Tecnología para la supervisión de las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques en el marco del Anexo VI del MARPOL

Technology for monitoring Greenhouse Gas emissions from ships within the framework of Annex VI of MARPOL

Capitán de Corbeta Jonatan Mendoza Alarcón. Nació el 20 de julio de 1983 en Lima. Estudió en el colegio "Horacio Patiño Cruzatti". Se graduó como Alférez de Fragata de la Escuela Naval del Perú en enero de 2007. Es Calificado en Capitanías y Guardacostas. Ostenta el grado de Magíster en Ecosistemas Marinos y Costeros de la Universidad Politécnica de Valencia. En el año 2019 la Marina de Guerra le confiere el ascenso al grado de Capitán de Corbeta. Obtuvo el primer lugar en el programa de Comando y Estado Mayor no residente de la Escuela Superior de Guerra Naval. En 2022 se graduó del programa de maestría en Ciencias Marítimas con la especialidad de Derecho y Políticas Marítimas en la Universidad Marítima Mundial en el reino de Suecia. Actualmente ejerce el cargo de comandante del B.A.P. *Río Cañete*.

Resumen: El Anexo VI del Convenio Internacional para la Prevención de la Contaminación por los Buques, conocido como MARPOL, desempeña un papel esencial en la regulación y supervisión de las emisiones contaminantes emitidas por los buques. Este instrumento tiene como enfoque primordial la reducción de la contaminación del aire originada por la navegación marítima y establece directrices para restringir las emisiones de gases nocivos, como los óxidos de azufre (SOx) y los óxidos de nitrógeno (NOx) provenientes de los motores de los buques. Asimismo, regula las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tales como el dióxido de carbono (CO_2). El Anexo VI del MARPOL constituye un componente fundamental en la lucha global contra la contaminación atmosférica y el cambio climático derivado de las actividades de la industria marítima. A lo largo del tiempo, ha evolucionado para imponer requisitos más rigurosos y promover tecnologías más limpias en el ámbito de la navegación internacional. La aplicación y el acatamiento de estas normativas son esenciales tanto para la conservación del entorno marino como para la atenuación de los impactos ambientales asociados al comercio marítimo mundial. No obstante, la supervisión

de estas regulaciones presenta desafíos significativos, en este contexto, surgen soluciones técnicas impulsadas por los avances en la tecnología de drones, las cuales están evolucionando a un ritmo acelerado. Los vehículos autónomos y desprovistos de tripulación se perfilan como valiosos recursos que pueden asistir a las autoridades en la tarea de inspeccionar y rastrear las emisiones atmosféricas de los buques. Asimismo, los drones contribuyen a minimizar los riesgos para el personal involucrado, lo que, a su vez, mejora la seguridad en estas operaciones y conlleva a una reducción de costos considerables.

Palabras clave: Contaminación del aire, gases de efecto invernadero (GEI), industria marítima, tecnologías limpias, vehículos autónomos.

Abstract: *Annex VI of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, known as MARPOL, plays an essential role in the regulation and supervision of polluting emissions emitted by ships. This instrument has as its primary focus the reduction of air pollution caused by maritime industry and establishes guidelines to restrict emissions of harmful gases such as sulfur oxides (SOx) and nitrogen oxides (NOx) from ship engines. Likewise, it regulates emissions of Greenhouse Gases (GHG), such as carbon dioxide (CO_2). MARPOL Annex VI constitutes a fundamental component against air pollution and climate change derived from the activities of the maritime industry. Over time, it has evolved to impose more rigorous requirements and promote cleaner technologies in the field of international shipping. The application and compliance with these regulations are essential both for the conservation of the marine environment and for the mitigation of environmental impacts associated with global maritime trade. However, the supervision of these regulations presents significant challenges, in this context, technical solutions are emerging driven by advances in drone technology, which are evolving at an accelerated pace. Autonomous and unmanned vehicles are emerging as valuable resources that can assist authorities in the task of inspecting and tracking atmospheric emissions from ships. Likewise, drones help minimize risks for the personnel involved, which, in turn, improves safety in these operations and leads to considerable cost reduction.*

Keywords: *Air pollution, greenhouse Gases (GHG), maritime industry, clean technologies, autonomous vehicles.*

Introducción

El producto interno bruto (PIB), también conocido como producto interior bruto, representa la métrica convencional que cuantifica el valor adicional generado a través de la manufactura de productos y la prestación de servicios dentro de un país durante un lapso específico. El producto interno bruto a escala global refleja el nivel de interconexión de una economía con el comercio internacional. Cuando el PIB continúa aumentando, esto sugiere un crecimiento sostenido en el comercio a largo plazo (Ma, 2020). El comercio y el transporte marítimo están estrechamente relacionados, ya que el transporte marítimo es esencial para el comercio internacional. Los buques transportan una amplia gama de mercancías a través de océanos y mares, que representan más del 80 % del comercio mundial (UNCTAD, 2021), conectando mercados de diferentes países. Esto impulsa la economía global, contribuye a las cadenas de suministro internacionales y permite la globalización económica.

Según UNCTAD (2023), el transporte marítimo tiene un impacto significativo en la contaminación atmosférica, siendo responsable de aproximadamente el 3% de las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los buques emiten GEI como resultado de la quema de combustibles fósiles en sus motores. Los principales GEI incluyen dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógeno (NOx), óxidos de azufre (SOx) y metano (CH_4). Estas emisiones contribuyen al cambio climático. En particular pueden afectar la calidad del aire en rutas marítimas, instalaciones portuarias y zonas aledañas. Para abordar este problema la Organización Marítima Internacional (OMI), presentó en 2018 su estrategia inicial para abordar la sostenibilidad del transporte marítimo (IMO, 2018). Posteriormente, tras una revisión de dicha estrategia, la OMI ha implementado "medidas a corto plazo" con el propósito de regular las emisiones GEI. Dos de estas medidas, el Índice de Eficiencia Energética de Buques Existentes (EEXI) y el Indicador de Intensidad de Carbono (CII), entraron en vigor en 2023. Es importante destacar que estas acciones son legalmente vinculantes al estar incorporadas en el MARPOL (Comer & Carvalho, 2023).

