



TESIS PROFESIONAL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA
ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA PORTUARIO NACIONAL TUXPAN, S.A. DE C.V.
(ASIPONA): METODOLOGÍA GHG PROTOCOL VS. ADAPTACIÓN DEL MÉTODO
INSUMO-PRODUCTO Y MÉTODO EEOI (IMO) PARA EMISIONES MARÍTIMAS.**

PRESENTA

FERNANDO CRUZ BAUTISTA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

ASESOR

DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ VELAZQUEZ

XOYOTITLA, ÁLAMO TEMAPACHE, VER. ENERO DE 2026

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, pilares de mi vida y faros que han iluminado cada paso de mi camino. Gracias por su amor incondicional, por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia y el esfuerzo rinden frutos, y por acompañarme con paciencia y aliento en cada desafío. Este logro también es suyo, porque en cada letra plasmada de este proyecto esta su apoyo, su confianza y su inspiración.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y a mi padre, por acompañarme en el camino hacia la realización de este proyecto, por su paciencia, entusiasmo, ánimo, y por creer en mí en cada letra plasmada en el presente trabajo.

A mí mismo, por mantenerme firme y positivo durante la redacción, la investigación, y las correcciones de este documento.

A Dios, por haberme acompañado en este proceso de formación e investigación, y por permitirme concluir y, con ello, culminar mi formación universitaria.

RESUMEN

Las problemáticas ambientales representan un fenómeno en constante crecimiento, evidenciado por el aumento de las temperaturas, aumento del nivel del mar, erosión de suelos, contaminación de ecosistemas marinos y terrestres, así como la pérdida de la calidad del agua. En conjunto, estos efectos aseveran el **cambio climático**. Ante este contexto, el presente estudio comparativo analiza los resultados obtenidos mediante la metodología **GHG Protocol** y los métodos adaptados **Insumo-Producto** y **EEOI IMO para emisiones marítimas** correspondientes a los años **2023** y **2024**. Los métodos fueron aplicados conforme a lineamientos normativos nacionales e internacionales. El análisis tiene como objetivo comparar los resultados derivados de los métodos adaptados con los obtenidos mediante el **GHG Protocol**, sistema metodológico reconocido a nivel internacional por su aplicación en la cuantificación de emisiones de CO₂ en entornos logísticos, empresariales y corporativos. Los resultados muestran que los métodos adaptados **Insumo-Producto** y **EEOI IMO** presentan valores de emisiones más altos en comparación con el **GHG Protocol**. Esto se debe a que ambos consideran **la cadena de producción u obtención de materias primas** empleadas en los procesos evaluados, como la generación de combustibles fósiles y/o sintéticos, electricidad, gases y combustibles marítimos, entre otros aspectos que el **GHG Protocol** no contempla, al ser un método más conservador. El incremento en las emisiones estimadas con los métodos adaptados y los factores de emisión utilizados, los cuales, al provenir de fuentes nacionales e internacionales incluyen las emisiones asociadas a la cadena de producción. En contraste el **GHG Protocol** emplea factores de emisión del **IPCC**, ampliamente reconocidos a nivel mundial, pero que únicamente consideran el impacto ambiental directo, sin incluir dicha cadena productiva. El origen de este estudio radica también en analizar, interpretar y **proponer recomendaciones prácticas encaminadas en la reducción de emisiones de CO₂** en las empresas analizadas, contribuyendo así a fortalecer la gestión ambiental y la sostenibilidad del sector portuario.

Palabras clave: Huella de carbono, GHG Protocol, Insumo-Producto, EEOI IMO, emisiones marítimas, cambio climático.

