



HUELLA DE CARBONO EN PUERTOS CANARIOS

Trabajo Fin de Grado

Grado en Náutica y Transporte Marítimo

Julio de 2023

Autor:

Carlos Arnay Chinaa

Tutor:

Prof. Dr. José Agustín González Almeida

Escuela Politécnica Superior de Ingeniería

Sección Náutica, Máquinas y Radioelectrónica Naval

Universidad de La Laguna

D. José Agustín González Almeida, Profesor de la UD de Marina Civil, perteneciente al Departamento de Ingeniería Civil, Náutica y Marítima de la Universidad de La Laguna:

Expone que:

D. **CARLOS ARNAY CHINEA**, ha realizado bajo mi dirección el trabajo fin de grado titulado: **HUELLA DE CARBONO EN PUERTOS CANARIOS**.

Revisado dicho trabajo, estimo reúne los requisitos para ser juzgado por el tribunal que sea designado para su lectura.

Para que conste y surta los efectos oportunos, expido y firmo el presente documento.

En Santa Cruz de Tenerife a 15 de julio de 2023.

Fdo.: José Agustín González Almeida.

Director del trabajo.

Arnay Chinaa, Carlos (2023). *HUELLA DE CARBONO Y PUERTOS CANARIOS*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

RESUMEN

En primer lugar, el presente Trabajo de Fin de Grado utilizará la información de diferentes fuentes para centrarse en la huella de carbono con una especial mención en los puertos de las Islas Canarias con un adicional ranking de los países Europeos más contaminantes, en relación a las emisiones de gases de efecto invernadero, al igual que se analizó el impacto ambiental y en la salud de estos gases en la atmosfera como resultado de las operaciones portuarias y las actividades de transporte marítimo, haciendo énfasis en la urgencia por abordar este tema de preocupación global.

En segundo lugar, el estudio hace un análisis de las regulaciones y normativas vigentes, para la reducción de emisiones contaminantes y de la huella de carbono en el sector marítimo en buques nuevos y existentes, así como se destaca también los acuerdos más importantes entre los países del mundo y la necesidad de implementar políticas y protocolos efectivos que promuevan la eficiencia energética, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental y avanzar hacia una navegación más sostenible.

Por último, se exploran y estudian diversas tecnologías innovadoras como soluciones para reducir la huella de carbono en el transporte naval, donde se ha incluido un sistema de lubricación por aire con su respectivo método de funcionamiento, el uso de buques a vela y el desarrollo de combustibles alternativos como el gas natural licuado y el hidrógeno verde.

Palabras claves: [Emisiones, reducción, marítimo]

Arnay Chinaa, Carlos. (2023). *HUELLA DE CARBONO Y PUERTOS CANARIOS*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de La Laguna.

ABSTRACT

Firstly, this Final Degree Project will use information from different sources to focus on the carbon footprint with a special mention in the ports of the Canary Islands with an additional ranking of the most polluting European countries, in relation to greenhouse gas emissions, as well as analyzing the environmental and health impact of these gases in the atmosphere as a result of port operations and shipping activities, emphasizing the urgency to address this issue of global concern.

Secondly, the study analyzes current regulations and standards for the reduction of pollutant emissions and carbon footprint in the maritime sector in new and existing ships, as well as highlighting the most important agreements between countries around the world and the need to implement effective policies and protocols that promote energy efficiency, in order to mitigate the environmental impact and move towards a more sustainable shipping.

Finally, several innovative technologies are explored and studied as solutions to reduce the carbon footprint in shipping, where an air lubrication system with its respective method of operation, the use of sailing ships and the development of alternative fuels such as liquefied natural gas and green hydrogen have been included.

Keywords: [Emissions, reduction, maritime].

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, en especial a mis padres.

A mi novia Sandra.

Índice del TFG

1. Introducción.....	1
2. Emisiones.	2
2.1. Tipos de emisiones que producen los buques.	3
2.1.1 Emisiones de gases contaminantes.....	3
2.1.2 Emisiones de gas efecto invernadero.	5
2.2 Tipos de emisiones en un puerto.	7
2.2.1 Ranking por países de emisiones de CO2 provenientes de las actividades portuarias (2022).	9
3. Puertos Canarios.....	11
3.1 Resultados Obtenidos.....	11
3.1.1 Santa Cruz de Tenerife	12
3.1.2 Los Cristianos (Sur de Tenerife).....	13
3.1.3 Santa Cruz de La Palma	15
3.1.4 San Sebastián de La Gomera	16
3.1.5 La Estaca (El Hierro).....	18
3.1.6 Granadilla.....	19
3.1.7 Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife.....	21
4. Impactos.....	23
4.1 Impacto ambiental.....	23
4.2 Impacto en la salud.....	26
5. Regulaciones y normativas para la reducción de las emisiones de CO2.....	31

5.1	Protocolo KYOTO 1997	32
5.2	Acuerdo de París	34
5.2.1	¿Cómo se apoyan los países?.....	35
5.3	Notas del 4º Estudio de la OMI	35
5.4	Tasa sobre el Combustible y el Fondo Internacional de Compensación.	36
5.5	Gestión de Eficiencia Energética de Buques (SEEMP)	37
5.6	Índice de Eficiencia Energética (EEDI)	39
5.7	Nuevas Regulaciones.	43
5.7.1	Índice de Eficiencia Energética de Buques Existentes (EEXI).....	44
5.7.2	Indicador de Intensidad de Carbono (CII)	45
6.	Tecnologías y prácticas para reducir la huella de carbono.....	46
6.1	Sistema de lubricación por aire.....	46
6.1.1	Método.....	48
6.2	Buques a Vela	52
6.3	Gestión Energética	53
6.3.1	Diseño Naviero para la Eficiencia Energética	54
6.4	Combustibles alternativos	55
6.4.1	Gas Natural Licuado (GNL).....	56
6.4.2	Hidrógeno Verde.....	58
	Conclusiones.....	61
	Conclusions.....	62
	Bibliografía	63

Índice de Imágenes

Ilustración 1. Comparativa de contenido de azufre en combustibles marinos frente combustibles terrestres. Fuente: https://www.eldiario.es	5
Ilustración 2. Alcances y elementos. Fuente: https://www.puertosedetenerife.org	8
Ilustración 3. Ranking por países de emisiones en CO2 provenientes de las actividades portuarias. Fuente: https://www.lavanguardia.com	9
Ilustración 4. Comparación de emisiones en buques y toda España. Fuente: https://efeverde.com	10
Ilustración 5. Acidificación de los Océanos. Fuente: https://www.iberdrola.com	24
Ilustración 6. Enfermedades infecciosas y parasitarias que pueden verse en España. Fuente: https://scielo.isciii.es	28
Ilustración 7. Ilustración 7: Distribución Global de emisiones de CO2 por diferentes tipos de buques. Fuente: https://repositorio.cepal.org	31
Ilustración 8. Ilustración 8: Aceptación del protocolo Kyoto a nivel Mundial. Fuente: https://www.ingenieros.es	33
Ilustración 9. Formula índice de Eficiencia Energética Operativa. Fuente: https://www.netwavesystem.net	37
Ilustración 10. Formulario de Gestión de Eficiencia Energética de Buques. Fuente: MEPC.213(63) Pdf.	39
Ilustración 11. Fórmula de cálculo del índice de Eficiencia Energética. Fuente: https://www.meoexamz.co.in	41
Ilustración 12. Plan EEDI. Fuente: https://www.imo.org	43
Ilustración 13. Plan EEXI. Fuente: https://www.imo.org	44
Ilustración 14. Plan CII. Fuente: https://www.imo.org	45
Ilustración 15. Air Lubrication System. Fuente: https://www.marineinsight.com	46
Ilustración 16. Air Lubrication System by Mitsubishi. Fuente: https://ingenieromarino.com . ..	47
Ilustración 17. Formula de Resistencias. Fuente: https://ingenieromarino.com	48

Ilustración 18. Esquema de resistencias. Fuente: https://ingenieromarino.com	49
Ilustración 19. Esquema del sistema de Lubricación por Aire (ALS). Fuente: https://ingenieromarino.com	50
Ilustración 20. Esquema del sistema Air Lubrication System. Fuente: https://ingenieromarino.com	50
Ilustración 21. OceanBird impulsado por viento. Fuente: https://www.infobae.com	53
Ilustración 22. Medidas de mejora de la gestión energética. Fuente: https://fundspeople.com	54
Ilustración 23. Proceso de combustión de mezcla Dielsel-Gas. Fuente: http://maquinasdebarcos.blogspot.com	57
Ilustración 24. Ventajas del motor Dual frente motores GNL. Fuente: http://maquinasdebarcos.blogspot.com	57
Ilustración 25. Planta de Hidrógeno verde. Fuente: https://www.iberdrola.com	58
Ilustración 26. Tanques de almacenamiento de H2 verde. Fuente: https://www.iberdrola.com	59
Ilustración 27. "Ulstein SX190". Fuente: https://ulstein.com	60

Índice de Tablas y Gráficos

- Tabla 1: Huella de carbono del puerto de Santa cruz de Tenerife (kgCO₂eq)
- Tabla 2: Huella de carbono del puerto de Los Cristianos (kgCO₂eq)
- Tabla 3: Huella de carbono del puerto de Santa Cruz de La Palma (kgCO₂eq)
- Tabla 4: Huella de carbono del puerto de San Sebastián de La Gomera (kgCO₂eq)
- Tabla 5: Huella de carbono del puerto de La Estaca (El Hierro) (kgCO₂eq)
- Tabla 6: Huella de carbono del puerto de Granadilla (kgCO₂eq)
- Tabla 7: Huella de carbono de la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (kgCO₂eq)
- Tabla 8: Factores de reducción (en porcentaje) para el EEDI en relación con el EEDI Línea de referencia.
- Tabla 9: Valor de Línea de Referencia
- Gráfico 1: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de Santa cruz de Tenerife (kgCO₂eq)
- Gráfico 2: Huella de carbono del puerto de Santa cruz de Tenerife (kgCO₂eq)
- Gráfico 3: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de Los Cristianos (kgCO₂eq)
- Gráfico 4: Huella de carbono del puerto de Los Cristianos (kgCO₂eq)
- Gráfico 5: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de Santa cruz de La Palma (kgCO₂eq)
- Gráfico 6: Huella de carbono del puerto de Santa cruz de La Palma (kgCO₂eq)
- Gráfico 7: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto San Sebastián de La Gomera (kgCO₂eq)
- Gráfico 8: Huella de carbono del puerto de San Sebastián de La Gomera (kgCO₂eq)
- Gráfico 9: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de La Estaca (El Hierro) (kgCO₂eq)
- Gráfico 10: Huella de carbono del puerto de La Estaca (El Hierro) (kgCO₂eq)
- Gráfico 11: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de Granadilla (kgCO₂eq)
- Gráfico 12: Huella de carbono del puerto de Granadilla (kgCO₂eq)
- Gráfico 13: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (kgCO₂eq)
- Gráfico 14: Huella de carbono del puerto de la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (kgCO₂eq)

1. Introducción.

La huella de carbono, expresada generalmente en Toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente, es una medida para cuantificar la cantidad total de gases de efecto invernadero, emitidos directa o indirectamente por una actividad, producto, regiones geográficas o entidades durante su ciclo de vida completo [1]. Esta, la cual a día de hoy se ha convertido en una medida clave para estimar y gestionar el impacto ambiental de las transacciones económicas diferentes, que sirve para los puertos de Canarias, a su vez que, a muchos otros, siendo importante analizar sus emisiones de carbono, para entender su contribución al total de emisiones de gases de efecto invernadero y así identificar oportunidades de reducción de impacto.

Así pues, la actividad de los puertos de Canarias se estudia con detenimiento para encontrar soluciones que minimicen su impacto en el medio ambiente, siendo de vital importancia tomar medidas para reducir en gran parte las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a este proceso, fomentando el uso de tecnologías más limpias y eficientes e implementando prácticas de gestión portuaria sostenible, ya que pueden surgir problemas de gravedad ambiental a la vez que para la salud como analizaremos en este estudio. La Organización Marítima Internacional (OMI), un organismo especializado de las Naciones Unidas ha desempeñado un papel importante en la promoción de prácticas de transporte marítimo sostenibles, que hablaremos en detenimiento más adelante, en todo el mundo. Reconociendo la importancia de este sector para el comercio internacional, la OMI ha establecido reglas y normas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques y puertos.

En este contexto, es importante concienciar tanto a nivel organizativo como individual de la importancia de evaluar y reducir la huella de carbono de los puertos de Canarias. En este trabajo de investigación se abordará el tema de las emisiones de carbono en los puertos canarios desde un punto de vista consciente de la realidad que nos rodea y oficial. A través del análisis de las prácticas actuales y las medidas implementadas, se buscará brindar una imagen integral de la situación actual, identificar desafíos y oportunidades, y recomendar acciones específicas que podrían reducir significativamente la huella de carbono de buques e infraestructuras portuarias.

2. Emisiones.

Los buques mercantes son un gran problema para la contaminación ambiental mediante los gases que desprenden, ya sea directa o indirectamente. El 90% del comercio mundial se desarrolla mediante el mar con la cuantía de 90.000 buques siendo la industria naval la responsable de una gran parte del cambio climático, la Organización Marítima Internacional (OMI) estimó unos 950 millones de toneladas métricas anuales de CO₂ en el año 2022. También, estudios provenientes de la ONG "OCEANA" indican que si el transporte naval fuera un país sería el sexto que más contaminase del mundo, siendo superado por Estados Unidos, China, Rusia, India y Japón. Sin embargo, en el sector naval no están tan reguladas las emisiones de CO₂, aunque, gracias a varias regulaciones y normativas que han sido empleadas y que comentaremos en puntos más adelante, se está reduciendo considerablemente para la actualidad y futuro [2].

La contaminación de este sector del transporte ha recibido poca atención ya que la mayor parte ocurre en mar abierto, el tráfico marítimo representa una fuente especialmente relevante de polución atmosférica en zonas costeras y ciudades portuarias, lo que constituye un riesgo significativo para la salud pública y el medio ambiente. De acuerdo con investigaciones científicas, la Comisión Europea calcula que las emisiones atmosféricas contaminantes de los barcos causan aproximadamente 50,000 fallecimientos prematuros y generan gastos sanitarios de 60,000 millones de euros anuales en la Unión Europea. Es un hecho innegable que, a pesar de desempeñar un papel cada vez mayor en la economía, el transporte marítimo sigue estando muy por detrás de otras industrias en sus esfuerzos por reducir la contaminación del aire generada por esta industria. Si no se actúa con brevedad, el creciente desarrollo del movimiento marítimo de bienes y pasajeros conducirá a un aumento en las emisiones de contaminación en este campo.

Afortunadamente, ha habido muchas opciones de tecnología y operación (cambio de combustible, mejora del motor, velocidad reductora, etc.), que puede usarse para reducir significativamente la liberación de contaminantes del aire por los navíos, pero la experiencia muestra solo una manera efectiva y eficaz, estas medidas se utilizan en realidad como aprobación y aplicación estricta de reglas legales al respecto.

El informe sobre la polución de cruceros realizado por T&E (Transport & Environment) indica que existen diversas alternativas tecnológicas avanzadas para minimizar la contaminación generada por estos barcos en el mar. Al conectar los cruceros a la red eléctrica mientras están atracados en los puertos, se pueden disminuir las emisiones en el lugar; las

baterías resultan ser una opción viable para trayectos cortos, y el uso de hidrógeno como fuente de energía podría ser aplicable incluso en los cruceros de mayor tamaño. No obstante, según T&E, la industria de cruceros no muestra una disposición a adoptar estos cambios de manera voluntaria, lo que hace necesario que los gobiernos intervengan y exijan el cumplimiento de normativas de emisiones cero. [3].

2.1. Tipos de emisiones que producen los buques.

En primer lugar, hay que diferenciar dos emisiones distintas entre sí, pero con un alto grado de contaminación, siendo las emisiones de gases contaminantes y las emisiones de gas efecto invernadero. Pero antes, cabe destacar que podemos encontrarnos con dos tipos de emisiones [4]:

- Emisiones específicas: las emitidas localmente a la atmósfera. Esto significa que a menudo tienen un punto específico para escapar a la atmósfera, como la chimenea del buque por donde se expulsan los gases de motores, turbinas y calderas. Dado que están localizadas, estas emisiones pueden controlarse y medirse fácilmente.
- Emisiones difusas: Son emisiones que no son locales (no salen por la chimenea) y por tanto son de difícil control, por ejemplo, emisiones de humos o gases por fugas, vapores, vertido y/o manipulación de sustancias, etc.

2.1.1 Emisiones de gases contaminantes.

Estos gases son expulsados de los buques como resultado de la combustión de los combustibles fósiles donde se incluye [5]:

- Óxido de Nitrógeno (NO_x) y Óxido de Azufre (SO_x): Produciéndose a partir del nitrógeno contenido en el combustible que podría ser petróleo y/o carbón, oxidando el hidrógeno y el carbono durante la combustión, transformándose en NO_x y nitrógeno molecular. Se debe tener en cuenta el aumento de la temperatura de combustión, la presencia de oxígeno y la presencia de nitrógeno en el aire de combustión para reducir las emisiones de NO_x . Una vez en la atmósfera, hay varias posibilidades de transformación:
 - Luz solar: La conversión NO_2 a NO depende de la intensidad de la radiación solar y de la cantidad de ozono disponible.

- $\text{NO}_2 + \text{h} \rightarrow \text{NO} + \text{O}$ (el átomo de oxígeno puede combinarse con el oxígeno molecular O_2 para formar el conocido ozono O_3)
- Formación de lluvia ácida: Cuando el clima en de la zona este lluviosa y el NO_2 entran en contacto con el agua se formará ácido nitroso (HNO_2) y ácido nítrico (HNO_3), que son muy corrosivos y peligrosos no solo para la vida humana si no para las estructuras metálicas, plantas, árboles...
- Formación de niebla tóxica: Aquí actúan varios elementos como el azufre presente en el combustible que podría variar según el grado y calidad de este. Para calcular la cantidad de SO_2 producida por tonelada de combustible (ejemplo de concentración en azufre del 2%) se haría lo siguiente:
 - $1 \text{ T de fuel oil} \times 2\% \text{ azufre} \times 640 \text{ KG de SO}_2 / \text{T de azufre} = 12.8 \text{ kg de SO}_2 \text{ por tonelada de fuel oil quemado.}$

Según la OMI, el transporte marítimo provoca un 15% de las emisiones de NO_x y el 13% de las emisiones antropogénicas de SO_x en todo el mundo. Aunque la OMI ha fijado un nuevo límite máximo de 5000 ppm para los combustibles marinos a partir del 1 de enero de 2020, incluso entonces este límite será 500 veces más alto que el nivel permitido para los combustibles marinos para motores diésel de carretera.

Según datos oficiales del gobierno español, referidos a todo el estado español en 2016, donde el transporte marítimo internacional es responsable de una cantidad significativa de emisiones contaminantes. Según diversas fuentes, el transporte marítimo es responsable del 40% de las emisiones de NO_x a la atmósfera, del 44% de las emisiones de SO_x y del 22% de partículas finas ($\text{PM}_{2,5}$) [3].

En la siguiente imagen observamos una comparativa de contenido de Azufre en combustibles marinos versus combustibles terrestres los cuales están representados en Partes Por Millón:

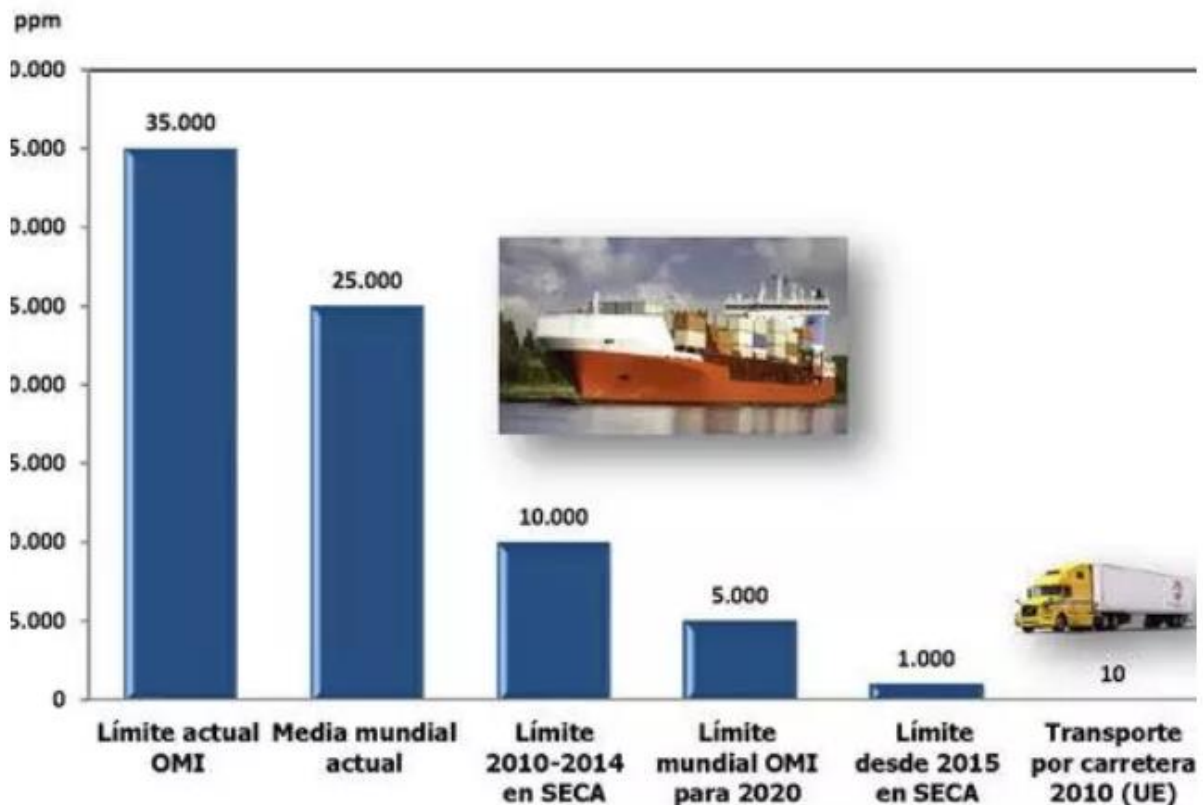


Ilustración 1. Comparativa de contenido de azufre en combustibles marinos frente combustibles terrestres.
Fuente: <https://www.eldiario.es>.

2.1.2 Emisiones de gas efecto invernadero.

Los gases de efecto invernadero son gases que atrapan el calor en la atmósfera y evitan que se escape al espacio, provocando un aumento de la temperatura media de la Tierra, habiendo estado en unos -18 grados Celsius mientras que de media actualmente tenemos 15 grados Celsius. Los principales gases de efecto invernadero que emergen de la tierra son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el ozono (O_3), vapor de agua (H_2O) y el óxido nitroso (N_2O). Además, existen grupos de estos gases completamente antropogénicos, como los clorofluorocarbonos (CFC), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los hidroclorofluorocarbónosos (HCFC), también conocidos como halocarbonos, y especies totalmente fluorinadas, como el hexafluoruro de azufre (SF_6) [6].