El presente artículo describe una herramienta de monitoreo de las emisiones de gases de los buques mediante drones, basada en tecnologías privadas y en los resultados de un estudio realizado en 2022 por el equipo Cóndores del Mar, conformado por un grupo multidisciplinario de investigadores de India, Perú y Taiwán, en el marco de un proyecto de innovación organizado por Sea Focus Internacional (Inteligence Hunt, 2022, 8m29s), que es una compañía formada por profesionales expertos en logística

y en gestión de cadenas de suministro marítimo. Sea Focus se especializa en concebir, gestionar y ejecutar proyectos orientados hacia el futuro que abren el camino a la innovación de la industria marítima (Sea Focus, 2023).

La propuesta de utilizar Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) como alternativa técnica y operativa para la fiscalización y monitoreo de emisiones de gases de los buques fue consultada a representantes de autoridades reguladoras y posibles usuarios, como funcionarios de puertos, autoridades marítimas y ambientales, en cumplimiento del Anexo VI del MARPOL. La mayoría de ellos expresaron una opinión favorable hacia el empleo de drones rastreadores para la detección y control de emisiones. Esta herramienta proporcionaría a las administraciones y autoridades marítimas competentes un medio para los inspectores del Estado Rector del Puerto y para los operadores navieros que deseen monitorear las emisiones atmosféricas de los buques. Además, la mejora en la capacidad de monitoreo contribuiría al logro de los Objetivos 13, 14 y 15 de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (2022).

Antecedentes

El transporte marítimo es el método más importante de transporte de mercancías; sin embargo, el aumento del número y el tamaño de los buques de transporte afecta a la calidad del aire debido a las emisiones de CO_2, SOx y Nox, así como el incremento de materia particulada (PM). Las PM son un indicador indirecto común de la contaminación del aire, existe evidencia sólida de los impactos negativos para la salud asociados con la exposición a este contaminante, sus principales componentes son sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbón negro, polvo mineral y agua (OMS, 2023). En 1997, la OMI adoptó las regulaciones del Anexo VI de MARPOL para prevenir la contaminación del aire proveniente de los buques; en 2011, los Estados Parte del Anexo VI del MARPOL adoptaron regulaciones obligatorias de eficiencia energética para los buques, los cuáles son el Índice de Diseño de Eficiencia Energética (EEDI) para buques nuevos y el Plan de Gestión de la Eficiencia Energética de los Buques (SEEMP) (OMI, 2022a).

El EEDI es un estándar internacional que evalúa la eficiencia energética de un buque durante su fase de diseño y construcción. Este índice se expresa en términos de la cantidad de energía necesaria para transportar una unidad de carga por unidad de distancia y capacidad de carga del buque (Gobierno de Australia, 2023). Cuanto menor sea el valor del EEDI, mayor será la eficiencia

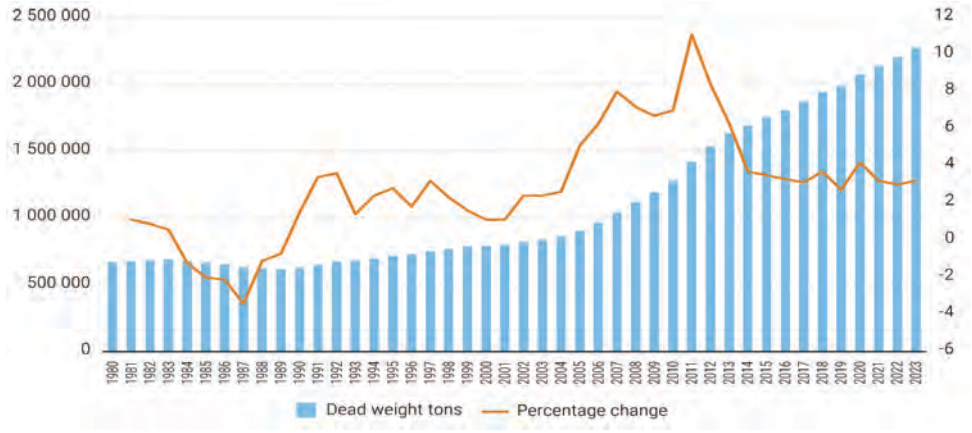
energética del buque. El EEDI tiene como objetivo promover la construcción de buques más amigable scon el medioambiente y menos consumidores de energía. Por otro lado, la Gestión de la Eficiencia Energética de los Buques, es un plan de gestión que tiene como finalidad mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques existentes. La SEEMP es un requisito de la OMI y obliga a los operadores y propietarios de buques a implementar medidas y procedimientos destinados a optimizar el consumo de energía y reducir la huella ambiental de sus naves. La SEEMP incluye una serie de directrices y acciones que abarcan desde la optimización de las operaciones de navegación hasta la mejora de la eficiencia de los sistemas de propulsión y la gestión adecuada de la energía a bordo, con el objetivo de hacer que la flota marítima sea más sostenible y amigable con el medioambiente (OMI, 2021).

Además de regular las Áreas de Control de Emisiones (ECA) según la regla 13 del Anexo VI de MARPOL para el control de emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), la OMI ha establecido Áreas de Control de Emisiones de Azufre (SECA) y Áreas de Control de Emisiones de Nitrógeno (NECA) (OMI, 2022). A pesar de estas regulaciones, si las tendencias actuales continúan, el transporte marítimo podría superar a todas las fuentes terrestres, incluyendo vehículos y otras emisiones, convirtiéndose en el principal emisor de contaminación del aire en Europa. En 2018, la OMI aprobó la Estrategia Inicial con el ambicioso objetivo de reducir al menos a la mitad las emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GEI) del transporte marítimo para el año 2050. La meta final es lograr la completa eliminación de las emisiones de GEI de las embarcaciones en este siglo, además de reducir la huella de carbono asociada al transporte marítimo (OMI e Instituto Marino de Flandes, 2020).

Sin embargo, el reto de descarbonizar la industria marítima es desafiante, la figura 1 muestra que durante el periodo entre 1980 hasta 2023 ha prevalecido un crecimiento de las toneladas de peso muerto de la flota mundial. Asimismo, según UNCTAD (2023), en enero de 2023 la flota mundial constaba de 105,493 naves de 100 toneladas de registro bruto o más. Por lo que, en 2022, la capacidad se expandió a una tasa anual del 3.2 por ciento, alcanzando un tonelaje total de 2.27 mil millones de toneladas de peso muerto. Al número de barcos se le suma otro problema, la flota mundial también está envejeciendo. A comienzos de 2023, los buques tenían una edad promedio de 22,2 años. En comparación con hace una década, la edad promedio de la flota en todo el mundo ha aumentado en dos años, y más de la mitad de los barcos superan ya los 15 años (UNCTAD, 2023). Esta situación evidencia una contribución al

aumento de la contaminación provocada por los buques, lo que ha suscitado preocupaciones a nivel mundial. A pesar de la reducción gradual de las emisiones en tierra firme, la contaminación del aire generada por la industria marítima ha seguido aumentando.