ABSTRACT

Environmental problems represent a constantly growing phenomenon, evidenced by rising temperatures, sea level rise, soil erosion, pollution of marine and terrestrial ecosystems, and loss of water quality. Taken together, these effects exacerbate **climate change**. Against this backdrop, this comparative study analyzes the results obtained using the **GHG Protocol** methodology and the adapted **Input-Output and IMO EEOI methods for maritime emissions** for the years **2023 and 2024**. The methods were applied in accordance with national and international regulatory guidelines. The analysis aims to compare the results derived from the adapted methods with those obtained using the **GHG Protocol**, a methodological system recognized internationally for its application in quantifying CO₂ emissions in logistics, business, and corporate environments. The results show that the adapted **Input-Output and IMO EEOI** methods present higher emission values compared to the **GHG Protocol**. This is because **both consider the production chain or sourcing of raw materials used in the processes evaluated**, such as the generation of fossil and/or synthetic fuels, electricity, gases, and maritime fuels, among other aspects that the **GHG Protocol** does not consider, as it is a more conservative method. The increase in emissions estimated using the adapted methods and emission factors, which, as they come from national and international sources, include emissions associated with the production chain. In contrast, the **GHG Protocol** uses **IPCC** emission factors, which are widely recognized worldwide but only consider the direct environmental impact, without including the production chain. The origin of this study also lies in analyzing, interpreting, and **proposing practical recommendations aimed at reducing CO₂ emissions** in the companies analyzed, thus contributing to strengthening environmental management and sustainability in the port sector.

Keywords: Carbon footprint, GHG Protocol, Input-Output, IMO EEOI, maritime emissions, climate change.

INDICE

Contenido

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del estudiante	3
1.2 Antecedentes.....	4
1.3 Planteamiento del problema	5
1.4 Justificación	7
1.5 Hipótesis	11
1.6 Objetivos.....	12
2. Marco Teórico.....	14
2.1 Antecedentes.....	14
2.2 Fundamentos Teóricos	19
2.3 Marco Normativo	22
2.4 Metodologías Relacionadas.....	28
3. Estado del arte	31
4. Metodología	34
4.1 Desarrollo metodológico	34

5. Resultados.....	65
5.1 Resultados con metodología GHG Protocol (2023)	65
5.2 Resultados con metodologías adaptadas Insumo-Producto y EEOI IMO para emisiones marítimas (2023)	69
5.3 Resultados con metodología GHG Protocol (2024)	89
5.4 Resultados con metodologías adaptadas Insumo-Producto y EEOI IMO para emisiones marítimas (2024)	93
5.5 Comparación general emisiones 2023, entre metodología GHG Protocol y las metodologías adaptadas (Insumo-Producto y EEOI IMO para emisiones marítimas). .	117
5.6 Comparación general de emisiones 2024, entre metodología GHG Protocol y las metodologías adaptadas (Insumo-Producto y EEOI IMO para emisiones marítimas). 	127
5.7 Áreas de oportunidad de acuerdo a metodologías aplicadas.....	140
5.8 Recomendaciones prácticas y viables para la mejora del desempeño ambiental de ASIPONA Tuxpan, encaminado en la reducción de emisiones.....	143
6. Conclusiones	146
COMPETENCIAS DESARROLLADAS	148
GLOSARIO DE TERMINOS.....	149
FUENTES DE INFORMACION.....	154
ANEXOS.....	188

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estado del arte de investigaciones relevantes sobre la huella de carbono en el sector marítimo-portuario.....	31
Tabla 2 Factores de emisión de combustibles fósiles y/o sintéticos 2023 y 2024	34
Tabla 3 Densidad de energía de combustibles fósiles y/o sintéticos 2023 y 2024	34
Tabla 4 Factores de emisión de gases refrigerantes sintéticos no combustibles 2023 y 2024	34
Tabla 5 Factores de emisión consumo de energía eléctrica para los años 2023 y 2024	35
Tabla 6 Barcos 2023, buques tanqueros tipo Handysize.....	35
Tabla 7 Barcos 2024, buques tanqueros tipo Handysize.....	35
Tabla 8 Barcos 2023, buques tanqueros tipo Panamax.....	36
Tabla 9 Barcos 2024, buques tanqueros tipo Panamax.....	36
Tabla 10 Barcos 2023, buques tipo tanquero Químico	36
Tabla 11 Barcos 2024, buques tipo tanquero Químico	37
Tabla 12 Barcos 2023, buques tipo Bulk Carrier (buques Graneleros)	37
Tabla 13 Barcos 2024, buques tipo Bulk Carrier (buques Graneleros)	37
Tabla 14 Barcos 2023, buques tipo Abastecedor	38
Tabla 15 Barcos 2024, buques tipo Abastecedor	38
Tabla 16 Barcos 2023, buques tipo Carga General.....	38
Tabla 17 Barcos 2024, buques tipo Carga General.....	39