En cuanto a las emisiones, el CO_2 es el más abundante, representando el 75 % de todas las emisiones de GEI, (dentro de ese 75% el transporte internacional marítimo representa el 11,8%, la industria de la aviación un 11,2%, transporte de carga ferroviario un

2% y por último el transporte por carretera en un 72,6%) seguido del metano (16 %) y los óxidos de nitrógeno (8 %). Otros gases de efecto invernadero, como el ozono troposférico y los clorofluorocarbonos (CFC), también están presentes en la atmósfera, pero en cantidades más pequeñas. El hecho de que los barcos hayan estado emitiendo muchos gases de efecto invernadero a lo largo de los años está estrechamente relacionado con el crecimiento del comercio mundial y la expansión de la economía mundial. A medida que aumentaba la demanda de materias primas y productos, aumentaba el transporte marítimo y, por tanto, la emisión de gases de efecto invernadero.

En 1997, la Organización Marítima Internacional (OMI) comenzó a abordar los problemas relacionados con las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques a través del Protocolo de Kioto, el cual se menciona en otro punto más adelante, para reducir las emisiones del transporte marítimo en todo el mundo en un 8 % para 2012. Sin embargo, el sector del transporte no cumplió con las obligaciones de reducción de emisiones del acuerdo. Para hacer una comparación entre las distintas formas de transporte que tenemos será necesario distinguir entre un portacontenedores de 18.000 TEUs emitiendo 3 gr de CO₂ por cada 1 t/km frente a los 80 gr de CO₂ de un camión de más de 40 t de capacidad o los 435 gr del avión de 113 t de capacidad. Esto significa que un portacontenedores de 414.000 T x 3 gr de CO₂ estaría emitiendo 1,24 t de CO₂ por kilómetro recorrido [7].

En 2011, la OMI adoptó la Resolución MEPC.203(62) donde se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo en al menos un 40% para 2030, y en un 70% para 2050, en comparación con los niveles de 2008.

En cuanto a la contribución de los diferentes gases de efecto invernadero que emiten los barcos, siendo el CO₂ el principal motivo del calentamiento global, ya que representa la mayoría de las emisiones de GEI. En 2019, el transporte marítimo fue responsable del 2,89% las emisiones globales de CO₂, por ello, los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el metano (CH₄) también contribuyen al calentamiento global, aunque en menor medida que el CO₂. El NO_x conduce al ozono troposférico, que es un gas de efecto invernadero más potente, mientras que el metano es un gas de efecto invernadero más potente que el CO₂ [8].

2.2 Tipos de emisiones en un puerto.

Cuando hablamos de la huella de carbono de una Autoridad Portuaria y las fuentes de emisión analizadas en sus cálculos, utilizamos el término “Alcance”, clasificándolo en alcance 1, 2 y 3. Aunque hay que indicar en primer lugar, que las emisiones asociadas a las actividades de una organización se pueden clasificar como emisiones directas o indirectas:

- Emisiones directas de gases de efecto invernadero: Son emisiones de fuentes que son de su propiedad o que controlan organización. En una forma muy simple, pueden interpretarse como excepciones. emisiones in situ en el lugar donde se lleva a cabo la actividad, por ejemplo, emisiones causadas un sistema de calefacción regional si se basa en la quema de combustibles fósiles.
- Emisiones indirectas de GEI: Estas son las emisiones de las actividades de una organización, pero ocurre en fuentes que pertenecen o están controladas por otra organización. Y un ejemplo de emisiones indirectas son las emisiones de electricidad consumida por una organización cuyas emisiones se generan en el sitio de una generación particular de electricidad.

Una vez ya hayamos entendido la distinción previa de las emisiones directas e indirectas de GEI, toca aclarar la distinción de los “Alcances”:

- Alcance 1: emisiones directas de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, las emisiones de la combustión en calderas, hornos, vehículos, etc. propiedad o bajo el control de la entidad. Esto también incluye emisiones transitorias (por ejemplo, fugas de aire acondicionado, fugas de CH₄ de los conductos de aire, etc.).
- Alcance 2: emisiones indirectas de gases de efecto invernadero relacionadas con la generación de electricidad comprada y consumida por la organización. Si la autoridad portuaria tiene capacidad para generar energía renovable, se descuenta la potencia de consumo de la electricidad que ha sido inyectada a la red pública de distribución.
- Alcance 3: otras emisiones indirectas. Algunos ejemplos de actividades en el sector 3 son la extracción y producción de materiales comprados por la organización, servicios de navegación dentro del puerto incluyendo pilotaje, remolcadores, amarre y desamarre. Además, se ofrecen servicios a los pasajeros, como el embarque y desembarque, así como la carga y descarga de equipaje. También se realizan servicios de manipulación de mercancías,

como la carga, estiba, descarga, desestiba, tránsito marítimo y trasbordo de productos. Otros servicios incluyen la recepción de residuos generados por los buques y actividades comerciales relacionadas con la actividad portuaria, como el abastecimiento a los barcos, viajes de negocios con fondos externos, transporte de materias primas, combustible y productos (por ejemplo, logística) por un tercero o utilizando un producto o servicio proporcionada por otros.

En el siguiente esquema se mostrará los alcances citados y elementos que los componen [9]:

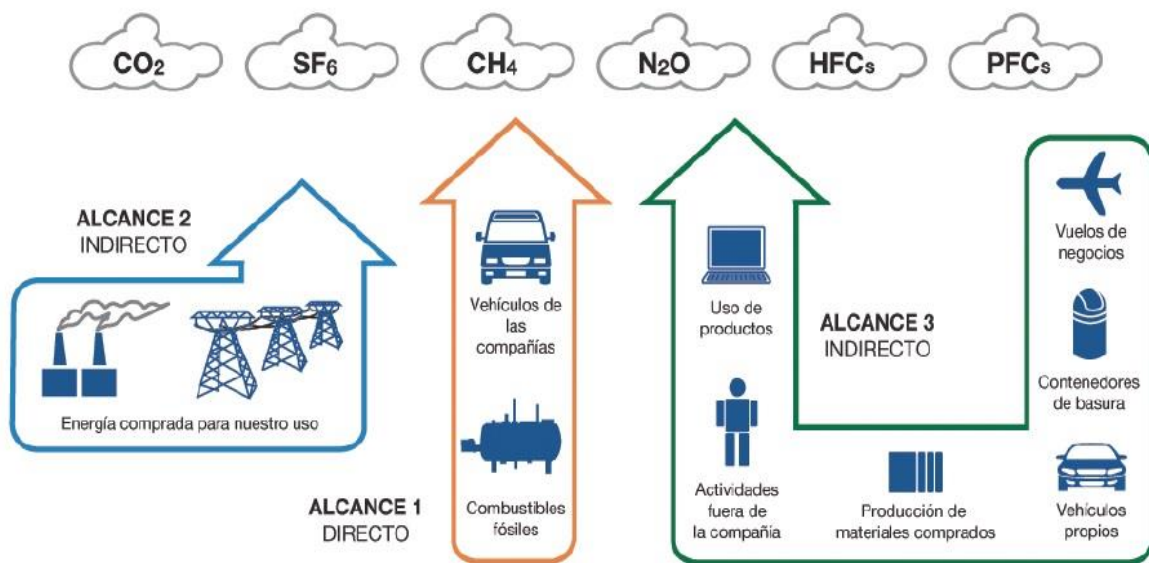


Ilustración 2. Alcances y elementos. Fuente: <https://www.puertosdetenerife.org>.

2.2.1 Ranking por países de emisiones de CO2 provenientes de las actividades portuarias (2022).

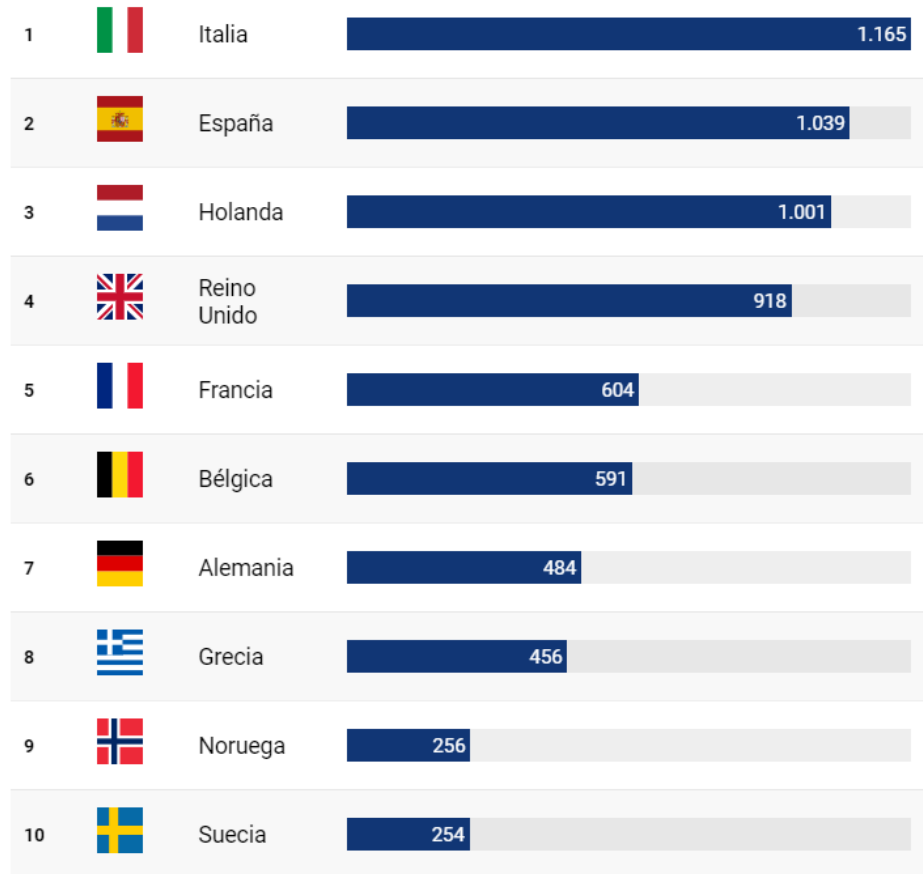


Tabla: Diseño Web LV • Fuente: Transport&Environment

LA VANGUARDIA

Ilustración 3. Ranking por países de emisiones en CO2 provenientes de las actividades portuarias.
Fuente: <https://www.lavanguardia.com>.

Tres de los diez puertos europeos con mayores emisiones de dióxido de carbono se encuentran en España. Algeciras (4º), Barcelona (5º) y Valencia (7º), seguidos de puertos como Róterdam y Hamburgo en este ranking. Los puertos españoles son responsables de la emisión de casi 14 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO₂). Así lo muestra el informe Transport & Environment (T&E), que pide a los puertos españoles que apoyen los esfuerzos de toda la Unión Europea para reducir el impacto climático del transporte marítimo, como así muestra una comparación en la siguiente imagen de cómo y porque España está en el segundo puesto [10]:



Ilustración 4. Comparación de emisiones en buques y toda España. Fuente: <https://efeverde.com>.

Un nutrido grupo de puertos europeos se ha sumado al World Shipping Council (un grupo que ejerce presión global sobre las empresas navieras de contenedores) en una petición para limitar el alcance geográfico de la propuesta de la Comisión Europea de incluir el transporte en el Esquema de Comercio de Emisiones.

Estas industrias tienen como objetivo eliminar hasta 100 millones de toneladas de emisiones de CO₂ y alrededor del 70% del negocio de contenedores marítimos del sistema comercial.

Ports presentó argumentos que justifican su posición de restar importancia a las ambiciones en la propuesta de la Comisión Europea. Advierten del riesgo de "fugas de carbono", es decir, la capacidad de los barcos de descargar en puertos de países cercanos a países de la UE para evitar tener que asumir el coste total del sistema de comercio de emisiones impuesto que producirán exportados para su importación en la Unión Europea. Unión. Por otro lado, investigaciones previas de T&E y la Comisión Europea han rechazado repetidamente estas afirmaciones, considerando que el riesgo es insignificante.

Los datos sobre las emisiones de los buques en puerto son exhaustivos. España es el segundo país de Europa con peores cifras de emisiones por operaciones portuarias como carga y descarga [10].

3. Puertos Canarios.

Antes de empezar a analizar los casos de varios de los puertos canarios es de vital necesidad entender la base metodológica de cálculo de la huella de carbono:

- **Huella de Carbono = Dato Actividad x Factor Emisión**

Donde los datos de actividad son un parámetro que determina el nivel o cantidad de actividad generada por las emisiones de gases de efecto invernadero, como, la cantidad de gas natural utilizado para calefacción (kWh de gas natural).

El factor de emisión (FE) considera las emisiones de gases de efecto invernadero en función de la unidad del parámetro "dato actividad". Estos factores difieren entre distintas actividades. Por ejemplo, en el caso de las operaciones descritas anteriormente (uso de gas natural para calefacción), el factor de emisión para 2017 alcanza 0,202 kg eq. CO₂/kWh de gas natural.

3.1 Resultados Obtenidos.

Las emisiones de la explotación de cada puerto y de toda la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife de los años 2017, 2018, 2019 y 2020 se han clasificado según los tres niveles de emisión mencionados anteriormente. También existen cronogramas de desarrollo para la gama 1+2 y para la 1+2 y 3.

3.1.1 Santa Cruz de Tenerife

Tabla 1: Huella de carbono del puerto de Santa cruz de Tenerife (kgCO₂eq)

Sta. Cruz de Tenerife	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Total, Alcance 1	110.913	97527	81.000	74.284
Total, Alcance 2	909.228	1.541.058	988.757	-10.363
Total, Alcance 3	75.131.828	61.969.549	60.408.167	103.878.221
Otras organizaciones que operan en la APT	64.773	2.096.196	2.108.418	1.749.046
Tráfico marítimo en la APT	73.675.772	58.448.934	56.883.414	100.945.100
Tráfico de vehículos en régimen de pasaje en la APT	175.461	193.251	217.205	147.796
Transporte de mercancías en camión dentro de la APT	1.215.821	1.231.168	1.199.130	1.036.279
TOTAL HC	76.151.969	63.608.134	61.477.924	103.942.142

Por consiguiente, se mostrará un gráfico de los Alcances 1 y 2, y otro con los Alcances 1, 2 y 3 en su totalidad:

Gráfico 1: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de Santa cruz de Tenerife (kgCO₂eq)

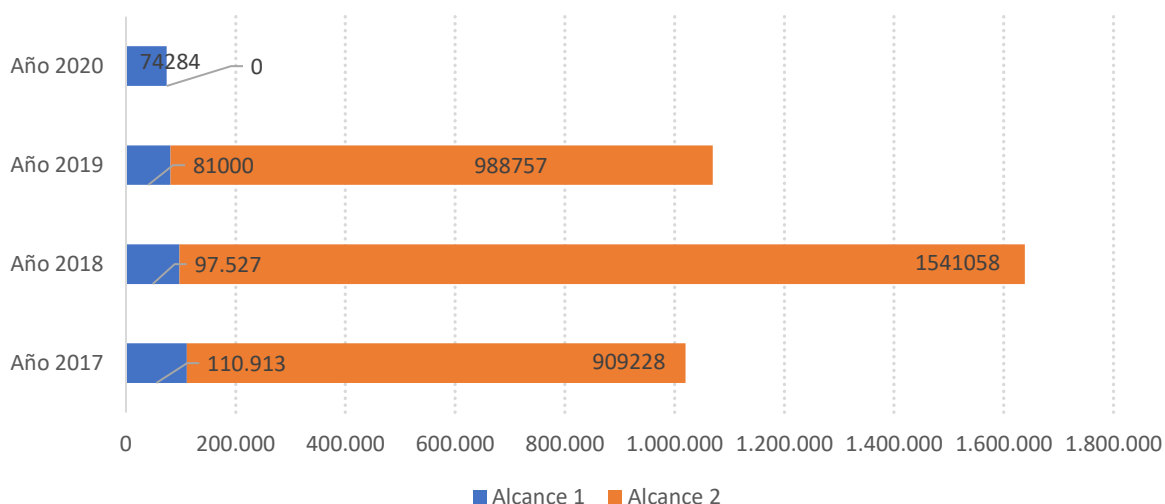
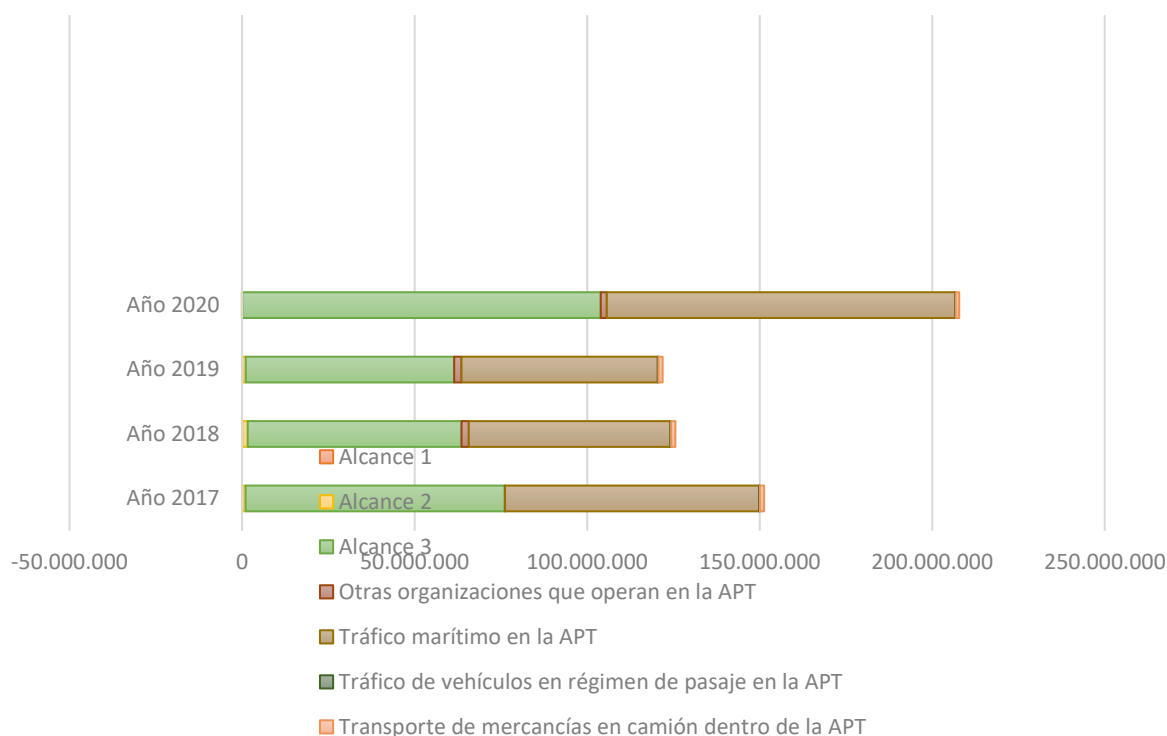


Gráfico 2: Huella de carbono del puerto de Santa cruz de Tenerife (kgCO₂eq)



3.1.2 Los Cristianos (Sur de Tenerife)

Tabla 2: Huella de carbono del puerto de Los Cristianos (kgCO₂eq)

Los Cristianos	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Total, Alcance 1	7.770	8.143	8.256	7.877
Total, Alcance 2	67.701	125.886	88.623	0
Total, Alcance 3	4.396.829	5.460.271	4.792.230	4.915.048
Otras organizaciones que operan en la APT	0	0	0	0
Tráfico marítimo en la APT	4.372.047	5.433.550	4.764.774	4.893.819
Tráfico de vehículos en régimen de pasaje en la APT	24.755	26.721	27.456	21.229
Transporte de mercancías en camión dentro de la APT	0	0	0	0
TOTAL HC	4.472.301	5.594.300	4.889.109	4.922.925

Gráfico 3: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de Los Cristianos (kgCO₂eq)

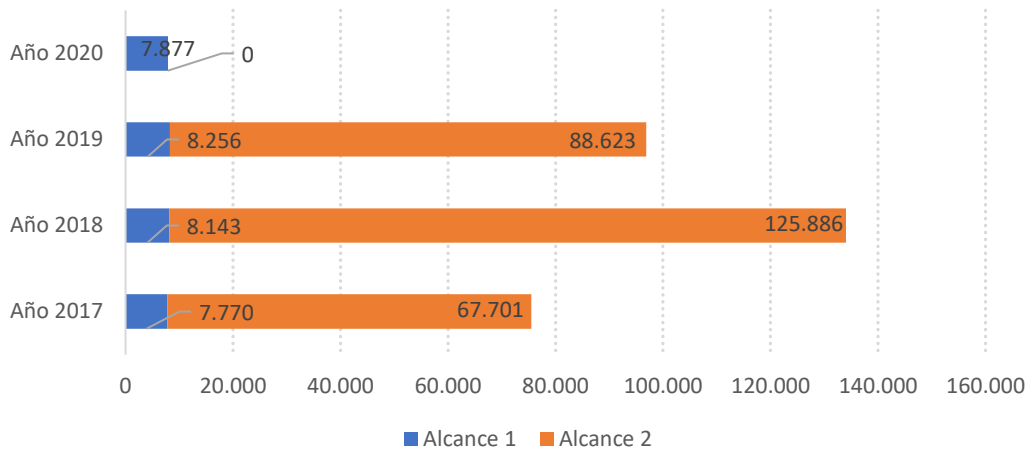
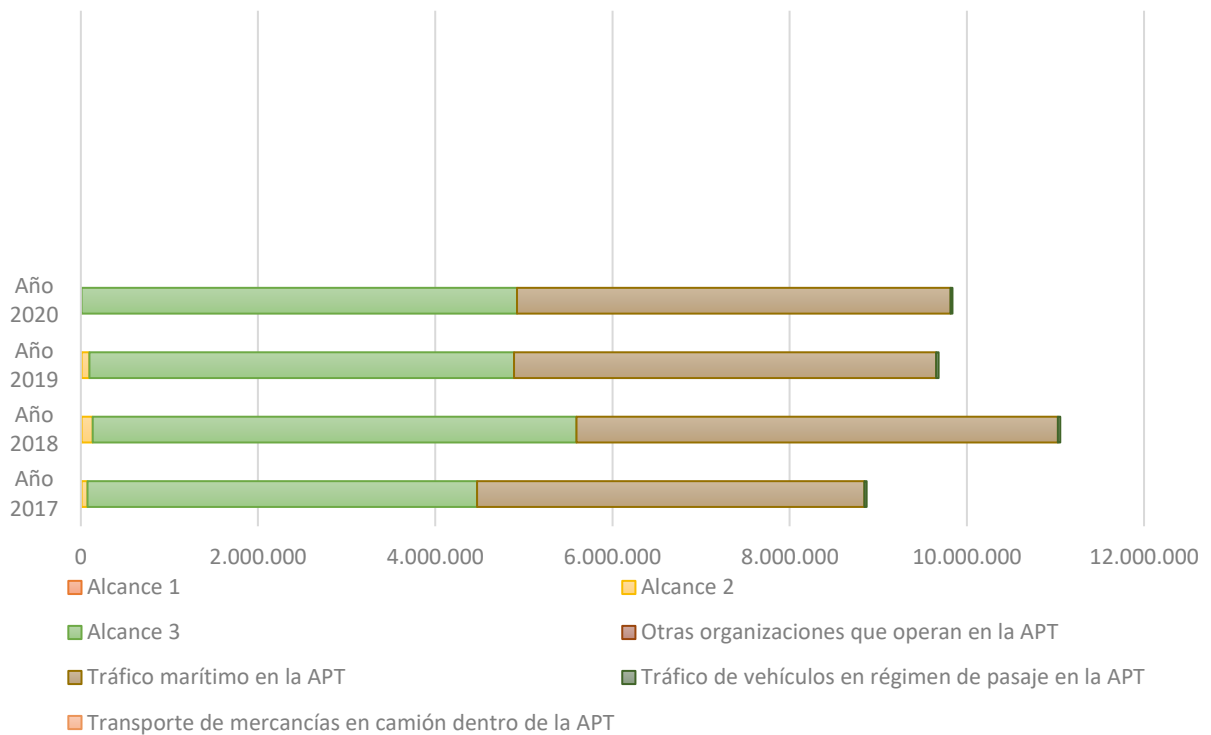