Figura 1.
La flota mundial entre 1980 y 2023 (miles de toneladas de peso muerto y variación porcentual anual).

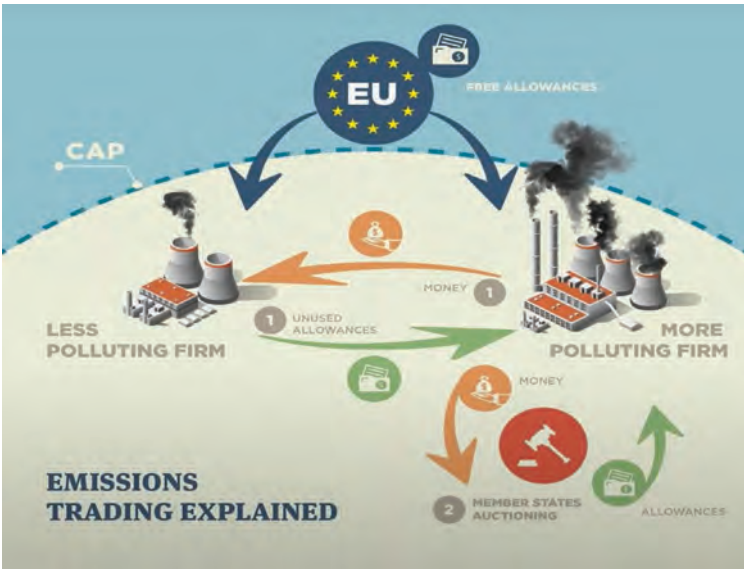


Nota: Buques mercantes marítimos propulsados de arqueo bruto igual o superior a 100, a partir del 1 de enero de 2023. Toneladas de peso muerto se han estimado para algunos buques individuales. Fuente: Cálculos de la UNCTAD, basados en datos de Clarksons Research, 2023.

Por otro lado, la Unión Europea aborda el problema de las emisiones de GEI de manera frontal y rigurosa. En 2005, la Comisión Europea lanzó el marco regulatorio de la Unión Europea para el Sistema de Comercio de Derechos de Emisión (EU ETS), siglas del inglés *European Union - Emissions Trading System* (Parlamento Europeo, 2013). La Comisión Europea (2023) basa este sistema en el principio de "límites y comercio" y tiene como objetivo reducir las emisiones de GEI en un 37 % anual. El ETS se expresa en derechos de emisión, en el cual una empresa tiene derecho a emitir una determinada cantidad de CO_2eq (equivalente de dióxido de carbono). Las empresas deben proporcionar suficientes derechos de emisión para contabilizar sus emisiones y pueden intercambiar derechos entre ellas. La reducción del límite de emisiones proporciona certeza sobre el límite de emisiones a corto plazo y garantiza el valor de mercado. El ETS genera ingresos por la venta de emisiones, que utilizan principalmente los gobiernos nacionales para respaldar inversiones en energía renovable, mejoras en la eficiencia energética y tecnologías neutras en carbono.

En la figura 2 se observa cómo funciona el EU ETS, estableciendo límites máximos para las emisiones en ciertas industrias; las empresas que superan estos límites deben obtener permisos adicionales de emisión, mientras que las que emiten menos pueden vender sus excedentes. Esto crea un incentivo para que las empresas reduzcan sus emisiones y promueve prácticas más sostenibles. Este enfoque contribuye a la reducción de las emisiones y, al mismo tiempo, genera ingresos destinados a respaldar la transición ecológica de la Unión Europea. Este sistema opera en todos los países miembros de la UE, así como en Islandia, Liechtenstein y Noruega, que forman parte del Espacio Económico Europeo (EEE) y la Asociación Europea de Libre Comercio (AELC). En términos generales, el EU ETS abarca un amplio espectro de emisiones, englobando aproximadamente unas 10,000 instalaciones pertenecientes tanto al sector energético como a la industria manufacturera. Además, también se aplica a los operadores de aeronaves que realizan vuelos dentro de la UE y aquellos que parten hacia Suiza y el Reino Unido, abarcando alrededor del 40% de las emisiones totales de la Unión Europea. A partir de 2024, este sistema se extenderá para abarcar las emisiones del transporte marítimo.

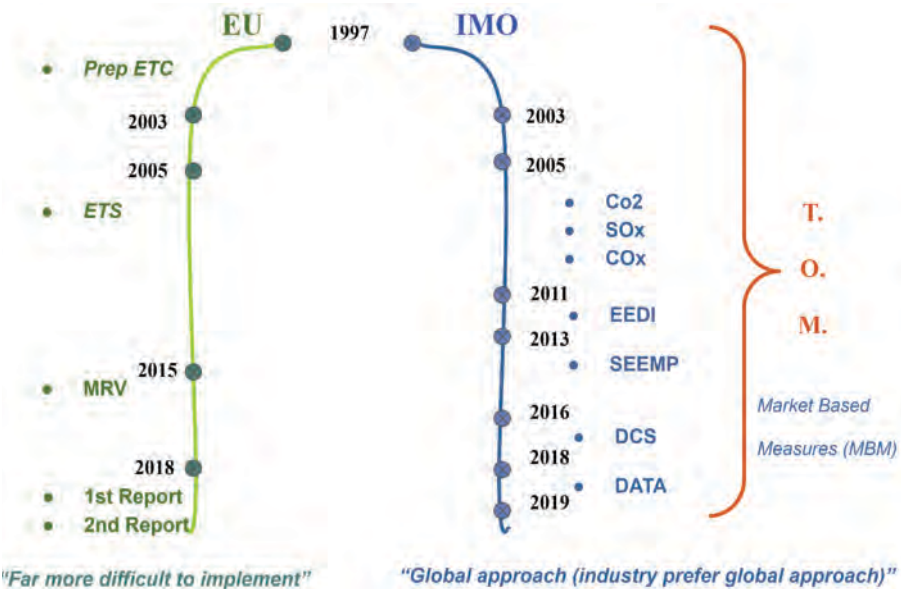
Figura 2.
Explicación gráfica de cómo funciona el EU ETS y su papel en la transición hacia el abandono del carbón.