Tabla 18 Barcos 2023, buques tipo Container Ship (Portacontenedores) 1000 TEU	39
Tabla 19 Barcos 2024, buques tipo Container Ship (Portacontenedores) 1000 TEU	39
Tabla 20 Barcos 2023, buques tipo Container Ship (Portacontenedores) 5000 TEU	40
Tabla 21 Barcos 2023, buques tipo Vehicle Carrier (Portavehiculos)	40
Tabla 22 Barcos 2024, buques tipo Vehicle Carrier (Portavehiculos)	40
Tabla 23 Barcos 2023, embarcaciones tipo Draga.....	41
Tabla 24 Barcos 2024, embarcaciones clasificadas como Miscellaneous	41
Tabla 25 Barcos 2023, embarcaciones tipo Remolcador	43
Tabla 26 Barcos 2024, embarcaciones tipo Remolcador	43

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Organigrama empresarial Asipona Tuxpan 2025, Fuente: Asipona Tuxpan, 2025.	3
Ilustración 2 Emisiones Totales de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología GHG Protocol, Fuente: ASIPONA Tuxpan.	67
Ilustración 3 Emisiones Totales de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto y EEOI IMO, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados de los métodos.	69
Ilustración 4 Emisiones Totales (Gasolina) de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	71
Ilustración 5 Emisiones Totales (Diésel) de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	73
Ilustración 6 Emisiones Totales (Fluidos Refrigerantes Sintéticos no Combustibles) de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	75
Ilustración 7 Emisiones Totales (Energía Eléctrica) de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	77
Ilustración 8 Total de embarcaciones por categoría arribada en 2023 al Puerto de Tuxpan, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a datos de ASIPONA Tuxpan.....	79
Ilustración 9 Total de Emisiones por categoría arribada en 2023 al Puerto de Tuxpan, Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	80

Ilustración 10 Emisiones Promedio por embarcación según categoría arribada en 2023 al Puerto de Tuxpan, Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	81
Ilustración 11 Horas Promedio de Estancia por embarcación según categoría arribada en 2023 al Puerto de Tuxpan, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a horas registradas por ASIPONA Tuxpan.	83
Ilustración 12 Combustible Usado por cada categoría de embarcación arribada al puerto de Tuxpan en 2023, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a estudios.....	85
Ilustración 13 Potencias Promedio Motor Principal en KW por embarcación según categoría arribada al Puerto de Tuxpan en 2023, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a fichas técnicas de cada embarcación y estudios de potencias similares.....	86
Ilustración 14 Principales Graficas de Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método y estudios de uso de combustible.....	88
Ilustración 15 Emisiones Totales de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología GHG Protocol, Fuente: ASIPONA Tuxpan.	92
Ilustración 16 Emisiones Totales de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto y EEOI IMO, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados de los métodos.	94
Ilustración 17 Emisiones Totales (Gasolina) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	95
Ilustración 18 Emisiones Totales (Diésel y Diésel UBA) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.	97

Ilustración 19 Emisiones Totales (Gas LP) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	99
Ilustración 20 Emisiones Totales (Acetileno) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	99
Ilustración 21 Emisiones Totales (Fluidos Refrigerantes Sintéticos no Combustibles) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	101
Ilustración 22 Emisiones Totales (Energía Eléctrica) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	103
Ilustración 23 Total de embarcaciones por categoría arribada en 2024 al Puerto de Tuxpan, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a datos de ASIPONA Tuxpan.....	105
Ilustración 24 Total de Emisiones por categoría arribada en 2024 al Puerto de Tuxpan, Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	106
Ilustración 25 Emisiones Promedio por embarcación según categoría arribada en 2024 al Puerto de Tuxpan, Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.....	108
Ilustración 26 Horas Promedio de Estancia por embarcación según categoría arribada en 2024 al Puerto de Tuxpan, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a horas registradas por ASIPONA Tuxpan.	110
Ilustración 27 Combustible Usado por cada categoría de embarcación arribada al puerto de Tuxpan en 2024, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a estudios.....	112