Gráfico 4: Huella de carbono del puerto de Los Cristianos (kgCO₂eq)



3.1.3 Santa Cruz de La Palma

Tabla 3: Huella de carbono del puerto de Santa Cruz de La Palma (kgCO₂eq)

Los Cristianos	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Total, Alcance 1	8.013	7.067	5.011	6.052
Total, Alcance 2	70.937	177.829	63.991	-14.734
Total, Alcance 3	11.096.759	11.621.663	12.386.118	12.162.601
Otras organizaciones que operan en la APT	0	337.214	422.588	205.692
Tráfico marítimo en la APT	11.074.855	11.261.749	11.939.984	11.936.029
Tráfico de vehículos en régimen de pasaje en la APT	21.903	22.700	23.546	20.880
Transporte de mercancías en camión dentro de la APT	0	0	0	0
TOTAL HC	11.175.709	11.806.560	12.455.120	12.153.918

Gráfico 5: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de Santa Cruz de La Palma (kgCO₂eq)

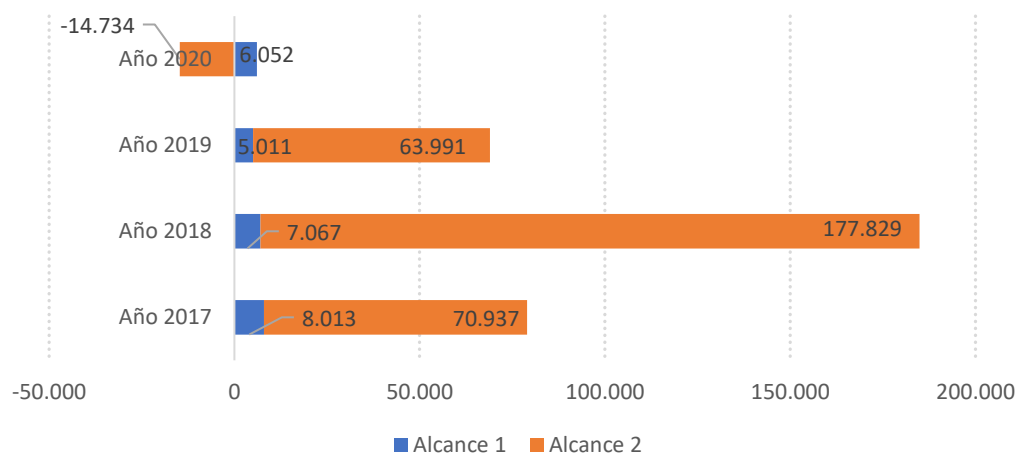
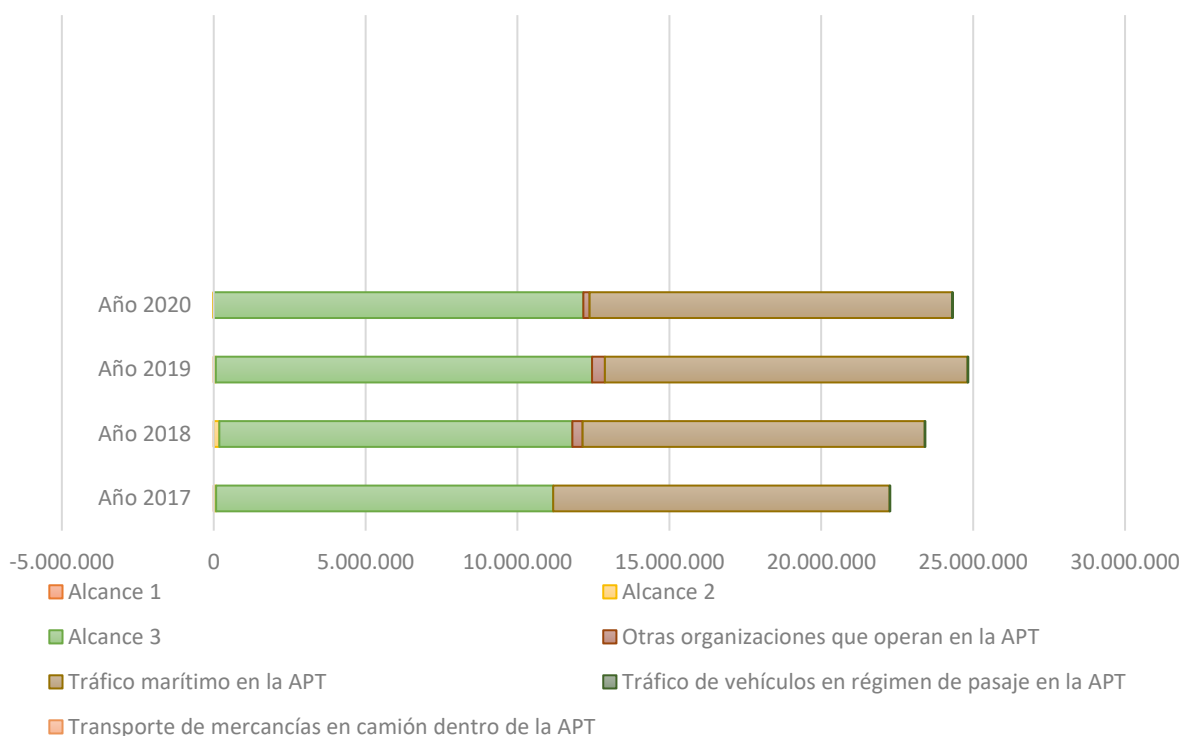


Gráfico 6: Huella de carbono del puerto de Santa cruz de La Palma (kgCO₂eq)



3.1.4 San Sebastián de La Gomera

Tabla 4: Huella de carbono del puerto de San Sebastián de La Gomera (kgCO₂eq)

Los Cristianos	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Total, Alcance 1	2.041	2.097	1.257	1.463
Total, Alcance 2	37.753	54.675	80.301	0
Total, Alcance 3	9.755.817	9.964.153	8.163.847	8.991.583
Otras organizaciones que operan en la APT	0	0	0	0
Tráfico marítimo en la APT	9.739.430	9.947.204	8.146.023	8.978.206
Tráfico de vehículos en régimen de pasaje en la APT	16.387	16.949	17.824	13.377
Transporte de mercancías en camión dentro de la APT	0	0	0	0
TOTAL HC	9.795.611	10.020.924	8.245.406	8.993.046

Gráfico 7: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto San Sebastián de La Gomera (kgCO₂eq)

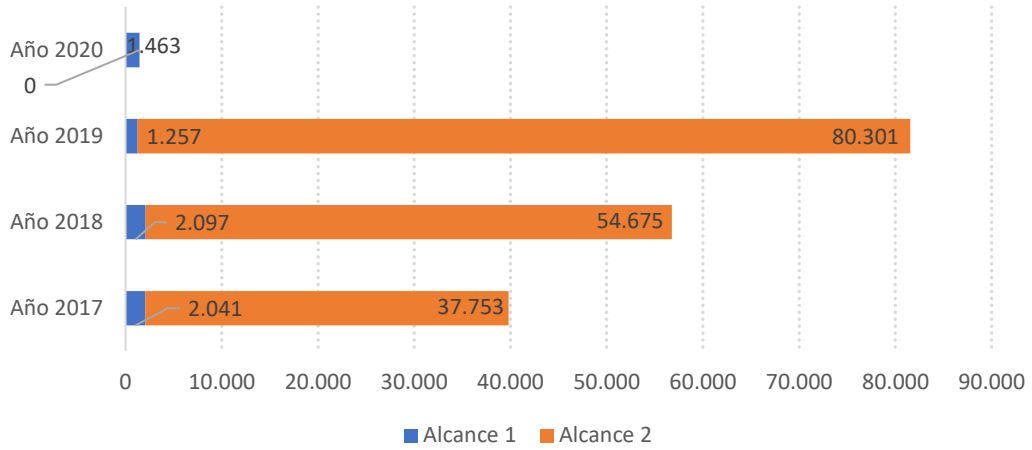
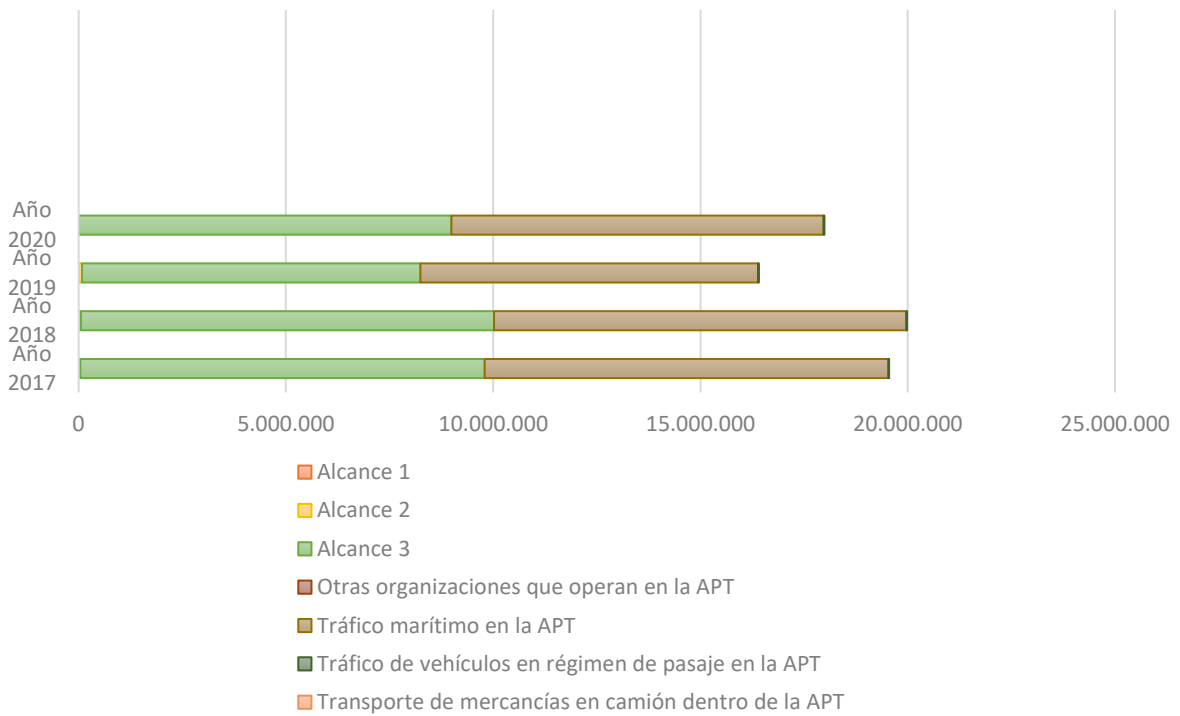


Gráfico 8: Huella de carbono del puerto de San Sebastián de La Gomera (kgCO₂eq)



3.1.5 La Estaca (El Hierro)

Tabla 5: Huella de carbono del puerto de La Estaca (El Hierro) (kgCO₂eq)

Los Cristianos	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Total, Alcance 1	1.850	1.768	1.514	1.949
Total, Alcance 2	54.104	67.561	40.501	0
Total, Alcance 3	9.483.533	9.530.252	9.069.303	10.351.709
Otras organizaciones que operan en la APT	0	0	0	0
Tráfico marítimo en la APT	9.476.499	9.523.196	9.061.424	10.345.418
Tráfico de vehículos en régimen de pasaje en la APT	7.035	7.056	7.878	6.290
Transporte de mercancías en camión dentro de la APT	0	0	0	0
TOTAL HC	9.539.487	9.599.582	9.111.318	10.353.658

Gráfico 9: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de La Estaca (El Hierro) (kgCO₂eq)

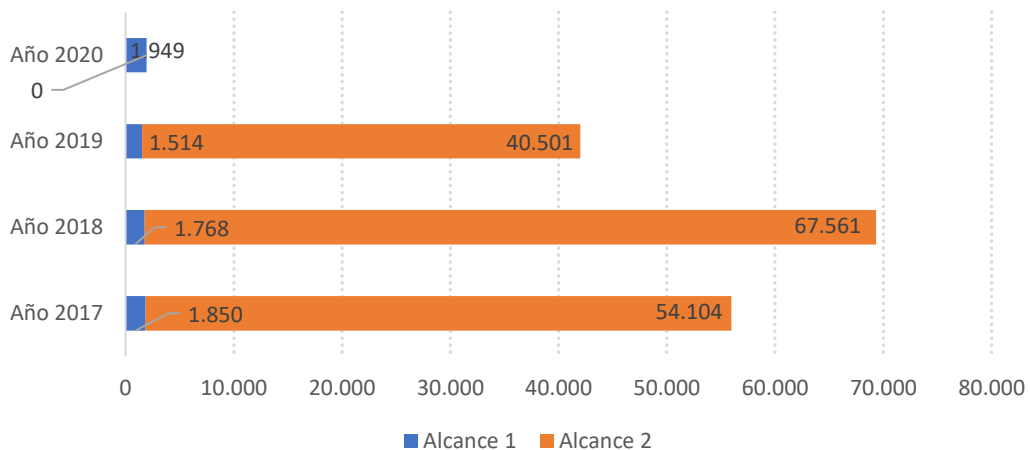
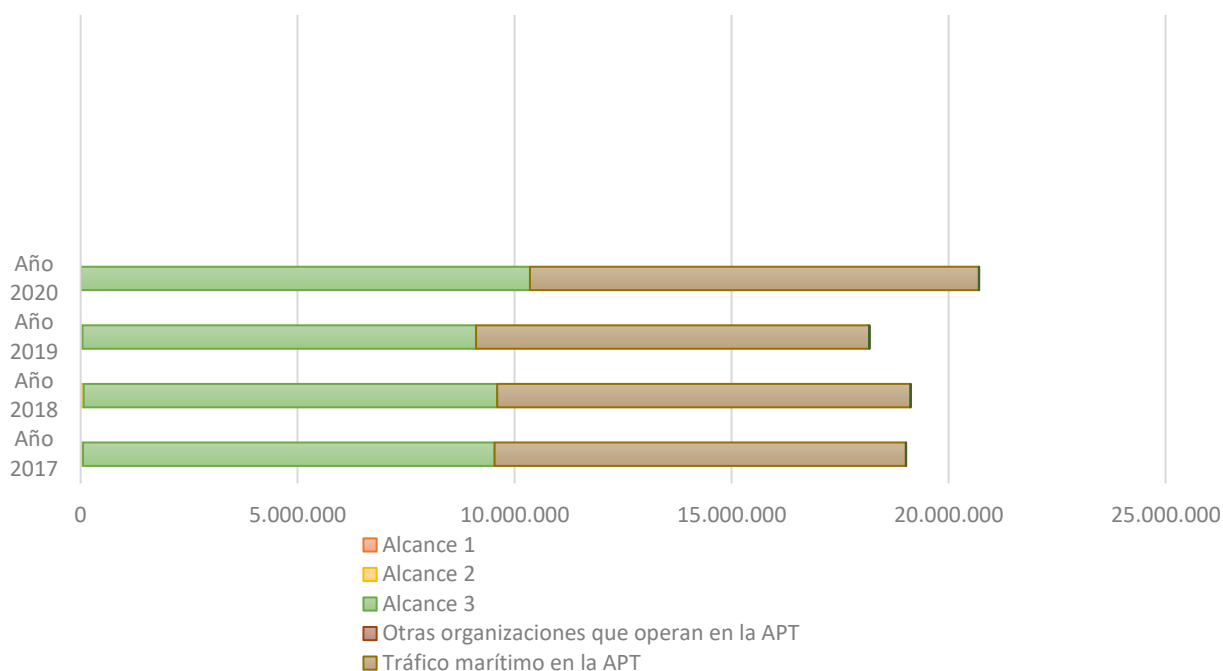


Gráfico 10: Huella de carbono del puerto de La Estaca (El Hierro) (kgCO₂eq)



3.1.6 Granadilla

Tabla 6: Huella de carbono del puerto de Granadilla (kgCO₂eq)

Los Cristianos	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Total, Alcance 1	0	50.249	72.237	27.275
Total, Alcance 2	0	24.945	17.260	0
Total, Alcance 3	0	0	0	0
Otras organizaciones que operan en la APT	0	0	0	0
Tráfico marítimo en la APT	0	0	0	0
Tráfico de vehículos en régimen de pasaje en la APT	0	0	0	0
Transporte de mercancías en camión dentro de la APT	0	0	0	0
TOTAL HC	0	75.194	89.497	27.275

Gráfico 11: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de Granadilla (kgCO₂eq)

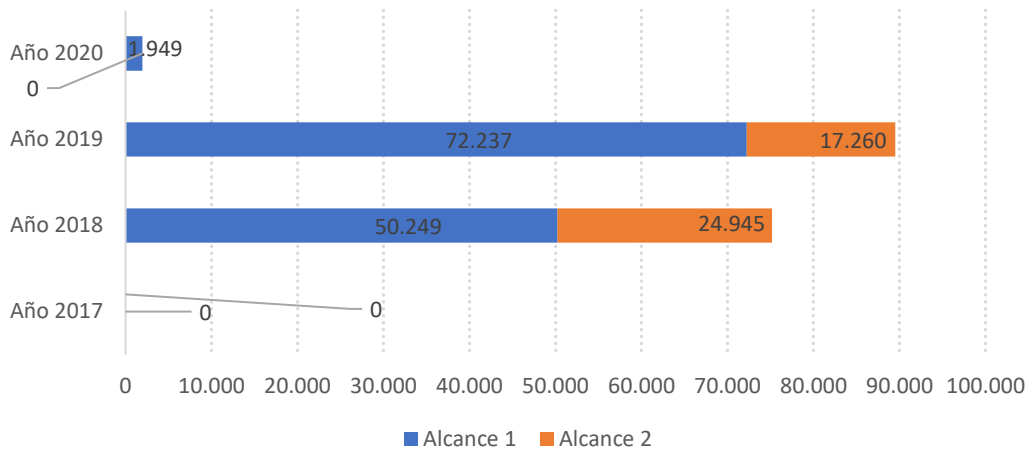
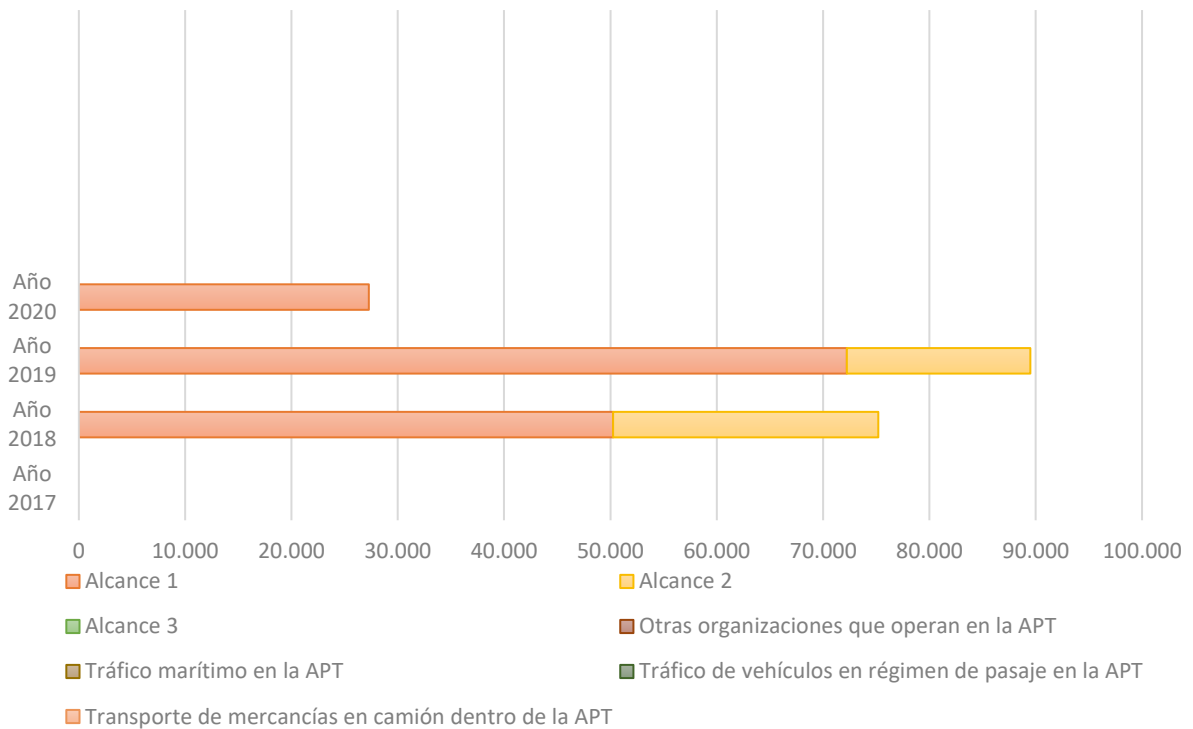


Gráfico 12: Huella de carbono del puerto de Granadilla (kgCO₂eq)



3.1.7 Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife

En este punto se hace referencia a las actividades exclusivas impulsadas por la Autoridad Portuaria:

Tabla 7: Huella de carbono de la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (kgCO₂eq)

Los Cristianos	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020
Total, Alcance 1	130.588	166.851	169.275	118.899
Total, Alcance 2	1.139.723	1.991.954	1.279.432	-25.097
Total, Alcance 3	109.864.766	98.545.887	94.819.665	140.299.162
Otras organizaciones que operan en la APT	64.773	2.433.410	2.531.006	1.954.738
Tráfico marítimo en la APT	108.338.630	94.614.633	90.795.620	137.098.573
Tráfico de vehículos en régimen de pasaje en la APT	245.541	266.676	293.908	209.572
Transporte de mercancías en camión dentro de la APT	1.215.821	1.231.168	1.199.130	1.036.279
TOTAL HC	111.135.077	100.704.693	96.268.372	140.392.964

Gráfico 13: Alcance 1 y 2. Huella de carbono del puerto de la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (kgCO₂eq)