Nota: Imagen extraída del Webinar denominado EU ETS. Cómo funciona y su papel en la transición hacia el abandono del carbón (Carbon Market Watch, 2016).

La figura 3 ilustra la evolución regulatoria y su aplicación en ambas esferas. Resulta evidente que el enfoque propuesto por la Unión Europea representa un desafío mayor en términos de implementación en comparación con las regulaciones establecidas por la Organización Marítima Internacional (OMI) para abordar el cambio climático. La preferencia de la industria marítima por el enfoque global de la OMI radica en el consenso que lo respalda, permitiendo así que los países en vías de desarrollo, que desempeñan un papel significativo en la industria marítima, puedan avanzar en la cumplimiento e implementación gradual de estas regulaciones. No obstante, es esencial subrayar que la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) es un objetivo trascendental y la aplicación efectiva de medidas se torna urgente, como lo demuestra la Unión Europea.

Figura 3
Enfoque de la Unión Europea versus enfoque de la Organización Marítima Internacional para abordar el cambio climático.



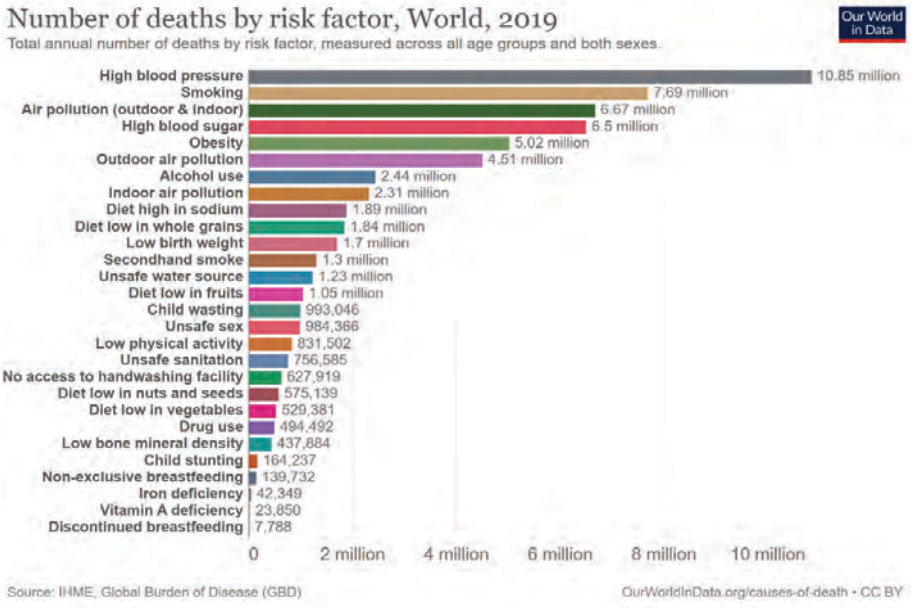
Notas: MRV: monitoring, reporting and verifying, DCS: data collection system, MBM: market based measures under IMO's initial GHG strategy, TOM: technical, operational and management (decisions made by regulatory entities). Fuente: Adaptación del autor de notas de clase de Jessen (2022) de la asignatura "El Derecho del Mar y la Protección del Medio Marino" (12 de abril de 2022) Universidad Marítima Mundial.

Gases de efecto invernadero en la industria marítima

Murray et al., (2020), señalan que la contaminación del aire provocada por el transporte marítimo internacional es responsable de importantes muertes prematuras en todo el mundo, particularmente en lugares como Europa, el Lejano Oriente y partes de América del Norte y del Sur (figura 4). La mitigación de las emisiones de GEI en escenarios de puntos críticos es significativa; de lo contrario, la eficacia de las medidas de reducción de riesgos evaluadas es mínima (Bindoff et al., 2019). Por esa razón, las emisiones atmosféricas de los buques deben monitorearse cuidadosamente para garantizar el cumplimiento de las regulaciones de la OMI. La supervisión debe realizarse en aguas territoriales, zonas económicas exclusivas y zonas de alto tráfico. Los factores clave para alcanzar las metas son la gobernanza eficaz y las instituciones públicas eficientes. En esencia, el campo de la administración pública surge del ejercicio o la actividad pragmática de la administración y gestión en el sector público (Riccucci, 2010).

Figura 4

Número de muertes por factor de riesgo en el mundo, 2019.

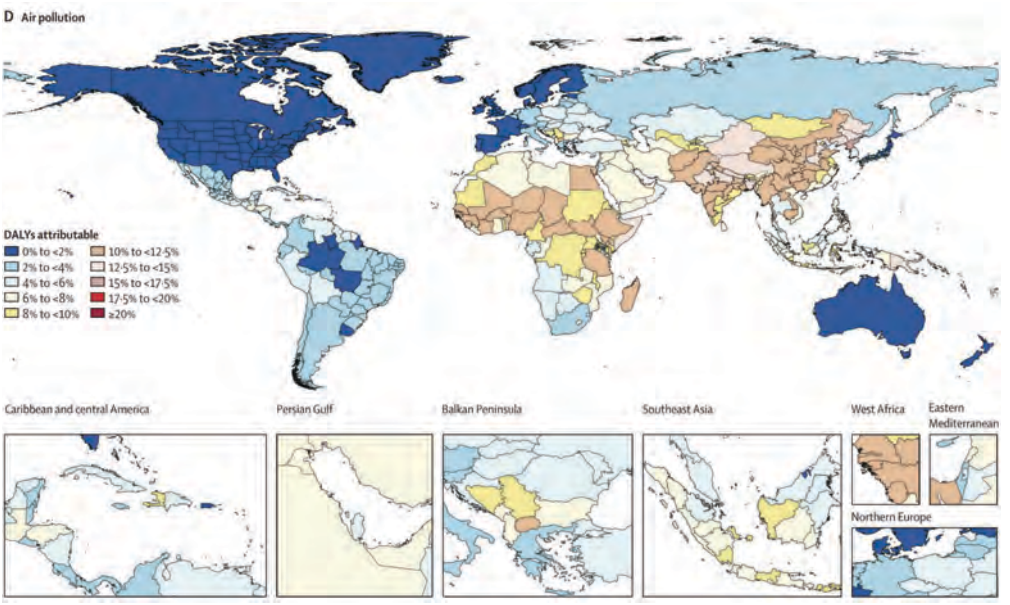


Nota. La figura muestra el número total anual de muertes por factores de riesgo en todos los grupos de edad en ambos sexos. Fuente: IHME, Global Burden of Disease (GBD).