Ilustración 28 Potencias Promedio Motor Principal en KW por embarcación según categoría arribada al Puerto de Tuxpan en 2024, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a fichas técnicas de cada embarcación y estudios de potencias similares.....	113
Ilustración 29 Principales Graficas de Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método y estudios de uso de combustible.....	115
Ilustración 30 Emisiones 2023 (Gasolina), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	117
Ilustración 31 Emisiones 2023 (Diesel), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	119
Ilustración 32 Emisiones 2023 (Fluidos Refrigerantes Sintéticos no Combustibles), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	121
Ilustración 33 Emisiones 2023 (Energía Eléctrica), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	123
Ilustración 34 Emisiones 2023 Transporte Marítimo (Barcos), comparativa, Metodología adaptada EEOI IMO vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	125
Ilustración 35 Emisiones 2024 (Gasolina), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	127

Ilustración 36 Emisiones 2024 (Diésel y Diésel UBA), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	129
Ilustración 37 Emisiones 2024 (Gas LP), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	131
Ilustración 38 Emisiones 2024 (Acetileno), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	132
Ilustración 39 Emisiones 2024 (Fluidos Refrigerantes Sintéticos no Combustibles), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	133
Ilustración 40 Emisiones 2024 (Energía Eléctrica), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	135
Ilustración 41 Emisiones 2024 Transporte Marítimo (Barcos), comparativa, Metodología adaptada EEOI IMO vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.	137

1. Introducción

La **Huella de Carbono** es un indicador fundamental para medir y comprender el impacto ambiental de las actividades humanas, incluidas las portuarias (*IPCC, 2014*). Esta métrica cuantifica las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) derivadas de procesos como la carga y descarga de mercancías, el uso de combustibles fósiles, el consumo de energía y la generación de residuos (*Smart Freight Centre, 2023*). En el ámbito portuario, su análisis resulta clave, ya que estas instalaciones son nodos estratégicos del comercio mundial y su operación genera una cantidad considerable de emisiones (*OMI, 2020*).

El cálculo y gestión de la Huella de Carbono permite no solo reducir impactos ambientales y cumplir con regulaciones, si no también optimizar operaciones, disminuir costos, mejorar la reputación y contribuir a la lucha global contra el cambio climático (*Banco Mundial, 2025*). Así adoptar prácticas más limpias y sostenibles convierte a los puertos en actores centrales de la transición hacia un futuro resiliente y bajo en emisiones (*UNCTAD, 2022*).

El **sector marítimo-portuario** enfrenta múltiples retos: la recuperación económica tras la pandemia (*OECD, 2022*), tensiones geopolíticas, la digitalización de procesos y, sobre todo, la necesidad de reducir sus impactos ambientales. Actualmente, el transporte marítimo moviliza más del 80% del comercio mundial (*OMI, 2020*); en México representa el segundo medio más utilizado, con 38% de las importaciones y 20% de las exportaciones, a través de los 103 puertos y 15 terminales del Sistema Portuario Nacional (SPN) (*Secretaría de Marina, 2025*). Este volumen incrementa la presión sobre la calidad del aire y el clima, generando la necesidad de estrategias de mitigación urgentes (*INECC, 2024*).

En el plano internacional, organismos como el **Banco Mundial** y el **Panel Intergubernamental de Cambio Climático** advierten que, de no modificarse las políticas actuales, la temperatura global podría aumentar hasta 4°C a finales del siglo (*Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021*); (*World Bank, 2020*). México, como signatario del **Acuerdo de París (2015)**, se comprometió a reducir en un 35% sus emisiones de GEI para 2030 (*Gobierno de México, 2015*). En respuesta la **Secretaría de Marina (SEMAR)**, a través de la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante, diseñó la **Estrategia de**

Descarbonización de Puertos (EDP), alineada con la Agenda 2030, así como con la Estrategia de Economía Oceánica Sostenible y la Organización Marítima Internacional (OMI) (*Secretaría de Marina*, 2024).

Dicha estrategia busca que las Administraciones del Sistema Portuario Nacional (ASIPONAS) y las Administraciones Portuarias Integrales (APIS) desarrollen inventarios de emisiones, fomenten la eficiencia energética, impulsen la digitalización y promuevan proyectos sostenibles (*ASIPONA Veracruz*, 2023). Definir metas claras y medibles resulta esencial para que los puertos mexicanos reduzcan sus emisiones y contribuyan al cumplimiento de compromisos internacionales, al tiempo que se garantiza un desarrollo económico sustentable en las ciudades portuarias (*UNCTAD*, 2022).