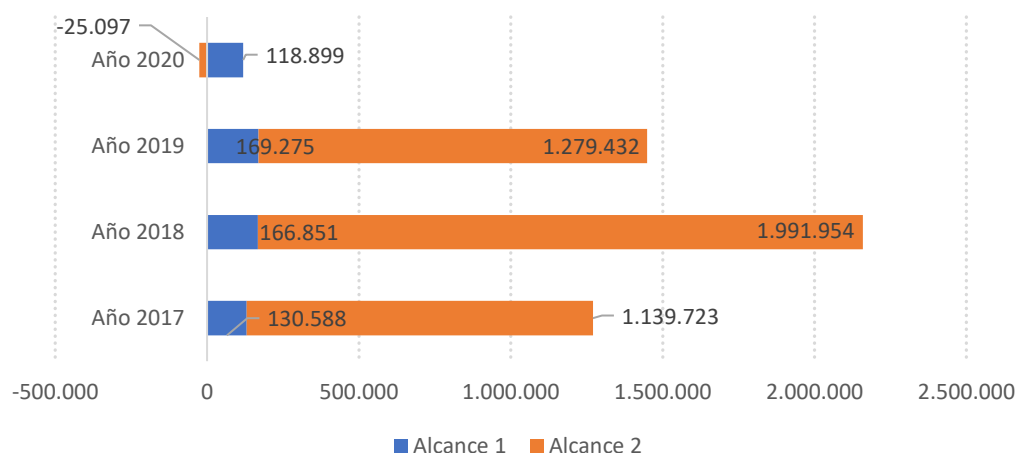
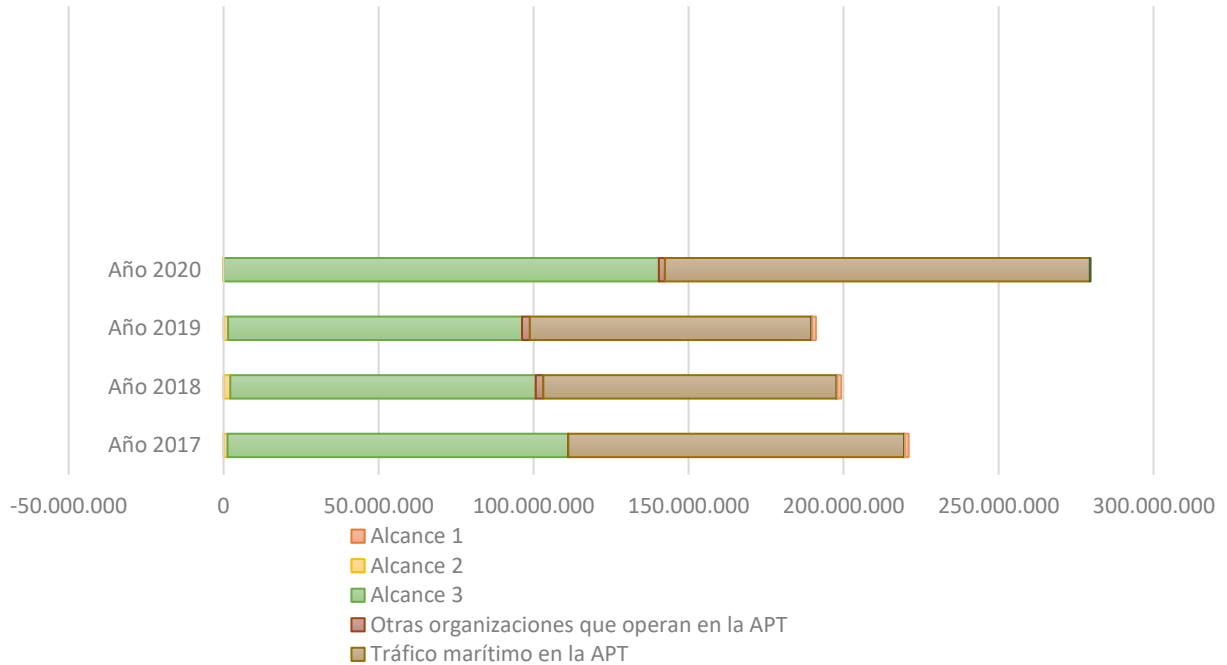


Gráfico 14: Huella de carbono del puerto de la Autoridad Portuaria de Santa Cruz de Tenerife (kgCO₂eq)



Hay que añadir que estas cifras suponen de promedio de un 96,1% de emisiones totales durante el periodo 2017-2020. Las emisiones mostradas en la tabla y grafica anterior provienen esencialmente del funcionamiento de motores auxiliares cuando los buques están atracados. Además, Las emisiones de las áreas 1 y 2 bajo control de la Autoridad Portuaria disminuyeron de 2018 a 2020 como resultado de los proyectos de eficiencia energética y la compra de automóviles eléctricos. Quiero destacar las cifras negativas del Alcance 2 para 2020, ya que la Autoridad Portuaria ha firmado un contrato de suministro de energía 100% renovable y ha trasladado la generación de paneles solares en los techos de las lonjas a la red del puerto de Tenerife y la estación marina de La Palma [11].

El Área de Sostenibilidad Ambiental del Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria se ha inscrito en el Registro de Huella de Carbono para Reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero el pasado año 2022, un registro dependiente del Departamento de Medio Ambiente, que está regulado y operado por organizaciones comprometidas con la reducción de emisiones contaminantes de servicios públicos, edificios y transportes municipales.

La Asociación se suma así al grupo de funcionarios de gobiernos locales de toda España registrados en la Oficina de Cambio Climático del Ministerio de Cambio Climático de España. Así lo explicó la concejala de Sostenibilidad, Belén Hidalgo, en las noticias del portal

Oficinas Verdes Canarias del Gobierno de Canarias: *“este cálculo de la Huella de Carbono se configura como punto de referencia básico para el inicio de actuaciones de reducción del consumo de energía y para la utilización de recursos y materiales con mejor comportamiento medioambiental al amparo del Protocolo de Kyoto y los acuerdos de París, que está propulsado a nivel local a través del Pacto de los Alcaldes para el Clima y la Energía, iniciativa a la que se ha sumado el Consistorio capitalino”* [12].

4. Impactos.

Nuestra huella de carbono, o la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por nuestras actividades diarias, tiene un gran impacto en nuestra vida y en el mundo que nos rodea. Nuestras decisiones personales, como viajar, la energía que usamos y los alimentos que elegimos, afectan, incluso en las decisiones que tomamos dentro del buque. Por ejemplo, optar por utilizar el transporte público o la bicicleta en lugar de conducir puede reducir significativamente nuestras emisiones de CO₂, que, a su vez, también puede ser importante elegir fuentes de energía renovables y reducir el consumo de energía en nuestros hogares.

Las emisiones de gases de efecto invernadero contribuyen al calentamiento global y al cambio climático, provocando eventos extremos como inundaciones, tormentas muy fuertes y sequías. Estos eventos afectan la disponibilidad de alimentos, agua y estabilidad económica, afectando directamente nuestra calidad de vida. Además, reducir nuestra huella de carbono no solo es bueno para el planeta, sino que también ahorra dinero a largo plazo, adoptando prácticas más sostenibles como el consumo responsable, la eficiencia energética y la reducción de residuos, podemos reducir costes y mejorar nuestras finanzas personales [13] [14].

4.1 Impacto ambiental.

- **Cambio climático:**

Debido a las actividades humanas y sus constantes sistemas de producción y consumo de energía, las concentraciones de gases son mayores, ya que con una mayor concentración de CO₂, queda atrapado el calor en la atmósfera de la Tierra, causando el cambio climático, como el derretimiento de los glaciares, el aumento del nivel del mar, eventos climáticos extremos como tormentas, sequías, inundaciones... [15].

- Acidificación de los océanos:

Las emisiones de CO₂ que lanzamos a la atmósfera impactan en los océanos haciendo que el pH de los mares se reduzca (oscilando entre 8,0 y 8,3), cambiando su composición química y afectando gravemente a los organismos marinos. En concreto, los niveles de CO₂ en la atmósfera han pasado de 250 a 400 partes por millón en los últimos siglos, reduciendo el pH del agua oceánica superficial en un 0,1 el cual representa el 30% de la acidez de los océanos y de mantenerse el nivel actual de quema de combustibles, se prevé que el pH disminuya entre 0,3 y 0,4 unidades más [16].

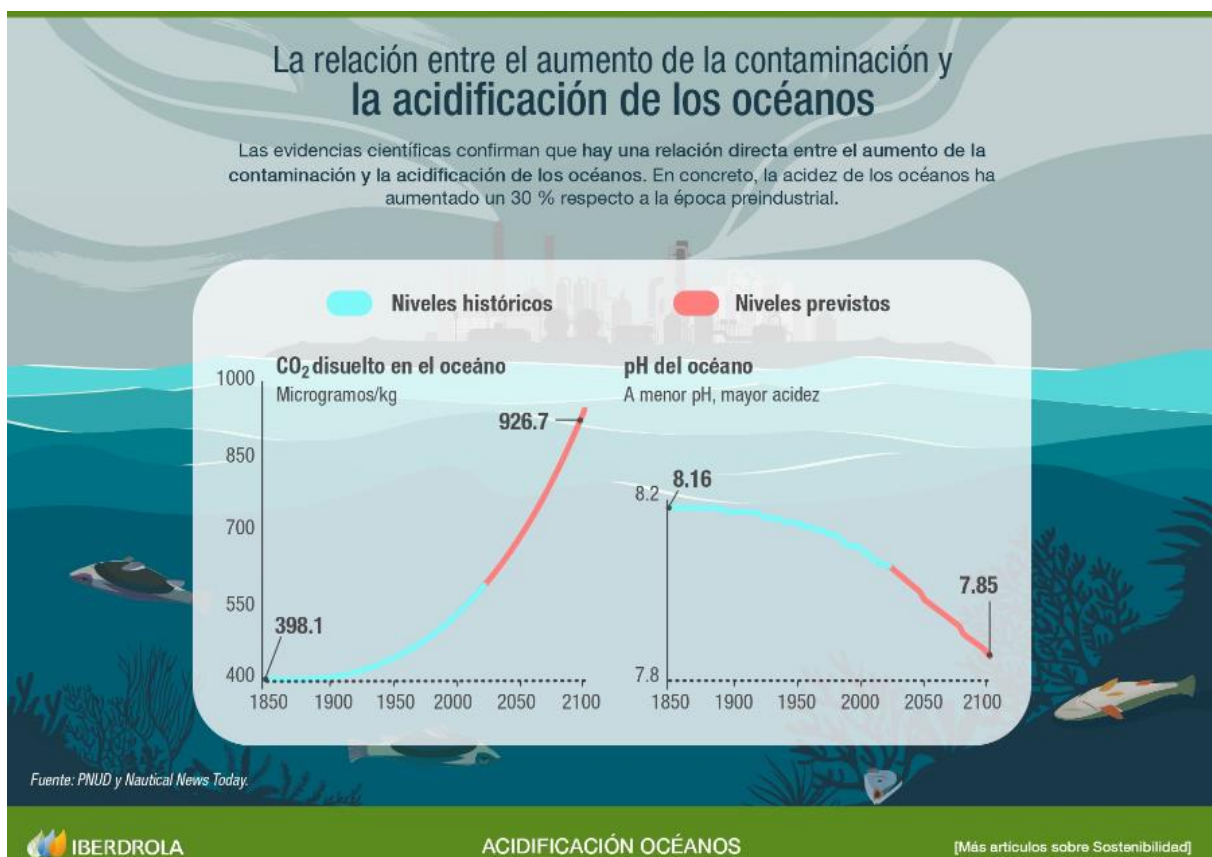


Ilustración 5. Acidificación de los Océanos. Fuente: <https://www.iberdrola.com>.

- Pérdida de biodiversidad:

Debido al cambio climático, se espera que múltiples impactos en la biodiversidad exacerben sus desafíos de conservación. Por lo tanto, a las medidas destinadas a la conservación y uso de sostenibilidad, se debe tener en cuenta la necesidad de adaptación al cambio climático. Como herramienta para combatir los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, la

Unión Europea promoverá la integridad y resiliencia de los ecosistemas, así como la conservación, conectividad y permeabilidad de la naturaleza, especialmente las áreas protegidas [17].

- Contaminación en el aire:

Los dos mayores problemas ambientales del mundo, el cambio climático y la contaminación del aire, estando vinculados. ¿Cómo? El aumento de las emisiones de CO₂ derivan al calentamiento global que conduce al cambio climático y en consecuencia provoca impactos climáticos adversos que llegan a degradar la calidad del aire. Los contaminantes climáticos de vida cortos “SLCC”, que son el carbono negro, metano y ozono troposférico son también un riesgo para para los humanos, fauna y flora con enfermedades respiratorias y cardiovasculares [18].

- Degradación de ecosistemas forestales:

Los bosques cubren el 31% de la superficie terrestre y a efectos de la degradación forestal se ve aumentado las emisiones de GEI a la atmosfera, lo que agrava el calentamiento global perdiendo cada año millones de hectáreas. Esto conduce a varios riesgos para el medio ambiente y la salud, además al menos el 5% de los animales y el 8% de las plantas en la Tierra queden en peligro de extinción [19].

- Escasez de agua:

El clima extremo hace que el agua sea cada vez más escasa, impredecible y contaminante. Factores como las inundaciones, el aumento del nivel del mar por la desaparición rápida de glaciares, casquetes polares y campos de nieve pueden contaminar la tierra y los recursos hídricos con agua salada y de deshielo dañando estaciones de agua, pozos, inodoros, instalaciones de tratamiento de aguas residuales... También las sequías y los incendios forestales producidos por el mismo cambio climático se ven necesitados por agua, la destrucción de la vegetación y los árboles aumenta la erosión del suelo y reduce la recarga de las aguas subterráneas [20].

- Pérdida de productividad agrícola:

Cambios en los patrones de temperatura y precipitación pueden afectar a los cultivos haciendo reducir la productividad agrícola y aumentando las plagas y enfermedades. Todo esto afectando directamente a la seguridad alimentaria y a las economías rurales. La productividad agrícola no es ajena a estos desequilibrios ambientales. De hecho, un estudio conjunto de la Universidad de Maryland con la Universidad de Cornell y la Universidad de Standford (EE.UU.) encontró que la tasa de cambio climático provocado por el hombre se ha desacelerado en un 21% en todo el mundo desde 1961. “Estos resultados globales representan una pérdida de todo el crecimiento de la productividad agrícola en los últimos siete años” dicho por Nature Climate Change [21].

- Inestabilidad económica:

Los impactos del cambio climático relacionados con las emisiones de carbono pueden tener efectos devastadores en la economía ya que se debe a diversos fenómenos meteorológicos extremos, como los huracanes y las sequias, pueden causar importantes daños a la propiedad, pérdidas económicas y la interrupción de la producción y el comercio. Esto afecta a muchos sectores, desde la agricultura con el descenso de la productividad de las cosechas hasta la industria donde deberá haber una subida de precio de esos alimentos básicos. En un mundo globalizado en el que vivimos, la economía de cada país no es independiente. El medio ambiente afecta a no solo los impactos directos del cambio climático en el propio territorio, sino también en otros países que se integran al mercado mundial [22].

4.2 Impacto en la salud.

Hay que recordar que estos efectos están interrelacionados y pueden tener consecuencias a largo plazo para la salud humana. Es de vital importancia considerar las emisiones de carbono y el cambio climático desde una perspectiva de salud pública, y tomar medidas de mitigación y adaptación para proteger la salud de las personas y las comunidades.

- Enfermedades respiratorias:

El aumento de la contaminación del aire debido a las emisiones de gases de efecto invernadero puede contribuir al desarrollo de enfermedades respiratorias como el asma, la bronquitis crónica y las infecciones respiratorias. La exposición a partículas finas y contaminantes del aire puede irritar los pulmones y aumentar el riesgo de enfermedades respiratorias crónicas. El ozono inhalado irrita los pulmones y el resto del sistema respiratorio, dificultando la respiración. También puede causar inflamación y hacer que los pulmones sean más susceptibles a otros agentes inflamatorios como el polen y las esporas de moho, lo que a veces provoca una infección. El aumento del nivel de ozono a nivel del suelo se ha relacionado con un aumento de las hospitalizaciones por enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), neumonía, asma, alergias y otros problemas pulmonares. También se asocian con muerte prematura. La exposición a largo plazo al ozono está particularmente asociada con la EPOC. En todo el mundo, el 11 % de las muertes por EPOC en 2019, o 365.000 muertes, estuvieron relacionadas con la exposición al ozono [23].

- Enfermedades transmitidas por vectores:

Debido a nuestra proximidad con el continente africano, donde las aves y los migrantes están obligados a detenerse, y por sus condiciones climáticas cercanas a las zonas de transmisión de enfermedades por vectores, España es el país en el que puede aparecer esta enfermedad debido al cambio climático. Los posibles riesgos estarían relacionados con la expansión geográfica de vectores establecidos o con la introducción y distribución de vectores subtropicales adaptados para sobrevivir en climas más fríos y secos. Estos serían los vectores que podrían verse afectados en España [24]:

Enfermedad	Agente	Vector	Clínica
Dengue	<i>Flavivirus</i>	mosquito	Fiebre viral hemorrágica
Nilo Occidental (West Nile)	<i>Flavivirus</i>	mosquito	encefalitis
Fiebre de Congo Crimea	<i>Nairovirus</i>	garrapata	fiebre viral hemorrágica
Encefalitis por Garrapata	<i>Flavivirus</i>	garrapata	encefalitis
Fiebre del valle del Rift	<i>Phlebovirus</i>	mosquito	fiebre viral hemorrágica
Fiebre botonosa	<i>Rickettsia conorii</i>	garrapata	fiebre maculada
Tifus murino	<i>Rickettsia typhi</i>	pulga	fiebre tífica
Enfermedad de Lyme	<i>Borrelia burgdorferi</i>	garrapata	artritis, meningitis, carditis
Fiebre recurrente endémica	<i>Borrelia hispanica</i>	garrapata	fiebre recurrente
Malaria	<i>Plasmodium sp.</i>	mosquito	fiebres palúdicas
Leishmaniosis	<i>Leishmania sp</i>	flebotomo	kala-azar

Ilustración 6. Enfermedades infecciosas y parasitarias que pueden verse en España. Fuente: <https://scielo.isciii.es>.

- Enfermedades relacionadas con el calor:

Cuando el cuerpo comienza a sobrecalentarse, los vasos sanguíneos se dilatan y el corazón late con más fuerza y rapidez. Más sangre fluye hacia las capas externas de la piel desde el "núcleo" interno, por lo que el calor puede irradiarse a un ambiente más fresco. Si este proceso no enfría el cuerpo lo suficientemente rápido o si el aire exterior es más cálido que la piel, el cerebro activará la sudoración para enfriar el cuerpo. El sudor se evapora y libera calor corporal. Durante una hora de duro trabajo con tiempo caluroso, el cuerpo segrega fácilmente un litro de agua. El calentamiento global puede provocar más olas de calor y temperaturas extremas provocando que estas condiciones puedan aumentar el riesgo de enfermedades relacionadas con el calor, como insolación, deshidratación y enfermedades cardiovasculares. Los grupos vulnerables como los ancianos, los niños pequeños y las personas con enfermedades crónicas son particularmente vulnerables a estos impactos [25].

- Desnutrición y seguridad alimentaria:

Las condiciones climáticas cambiantes pueden afectar la producción de alimentos y la disponibilidad de nutrientes. Las sequías, las inundaciones y las fluctuaciones en la temporada de crecimiento pueden reducir la productividad agrícola, aumentar la seguridad alimentaria y afectar negativamente la calidad y la cantidad de alimentos disponibles, por lo que, el cambio climático afecta la producción, el procesamiento, la distribución y el consumo de alimentos, así como la disponibilidad de alimentos inocuos y seguros. Por lo tanto, las implicaciones para la seguridad alimentaria son muy importantes. Una de las principales consecuencias es el aumento de la temperatura de la superficie del mar, lo que provoca un aumento de las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua relacionadas con la presencia de toxinas en los mariscos. Según un estudio de 2015 realizado por expertos de la Universidad de Ghent (Bélgica) y la Universidad de Wageningen (Países Bajos), existe un vínculo entre los cambios de temperatura y las precipitaciones y la contaminación de frutas y verduras. Y el hecho es que la temperatura ambiente y la naturaleza de la precipitación afectan las enfermedades transmitidas por los alimentos y el agua. Por último añadir que entre los patógenos más comunes, los científicos elaboran una lista que incluye salmonella, Campylobacter y enterovirus [26].

- Impactos en la salud mental:

Lawrence A. Palinkas, profesor de ciencias ambientales y sociales explica habiendo estudiado como afecta el cambio climático a las poblaciones más vulnerables: “La exposición a fenómenos meteorológicos extremos, como huracanes, inundaciones e incendios forestales, se asocia con un aumento significativo de los problemas ambientales de salud mental, como el trastorno de estrés postraumático, la depresión y la ansiedad”. Algunos sobrevivientes del huracán Katrina (que tocó tierra en la costa sureste de Florida en 2005), el huracán María (que causó fuertes daños en Puerto Rico en 2017), las inundaciones o los tornados en países como Bangladesh se vieron afectados por la ansiedad, el mal humor, el postraumático, estrés, insomnio, problemas de identidad o crisis por pérdida de alojamiento y funerales. Además, las preocupaciones sobre el futuro y la degradación ambiental también pueden afectar la salud mental y el bienestar de las personas [27].

- Aumento de enfermedades infecciosas:

El cambio climático puede afectar la propagación de enfermedades infecciosas, como las que se propagan a través de alimentos y agua contaminados. Las fluctuaciones en las precipitaciones y la temperatura pueden afectar la calidad del agua y la disponibilidad de alimentos, lo que aumenta el riesgo de brotes de enfermedades como la gastroenteritis, las infecciones por salmonela y la hepatitis A. Este problema puede agravar un 58% de las enfermedades infecciosas, donde un equipo de científicos especialistas en medio ambiente afirma que las cifras son sorprendentes. De 375 enfermedades humanas, 218 pueden verse afectadas por el cambio climático [28].

- Desplazamientos y conflictos:

Cada año, más de 20 millones de personas se ven obligadas a abandonar sus hogares y mudarse a otras partes del país debido a las amenazas que plantea la creciente intensidad y frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos. Estos eventos pueden tener consecuencias devastadoras para la salud de las personas, como la interrupción de la atención médica, el aumento de la incidencia de enfermedades infecciosas en los campos de refugiados y el deterioro de las condiciones sanitarias e higiénicas de las instalaciones. El cambio climático es la crisis definitoria de nuestro tiempo, y el desplazamiento de poblaciones provocado por los desastres naturales es una de sus consecuencias más devastadoras. Poblaciones enteras están sujetas a los efectos devastadores del cambio climático; sin embargo, las personas vulnerables en países frágiles y afectados por conflictos a menudo sufren de manera desproporcionada. Los refugiados, los desplazados internos y los apátridas están en la primera línea de la crisis climática. Muchos de ellos viven en zonas especialmente difíciles, donde no siempre tienen los medios para adaptarse a un entorno cada vez más hostil [29].

5. Regulaciones y normativas para la reducción de las emisiones de CO₂.

La industria marítima es consciente de la necesidad de reducir su huella de carbono y, por lo tanto, ha desarrollado varias regulaciones, normativas y estándares para abordar este problema. Uno de los principales instrumentos en esta área es la convención MARPOL Anexo VI, que establece reglas para la prevención de la contaminación del aire por parte de los buques.

