of mitigation strategies*. Oslo: Elsevier.
- Martínez Ataz, E., & de Mera Morales, Y. D. (2004). *Contaminación Atmosférica*. Cuenca: Universidad Castilla la Mancha.
- McArthur, D. P., & Osland, L. (2013). *Ships in a city harbour: An economic valuation of atmospheric emissions*. Haugesund: Elsevier.
- N&Y Náutica y Yates M@gazine. (4 de marzo de 2014). *La propulsión híbrida, una alternativa ecológica*. Obtenido de N&Y Náutica y Yates M@gazine: <https://www.nauticayyates.com/equipo/la-propulsion-hibrida-propulsion-hibrida-en-serie-y-en-paralelo-una-alternativa-ecologica/>
- Naranjo Martínez, L. (1 de agosto de 2019). *Barcos eléctricos*. Obtenido de Cosas de barcos: <https://www.cosasdebarcos.com/blog/mercado/barcos-electricos/>
- National Geographic. (9 de septiembre de 2010). *Medioambiente - Lluvia ácida*. Obtenido de National Geographic: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/lluvia-acida>
- Oil Companies International Marine Forum. (2016). *Guide for Implementation of Sulphur Oxide Exhaust Gas Cleaning Systems*. London: Oil Companies International Marine Forum.
- Organización Marítima Internacional. (2019). *Convenio MARPOL: edición refundida de 2017*. Londres: Organización Marítima Internacional.
- Organización Marítima Internacional. (2020). *Óxidos de nitrógeno (NOx) – Regla 13*. Obtenido de Organización Marítima Internacional: [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-\(NOx\)---Regulation-13.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Nitrogen-oxides-(NOx)---Regulation-13.aspx)
- Organización Marítima Internacional. (2020). *Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*. Obtenido de Organización Marítima Internacional: <http://www.imo.org/es/ourwork/environment/pollutionprevention/airpollution/paginas/air-pollution.aspx>
- Organización Marítima Internacional. (2020). *Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques*. Obtenido de Organización Marítima Internacional: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>
- Organización Marítima Internacional. (s.f.). *Azufre 2020: reduciendo las emisiones de óxidos de azufre*. Obtenido de Organización Marítima Internacional: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/Sulphur-2020.aspx>

- Organización Marítima Internacional. (s.f.). *OMI 2020: el límite de azufre en el combustible entra en vigor el 1 de enero*. Obtenido de Organización Marítima Internacional: <http://www.imo.org/es/MediaCentre/PressBriefings/Paginas/34-IMO-2020-sulphur-limit-.aspx>
- Parra, S. (2020). ¿Hay barcos impulsados por hidrógeno? *Muy interesante*(59), 88-89.
- Peace Boat Ecoship. (s.f.). *Sailing for change*. Obtenido de Peace Boat Ecoship: <http://ecoship-pb.com>
- Peace Boat Ecoship. (s.f.). *Technology & Design*. Obtenido de Peace Boat Ecoship: <http://ecoship-pb.com/technology/boundary/>
- Piédrola-Gil. (2016). *Medicina Preventiva y Salud Pública*. Barcelona: Elsevier Masson.
- Prieto Montañez, D. A. (2019). *Estimación de las emisiones atmosféricas de buques en el puerto de Barranquilla*. Proyecto.
- Raffino, M. E. (12 de febrero de 2020). *Atmósfera*. Obtenido de Concepto.de: <https://concepto.de/atmosfera/>
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. Boletín Oficial del Estado. Madrid, 29 de enero de 2011, núm. 25. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645>
- Russia Today. (18 de noviembre de 2017). *China lanza el primer buque de carga 100% eléctrico del mundo*. Obtenido de Russia Today: <https://actualidad.rt.com/actualidad/255510-china-lanzar-primer-buque-carga-electrico>
- Saxe, H., & Larsen, T. (2004). *Air pollution from ships in three Danish ports*. Copenhagen: Elsevier.
- Trozzi, C., Vaccaro, R., & Nicolo, L. (1994). *Air pollutants emissions estimate from maritime traffic in the Italian harbours of Venice and Piombino*. Roma.
- Wärtsilä. (13 de octubre de 2017). *Wärtsilä makes Viking Princess the world's first offshore vessel with a hybrid energy storage solution replacing a traditional generator*. Obtenido de Wärtsilä: <https://www.wartsila.com/media/news/13-10-2017-wartsila-makes-viking-princess-the-worlds-first-offshore-vessel-with-a-hybrid-energy-storage-solution-replacing-a-traditional-generator>
- World Health Organization. (s.f.). *Air pollution*. Obtenido de World Health Organization: https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1

Zhang, Y., Gu, J., Wang, W., Peng, Y., Wu, X., & Feng, X. (2017). *Inland port vessel emissions inventory based on Ship traffic emission assessment model automatic identification system*. Nanjing.