1.1 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del estudiante

ASIPONA Tuxpan, S.A de C.V. (administración del Sistema Portuario Nacional Tuxpan) es una empresa paraestatal constituida como Sociedad Anónima de Capital Variable, cuyo capital pertenece al Gobierno Federal. Desde 1994, opera bajo concesión otorgada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, con el objetivo de administrar, desarrollar y operar el recinto portuario de Tuxpan. Su labor incluye el aprovechamiento de bienes federales, la construcción de infraestructura portuaria, así como las actividades derivadas y la prestación de servicios especializados de manera general. Desde junio de 2021, la administración de ASIPONA Tuxpan se encuentra bajo la coordinación de la Secretaría de Marina, como parte de una estrategia nacional para fortalecer la eficiencia y el desarrollo económico de los puertos mexicanos.

El área ecológica de la empresa es la encargada de supervisar, mitigar y controlar los impactos ambientales derivados de las operaciones portuarias, su labor incluye el cumplimiento de normativas ecológicas nacionales e internacionales, la conservación de ecosistemas costeros como manglares y humedales y la implementación de programas de sustentabilidad que garanticen un desarrollo portuario responsable y con proyección sostenible a futuro de manera nacional e internacional.

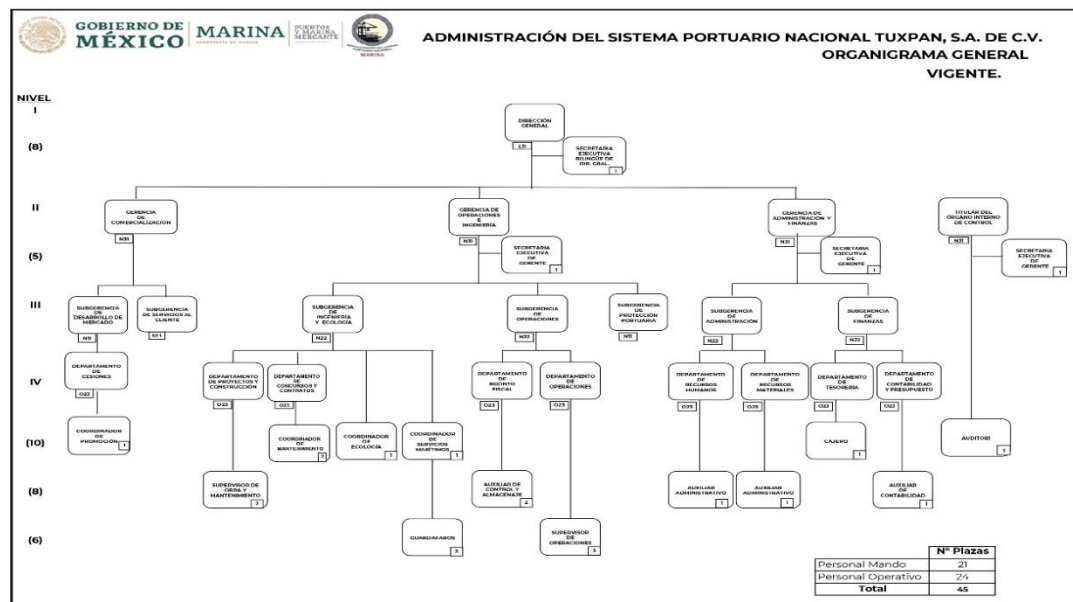


Ilustración 1 Organigrama empresarial Asipona Tuxpan 2025, Fuente: Asipona Tuxpan, 2025.

1.2 Antecedentes

El análisis de la huella de carbono se ha convertido en una herramienta fundamental para comprender el impacto ambiental que generan las actividades humanas, especialmente aquellas que involucran el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), la huella de carbono permite cuantificar de manera estandarizada las emisiones producidas por distintos procesos, lo que resulta útil para identificar las principales fuentes y proponer acciones de reducción.