Primero, veremos el estudio de Johansson, Jalkanen y Kukkonen (2017), en el que se analizan las emisiones mediante un modelo de estimación de emisiones marinas (STEAM3) que utiliza datos del sistema de identificación automática, es apropiado para estimar las emisiones del sector marino. En promedio, el transporte marítimo puede producir bajas emisiones específicas por tonelada de carga por kilómetro, según los autores. El promedio estimado de emisiones específicas de CO₂ para todos los barcos es de 7,6 gramos por tonelada (carga) por kilómetro. El siguiente mapa muestra la distribución global de las emisiones de CO₂ por tipo de barco según lo publicado en el estudio [30]:

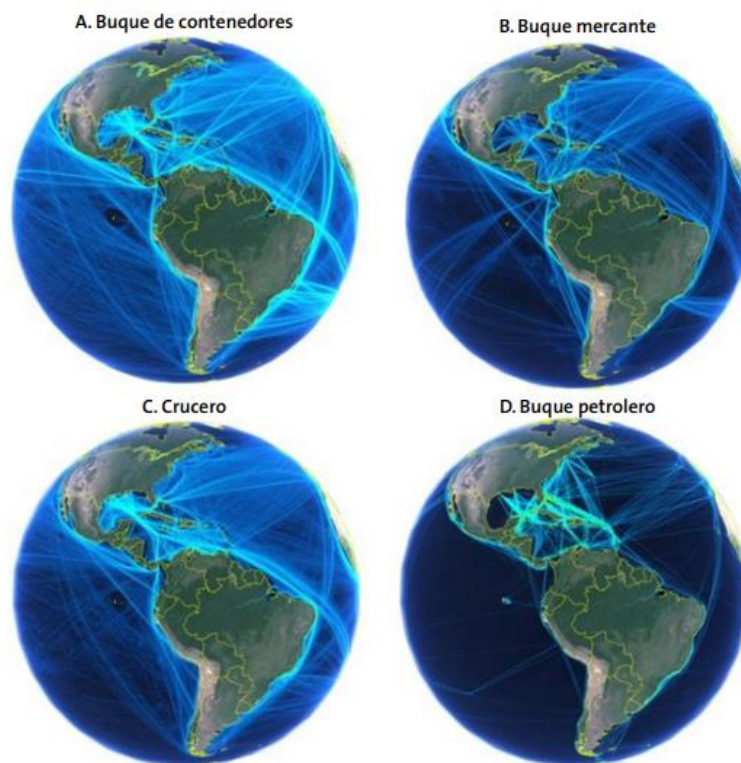


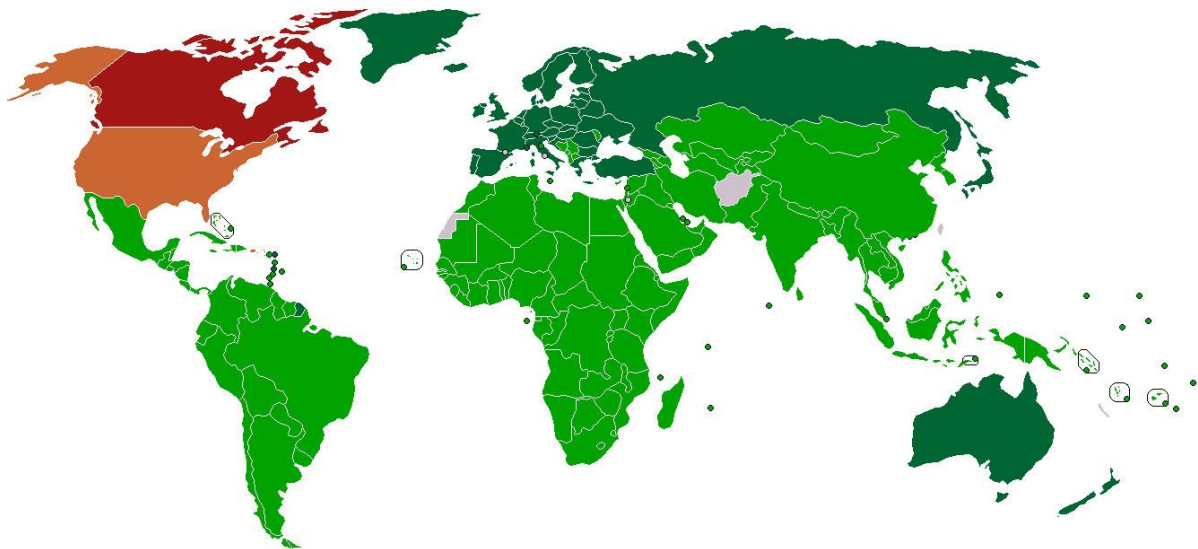
Ilustración 7. Ilustración 7: Distribución Global de emisiones de CO₂ por diferentes tipos de buques.
Fuente: <https://repositorio.cepal.org>.

A continuación, se describen algunas de las normas y estándares más relevantes: En primer lugar, el límite de azufre del 0,50 % de la OMI entró en vigor en el año 2020 y las emisiones totales de óxido de azufre del transporte marítimo se reducirán en más del 75 % [31]. El límite del Anexo VI de MARPOL exige una reducción drástica en el contenido de azufre del combustible marino del 3,5 % al 0,5 % en peso [32]. La implementación de esta medida es un gran desafío para la industria marítima, ya que requiere la adecuación de las infraestructuras portuarias y de buques para cumplir con los nuevos límites de emisión [31]. En segundo lugar, la Regulación CII (contenido de carbono del combustible) establece el contenido máximo de carbono del combustible utilizado en los buques. El propósito de la regulación es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la industria del transporte marítimo mediante la promoción del uso de combustibles más limpios y con menos carbono, se desarrollará más adelante. [33] [30].

La Unión Europea ha adoptado medidas adicionales para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero del sector marítimo. Entre ellos, la inclusión del transporte marítimo en el mercado de emisiones de la UE a partir de 2024 [34]. Las normas de FuelEU exigen que los buques con un tonelaje superior a 5.000 GT reduzcan gradualmente su intensidad de carbono en un 75 % para 2050 en comparación con 2020, y que se conecten a OPS cuando hagan escala en puertos de la UE a partir de 2030. Además, la UE ha fijado objetivos de reducción de emisiones de los buques del 2 % en 2025 al 80 % en 2050 [33]. Con esto, la industria marítima está sujeta a diversas normas y reglamentos destinados a reducir la huella de carbono donde estos incluyen límites a las emisiones de azufre y carbono, así como objetivos de reducción regionales establecidos por la Organización Marítima Internacional y la Unión Europea [34].

5.1 Protocolo KYOTO 1997

El Protocolo de Kyoto, adoptado el 11 de diciembre de 1997 y que entró en vigor el 16 de febrero de 2005, es un acuerdo internacional para reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero, incluido el dióxido de carbono (CO₂) [35]. Este tratado está firmado bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) que tiene también como objetivo principal reducir las emisiones de CO₂ [36].



Posición de los diversos países en 2011 respecto del Protocolo de Kioto.1

- Firmado y ratificado (Anexo I y II).
- Firmado y ratificado.
- Firmado pero con ratificación rechazada.
- Abandonó.
- No posicionado.

Ilustración 8. Ilustración 8: Aceptación del protocolo Kyoto a nivel Mundial. Fuente: <https://www.ingenieros.es>.

El Protocolo establece objetivos vinculantes para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en los países industrializados, reconociendo que ellos son los principales responsables de los altos niveles de emisiones presentes en la atmósfera, en consonancia con el principio de responsabilidad compartida, pero con distinción [37]. Los objetivos obligatorios del Protocolo de Kyoto son reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 8-10% [36]. También promueve el crecimiento sostenido y creación de un mercado de carbono para reducir las emisiones al menor costo. Además, ha impulsado a varios gobiernos a aprobar leyes y políticas para cumplir con sus obligaciones, ha promovido que las empresas consideren el medio ambiente en sus decisiones de inversión y ha llevado a la creación de nuestros créditos de carbono [38].

A pesar de sus objetivos, el Protocolo de Kioto ha sido criticado y algunos argumentan que no es lo suficientemente efectivo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y prevenir un cambio climático peligroso. Además, algunos economistas ambientales creen que los costos del Protocolo de Kioto superan los beneficios, mientras que otros consideran que los estándares establecidos por el Protocolo de Kioto son demasiado optimistas [39].

En 2015 se llevó a cabo una cumbre climática en París, donde se acordó el Acuerdo de París, que reemplazó al Protocolo de Kioto. El acuerdo mantiene su compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el cambio climático, con la previsión de que en 2050 se reduzcan a cero. Además, se propone mantener el calentamiento global por debajo de los 2 grados centígrados [40].

A pesar de las críticas, el pacto sentó las bases para futuros acuerdos como el Acuerdo de París y estimuló la adopción mundial de políticas y medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

5.2 Acuerdo de París

El Acuerdo de París constituye un tratado internacional legalmente vinculante en relación con el cambio climático. Fue adoptado por 196 partes durante la COP21 en París el 12 de diciembre de 2015 y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Su objetivo principal es mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 grados centígrados y, preferentemente, limitarlo a 1,5 grados centígrados en comparación con los niveles preindustriales.

Para alcanzar esta meta a largo plazo, los países buscan llegar a un pico en las emisiones de gases de efecto invernadero lo más pronto posible, con el fin de que el planeta alcance la neutralidad climática a mediados de este siglo. El Acuerdo de París representa un avance significativo en el proceso multilateral sobre el cambio climático, ya que, por primera vez, un tratado legalmente vinculante une a todos los países en esfuerzos a gran escala para enfrentar y adaptarse al cambio climático.

La implementación del Acuerdo de París exige una transformación económica y social basada en la ciencia de vanguardia. Este tratado se fundamenta en un ciclo de cinco años de esfuerzos cada vez más ambiciosos por parte de los países para luchar contra el cambio climático. En 2020, los países presentaron sus Planes de Acción sobre Cambio Climático, conocidos como Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC). En estas contribuciones, los países también comunican las acciones que llevarán a cabo para desarrollar resiliencia y adaptarse a los impactos del aumento de las temperaturas [41].

5.2.1 ¿Cómo se apoyan los países?

En el marco del Acuerdo de París, los países que lo necesiten pueden recibir asistencia financiera, apoyo técnico y desarrollo de capacidades. Este acuerdo establece que los países desarrollados deben liderar la provisión de ayuda financiera a las naciones menos acaudaladas y más vulnerables, mientras que otras partes pueden realizar contribuciones voluntarias por primera vez. El financiamiento climático es esencial para mitigar el cambio climático, ya que se requieren inversiones a gran escala para reducir significativamente las emisiones. Asimismo, el financiamiento climático es crucial para la adaptación, puesto que se necesita una inversión considerable para adaptarse a los impactos negativos y mitigar el cambio climático. El Acuerdo de París plantea una visión para llevar a cabo el desarrollo y la transferencia con el fin de aumentar la resiliencia al cambio climático y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. estableciendo un marco tecnológico que proporciona orientación general al mecanismo tecnológico, el cual promueve el desarrollo y la transferencia de tecnología a través de departamentos de políticas y aplicación de la ley.

Dado que no todos los países en desarrollo pueden enfrentar los numerosos desafíos del cambio climático, el Acuerdo de París enfatiza especialmente la creación de capacidad climática en los países en desarrollo e insta a todos los países desarrollados a incrementar su apoyo a las medidas de creación de capacidad para los países menos desarrollados. [41].

5.3 Notas del 4º Estudio de la OMI

El cuarto estudio de la OMI sobre gases de efecto invernadero, basado en sistemas de identificación automatizados (AIS) y sus resultados muestran que el impacto climático del transporte marítimo ha aumentado, lo que exige la eliminación gradual de los combustibles fósiles los cuales son la principal fuente de energía [42]. El estudio estima que las emisiones del transporte marítimo en 2018 ascendieron a 1.056 millones de toneladas de CO₂, lo que representa alrededor del 2,89 % de las emisiones globales de CO₂ [43].

Entre 2008 y 2018, el comercio marítimo aumentó un 40 %, mientras que las emisiones absolutas de gases de efecto invernadero cayeron alrededor de un 5 %. Esta reducción es posible gracias al aumento de la intensidad de las emisiones del transporte marítimo (emisiones de CO₂ por unidad de transporte) [44]. Sin embargo, el estudio destaca que mejorar la eficiencia energética de los barcos no es suficiente para compensar el aumento del comercio marítimo y las emisiones totales de gases de efecto invernadero [45].

El estudio también incluye una nueva estimación de las responsabilidades de los países por las emisiones de gases de efecto invernadero que superan las calculadas en el estudio anterior [42]. Además, el informe también analiza la evolución de la intensidad de carbono en el transporte marítimo en el periodo 2012-2018. El cuarto estudio de la OMI sobre las emisiones de gases de efecto invernadero fue preparado por un consorcio internacional de diez empresas consultoras, institutos de investigación y universidades de cuatro continentes, liderado por CE Delft (Países Bajos).

Los hallazgos clave del estudio incluyen un aumento del 9,6 % en las emisiones totales de gases de efecto invernadero (que incluyen CO₂, CH₄ y N₂O expresados como equivalentes de CO₂) del transporte (internacional, nacional) y la pesca) de 2012 a 2018, de 977 millones de toneladas a 1076 millones de toneladas [46]. En respuesta a estos hallazgos, la OMI ha establecido objetivos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del transporte marítimo internacional. Para 2030, la industria reducirá las emisiones de dióxido de carbono en un 40 %, y para 2050, las emisiones de gases de efecto invernadero de los barcos se reducirán en un 30 % del total, reduciendo el impacto ambiental en un 70 %.

Como resultado, el cuarto estudio de la OMI sobre las emisiones de gases de efecto invernadero destacó la necesidad de tomar más medidas para reducir la huella de carbono del sector marítimo. Si bien ha habido una mejora en la eficiencia energética de los buques, no ha sido suficiente para compensar el aumento del comercio marítimo y las emisiones totales de gases de efecto invernadero. La OMI ha establecido objetivos ambiciosos para reducir las futuras emisiones de gases de efecto invernadero, y la industria marítima debe continuar esforzándose por lograr estos objetivos y contribuir a combatir el cambio climático [47].

5.4 Tasa sobre el Combustible y el Fondo Internacional de Compensación.

Este impuesto a los combustibles es un impuesto ecológico sobre la emisión de dióxido de carbono, cuyo fin es reducir las emisiones a la atmósfera. Este impuesto desincentiva las emisiones contaminantes al obligar a los contaminadores a pagar en proporción a sus emisiones. El efecto de los impuestos sobre los productos finales es aumentar sus precios en proporción a las emisiones que genera el proceso de producción, fomentando el consumo de productos que generan menos emisiones de dióxido de carbono en el proceso de producción y exportación. Un aumento de impuestos gradual planificado puede ayudar a guiar las

inversiones a largo plazo, brindando a los consumidores y las empresas suficiente tiempo para adaptarse [48].

El Fondo de Compensación Internacional es un instrumento de financiamiento climático destinado a generar actividades económicas bajas en carbono y resilientes al clima que ayuden a los países a cumplir sus objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y promover el desarrollo tecnológico. Economía. Los principios de funcionamiento del Fondo de Carbono para una Economía Sostenible (FES-CO2) están regulados por el Real Decreto 1494/2011, de 24 de octubre, por el que se regulan las actividades del Fondo de Carbono para una Economía Sostenible (FES-CO2). Después de 10 años de operación y desarrollo de 8 concursos exitosos, los llamados proyectos climáticos, FES-CO2 ha demostrado ser una herramienta valiosa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero [49].

5.5 Gestión de Eficiencia Energética de Buques (SEEMP)

Ship Energy Efficiency Management (SEEMP) es un plan operativo que establece un mecanismo para mejorar la eficiencia energética de un barco de manera rentable. El SEEMP es específico del buque y debe aplicarse según el tipo de buque, la carga transportada, la ruta del buque y otros factores pertinentes. Por lo tanto, SEEMP no se puede implementar a nivel de empresa o flota.

El principal objetivo de SEEMP es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los buques mediante la mejora de la eficiencia energética y la reducción del consumo de combustible. SEEMP también proporciona a las empresas navieras un enfoque para gestionar el rendimiento energético de los barcos y las flotas a lo largo del tiempo, por ejemplo, utilizando el índice de eficiencia energética operativa (EEOI) como herramienta de seguimiento:

$$EEOI = \frac{\sum_i FC_i \times C_{\text{carbon}}}{\sum_i m_{\text{carga},i} \times D_i}$$

Ilustración 9. Fórmula índice de Eficiencia Energética Operativa. Fuente: <https://www.netwavesystem.net>.

En la formulación encontramos:

- I: número de viaje.
- FCi: masa de combustible consumida durante el viaje.
- Ccarbon: masa del combustible en CO2 factor de conversión de masa del combustible.
- Mcargo: masa de carga transportada en toneladas.
- Di: distancia en millas náuticas de la carga transportada.

Aunque antes de implementar cualquier método, debe haber un “plan” de cómo se debe aplicar el proceso. La planificación es el paso más importante en la implementación de SEEMP; Básicamente, determina el estado actual del consumo de energía del barco y cómo reducir aún más el consumo de energía actual mediante el desarrollo e implementación de un plan de eficiencia. La empresa gestora del buque debe recopilar información sobre el consumo de energía del buque de diversas formas, como el consumo de combustible, los equipos instalados, la eficiencia de la maquinaria y los sistemas, el estado del buque, la pintura y el casco, etc. La gestión total de la energía es la base de la formación de SEEMP.

Después de planificar el SEEMP, el siguiente paso importante es identificar diferentes formas de aplicar las medidas durante el proceso de planificación. El plan de gestión del rendimiento energético del buque incluirá los métodos que se aplicarán y las funciones/responsabilidades de las partes interesadas (representantes de la empresa, operadores del buque, tripulación, etc.). Una vez más, el sistema de aplicación debe desarrollarse durante la fase de planificación para garantizar que el SEEMP esté listo y funcionando a bordo lo antes posible.

Una vez que el SEEMP se haya desplegado a bordo, se desarrollará un plan de seguimiento para controlar la eficacia del SEEMP desplegado. Existen métodos predeterminados aprobados por los estándares internacionales de monitoreo del desempeño de SEEMP, como el EEOI (según la Guía IMO - MEPC.1/Circ.684) previamente analizado.

Para comprender la efectividad de SEEMP, es necesario evaluar los resultados de los próximos pasos que se realizarán en el paso final. Esta fase se basa en gran medida en la retroalimentación constructiva, que se puede evaluar para improvisar un plan si es necesario, y la misma retroalimentación se utiliza para mejorar la planificación, la implementación y el seguimiento. Estos cuatro pasos funcionan en un ciclo y son interdependientes para evaluar

y desarrollar un SEEMP completo. El operador del buque es responsable de garantizar que las observaciones, los resultados y los informes se controlen y evalúen en varias etapas del ciclo SEEMP y se utilicen para mejorar el plan [50]. Por último, se muestra la plantilla del SEEMP:

APPENDIX

A SAMPLE FORM OF A SHIP EFFICIENCY ENERGY MANAGEMENT PLAN

Name of Vessel:		GT:	
Vessel Type:		Capacity:	
Date of Development:		Developed by:	
Implementation Period:	From: Until:	Implemented by:	
Planned Date of Next Evaluation:			

1 MEASURES

Energy Efficiency Measures	Implementation (including the starting date)	Responsible Personnel
Weather Routeing	<Example> Contracted with [Service providers] to use their weather routeing system and start using on-trial basis as of 1 July 2012.	<Example> The master is responsible for selecting the optimum route based on the information provided by [Service providers].
Speed Optimization	While the design speed (85% MCR) is 19.0 kt, the maximum speed is set at 17.0 kt as of 1 July 2012.	The master is responsible for keeping the ship's speed. The log-book entry should be checked every day.

Ilustración 10. Formulario de Gestión de Eficiencia Energética de Buques. Fuente: MEPC.213(63) Pdf.

5.6 Índice de Eficiencia Energética (EEDI)

La Organización Marítima Internacional (OMI) ha establecido un Índice de Eficiencia Energética (EEDI) el cual entró en vigor en Julio de 2011 para los buques nuevos de carácter obligatorio, fomentando el uso de equipos y maquinarias más eficientes energéticamente fijando el máximo nivel de contaminación por combustible quemado en función del tipo de

buque, toneladas transportadas y millas náuticas recorridas [33]. La formulación es realmente compleja donde entran diferentes términos, pero antes debemos señalar que el EEDI requerido se calcula de la siguiente manera [51]:

- **EEDI Alcanzado \leq EEDI Requerido = (1-X/100) x Valor de Línea de Referencia.**

(Donde la X es el factor de reducción especificado en la siguiente tabla)

Tabla 8: Factores de reducción (en porcentaje) para el EEDI en relación con el EEDI Línea de referencia

Tipo de Buque	Tamaño	Fase 0 1 de enero de 2013-31 de diciembre de 2014	Fase 1 1 de enero de 2015- 31 de diciembre de 2019	Fase 2 1 de enero de 2020- 31 de diciembre de 2024	Fase 3 1 de enero de 2025 en adelante
Bulk Carrier	20,000 TPM y superior	0	10	20	30
	10,000 – 20,000 TPM y superior	N/A	0-10	0-20	0-30
Gas Carrier	10,000 TPM y superior	0	10	20	30
	2,000 – 10,000 TPM	N/A	0-10	0-20	0-30
Tanker	20,000 TPM y superior	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 TPM	N/A	0-10	0-20	0-30
Container Ship	15,000 TPM y superior	0	10	20	30
	10,000 – 15,000 TPM	N/A	0-10	0-20	0-30
General Cargo Ship	15,000 TPM y superior	0	10	20	30
	3,000 – 15,000 TPM	N/A	0-10	0-20	0-30
Refrigerated Cargo Ship	5,000 TPM y superior	0	10	20	30
	3,000 – 5,000 TPM	N/A	0-10	0-20	0-30
Combination Carrier	20,000 TPM y superior	0	10	20	30
	4,000 – 20,000 TPM	N/A	0-10	0-20	0-30

Y ahora con este dato, procedemos a calcular el Valor de Línea de Referencia:

- $a \times b^c$.

Tabla 9: Valor de Línea de Referencia

Tipo de Buque	a	b	c
Bulk Carrier	961.79	TPM del Buque	0.477
Gas Carrier	1120.00	TPM del Buque	0.456
Tanker	1218.00	TPM del Buque	0.488
Container Ship	174.22	TPM del Buque	0.201
General Cargo Ship	107.48	TPM del Buque	0.216
Refrigerated Cargo Ship	227.01	TPM del Buque	0.244
Combination Cargo	1219.00	TPM del Buque	0.488

Una vez tengamos claro estos datos comenzamos a hacer los cálculos necesarios para tener nuestro EEDI alcanzado, el cual su formulación teórica consta del resultado de dividir las emisiones de CO2 entre la capacidad de transporte:

$$\frac{\left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{ME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) + \left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPI} P_{PI(i)} - \sum_{i=1}^{nG} f_{G(i)} \cdot P_{AE_{G(i)}} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} - \left(\sum_{i=1}^{nG} f_{G(i)} \cdot P_{G(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^{**} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot Capacity \cdot f_w \cdot V_{ref}}$$

Ilustración 11. Fórmula de cálculo del índice de Eficiencia Energética. Fuente: <https://www.meoexamz.co.in>.