Corbett et al. (2007) analizaron la mortalidad prematura global causada por las emisiones de los buques. Estimaron que la contaminación por partículas relacionadas con el transporte marítimo era responsable de alrededor de 60 000 muertes por cáncer de pulmón y enfermedades cardiovasculares al año. Los efectos se concentraron a lo largo de rutas comerciales clave en las regiones costeras; la mayoría de las muertes prematuras ocurrieron cerca de las costas de Europa, Asia oriental y Asia del sur. Los investigadores utilizaron un sofisticado modelo ascendente de emisiones de transporte marítimo basado en el Sistema de Identificación Automático (AIS) para evaluar las implicaciones climáticas y para la salud de los barcos en el este de Asia. También Liu et al. (2016) afirmaron que las emisiones del transporte marítimo en el este de Asia habían aumentado rápidamente desde principios de siglo. Los científicos investigadores del Instituto Meteorológico de Finlandia afirmaron que "en algunas zonas portuarias, el transporte marítimo puede causar efectos graves para la salud y muertes prematuras" (Vesper, 2017). En 2016, Asia oriental representó el dieciséis por ciento de las emisiones mundiales de CO_2 del transporte marítimo en 2013, en comparación con solo entre el cuatro y el siete por ciento entre 2002 y 2005. Además, las emisiones del transporte marítimo en Asia oriental causaron importantes efectos adversos para la salud, con entre 14 500 y 37 500 muertes prematuras por año, según (Liu et al., 2016).

Las siguientes regiones marítimas que tienen las emisiones más importantes por unidad de superficie son: los mares de China oriental y meridional, las zonas marítimas del Sudeste Asiático, el mar Rojo, el Mediterráneo, el Atlántico Norte cerca de la costa europea, el golfo de México, el mar Caribe y la costa occidental de América del Norte (Johansson et al., 2017). En la figura 5, se presenta la proporción de años de vida ajustados por discapacidad (DALY) atribuibles a la contaminación del aire, que incluye partículas en el ambiente, contaminación del aire en hogares y contaminación por ozono en el ambiente. Aunque ningún lugar supera el 20 % de DALY atribuibles a la contaminación del aire, se observan porcentajes de carga aplicable de entre el 10 % y el 15 % en muchos países de África subsahariana occidental y oriental, así como en gran parte del sur de Asia, el Sudeste Asiático y la mayoría de las provincias de China. Es relevante notar que los patrones geográficos varían, destacando que la contaminación ambiental por partículas tiene un mayor impacto en Asia en comparación con África.

Figura 5
Proporción de años de vida ajustados por discapacidad (DALY) atribuibles a la contaminación del aire en 2019.



Fuente: Instituto de Evaluación y Métrica de la Salud, Universidad de Washington.

En conclusión, a lo visto en esta sección, el control de las emisiones GEI emitidos por los buques es crucial por varias razones. Ayuda a combatir el cambio climático al reducir las contribuciones a la acumulación de calor en la atmósfera. Además, protege el medio ambiente marino y costero, evita la acidificación de los océanos y minimiza la contaminación local del aire en áreas portuarias. También, tiene beneficios para la salud humana al disminuir los impactos negativos de la contaminación del aire. Cumplir con regulaciones internacionales, como las establecidas por la OMI, es esencial. Además, promueve la responsabilidad ambiental y social en la industria marítima en un mundo cada vez más consciente de la sostenibilidad.

Proyecto Sea Focus

La investigación realizada por el equipo de Sea Focus tuvo como objetivo analizar las emisiones de GEI procedentes del transporte marítimo en buques. El trabajo se desarrolló en 4 etapas: (1) comprender la situación de GEI en la industria marítima; (2), identificación de puntos críticos de emisiones GEI a nivel global; (3) desarrollo de un cuestionario basado en la situación de GEI y

potenciales alternativas de solución; (4) encuesta mediante los cuestionarios a las autoridades que prima facie tienen el poder y el mandato para reducir dichas emisiones. Este último paso también incluyó entrevistas a personas seleccionadas por intermedio de la red de contactos de Sea Focus (Figura 6).

Figura 6
Marco de Investigación.

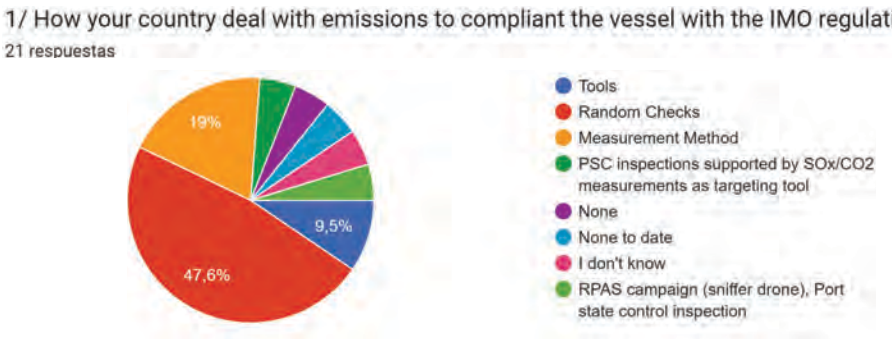


Fuente: Sea Focus (Proyecto NUAer).

De acuerdo con los hallazgos de la encuesta de investigación cualitativa realizada a representantes de diferentes países, se destaca que en cerca del 50 % de los países se basa en inspecciones aleatorias para verificar el cumplimiento de las regulaciones de la OMI por parte de los buques (figura 7). Menos del 10 % de estos países utilizan tecnología y herramientas desarrolladas internamente para este propósito. En casos en los que se detecta que los buques no cumplen con las normativas, aproximadamente dos tercios de las autoridades optan por aplicarles multas y sanciones. Alrededor del 31 % de los encuestados consideran que los drones son una forma eficaz de medir las emisiones, y el 60 %, que no se esperan nuevas innovaciones a nivel nacional en el campo del seguimiento de las emisiones del transporte marítimo. Por lo tanto, los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia tendrían demanda en el mercado y serían beneficiosos para facilitar el proceso de reducción de GEI.

Figura 7

Resultado de la pregunta: ¿Cómo aborda su país las emisiones para que el buque cumpla con la normativa de la OMI?