En el sector portuario, las operaciones de carga, descarga, transporte interno, externo y el arribo de embarcaciones representan fuentes relevantes de emisiones. Factores como el tipo de buque, su tamaño, el tiempo de permanencia en puerto y el uso de maquinaria auxiliar influyen directamente en la generación de GEI. Por ello, los puertos a nivel mundial han comenzado a adoptar metodologías de cálculo que permitan estimar dichas emisiones con mayor precisión.

A nivel internacional existen lineamientos como el **GHG Protocol**, que establece principios y categorías para medir emisiones directas e indirectas; así como guías de la **Organización Marítima Internacional (OMI)**, que proporcionan criterios específicos para considerar el consumo energético de embarcaciones. Estas herramientas buscan garantizar uniformidad en los reportes y mejorar la comprensión del problema ambiental asociado a la actividad portuaria.

En México, los puertos administrados por las **ASIPONAS** han enfrentado un crecimiento significativo en el movimiento de mercancías y en la llegada de embarcaciones de distintos tipos. En el caso de **ASIPONA Tuxpan**, la operación de buques tanques, graneleros, portacontenedores y remolcadores incrementan la demanda energética en las maniobras y durante su estancia en muelle, lo que provoca un aumento en las emisiones de GEI. Esta situación genera la necesidad de evaluar adecuadamente su huella de carbono para conocer el impacto real y diseñar estrategias de mitigación.

1.3 Planteamiento del problema

La Administración del Sistema Portuario Nacional Tuxpan (ASIPONA) juega un papel estratégico en la dinámica económica y logística del país; sin embargo, sus operaciones terrestres y marítimas generan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) cuya magnitud real aún no ha sido evaluada mediante un enfoque integral. Hasta ahora, ASIPONA Tuxpan ha estimado su huella de carbono utilizando exclusivamente la metodología **GHG Protocol**, la cual, aunque reconocida internacionalmente, presenta limitaciones al no considerar con suficiente profundidad ciertos flujos económicos y consumos energéticos específicos.

Ante esta situación, existe incertidumbre respecto a si el cálculo actual refleja de manera fiel la totalidad de las emisiones generadas por la entidad, especialmente en lo relacionado con combustibles fósiles, energía eléctrica, gases refrigerantes y la actividad marítima. Tampoco se cuenta con un inventario anual comparativo que permita evaluar la evolución de las emisiones entre los años **2023** y **2024**, ni con una valoración metodológica que muestre si otras herramientas como la metodología **Insumo-Producto** y el método **EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684)** podrían ofrecer una medición más completa, precisa y adecuada para las características operativas del puerto.

La falta de un análisis comparativo entre las distintas metodologías genera un problema significativo: **no existe certeza sobre cuál de ellas proporciona una presentación más confiable y útil para la planificación ambiental de ASIPONA Tuxpan**. Esta ausencia de claridad limita la identificación de fuentes críticas de emisión, dificulta la definición de áreas de oportunidad y restringe la implementación de estrategias efectivas para la reducción de GEI y la mejora del desempeño ambiental del puerto.

En este contexto, surge la necesidad de evaluar y contrastar diferencias metodológicas para la estimación de la huella de carbono, con el fin de determinar sus fortalezas, debilidades, alcances y limitaciones, y de establecer cuál de ellas resulta más pertinente para la gestión ambiental de ASIPONA Tuxpan. Resolver este problema permitirá generar inventarios

confiables, visualizar tendencias reales de emisión y proponer acciones viables para la mitigación de la huella de carbono de la entidad y sus empresas portuarias.

1.4 Justificación

El cálculo de la Huella de Carbono en puertos y en entornos comunes (terrestres) ofrece múltiples beneficios y ventajas tanto ambientales, económicas y operativas. En primer lugar ayuda en la identificación de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), lo que facilita la implementación de estrategias de mitigación y planes de acción en pro de la mejora continua y fortaleciendo la sostenibilidad ambiental al implementar sistemas de eficiencia energética, electrificación ecológica en terminales portuarias y vías terrestres, uso de combustibles alternativos y la optimización de rutas de logística más eficientes que mejoren el consumo de menos combustible y con ello la generación de menos emisiones.

A la par esta métrica de cuantificación de emisiones promueve la adopción de tecnologías limpias, renovables y sostenibles, lo que no solo coadyuba en la reducción de la contaminación atmosférica y mejora la calidad del aire, si no que estas acciones contribuyen a la conservación de ecosistemas costeros y marinos.