Como vemos en esta imagen, se destacan varios factores fundamentales [51]:

- PME: Potencia del motor principal (kW);
- PAE: Potencia del motor auxiliar (kW);
- SFC: Consumo específico de combustible (g/kW);
- C: Factor combustible/CO2 (g CO2/ g Combustible);
- Capacidad: para buques de carga TPM, para buques de pasaje GT;
- Vref: Velocidad de referencia (nm/hora);
- fi: Factor de corrección de la capacidad;

- fw: Factor de corrección para el rendimiento en condiciones meteorológicas reales;
- fi: Factor de corrección para la eficiencia.

Cabe mencionar que el proyecto adelanta la entrada en vigor de 2025 al pasado 2022 para varios tipos de buques donde se encuentran gaseros, buques de carga general, buques de transporte de Gas Natural Licuado (GNL) y en los buques portacontenedores la tasa de reducción del EEDI se ven incrementado de manera significativa para buques de mayor tamaño [52]:

- Para buques portacontenedores de 200.000 TPM o más, la reducción del EEDI se establece en un 50% a partir de 2022.
- Para portacontenedores con tonelaje de 120.000 a 200.000 toneladas - 45% a partir de 2022.
- Para buques portacontenedores de arqueado igual o superior a 80.000 toneladas a inferior a 120.000 toneladas: 40% a partir de 2022.
- Para buques portacontenedores con tonelaje de 40.000 a 80.000 toneladas - 35% a partir de 2022.
- Para portacontenedores con tonelaje de 15.000 a 40.000 toneladas - 30% a partir de 2022.

Finalmente, el Sistema de Control de Daños de Paratech (DCS) exige que los buques con un arqueado bruto igual o superior a 5.000 GT recojan información sobre el consumo de cada tipo de fueloil que emplean a bordo, así como otros datos adicionales específicos. Esta información adicional se comunica al Estado del pabellón. Además, los Estados de abanderamiento deben transmitir esta información a la base de datos de consumo de combustible de la OMI. La OMI elabora un informe anual para el MEPC en el que se resumen los datos recopilados. El año 2019 fue el primer año en que se recogieron datos. [53].

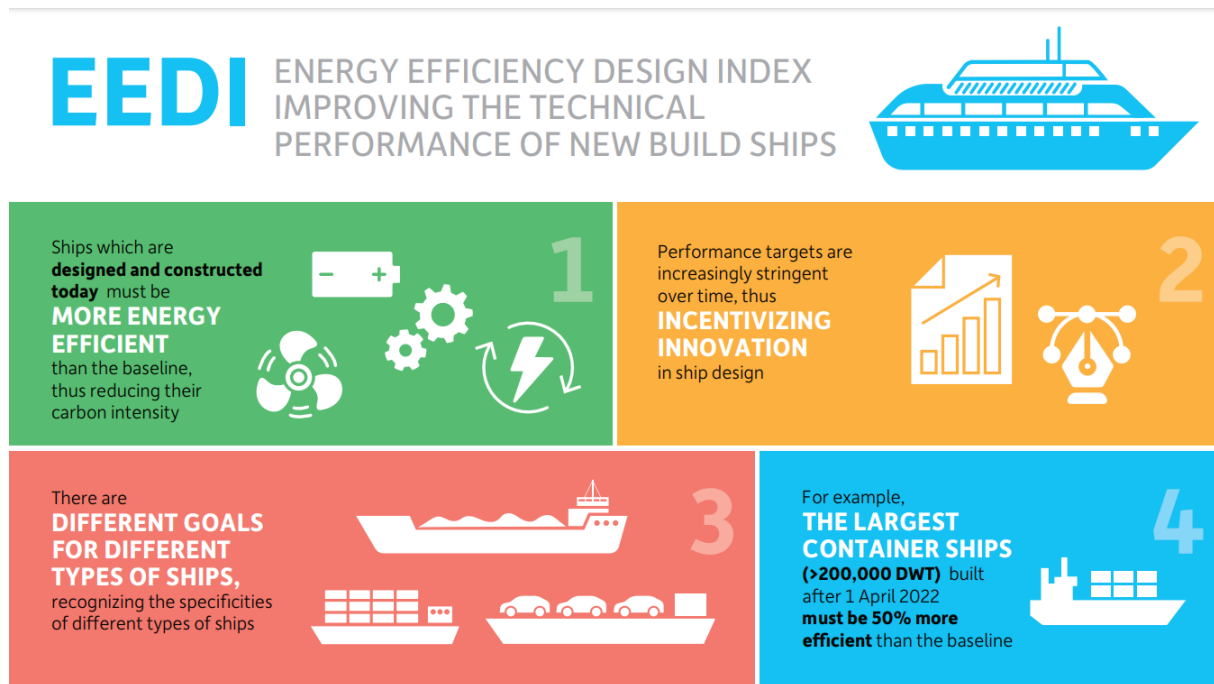


Ilustración 12. Plan EEDI. Fuente: <https://www.imo.org>.

5.7 Nuevas Regulaciones.

En el presente año 2023 se han establecido regulaciones para reducir las emisiones de carbono en el sector marítimo, incluida la introducción de un Índice de eficiencia energética para buques existentes (EEXI) y un Índice de intensidad de carbono (CII). Estas medidas tienen como objetivo abordar las preocupaciones ambientales de la industria del transporte marítimo y contribuir a un transporte marítimo más sostenible y responsable como las demás normativas antes mencionadas. EEXI es un estándar introducido para mejorar la eficiencia energética de los barcos existentes. Establece los requisitos para evaluar y medir el desempeño de un buque en función de su diseño y arqueo. Mediante la determinación de un valor límite de eficiencia, se busca reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero de los buques existentes.

Por otro lado, CII se ha implementado para estimar la intensidad de carbono de un barco en relación con su capacidad de carga. Este indicador mide las emisiones de CO₂ por unidad enviada, brindando información clara sobre la eficiencia energética de un barco en función de su rendimiento y operaciones [54].

5.7.1 Índice de Eficiencia Energética de Buques Existentes (EEXI)

El EEXI alcanzado por un buque indica su eficiencia energética en relación con el valor de referencia. Los buques que cumplen con el EEXI se compararán luego con el índice de eficiencia energética requerido aplicable a los buques existentes, en función del factor de reducción apropiado expresado como un porcentaje del índice de eficiencia energética de diseño base (EEDI). Se calcula para buques de arqueo bruto igual o superior a 400 utilizando diferentes valores establecidos para tipos de buques y clases de tamaño. El valor EEXI calculado para cada tanque debe ser inferior al valor EEXI requerido para garantizar que el tanque cumpla con el estándar mínimo de eficiencia energética.

El EEXI entró en vigor el 1 de enero de 2023 y se basa igual que el EEDI, en las características del buque, como el tipo de este, la capacidad del buque y el principio de propulsión. Lo que el EEXI requiere de una reducción del 15% al 20% dependiendo del tamaño del buque (es decir, 15% para tanqueros de capacidad igual o mayor a 200.000 TMP y el 20% para buques medianos de entre los 20.000 y 200.000 TMP) respecto a la Línea de Referencia previamente mostrada en el apartado anterior [55]. Sin embargo, los buques que no cumplan los criterios de evaluación del EEXI por debajo de un determinado umbral pueden estar sujetos a sanciones y restricciones de la OMI y deberán realizar modificaciones en sus motores o sistemas [56].

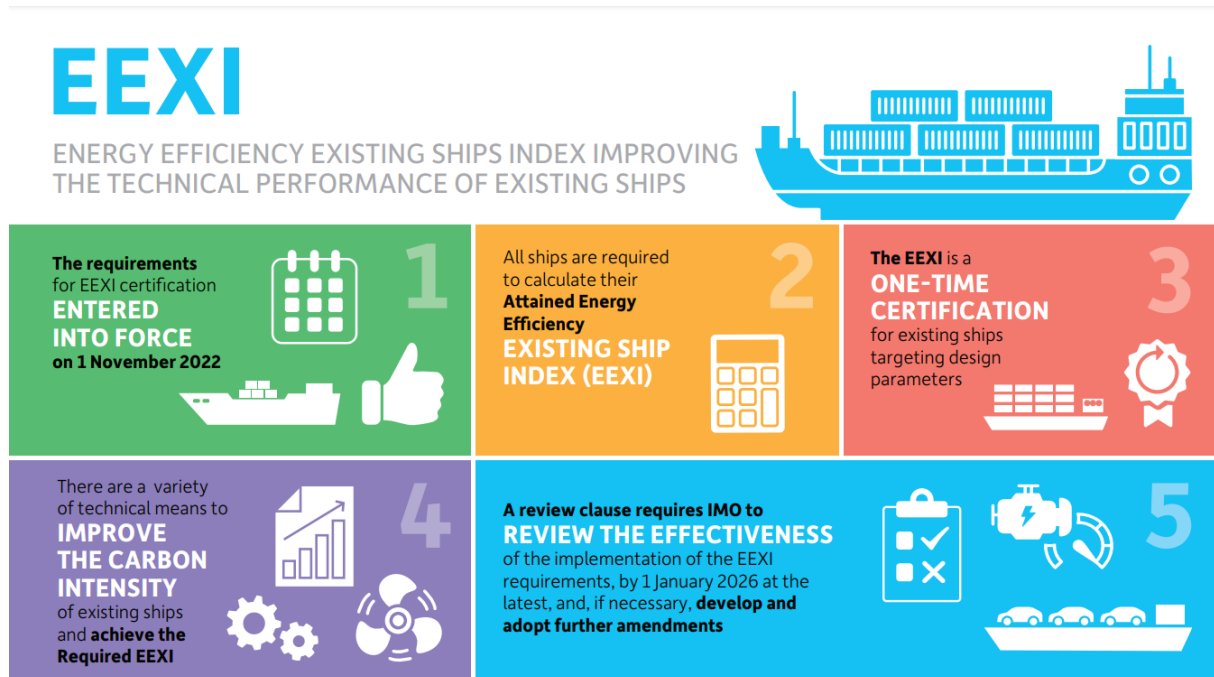


Ilustración 13. Plan EEXI. Fuente: <https://www.imo.org>.

5.7.2 Indicador de Intensidad de Carbono (CII)

El Índice de Intensidad de Carbono mide la reducción anual requerida para lograr una mejora sostenida en la intensidad de carbono operativa de un barco sobre una calificación dada. El objetivo de rendimiento de la intensidad de carbono anual real debe documentarse y alinearse con el objetivo de rendimiento de intensidad de carbono anual establecido. Esto permite determinar la clasificación activa de la intensidad de carbono.

Dependiendo de la calificación de resistencia al carbono del barco, su resistencia al carbono se clasificará como A, B, C, D o E (donde A es la mejor). La calificación indica un nivel de desempeño significativamente muy superior, superior, moderado, inferior o muy inferior. La evaluación del rendimiento se documentará en la Declaración de conformidad que se detallará en el Plan de gestión de la eficiencia energética del buque (SEEMP).

Los buques con calificación D durante tres años consecutivos o E durante un año deberán presentar un plan de acción correctiva para demostrar cómo lograr la calificación C requerida o superior. Se alienta a las autoridades, las autoridades portuarias y otras partes interesadas a brindar incentivos para las embarcaciones Clase A o B, según corresponda. Un buque que funciona con combustible bajo en carbono obviamente obtiene una mejor puntuación que un barco que funciona con combustibles fósiles, pero un barco puede hacer mucho para mejorar su calificación, por ejemplo, realizando cosas como: Limpieza del casco para reducir la fricción, optimización de rutas y velocidades, instalar bombillas de bajo consumo, y la instalación de energía auxiliar eólica/solar para servicios hoteleros [57].

CARBON INTENSITY INDICATOR (CII RATING)

IMPROVING THE OPERATIONAL PERFORMANCE OF EXISTING SHIPS

- 1** Each year, ships of 5,000 gross tonnage and above collect and report fuel consumption data. On the basis of this data, **A CARBON INTENSITY RATING IS ASSIGNED TO THE SHIP, FROM A TO E**
- 2** There are a variety of operational means to **IMPROVE THE CARBON INTENSITY OF EXISTING SHIPS** and achieve the Required CII, e.g.:
 - Ship speed optimization
 - Weather routing
 - Just-in-time arrival
 - Trim, draft, and ballast optimization
- 3** Poorly rated ships **have to implement A PLAN OF CORRECTIVE ACTIONS**, and the company is regularly audited incentives may be provided to best rated (A/B) ships
- 4** **The requirements for CII rating ENTERED INTO EFFECT on 1 January 2023**

Ilustración 14. Plan CII. Fuente: <https://www.imo.org>.

6. Tecnologías y prácticas para reducir la huella de carbono

La industria marítima está implementando muchas medidas y regulaciones efectivas para reducir las emisiones de carbono como ya hemos analizado. Algunas de las medidas más importantes incluyen la mejora de la eficiencia energética, el uso de combustibles alternativos y la introducción de tecnologías innovadoras:

6.1 Sistema de lubricación por aire

El sistema de lubricación por aire, denominado MALS "Mitsubishi Air Lubricating System", fue desarrollado por la empresa japonesa Mitsubishi en colaboración con la Asian Classification Society "ClassNK". La compañía afirma que, cuando se combinan con un casco altamente eficiente, los portacontenedores lubricados por aire pueden reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 35 % en comparación con los portacontenedores convencionales. Hallazgos recientes también confirman la afirmación de que los sistemas lubricados por aire, cuando se combinan con otras tecnologías ecológicas prometedoras para barcos, dan como resultado un ahorro significativo de combustible y una reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Compañías como AIDA Cruise Ships (Buque regular en el puerto de Santa Cruz de Tenerife) y otras pocas navieras ya han confirmado sus planes de implantar sistemas de lubricación por aire en sus buques. [58].

Su cometido es reducir el rozamiento existente entre el casco y el agua mediante una fina capa de burbujas de aire distribuidas por el fondo del casco. Esta película de aire se crea mediante un sistema de formación de burbujas que escapa a través de orificios distribuidos simétricamente por todo el fondo.



Ilustración 15. Air Lubrication System. Fuente: <https://www.marineinsight.com>.

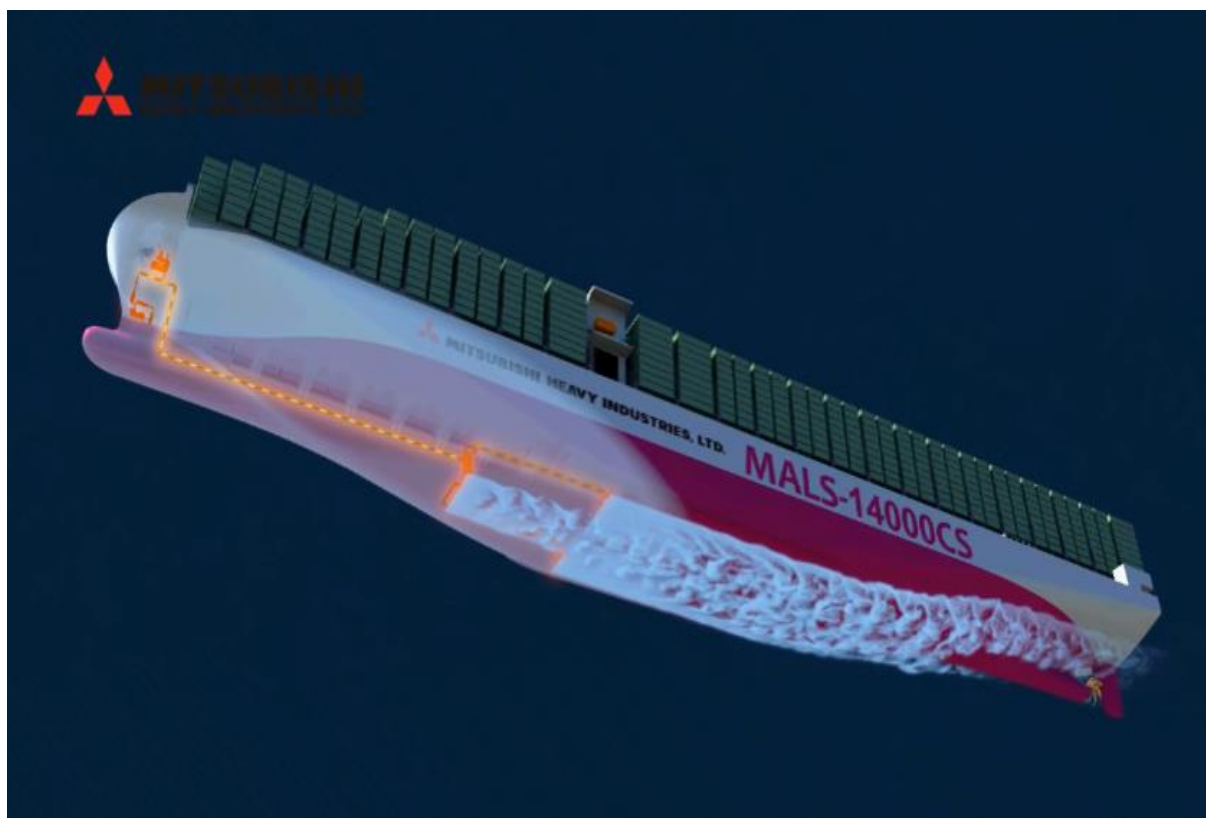


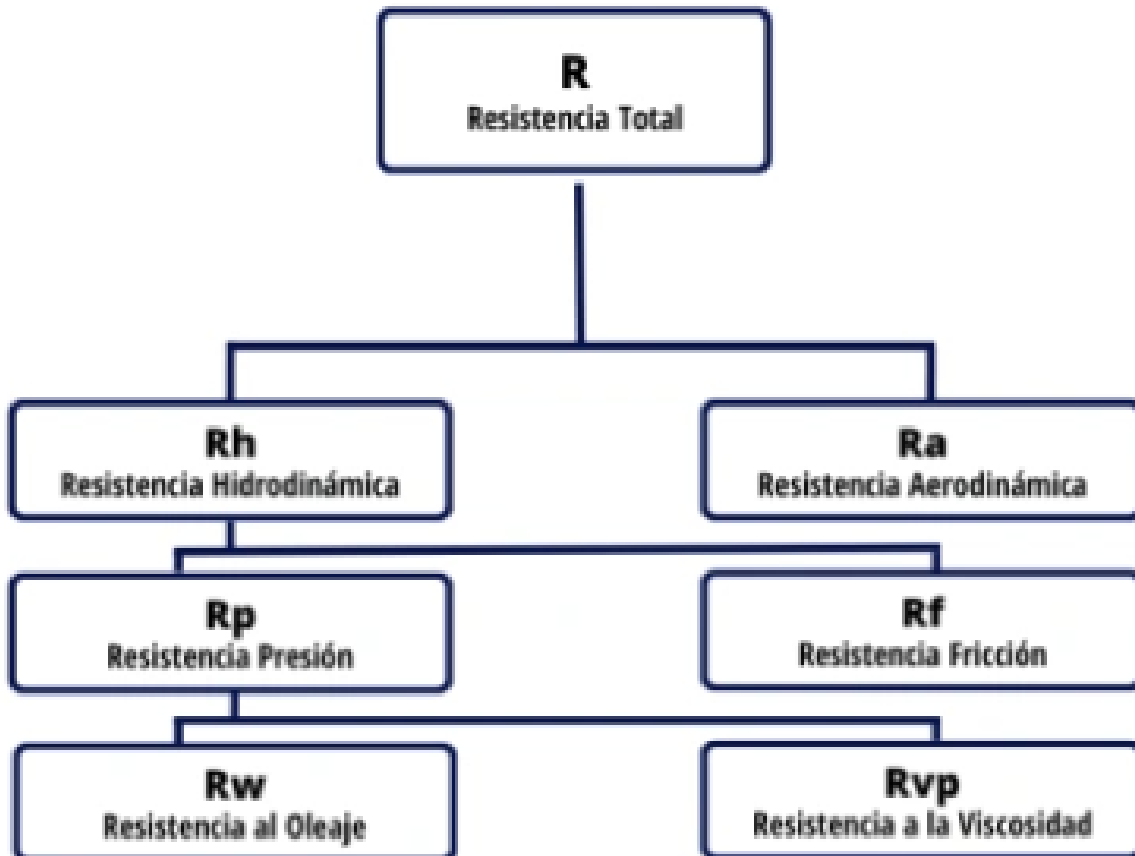
Ilustración 16. Air Lubrication System by Mitsubishi. Fuente: <https://ingenieromarinero.com>.

La capa de burbujas debe ser uniforme, de lo contrario, la estructura del espacio de aire puede cambiar significativamente. Por consiguiente, se debe tener en cuenta que estas burbujas pueden afectar negativamente a la hélice debido al ruido y la vibración, por lo que se deben evaluar adecuadamente los pros y los contras antes de la instalación.

Reducir la fricción de este modo dará como resultado un menor desgaste, ya que el motor necesitará menos carga para mantener una cierta velocidad, además de una reducción de casi el 30% de las emisiones nocivas a la atmósfera, así como un importante ahorro de costes. Esto tiene su lado negativo, porque la tecnología no se aplica a todos los barcos. Donde realmente funciona es en buques de fondo plano como los graneleros. Por otro lado, instalar este sistema en barcos en forma de V, como buques de guerra o barcos de recreo, no tendría sentido [59].

6.1.1 Método

Primero hay que analizar las resistencias que sufre el buque que este se mueve por dos fluidos diferentes: el aire y el agua, los cuales crean fuerzas hidrodinámicas y aerodinámicas opuestas, creando una resistencia al movimiento conocida como arrastre. La resistencia total R que encuentra el buque es la suma de dos componentes: Resistencia aerodinámica R_A y la Resistencia hidrodinámica R_H . Por el contrario, esta última es la suma de la resistencia por fricción R_F y la resistencia a la presión R_P , dividida en la resistencia a las olas R_W y la resistencia a la presión viscosa R_{VP} , respectivamente.



Resistencia total del Casco al Avance

$$R = R_f + R_w + R_{vp} + R_a$$

Ilustración 17. Formula de Resistencias. Fuente: <https://ingenieromarino.com>.