Nota. La figura muestra el resultado de la encuesta realizada a funcionarios de 21 países relacionados con la industria marítima. Fuente: Sea Focus (Proyecto NUAer).

Las autoridades portuarias y marítimas se definen como el segundo grupo de partes interesadas. El 81 % de ellas están de acuerdo en que es posible utilizar la tecnología de drones rastreadores en sus puertos y lo proyectan como un objetivo a mediano plazo. También, alientan a sus países a implementar dicha tecnología. En base a las repuestas, se ha elaborado una tabla comparativa que clarifica los pros y contras respecto a la implementación de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia para el monitoreo de las emisiones.

	PROS	CONTRAS
1	Las autoridades (52 %) consideran la implementación de drones en sus regiones como un objetivo a mediano plazo, ya que han indicado una meta de menos de ocho años para alcanzarlo. Por tanto, la tecnología de drones tiene un mercado que explorar.	Sin embargo, se enfrentarán a algunos desafíos cruciales a la hora de obtener permisos para instalar drones teniendo en cuenta la legislación nacional relativa a las coerciones de seguridad en las zonas costeras.
2	Los países tienen una visión más amplia del medio ambiente y un presupuesto ilimitado, mientras que algunos países mencionaron que aceptarían un precio inferior a 600 EUR por buque. En general, se observa que las autoridades se muestran positivas en cuanto a los gastos que se van a incurrir.	Sin embargo, los trámites para ejecutar el presupuesto llevan mucho tiempo.

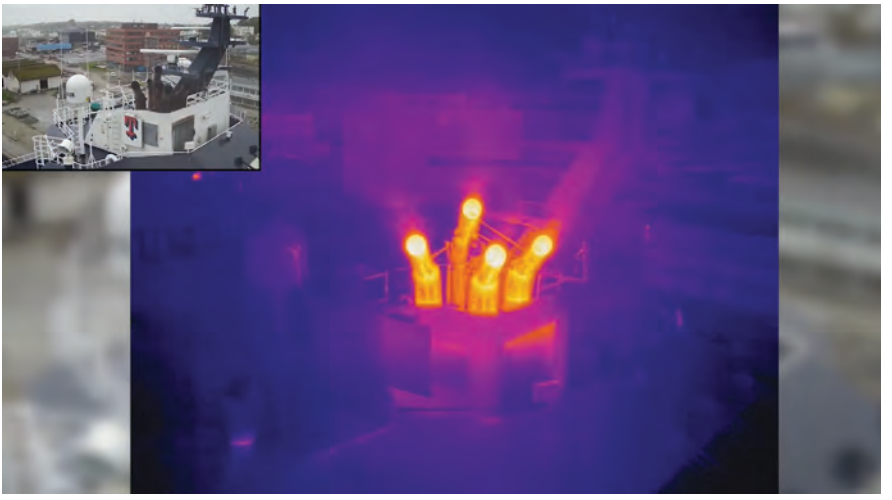
3	Con la ayuda de la tecnología, las autoridades tendrán mayores ingresos en forma de más sanciones que justificarán los gastos de su implementación.	Los gastos pueden tardar más en recuperarse en un caso en el que la ejecución se retrasa debido a demoras procesales.
4	Una forma más científica de imponer multas a los buques que no cumplan las normas aportará más transparencia y confianza a los buques y a sus propietarios.	La gestión del cambio puede ser un desafío cuando el personal está acostumbrado a procesos manuales.

Sistema de aeronaves pilotadas a distancia

La mayoría de las autoridades regulatorias continúan empleando métodos de control aleatorio basadas en inspecciones llevadas a cabo por el Estado rector del puerto para la supervisión de las emisiones de buques. Los hallazgos de nuestra encuesta proporcionan pruebas concluyentes de que la adopción de tecnología de drones para la detección de emisiones atmosféricas de buques es de vital importancia. Por lo tanto, la implementación de drones se presenta como una herramienta prometedora para el control de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en esta área. Las autoridades portuarias y marítimas, identificadas como el segundo grupo de partes interesadas en el estudio realizado por el equipo técnico de Sea Focus, deberían considerar con urgencia la implementación de drones de detección de emisiones en un futuro cercano, según los resultados recabados en la encuesta.

El proyecto desarrollado por Sea Focus introduce a NUAer como una destacada alternativa en el ámbito de soluciones tecnológicas para la monitorización y control de emisiones provenientes de embarcaciones. Un logro notable de este proyecto radica en la implementación exitosa de un dispositivo tecnológico capaz de detectar, medir y representar diversas sustancias gaseosas y partículas. Cabe destacar que este dispositivo de medición, con un peso inferior a un kilogramo, puede desplegarse tanto como una unidad portátil autónoma como en conjunción con una aeronave no tripulada (Figura 8). La tecnología en cuestión ha sido desarrollada y testeada por la compañía finlandesa Aeromon desde el año 2015, lo que subraya su robustez y eficacia en aplicaciones prácticas. Además, se beneficia de la experiencia operativa de Nordic Unmanned, una empresa especializada en la prestación de productos, operaciones y servicios de alta calidad relacionados con drones y la adquisición de datos.

Figura 8
Visualización gases y partículas desde el drone.



Nota. El drone posee capacidad de monitoreo de lo regulado en el Anexo VI del MARPOL en materia de SOx y NOx. También puede ser capaz de: monitoreo de deslizamiento de metano de buques propulsados por GNL, monitoreo de deslizamiento de amoníaco desde plantas SCR a bordo de buques, cuantificación de fugas de metano en instalaciones de producción de petróleo y gas, y mediciones de emisiones de NOx de motores de combustión. Fuente: Sea Focus (Proyecto NUAer).

La encuesta también consideró preguntas relacionadas con costes y presupuestos. Con respecto al modelo de fijación de precios, se constata que, si bien varios países cuentan con recursos financieros ilimitados en el contexto más amplio del entorno marítimo, ciertas naciones han establecido restricciones presupuestarias específicas. Por consiguiente, se plantea la necesidad de que la parte privada realice una exhaustiva evaluación de sus opciones comerciales, a través de un análisis detenido de posibles clientes, con el fin de evitar un uso ineficiente de los recursos financieros. Asimismo, el resultado de la encuesta muestra que un número significativo de autoridades y reguladores nacionales están dispuestos a adoptar drones rastreadores para la detección y el control de emisiones. Por ejemplo, estos drones han sido desplegados desde Cap Gris-Nez, en la costa de Pas de Calais, en el norte de Francia, utilizados por la Dirección General de Asuntos Marítimos, Pesca y Acuicultura de Francia (Buitendijk, 2022).