Viendo esto desde una perspectiva económica, la cuantificación de emisiones genera ahorros muy significativos, ya que ayuda a identificar focos importantes de generación de emisiones como las derivadas de combustibles fósiles o consumo de energía eléctrica, lo que ayuda en la transición hacia el uso de nuevos combustibles más limpios que generan menos emisiones y con ello acelerar la implementación de uso de energías verdes como eólica o solar, lo que genera un ahorro significativo ya que ayuda a mejorar la competitividad del puerto en mercados internacionales los cuales ya exigen prácticas sostenibles encaminadas en la reducción de emisiones. Adicionalmente estas estrategias al alinearse a normativas ambientales y estándares internacionales como los establecidos por la Organización Marítima Internacional (OMI) para la reducción de emisiones en puertos, beneficia a los mismos ya que tienen la oportunidad de acceder a incentivos y financiamientos ecológicos haciéndolos atractivos para inversionistas y clientes comprometidos con la sostenibilidad.

En el contexto social la cuantificación y reducción de emisiones disminuye el impacto negativo en la salud de los trabajadores y la población, contribuyendo a un desarrollo portuario más armónico y amigable con el medio ambiente.

Por lo que realizar un inventario anual de emisiones con las metodologías seleccionadas Insumo-Producto y EEOI IMO aplicables para ASIPONA Tuxpan es primordial ya que ayuda a medir y gestionar el impacto ambiental generado por las operaciones portuarias, y con esto asegurar el cumplimiento de normativas nacionales e internacionales como las establecidas por la OMI en el sector marítimo. Además la realización de inventarios de emisiones facilita la medición de riesgos ambientales derivado de ciertas actividades identificadas como mayores generadoras lo que facilita la toma de acciones para fortalecer la mitigación ambiental y mejorar propuestas tecnológicas encaminadas en la disminución de GEI y con ello mejorar costos operativos, optimizar la logística de transporte de mercancías y fortalecer la imagen empresarial, por lo que los inventarios generales son importantes para garantizar la sostenibilidad y competitividad del puerto.

Para el estado de Veracruz y el municipio de Tuxpan, la elaboración de estos inventarios de emisiones del puerto es crucial e importante ya que ayuda a monitorear las fuentes de emisión y con ello tomar acciones de mitigación y reducción, siempre apegadas a normas ambientales nacionales y estándares internacionales. Ante este panorama es sabido que el puerto de Tuxpan genera emisiones significativas derivadas de actividades portuarias, uso de combustibles fósiles en vehículos de transporte de mercancía, consumo eléctrico y demás, por lo que el registro detallado de emisiones derivado de las actividades antes mencionadas beneficiará en la toma de decisiones encaminadas en la adopción de energías limpias en el puerto, uso de combustibles limpios y amigables con el ambiente y mejorar la eficiencia operativa de los buques que llegan al puerto, lo que ayudara a atraer más inversión extranjera y crecimiento a la región y al estado ya que los beneficios se consideran a nivel nacional, debido a la entrada y salida de carga diversa del estado y del país, con lo que el estado de Veracruz se posiciona como un factor económico y comprometido con los estándares de calidad ambiental y reducción de emisiones, cuidando en todo momento la reducción del impacto ambiental de las actividades portuarias y terrestres.

Para la cuantificación y reducción de emisiones y con ello la aplicación de un sistema metodológico adaptado es necesario analizar la metodología GHG Protocol que aplica ASIPONA Tuxpan en el cálculo de su huella de carbono anual, y con ello analizar cómo se facilita la adopción de energías sostenibles, el cumplimiento de normativas ambientales y como se mejora la reputación del puerto y con esto fomentar practicas económicas responsables y proteger al medio ambiente.

Al aplicar otra metodología diferente para la cuantificación de emisiones o huella de carbono del puerto, nos permite comparar resultados, lo que da pauta para diseñar estrategias de reducción de emisiones lo que refuerza el cumplimiento normativo ambiental nacional e internacional, mejorando la competitividad económica, la sostenibilidad operativa, el compromiso ambiental y sobre todo el cuidado a la salud local y nacional.