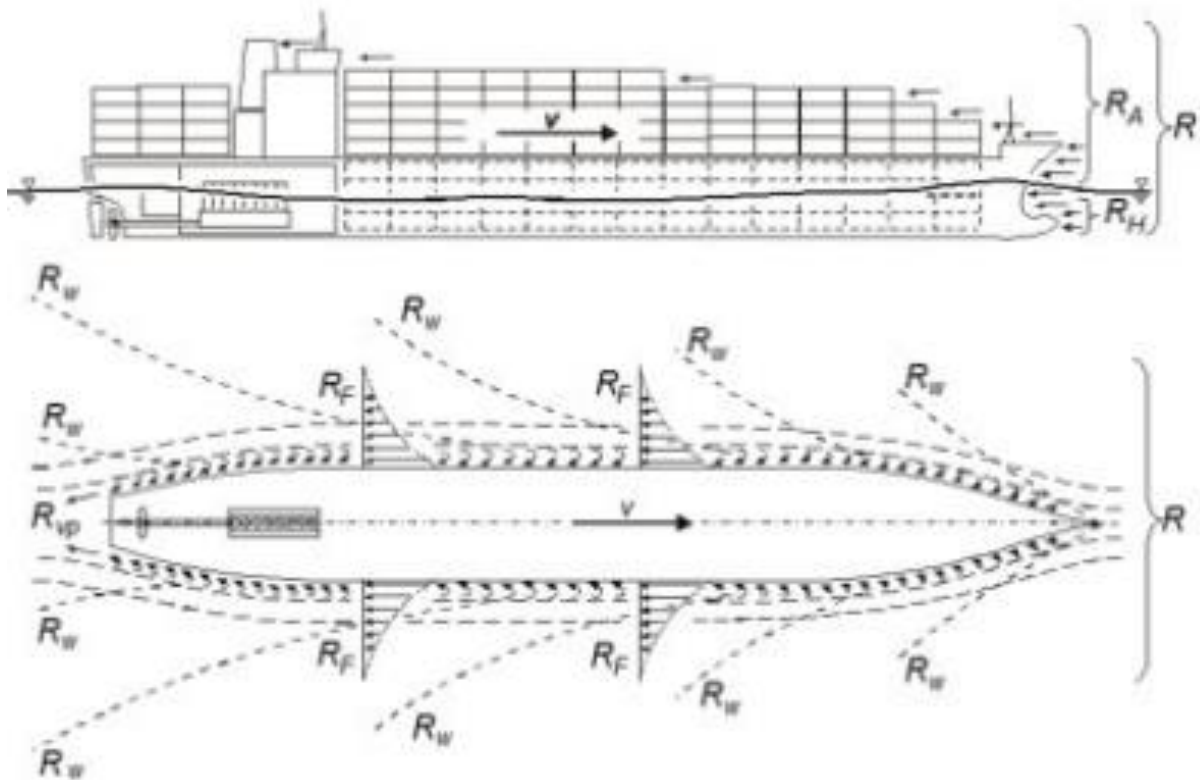


Ilustración 18. Esquema de resistencias. Fuente: <https://ingenieromarino.com>.

Una vez hayamos entendido el problema que nos surge con las resistencias a la hora de la navegación se presenta el Método “Capa de Aire”:

La capa de aire se crea inflando burbujas microscópicas que tienen menos de 1 mm de diámetro, pero más de un micrómetro, introduciendo burbujas microscópicas en una capa límite turbulenta que se desarrolla sobre una superficie húmeda. Sin embargo, su uso está limitado a embarcaciones grandes como los petroleros porque son muy grandes, de fondo plano y de movimiento lento.

Hay varias capas de pequeñas burbujas en la parte delantera del casco que deben orientarse correctamente para que fluyan debajo del barco y reduzcan la resistencia, de esto, se requieren varios sistemas de soporte y modificaciones para crear y mantener una capa de burbujas de aire (como se muestra en la imagen a continuación) y una fuente de presión de aire, cuya energía se incluye en el cálculo de arrastre anteriormente analizado, estando alrededor de 20 %, aunque sistemas propietarios como los del Grupo DK afirman que estaría entre un 5% y un 10%. Se dispondrá de dos pares de cajas de conexiones, una a babor y otra

a estribor, conectadas simétricamente a la línea de suministro estando también equipadas con protección contra la corrosión (ánodo de zinc) [60].

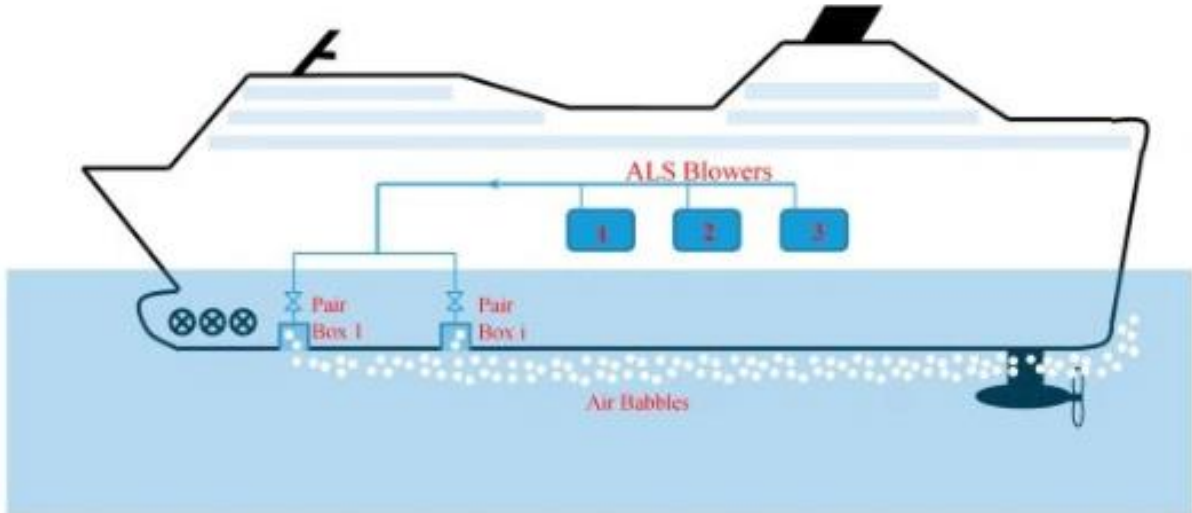


Ilustración 19. Esquema del sistema de Lubricación por Aire (ALS). Fuente: <https://ingenieromarino.com>.

El diseño de un sistema de lubricación neumática es un proceso complejo que incluye la selección de los componentes adecuados para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. A continuación, se describen los factores y consideraciones claves al diseñar un sistema de lubricación por aire [60]:

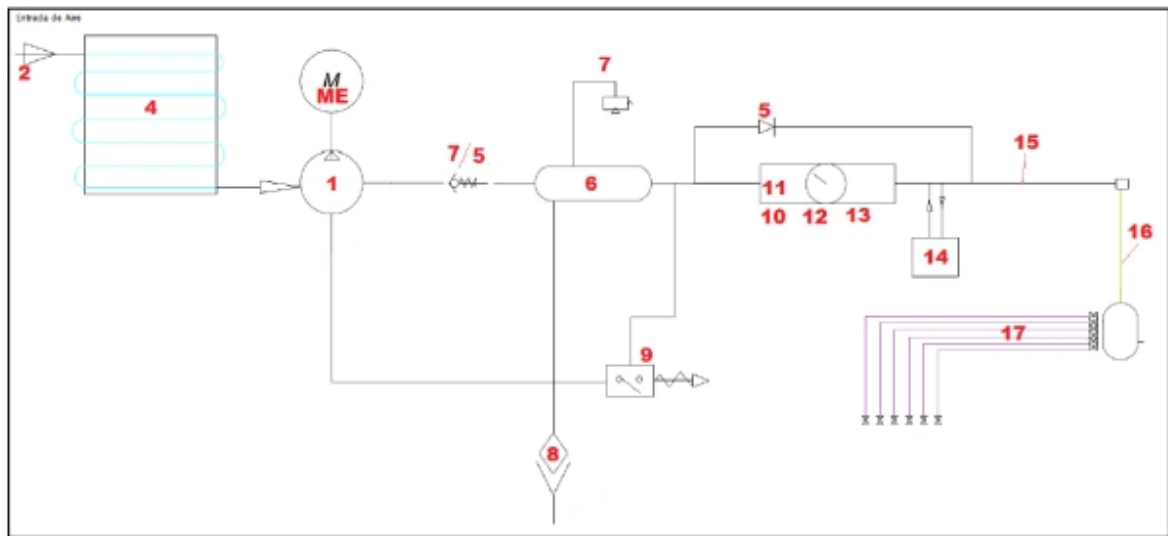


Ilustración 20. Esquema del sistema Air Lubrication System. Fuente: <https://ingenieromarino.com>.

1. Juego de compresores de motor eléctrico (M.E) de 15HP.
2. Filtro de aire de admisión.
3. Ventilación para habitación.
4. Refrigerador y secador.
5. Válvula de retención.
6. Acumulador de presión, tanque principal.
7. Válvula de seguridad, limitador de la presión.
8. Activación manual.
9. Presostato cuando se alcanzar la presión máxima en el tanque, envía una señal para parar el motor.
10. Manómetro en el tanque.
11. Manómetro del sistema.
12. Filtros.
13. Regulador.
14. Lubricador/Desengrasador.
15. Tubería rígida fija.
16. Tuberías de PVC rígido desmontable.
17. Tuberías del sistema de suministro de energía principal.

6.2 Buques a Vela

Una de las fuentes de energía más conocidas dentro del sector marítimo y fuera de él que conocemos todos, es el viento, la cual ha sido aprovechada por tantos países. Los buques también pueden utilizar este tipo de energía para aumentar su propio rendimiento y, por lo tanto, reducir sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero. A esto se conoce como tecnologías de soporte de viento (WAT) y el concepto incluye varios tipos de tecnología, incluidas las velas.

Un estudio también realizado por la ONG “Transporte y Medio Ambiente” en abril de este año explica lo siguiente: “La energía que se obtiene con este tipo de tecnología a partir del viento se utiliza casi en su totalidad para vencer la resistencia al agua, ya que no incluye todas las pérdidas asociadas a la energía convencional. empuje. Las tecnologías de asistencia eólica (WAT) se combinan bien con la reducción de velocidad porque proporcionan un ahorro relativamente mayor a velocidades más bajas”. Según el mismo estudio, se esperan ahorros del 5 al 20% para los barcos existentes modernizados con estas tecnologías. Los ahorros reales dependen del tamaño del buque y sus características operativas.

Por ejemplo, en noviembre de 2019, se lanzó el Proyecto de energía eólica a bordo (WASP), financiado por el programa “Interreg North Sea Europe”, parte del Fondo Europeo de Desarrollo Regional. El propósito del proyecto es investigar cómo las soluciones basadas en energía eólica renovable donde pueden ser más atractivas comercialmente y tiene como objetivo proporcionar al mercado indicadores específicos que demuestren el potencial de este tipo de energía.

Una empresa sueca está desarrollando un carguero de 200 metros de eslora impulsado por energía eólica. El Oceanbird, que contará con un motor de respaldo, esperando reducir las emisiones de carbono en un 90% en comparación con un barco convencional. El barco, diseñado originalmente para transportar hasta 7.000 vehículos, estará listo para el servicio en 2024 y tendrá velas a 105 metros sobre el agua [61].



Ilustración 21. OceanBird impulsado por viento. Fuente: <https://www.infobae.com>.

6.3 Gestión Energética

La electricidad de las embarcaciones generalmente proviene de motores auxiliares conectados a generadores de conversión de energía con emisiones asociadas y costos de combustible. En el transporte se necesita esta fuente de energía, pero existen sistemas para mejorar la eficiencia del sistema de generación de energía. En este punto, el buque necesitará más o menos amperios-hora, según el equipamiento y las necesidades de la tripulación. Capacidades de mitigación de la tripulación a través de acciones tales como:

- Reducir el consumo de plantas climáticas en x grados por día o renunciar a ellas si es necesario.
- Sustitución del sistema de iluminación por bombillas de bajo consumo.
- Uso de maquinaria solo cuando sea necesario
- Conexión a tierra cuando el barco está atracado en el puesto de atraque (Cold Ironing)

Después de todo, cada proceso operativo conduce a una gestión energética más eficiente. La electricidad costera (Cold Ironing) consiste en conectar el barco a tierra con cables eléctricos, aunque el concepto se remonta a la época de los barcos con motores y

calderas de carbón, ya que una vez amarrado el barco no era necesario mantener encendido el fuego y los motores de hierro se enfriaban por completo [62].

6.3.1 Diseño Naviero para la Eficiencia Energética

Hay buques que todavía usan un 30 % más de combustible del necesario, debido a un diseño imperfecto, una propulsión ineficiente o un mantenimiento deficiente del timón y las hélices. El informe del Comité de Protección del Medio Marino de la OMI tiene expectativas importantes con respecto a la mejora de la eficiencia energética, a través del avance tecnológico. Muchas de las actividades del proyecto pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y llevarlas entre el 10% y el 50% de mejora por cada transporte realizado.

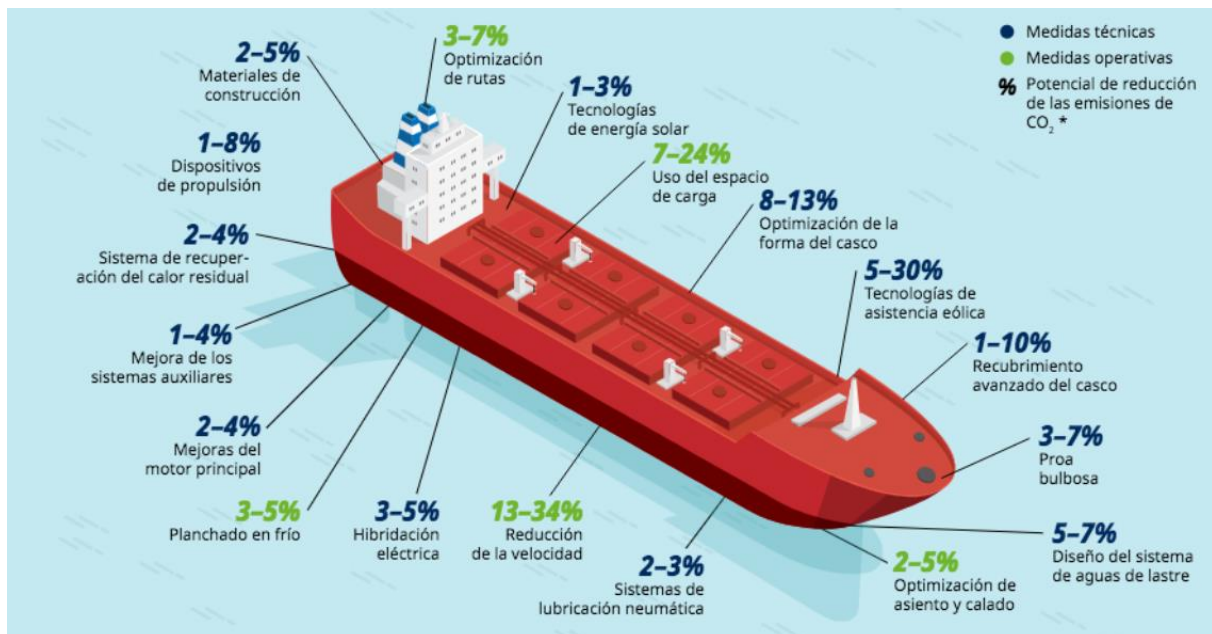


Ilustración 22. Medidas de mejora de la gestión energética. Fuente: <https://fundspeople.com>.

Como observamos en la imagen, muchas de las actividades operativas mostradas podrían reducir considerablemente las emisiones de CO₂. Aunque no solo eso, el conocimiento del ahorro económico de combustible a través de medidas tecnológicas como la geometría del timón y la hélice, la fabricación del timón, la propulsión, el equipamiento y los sistemas auxiliares, la recuperación de calor, la manipulación de la carga de materiales y las fuentes de energía alternativas son generalmente útiles en la industria. Dada la amplia tradición de investigación y desarrollo en estas áreas, el potencial de mejora estimado puede ahorrar un pequeño porcentaje de combustible en promedio en cada categoría.

Este conocimiento es necesario para mejorar la recuperación del calor residual o reducir de manera efectiva el consumo de energía a bordo de los buques, lo cual es un medio altamente eficiente de ahorro de energía general. Los buques tienen una larga vida, en términos de ciclo de vida, la modificación y conversión son más costosas que los nuevos diseños. Los diseños de buques comienzan con un análisis detallado, como el tipo de carga transportada, los métodos de carga y descarga, las rutas y los tiempos de servicio. Partiendo de estas premisas, se inicia la fase de diseño conceptual, durante la cual se determina la configuración y el tamaño del buque, así como las necesidades del motor.

La fase de diseño implica principalmente un estudio de viabilidad técnica para decidir si los requisitos se pueden convertir en especificaciones razonables y crear un buque capaz de navegar, a esto le sigue un diseño cada vez más detallado y el perfeccionado de las características del buque.

En gran medida, las soluciones de eficiencia energética han incorporado en la etapa conceptual el proceso de diseño de los buques, donde las principales dimensiones del buque (eslora, manga, puntal y desplazamiento) son los parámetros más importantes de la eficiencia energética de un buque. Pequeños cambios en estos parámetros pueden causar grandes cambios en la demanda de energía. Añadir que la fase operativa es, por mucho, la más exigente del ciclo de vida del buque en términos de consumo de energía, ya que un perfil de servicio claramente definido en la etapa de diseño inicial es una buena manera de desarrollar una embarcación de alta calidad y eficiencia energética.

Por lo tanto, un diseño optimizado debe tener prioridad sobre la construcción en astilleros, que es menos costosa en términos de eficiencia energética. Los esfuerzos de optimización pueden verse obstaculizados por los requisitos de los astilleros para una construcción rentable, así mismo, los astilleros no necesariamente siguen un enfoque de ciclo de vida y no siempre cambian los diseños existentes o hacen cambios que puedan ser una carga para los propietarios [62].

6.4 Combustibles alternativos

En los últimos años ha aumentado el interés por utilizar combustibles alternativos en los buques como solución para reducir las emisiones de carbono, como el gas natural licuado (GNL), biocombustibles y la energía eléctrica ofrecen oportunidades prometedoras para la transición hacia un transporte marítimo más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Estos combustibles pueden reducir significativamente las emisiones contaminantes y ayudar

a mejorar la calidad del aire mientras cumplen con las normas y reglamentos establecidos por organizaciones como la Organización Marítima Internacional (OMI). Sin embargo, la introducción efectiva de combustibles alternativos a bordo de los barcos requiere una evaluación cuidadosa de sus beneficios, desafíos logísticos y operativos, así como la disponibilidad de infraestructuras adecuadas en los puertos para entregarlos y almacenarlos [63].

6.4.1 Gas Natural Licuado (GNL)

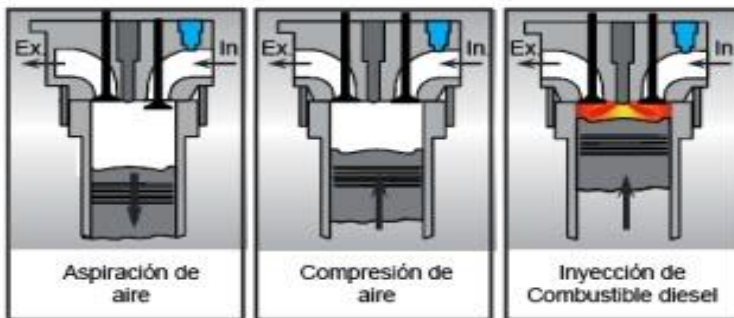
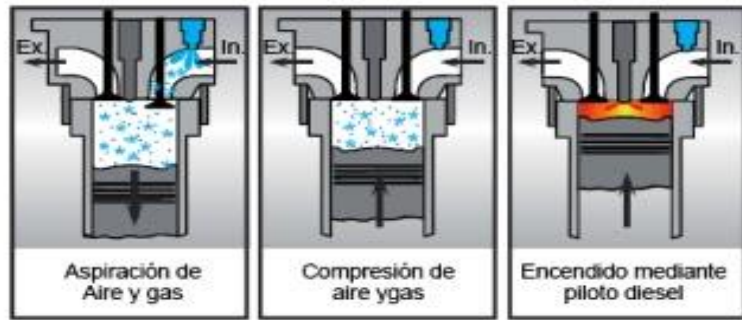
El gas natural licuado, también conocido como GNL, es un combustible que se utiliza en forma líquida. Es inodoro, incoloro, no tóxico y no corrosivo, se transporta y se almacena a la temperatura de -162°C ya que es su temperatura de ebullición a presión atmosférica. No es un combustible nuevo ya que se maneja con seguridad desde hace más de 50 años, sin embargo, es poco conocido por su dificultad de manejo a temperaturas tan bajas. En forma líquida, el GNL no funcionaría como combustible, en cambio, si le añadimos oxígeno pasa a estar en forma gaseosa, convirtiéndose en el combustible deseado [64].

Hoy en día, en el corto plazo, el gas natural licuado (GNL) tiene un gran potencial para descarbonizar el transporte marítimo. Si bien sigue siendo un combustible fósil, los datos muestran que el GNL produce entre un 20% y un 25% menos de emisiones de dióxido de carbono, un 80 % menos de emisiones de óxido de nitrógeno y elimina las emisiones de óxido de azufre y dióxido de nitrógeno en comparación con otros combustibles fósiles. Así mismo, entre algunas de sus ventajas está que el GNL permite a los barcos recorrer largas distancias, asegura la flexibilidad y las necesidades operativas y logísticas, ya que cuenta con una infraestructura desarrollada a nivel mundial, y se puede transportar fácilmente a cualquier parte del mundo, estando disponible de inmediato [65].

En la actualidad existen motores propulsados por GNL siendo estos motores Dual-Fuel que como bien indica su nombre, trabajan con dos tipos de combustible, el GNL en estado gaseoso, el MDO (Marine Diesel Oil) y HFO (Heavy Fuel Oil) en estado líquido. Funcionan en modo gas a baja presión (5 bar) inyectando diésel al 1% como encendedor para encender la mezcla aire/aire o en modo solo diésel utilizando MDO y HFO. La combustión de la mezcla aire-gasolina se realiza en un ciclo Otto (generación de chispa eléctrica), o de otra manera, la combustión de la mezcla aire-combustible en un ciclo Diesel [66].

Modo Gas :

- Ciclo Otto
- Admisión de gas a baja presión
- Inyección piloto de GO



Modo Diesel :

- Ciclo Diesel
- Inyección de Diesel

© Wärtsilä 19 de Noviembre de 2011 / Alternativas energéticas en los barcos / Josu Gaiogana



Ilustración 23. Proceso de combustión de mezcla Dielsel-Gas. Fuente: <http://maquinasdebarcos.blogspot.com>.

Aun así, existen motores impulsados solo por GNL, aunque los motores Dual-Fuel tienen ventajas frente a estos:

- Mayor fiabilidad y **redundancia**.
- En modo diesel puede entregar el 100 % de potencia
- Se puede pasar a modo diesel de forma instantánea sin interrumpir la operación

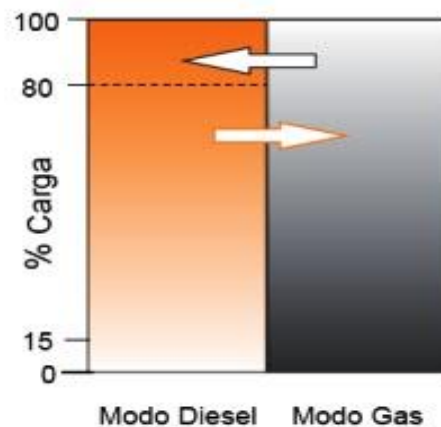


Ilustración 24. Ventajas del motor Dual frente motores GNL. Fuente: <http://maquinasdebarcos.blogspot.com>.