Mientras que la Agencia de Protección Ambiental de las Naciones Unidas (EPA) desempeña un papel importante al apoyar a los Estados en

la recopilación de datos sobre emisiones y en la reducción de estimaciones, además de proporcionar información sobre oportunidades a nivel estatal para reducir emisiones de gases de efecto invernadero altamente potentes en los continentes en desarrollo, aún se encuentran en la fase inicial de la creación de modelos para contribuir a ello. Actualmente, los reguladores están preparando normas destinadas a reducir las emisiones de óxidos de azufre y contaminantes del transporte marítimo atribuidos a la lluvia ácida y al agravamiento de condiciones de salud humana como el asma. En los Países Bajos, donde se encuentra el puerto más grande de Europa, se están realizando preparativos para utilizar un vehículo volador no tripulado capaz de viajar a más de diez millas de la costa para detectar emisiones de los barcos. La autoridad local lo llama "superdron" (Wittels & Koh, 2019).

Por otro lado, la implementación de tecnología en países en vías de desarrollo, como la región de América Latina, se presenta como un desafío significativo. Por tanto, resulta fundamental adquirir un conocimiento profundo de la industria del transporte marítimo en la región y comprender a fondo a los posibles usuarios. El informe presentado por Sea Focus llevó a cabo un análisis PESTEL al año 2022, que arroja los siguientes hallazgos:

1. Político: Se observa la influencia de factores políticos, como el impacto del conflicto entre Rusia y Ucrania, la considerable atención geográfica centrada en el mar del Sudeste Asiático, y las complejidades relacionadas con las aguas nacionales en estrechos de gran importancia. Por ejemplo, partes interesadas como Hong Kong controlan el canal de Suez, mientras que Rotterdam controla el canal de Panamá. Además, en el contexto de Asia, existen disputas en el estrecho de Malaca. Estas circunstancias plantean desafíos para la implementación de drones en estas zonas disputadas, lo que podría requerir intervención política para abordar dichos problemas.
2. Económico: Se destaca que la región experimenta un crecimiento económico rápido en comparación con otros países en desarrollo. Más del 70% de los bienes se transportan a través del estrecho de Malaca, una ruta clave que conecta el Lejano Oriente con Europa y los Estados Unidos (UNCTAD, 2021). Como resultado, se puede prever un impacto significativo en las emisiones de buques en estas áreas estratégicas.
3. Social: Se aprecia un enfoque a largo plazo y orientado al futuro en lo que respecta al equilibrio del triángulo de sostenibilidad empresarial en relación con las preocupaciones medioambientales. Además, se señala que la mayoría de las sociedades de la Unión Europea respaldan los 17

Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (ODS), en particular los relacionados con el medio ambiente (ODS 13, 14 y 15).

4. Tecnológico: Se destaca una tendencia emergente hacia la digitalización y la tecnología AIS, lo que facilita el acceso a la base de datos marítima y se presenta como beneficioso para la industria del mercado.
5. Medio ambiente (*environment*): Se resalta el impacto del Anexo VI del Convenio MARPOL en la industria marítima, especialmente en lo que concierne a la necesidad de supervisar el control de emisiones en todos los países y el objetivo de alcanzar cero emisiones en la Unión Europea para el año 2050.
6. Legal: Se pone de manifiesto la existencia de diferentes regulaciones relacionadas con drones automatizados en territorios marítimos internacionales, lo que plantea desafíos legales y normativos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede constatar que las autoridades consideran la implementación de una tecnología de medición de emisiones como un objetivo de mediano plazo. Este enfoque está basado en la evidencia para aplicar sanciones a las embarcaciones que no cumplen con las normativas, permitiendo así el control de la contaminación generada en sus áreas operativas.

Conclusión

Los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia para el monitoreo de las emisiones GEI provenientes de buques, representan una herramienta potencial valiosa para la administración pública. Estos sistemas ofrecen ventajas significativas, incluyendo la capacidad de alcanzar distancias considerablemente mayores en comparación con las unidades de superficie, la capacidad de proporcionar información en tiempo real o almacenar datos en la nube, y la posibilidad de ser programados para llevar a cabo misiones específicas. Su utilización contribuye a la reducción de riesgos para el personal, mejora la seguridad y mantiene los costos operativos bajos. En última instancia, la presencia de estos servicios actúa como un efectivo disuasorio que impulsa a la industria naviera a cumplir con las regulaciones ambientales.

En resumen, la utilización de drones se presenta como una herramienta altamente eficaz para las autoridades encargadas de supervisar el tráfico de embarcaciones en sus puertos. Al emplear drones, estas entidades pueden llevar a cabo un filtrado previo de las miles de embarcaciones que entran y salen de sus instalaciones. Esto les permite identificar con anticipación

si alguna de ellas están quemando combustibles que no cumplen con las normativas ambientales. Como resultado, pueden tomar decisiones informadas sobre cuál transportista debe ser seleccionado para una inspección manual más detallada. La implementación de drones no solo agiliza el proceso de inspección, sino que también optimiza los recursos humanos y financieros, ya que se enfocan en inspecciones más selectivas y efectivas. Además, esta tecnología ofrece la ventaja de la recopilación de datos en tiempo real, lo que permite una toma de decisiones más precisa y oportuna en la gestión de la conformidad con las regulaciones ambientales en el transporte marítimo.