Por último, hay que mencionar que los buques portacontenedores de GNL de combustible doble ahora representan más de una cuarta parte de las órdenes totales, después

de que los pedidos aumentaran durante el año pasado. De hecho, la proporción de pedidos de buques portacontenedores con opciones de propulsión alternativa aumentó al 28 % con la incorporación de buques propulsados por metanol, lo que confirma que el GNL es ahora la opción de combustible alternativo más popular en la industria, con un total de pedidos que aumenta a los 138 buques [67].

6.4.2 Hidrógeno Verde

El hidrógeno verde es 100% eco-combustible, el cual no emite gases contaminantes durante la combustión ni durante la producción y sí, se produce a partir de fuentes de energía renovables ya sean solares o eólicas. Además de ser 100% sostenible, también es fácil de almacenar y se puede utilizar en aplicaciones industriales, comerciales, móviles o de transporte como es el caso.

En Puertollano (Ciudad Real) se alberga la mayor central eléctrica de hidrógeno verde de Europa. La planta incluye una planta de energía solar fotovoltaica de 100 MW, un sistema de baterías de iones de litio de 20 MWh y un sistema de producción de electrólisis de 20 MW [68]. Con una inversión de 150 millones de euros, la iniciativa creará hasta 1.000 puestos de trabajo y evitará la emisión de 48.000 toneladas de CO₂ al año. El hidrógeno verde allí generado se utilizará en la planta de amoníaco que Fertiberia tiene en la ciudad. Ya es una de las fábricas más eficientes de la Unión Europea, con una capacidad de producción de más de 200.000. t/año y podrá reducir las necesidades de gas natural de la planta en más de un 10% y será la primera empresa europea del sector con amplia experiencia en la producción del biocombustible verde.



Ilustración 25. Planta de Hidrógeno verde. Fuente: <https://www.iberdrola.com>.

El hidrógeno verde se produce en celdas electrolíticas, alimentadas tanto por sistemas fotovoltaicos como por baterías, en un proceso libre de CO₂ que permite la electrificación de industrias. La producción se realiza mediante una planta de electrólisis de polímeros de 20 MW para proporcionar electricidad con una capacidad de producción de 360 kg de hidrógeno por hora.

En cuanto al almacenamiento de hidrógeno verde es necesario para asegurar la estabilidad del suministro que requiere la planta de Fertiberian y el uso eficiente de la producción y asegurar la estabilidad del suministro que requiere la central fertibérica y el uso eficiente del proceso de producción de energías renovables. En esta planta se contemplan un total de 11 matraces para contener 6.000 kg de H₂ verde a una presión de 60 bar.

Cada tanque tiene una capacidad de 133 m³, 23,5 m de altura y 2,8 m de diámetro. Pesan 77 toneladas en vacío y están fabricados en acero especial de 4,5 cm de espesor para contener hidrógeno, debido al pequeño tamaño de esta molécula con energía renovable. Se permite un total de 11 tanques para contener 6.000 kg de H₂ verde a una presión de 60 bar [69].



Ilustración 26. Tanques de almacenamiento de H₂ verde. Fuente: <https://www.iberdrola.com>.

El hidrógeno verde jugará un papel decisivo en el proceso de descarbonización por lo que los buques deben estar equipados principalmente con sistemas de almacenamiento de hidrógeno y pilas de combustible. El hidrógeno se almacenará para ser bombeado a una celda

de combustible más tarde, y con el oxígeno capturado del aire, se producirá electricidad que se usará para propulsar el barco. Esta inclusión supondrá una reducción de la capacidad de los buques en no más del 5%. Aunque en la mayoría de los casos se pueden realizar sin alterar la capacidad de la embarcación y sin tener que hacer paradas adicionales en el camino por falta de combustible. Las únicas emisiones del barco son vapor, siempre que se eliminen por completo las emisiones de los sistemas convencionales actuales. Actualmente, se están desarrollando proyectos en todo el mundo para utilizar el hidrógeno como combustible para los barcos [70].

Otro de los tantos proyectos que se están llevando a cabo, surge en Noruega, este proyecto se llama “Ulstein SX190” y tiene como objetivo demostrar que es posible electrificar medios de transporte que requieren grandes cantidades de energía para realizar sus tareas. El proyecto desarrollará un buque eléctrico denominado “Ulstein SX190 Zero Emission DP2” de 99 metros de eslora y 23,4 m de manga, alimentado por una celda de combustible de 3,2 MW e hidrógeno líquido híbrido con batería, de tal forma que se podrá transportar hidrógeno líquido. “Norwegian Electric System (NES)”, con sede en Bergen, afirma que este proyecto tendrá sus frutos cuando haya puertos que tengan este tipo de combustible almacenados para su distribución, tal y como lo está haciendo la ya nombrada Planta de hidrógeno verde en Puertollano, de esta forma la autonomía de este tipo de buque aumentará significativamente. Incluir que este buque será uno de las primeras embarcaciones noruegas en navegar a través de los fiordos de Noruega en 2023 impulsado por electricidad e hidrógeno verde [71].



Ilustración 27. “Ulstein SX190”. Fuente: <https://ulstein.com>.

Conclusiones

A lo largo de este trabajo final de grado, he tenido la oportunidad de investigar y reflexionar sobre el problema actual de la huella de carbono en la industria marítima, que, a través de mi investigación, me he dado cuenta de que la producción de gases de efecto invernadero de las actividades marítimas es una barrera importante para la sostenibilidad ambiental, sin embargo, los esfuerzos por conseguir el objetivo principal de 0 emisiones para 2050 no será fácil sin la aportación de toda la industria involucrada.

La importancia del transporte marítimo para el comercio y la economía mundial se ve eclipsada por su impacto en el cambio climático y la contaminación del aire, de tal forma que es evidente que se requiere una colaboración estrecha entre gobiernos, organismos internacionales, empresas navieras y puertos, para lograr avances significativos en la reducción de la huella de carbono. Además, se necesitan de normativas y regulaciones sólidas que fomenten la adopción de prácticas sostenibles y promuevan la investigación y el desarrollo de tecnologías innovadoras, tal como lo ha hecho y sigue haciendo la Organización Marítima Internacional y empresas anteriormente nombradas.

Juntos, podemos cambiar el mundo para mejor y contribuir a un futuro más sostenible para el sector marítimo, protegiendo así nuestros océanos y nuestra atmosfera, asegurando así un planeta saludable y estable en cuanto a emisiones para futuras generaciones.

Conclusions

Through this final degree work, I have had the opportunity to research and think about the current problem of carbon footprinting in the maritime industry, which, through my research, I have realized that the production of greenhouse gases from maritime activities is a major barrier to environmental sustainability, however, efforts to achieve the primary goal of 0 emissions by 2050 will not be easy without the input of the entire industry involved.

The importance of shipping to global trade and the global economy is overshadowed by its impact on climate change and air pollution, so it is clear that close collaboration between governments, international bodies, shipping companies and ports is required to make significant progress in reducing the carbon footprint. In addition, strong rules and regulations are needed to encourage the adoption of sustainable practices and promote research and development of innovative technologies, just as the International Maritime Organization and the companies mentioned above have done and continue to do.

Together, we can change the world for the better and contribute to a more sustainable future for the maritime sector, protecting our oceans and our atmosphere, ensuring a healthy planet for future generations.

Bibliografía

- 1] Ministerio del Medio Ambiente. Gobierno de Chile., «Huella de carbono,» 14 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>.
- 2] Oceana ORG, «Contaminación por la Industria Naval,» 14 Junio 2023. [En línea]. Available: [https://europe.oceana.org/es/contaminacion-por-la-industria-naval-0/#:~:text=Adem%C3%A1s%20de%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%20\(CO2\)%2C%20os%20barcos,nitroso%20\(N2O\)](https://europe.oceana.org/es/contaminacion-por-la-industria-naval-0/#:~:text=Adem%C3%A1s%20de%20di%C3%B3xido%20de%20carbono%20(CO2)%2C%20os%20barcos,nitroso%20(N2O).).
- 3] I. B. y. C. Bravo, «El transporte marítimo contamina miles de veces más que el terrestre,» *elDiario*, pp. https://www.eldiario.es/opinion/tribuna-abierta/transporte-maritimo-contamina-miles-terrestre_129_1517031.html, 05 Junio 2019.
- 4] M. d. T. M. y. S. S. Gobierno de España, «Emisiones,» 01 Julio 2010. [En línea]. Available: <https://risctox.istas.net/index.asp?idpagina=620>.
- 5] C. Software, «Herramientas de Ingeniería,» 14 Junio 2023. [En línea]. Available: [https://www.herramientasingeneria.com/tech/NOx/NOx.html#:~:text=Se%20produce%20a%20partir%20del,se%20liberan%20como%20%C3%A1tomos%20inestables](https://www.herramientasingeneria.com/tech/NOx/NOx.html#:~:text=Se%20produce%20a%20partir%20del,se%20liberan%20como%20%C3%A1tomos%20inestables.).
- 6] H. O. B. Ballesteros, «INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO,» 10 Diciembre 2007. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cam+bio+Climatico.pdf>.
- 7] Fundación Nuestro Mar, «¿Cuánto contamina realmente un buque?,» 25 Enero 2017. [En línea]. Available: <https://www.nuestromar.org/antiguas/cuanto-contamina-realmente-un-buque/#:~:text=Un%20buque%2C%20como%20se%20ha,de%20CO2%20por%20km%20reco>rrido.
- 8] O. M. Internacional, «Gases de efecto invernadero,» 01 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Paginas/GHG-Emissions.aspx>.
- 9] M. d. E. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización,» 01 Junio 2023. [En línea]. Available: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-479093.pdf.
- 10] A. Cerrillo, «¿Cuáles son los puertos europeos con más emisiones de CO2?,» 02 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://www.lavanguardia.com/natural/20220202/8028312/cuales-son-puertos-europeos-mas-emisiones-co2.html>.
- 11] A. P. d. Tenerife, «Cálculo de la Huella de Carbono,» 08 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.puertostetenerife.org/wp-content/uploads/2023/01/Calculo-de-la-Huella-de-Carbono-y-Plan-de-Reduccion-de-Emisiones.pdf>.
- 12] G. d. C. Oficinas Verdes Canarias, «Las Palmas se inscribe en el Registro de Huella de Carbono para reducir gases,» 22 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.oficinasverdes.es/noticias/las-palmas-se-inscribe-en-el-registro-de-huella-de-carbono-para-reducir-gases/>.
- 13] Greenpeace México, «Huella de carbono: aprende a calcular tu impacto ambiental,» 26 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/9386/huella-de-carbono/>.

- 14] Twenergy, «Cómo reducir la huella de carbono: Ejemplos prácticos.» 25 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://twenergy.com/ecologia-y-reciclaje/huella-ecologica/10-formas-de-reducir-la-huella-de-carbono-657/>.
- 15] Nestlé, «¿Qué son las emisiones de CO₂ y cómo afectan al medio ambiente?», 20 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://www.nestleagustoconlvida.com/con-proposito/que-son-las-emisiones-de-co2#:~:text=Con%20mayor%20concentraci%C3%B3n%20de%20CO%E2%82%82,de%20300%20partes%20por%20mill%C3%B3n.>
- 16] Iberdrola, S.A., «ACIDIFICACIÓN DE LOS OCEANOS», 14 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/acidificacion-oceanos>.
- 17] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Gobierno de España., «Biodiversidad y cambio climático», 14 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad/biodiversidad-y-cambio-climatico/default.aspx#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20se%20considera,y%20las%20especies%20ex%C3%B3ticas%20invasoras.>
- 18] Ministerio de Medio ambiente. Gobierno de Chile., «La contaminación del aire y su relación con el cambio climático», 7 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://mma.gob.cl/la-contaminacion-del-aire-y-su-relacion-con-el-cambio-climatico/#:~:text=Tanto%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico%20como,aire%2C%20tienen%20relaci%C3%B3n%20entre%20s%C3%AD.>
- 19] Aquae Fundación , «Los bosques: aliados contra la crisis climática», 14 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.fundacionaquae.org/restauracion-forestal-bosques/>.
- 20] Naciones Unidas: UN WATER, «Water and Climate Change», 14 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.unwater.org/water-facts/water-and-climate-change>.
- 21] A. I. Montañez, «El cambio climático reduce un 21% la productividad agrícola mundial desde 1961,» 16 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://verdeyazul.diarioinformacion.com/el-cambio-climatico-reduce-un-21-la-productividad-agricola-mundial-desde-1961.html>.
- 22] CaixaBank, S.A. , «El impacto económico del cambio climático», 4 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://blog.caixabank.es/blogcaixabank/el-impacto-economico-del-cambio-climatico/#>.
- 23] National Academy of Science., «¿El calentamiento global causa problemas respiratorios?», 11 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.nationalacademies.org/espanol/based-on-science/el-calentamiento-global-causa-problemas-respiratorios#:~:text=Los%20picos%20de%20ozono%20a,asocian%20a%20la%20muerte%20prematura.>
- 24] R. López-Vélez., «CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA Y RIESGO DE ENFERMEDADES,» Rev. Esp. Salud Publica, 14 Abril 2005. [En línea]. Available: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200006#:~:text=Hipot%C3%A9ticamente%2C%20las%20enfermedades%20vectoriales%20susceptibles,la%20fiebre%20de%20Congo%20Crimea%2C.
- 25] State of California. Department of Industrial Relations., «¿Qué Son las Enfermedades Causadas por el Calor?», 14 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.dir.ca.gov/dosh/etools/08-006sp/whatis.htm#:~:text=Las%20enfermedades%20causadas%20por%20el%20calor%20pu eden%20ser%20una%20o,agotamiento%20por%20calor%20e%20insolaci%C3%B3n.>
- 26] Laboral Group. Preven System., «¿Cómo afecta el cambio climático en los alimentos?», 09 Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://www.prevensystem.com/internacional/534/noticia-como-afecta-el-cambio-climatico-en-los->

alimentos.html#:~:text=El%20cambio%20clim%C3%A1tico%20afecta%20tanto,los%20sistem as%20alimentarios%20se%20estresan.

- 27] DKV Salud., «Salud mental y cambio climático,» 10 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://dkv.es/corporativo/blog-360/medioambiente/cambio-climatico/salud-mental#:~:text=de%20la%20Salud.-,El%20calentamiento%20global%2C%20adem%C3%A1s%20de%20tener%20un%20impacto%20significativo%20en,postraum%C3%A1tico%2C%20depresi%C3%B3n%20e%20incluso%20>
- 28] ASOCIACION THE CONVERSATION ESPAÑA, «El 58 % de las enfermedades infecciosas humanas puede empeorar con el cambio climático,» 9 Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://theconversation.com/el-58-de-las-enfermedades-infecciosas-humanas-puede-empeorar-con-el-cambio-climatico-188473>.
- 29] UNHCR. La Agencia de la ONU para Refugiados., «Cambio climático y desplazamiento por desastres,» 14 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.acnur.org/cambio-climatico-y-desplazamiento-por-desastres>.
- 30] CEPAL, «FAL, Facilitación, comercio y logística en America Latina y el Caribe,» 20 Diciembre 2019. [En línea]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45054/1/S1901102_es.pdf.
- 31] J. A. L. GOÑI, «OMI,» 20 Junio 2020. [En línea]. Available: https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/comodin/recursos/en34_37_701.pdf.
- 32] OMI, «OMI,» 8 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/Paginas/WhatsNew-1754.aspx>.
- 33] Cotransa, «Cotransa,» 28 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://cotransa.com/que-esta-haciendo-la-omi-para-reducir-la-huella-del-transporte-maritimo/>.
- 34] S. Martinez, «ElPeriodico,» 23 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20230323/union-europea-acuerdo-politico-limitar-emisiones-transporte-maritimo-85050365>.
- 35] «Wikipedia,» 15 Febrero 2023. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Protocolo_de_Kioto.
- 36] E. Equipo editorial, «Enciclopedia Humanidades,» 18 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://humanidades.com/protocolo-de-kioto/>.
- 37] CEPAL, «CEPAL - Naciones Unidas,» 16 Febrero 2005. [En línea]. Available: <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratado/protocolo-kyoto-la-convencion-marco-cambio-climatico>.
- 38] E. RSyS, «Responsabilidad Social Empresarial y Sustentabilidad,» 09 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://responsabilidadsocial.net/protocolo-de-kioto-que-es-objetivos-acuerdos-y-paises/>.
- 39] Wikipedia, «Wikipedia,» 23 Diciembre 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Cr%C3%ADticas_al_Protocolo_de_Kioto.
- 40] Ferrovial, 29 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.ferrovial.com/es/recursos/protocolo-de-kioto/>.
- 41] N. Unidas, «El Acuerdo de París,» 05 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris>.
- 42] K. D. M. SAMANEZ, «Marine and Naval Engineering,» 07 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://marineandnavalengineering.com/articulos/conclusiones-cuarto-estudio-omi-gei/>.

- 43] OMI, «OMI,» 23 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/Pages/WhatsNew-1596.aspx>.
- 44] @PortalPortuario, «PortalPortuario.cl,» 04 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://portalportuario.cl/omi-publica-su-cuarto-estudio-sobre-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero/>.
- 45] A. d. N. Españoles, «Cuarto estudio de la OMI sobre emisiones de GEI del Transporte Marítimo,» Septiembre 2021. [En línea]. Available: https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/2020/tribuna_bia0920.pdf.
- 46] Cero2050, «CERO2050,» 30 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://cero2050.es/es/4th-imo-ghg-stud/>.
- 47] OMI, «La labor de la OMI para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero,» 28 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>.
- 48] Wikipedia, «Wikipedia,» 23 Diciembre 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Impuesto_sobre_el_carbono.
- 49] M. d. E. p. I. T. E. y. e. R. Demográfico, «Fondo de Carbono FES-CO2.,» 29 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/fondo-carbono/>.
- 50] KaranC, «Marine Insight,» 11 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-ship-energy-efficiency-management-plan/>.
- 51] CETMAR, «Energy Efficiency Design Index (EEDI) MEPC.203(62),» 03 Noviembre 2017. [En línea]. Available: [https://cetmar.org/documentacion/RESOLUCION_MEPC.203\(62\).pdf](https://cetmar.org/documentacion/RESOLUCION_MEPC.203(62).pdf).
- 52] OMI, «Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los buques.,» 05 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Pages/Reducing-greenhouse-gas-emissions-from-ships.aspx>.
- 53] OMI, «Sistema de recopilación de datos sobre el consumo de combustible de los buques,» 06 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/OurWork/Environment/Pages/Data-Collection-System.aspx#:~:text=En%20virtud%20de%20las%20enmiendas,equivalentes%20del%20trabajo%20de%20transporte..>
- 54] OMI, «OMI,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/EEXI-CII-FAQ.aspx>.
- 55] M. Marítimo, «Red de Puertos,» 13 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://www.reddepuertos.org/noticias/implementacion-de-eexi-y-cii-restringira-la-capacidad-efectiva-de-la-flota-tanquera-en-los-proximos-dos-anos>.
- 56] DSV, «Regulaciones IMO 2023,» 4 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.dsv.com/es-mx/ayuda/faq/regulaciones-imo/regulacion-imo-2023>.
- 57] OMI, «EEXI y CII: Medidas de intensidad de carbono de los buques y el sistema de clasificación,» 06 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/HotTopics/Paginas/EEXI-CII-FAQ.aspx#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20%C3%ADndice%20de,con%20una%20%C3%ADnea%20de%20base..>
- 58] Raunek, «How Air Lubrication System for Ships Works,» 24 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.marineinsight.com/green-shipping/how-air-lubrication-system-for-ships-work/>.

- 59] R. M. S. Frutos, «Sistema de lubricación por aire,» 07 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://conbdebarco.wordpress.com/2016/06/07/sistema-de-lubricacion-por-aire/>.
- 60] R. G. Soutullo, «Ingeniero Marino,» 2023. [En línea]. Available: <https://ingenieromarino.com/sistema-de-lubricacion-por-aire-en-el-casco/>.
- 61] L. Castro, «Infobae,» 11 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.infobae.com/america/soluciones/2021/05/11/las-innovaciones-del-transporte-maritimo-para-sumarse-a-la-lucha-contra-la-crisis-climatica/>.
- 62] C. División de Recursos Naturales e Infraestructura, «CEPAL,» 2013. [En línea]. Available: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37618/Bolet%C3%ADn%20FAL%20324_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- 63] Cepsa, «Cepsa,» 18 Octubre 2022. [En línea]. Available: <https://www.cepsa.com/es/planet-energy/movilidad-sostenible/descarbonizar-el-transporte-maritimo>.
- 64] Shell, «Shell,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.shell.com.co/energia-e-innovacion/gas-natural/gas-natural-licuado.html#>.
- 65] S. Garnica, «GNLGlobal,» 02 Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://gnlglobal.com/gnl-como-combustible-puente-en-la-industria-maritima/>.
- 66] N. Sánchez, «Máquinas de Barcos,» 15 Febrero 2012. [En línea]. Available: <http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2012/02/el-gas-natural-liquado-Ing-y-la.html>.
- 67] N. Global, «Naucher Global,» 19 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.naucher.com/los-portacontenedores-propulsados-por-gnl-ya-suponen-un-25-de-la-flota-global/>.
- 68] G. Oropesa, «Blog de CC de Transporte y Logística,» 24 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://blogs.ucjc.edu/cc-transporte-logistica/2023/01/hidrogeno-verde-para-barcos/>.
- 69] Iberdrola, «Iberdrola,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/hidrogeno-verde/puertollano-planta-hidrogeno-verde>.
- 70] V. Sendarrubias, «el canal marítimo y logístico,» 25 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.diarioelcanal.com/la-descarbonizacion-de-los-buques-con-el-hidrogeno-verde/>.
- 71] N. Wessels, «Ulstein,» 03 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://ulstein.com/news/roadmap-to-a-hydrogen-future>.
- 72] Medio Ambiente en Andalucía., «La contaminación marina producida por buques.,» 2002. [En línea]. Available: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Publicaciones_Periodicas/IMA/2002/ima_2002_pdfs/MONOGRAFIA2.pdf.
- 73] KUNAK TECHNOLOGIES SL , «Calidad del aire en los puertos, un factor que mejora la gestión y la imagen,» 9 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://kunakair.com/es/calidad-aire-puertos-maritimos/#:~:text=Las%20principales%20emisiones%20de%20los,part%C3%ADculas%20en%20suspensi%C3%B3n%20y%20ruido>.
- 74] OMI, «OMI,» 15 Septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.imo.org/es/MediaCentre/Paginas/WhatsNew-1754.aspx>.
- 75] m. p. I. T. e. y. E. R. D. Gobierno de España, «Emisiones,» 06 Julio 2023. [En línea].

Permiso de divulgación del Trabajo Final de Grado

El alumno **Nombre y apellidos**, autor del trabajo final de Grado titulado “**Incluir el título del TFG**”, y tutorizado por el/los profesor/es **Nombre y apellidos del tutor/es**, a través del acto de presentación de este documento de forma oficial para su evaluación (registro en la plataforma de TFG), manifiesta que **PERMITE – NO PERMITE** (Elimínese la que no corresponda, y el contenido de este paréntesis) la divulgación de este trabajo, una vez sea evaluado, y siempre con el consentimiento de su/s tutor/es, por parte de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, del Departamento de XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX y de la Universidad de La Laguna, para que pueda ser consultado y referenciado por cualquier persona que así lo estime oportuno en un futuro.