Referencias

1. BINDOFF, N.L., W.W.L. Cheung, J.G. Kairo, J. Arístegui, V.A. Guinder, R. Hallberg, N. Hilmi, N. Jiao, M.S. Karim, L. Levin, S. O'Donoghue, S.R. Purca Cuicapusa, B. Rinkevich, T. Suga, A. Tagliabue, and P. Williamson. Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. 2019.
2. BUITENDIJK, M. EMSA drones sniff emissions from ships in the Channel. SWZ Maritime. [Los drones de la EMSA detectan las emisiones de los barcos en el Canal de la Mancha]. 2022. Disponible en: https://swzmaritime.nl/news/2022/05/30/emsa-drones-sniff-emissions-from-ships-in-the-channel/
3. CARBON MARKET WATCH. The EU ETS How it works & its role in transitioning away from coal [Archivo de Vídeo]. Youtube. 8 de noviembre de 2016. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=rj7zg9w99Jg
4. COMER, B., CARVALHO, F., (2023). The International Council on Clean Transportation: IMO's Newly Revised GHG Strategy: What it means for shipping and the Paris Agreement. [El Consejo Internacional sobre Transporte Limpio: La estrategia de GEI recientemente revisada de la OMI: lo que significa para el transporte marítimo y el Acuerdo de París.]. disponible en https://theicct.org/marine-imo-updated-ghg-strategy-jul23/
5. COMISIÓN EUROPEA. What is the EU ETS? [¿Qué es el EU ETS?]. 2023. Disponible en: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/what-eu-ets_en
6. CORBETT, J.J., Winebrake, J.J., Green, E.H., Kasibhatla, P., Eyring, V., Lauer, A., 2007. *Mortality from ship emissions: a global assessment*. [Mortalidad por emisiones de buques: una evaluación global]. Environ. Sci. Technol. 41, 8512e8518. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1021/es071686z

7. GOBIERNO DE AUSTRALIA. (2023). Energy efficiency design measure. [Medida de diseño de eficiencia energética]. Disponible en https://www.amsa.gov.au/marine-environment/air-pollution/energy-efficiency-design-measure
8. INTELIGENCE HUNT. Intelligence Hunt 9 Talent team Condores del Mar presentation to Nuaer [Archivo de Vídeo]. Youtube. 22 de junio de 2022. https://www.youtube.com/watch?v=Ko5NEkpbQss&t=28s
9. JESSEN, Henning. "El Derecho del Mar y la Protección del Medio Marino". Universidad Marítima Mundial. Malmo. 12 de abril de 2022.
10. JOHANSSON, L., Jalkanen, J. P., & Kukkonen, J. *Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution*. [Evaluación global de las emisiones del transporte marítimo en 2015 con alta resolución espacial y temporal]. (2017). *Atmospheric Environment*, *167*, 403-415.
11. LIU, H., Fu, M., Jin, X., Shang, Y., Shindell, D., Faluvegi, G., Shindell, C., He, K., 2016. Health and climate impacts of ocean-going vessels in East Asia. [Impactos sobre la salud y el clima de los buques oceánicos en el este de Asia]. Nat. Clim. Change 5. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1038/NCLIMATE3083.
12. MA, S. (2020). Economic of Maritime Business (1st ed.). [Economía del Negocio Marítimo (1.ª ed.)]. Routledge.
13. MURRAY, C. J., Aravkin, A. Y., Zheng, P., Abbafati, C., Abbas, K. M., Abbasi-Kangevari, M., … & Borzouei, S. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. [Carga global de 87 factores de riesgo en 204 países y territorios, 1990-2019: un análisis sistemático para el Estudio de carga global de enfermedades 2019]. 2020. The Lancet, 396(10258), 1223-1249.
14. NACIONES UNIDAS. *What are the Sustainable Development Goals?* [A¿Cuáles son los Objetivos de Desarrollo Sostenible?]. 2022. Disponible en: https://www.undp.org/sustainable-development-goals?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GSR&gclid=Cj0KCQjwyYKUBhDJARIsAMj9lkHerd1OnL2TYc_sq1PRy3rBW4IkvIaQnSjzRIOpvF66F2pbH9i9K4UaApIcEALw_wcB
15. OMI y el Instituto Marino de Flandes. Emission Control Areas (ECAs) designated under regulation 13 of MARPOL Annex VI (NOx emission control). [Áreas de control de emisiones (ECA) designadas según la regla 13 del Anexo VI de MARPOL (control de emisiones de NOx)]. 2020. Disponible en: https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part7/ports-policies-and-politics/emission-control-areas-maritime-shipping/.
16. ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE LA SALUD [OMS]. (2022). Ambient (outdoor) air pollution. [OMS]. Contaminación del aire ambiente (exterior). Disponible en https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health?gclid=Cj0KCQiAjMKqBhCgARIsAPDgWlwghF55jUy_lAdDj9JMzyzljQ

6UCXdx85lloc4zku9f6ofY yB2YtwwaAkkzEALw_wcB
17. ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL [OMI]. (2018). Marine Environment Protection Committee (MEPC), 72nd session [Comité de Protección del Medio Marino (MEPC), 72.º período de sesiones]. Disponible en: https://www.imo.org/en/mediacentre/imomediaaccreditation/pages/mepc72.aspx
18. ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL [OMI]. *Cutting GHG emissions from shipping - 10 years of mandatory*. [Reducción de las emisiones de GEI del transporte marítimo: 10 años de obligación]. 2021. Disponible en: https://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/pages/DecadeOfGHGAction.aspx
19. ORGANIZACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL [OMI]. *MARPOL Consolidated edition 2022: Articles, protocols, annexes and unified interpretations of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the 1978 and 1997 protocols* [MARPOL Edición consolidada 2022: Artículos, protocolos, anexos e interpretaciones unificadas del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973, modificado por los protocolos de 1978 y 1997]. 2022.
20. PARLAMENTO EUROPEO. *Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a system for greenhouse gas emission allowance trading within the Union and amending Council Directive 96/61/EC* [Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un sistema para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero dentro de la Unión y se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo]. 2013. Disponible en: ttps://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02003L0087-20230605
21. RICCUCCI, N. *Public administration: Traditions of inquiry and philosophies of knowledge*. [Administración pública: tradiciones de investigación y filosofías del conocimiento]. Georgetown University Press, 2010.
22. SEA FOCUS. Inteligence Hunt. 2023. Disponible en: https://seafocus.international/what-is-it-about%3F
23. UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT [UNCTAD] *Review of Maritime Transport 2021*. United Nations, 2021. Disponible en: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021_en_0.pdf
24. VESPER, I. Shipping pollution hotspots mapped with real-time data, [Puntos críticos de contaminación del transporte marítimo mapeados con datos en tiempo real]. 2017. Disponible en: https://www.eco-business.com/news/shipping-pollution-hotspots-mapped-with-real-time-data
25. WITTELS, J. Koh, Super Sniffer Drones and Jail: Regulators Get Tough on Shipping [Drones súper rastreadores y cárcel: los reguladores se ponen estrictos con el transporte marítimo]. Gcaptain. 2019. Disponible en: https://gcaptain.com/super-sniffer-drones-and-jail-regulators-get-tough-on-shipping/