Estas metodologías aplicadas son clave para el inventario de emisiones ya que ayudan en la cuantificación de la huella de carbono y con ello crear líneas de mejora y registros nacionales para realizar acciones y estrategias sostenibles encaminadas en la eficiencia ambiental y mejorar la reputación institucional de las empresas emisoras, demostrando un compromiso transparente con el medio ambiente local, estatal e internacional, así como con las generaciones futuras.

Asimismo determinar áreas de oportunidad derivado de las aplicaciones metodológicas resulta clave ya que permite identificar procesos ineficientes que causen aun alto impacto ambiental o considerados de importancia critica, favoreciendo en la toma de decisiones concretas que impliquen la creación de mejoras en la sostenibilidad operativa, en reducir emisiones de manera significativa, optimizar recursos y herramientas y al mismo tiempo buscar compensar los impactos ambientales de manera eficiente y sin dañar al medio ambiente.

Finalmente proponer recomendaciones optimas encaminadas en el mejoramiento del desempeño ambiental de ASIPONA Tuxpan fortalece y perfecciona las operaciones portuarias esto mediante la implementación de estrategias sostenibles que reduzcan las emisiones contaminantes. Fortaleciendo temas centrales como el cumplimiento normativo

estricto, compromiso con la eficiencia energética, uso responsable de recursos naturales, la reputación del puerto y con el bienestar social local y nacional.

1.5 Hipótesis

La huella de carbono estimada para la Administración del Sistema Portuario Nacional Tuxpan (ASIPONA) presenta diferencias significativas cuando se calcula mediante el método adaptado Insumo-Producto, el método adaptado EEOI IMO para emisiones marítimas de la Organización Marítima Internacional (OMI) y la metodología del GHG Protocol aplicada por ASIPONA Tuxpan, debido a las diferencias en los criterios de cálculo de cada metodología y en la consideración de las emisiones directas e indirectas asociadas a las actividades portuarias, tales como; uso de combustibles fósiles y/o sintéticos en vehículos y equipos, refrigerantes en equipos de climatización, consumo eléctrico y al tráfico marítimo.

1.6 Objetivos

Objetivo general:

- Evaluar la Huella de Carbono de la Administración del Sistema Portuario Nacional Tuxpan, S.A de C.V. (ASIPONA) aplicando la metodología Insumo-Producto y el método EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas, contribuyendo a la mitigación de la Huella de Carbono.

Objetivos específicos:

- Analizar la metodología GHG Protocol utilizada para calcular la Huella de Carbono en el Puerto de Tuxpan, Ver, evaluando alcances, fortalezas y limitaciones metodológicas.
- Buscar y aplicar una metodología adecuada para medir emisiones de CO₂ en aspectos de combustibles fósiles y/o sintéticos, energía eléctrica y gases refrigerantes diferente a GHG Protocol, esto considerando las particularidades del Puerto de Tuxpan, Ver y las prácticas en la medición de gases de efecto invernadero.
- Buscar y aplicar una metodología adecuada para medir emisiones de CO₂ del transporte marítimo diferente a GHG Protocol, esto considerando las particularidades y características del Puerto de Tuxpan, Ver.
- Crear un inventario anual para los años 2023 y 2024 de emisiones de CO₂ de la entidad ASIPONA Tuxpan basados en los lineamientos establecidos por la adaptación de las metodologías Insumo-Producto y método EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas.
- Comparar los resultados obtenidos de las metodologías Insumo-Producto y método EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas con los resultados de GHG Protocol que aplicó ASIPONA Tuxpan para los años de estudio, identificando similitudes, diferencias, fortalezas y debilidades metodológicas.
- Determinar áreas de oportunidad de acuerdo a las metodologías aplicadas.

- Proponer recomendaciones prácticas y viables encaminadas a la mejora del desempeño ambiental de ASIPONA Tuxpan, lo cual podría ayudar en la reducción de emisiones contaminantes.

2. Marco Teórico

2.1 Antecedentes

La huella de carbono en puertos es una manera de cuantificar emisiones y con ello endurecer los esfuerzos globales existentes que están encaminados en la reducción de las emisiones del sector marítimo y de las actividades derivadas. En muchos países de primer mundo se han creado y aplicado diversas metodologías estandarizadas como el GHG Protocol, que es un sistema metodológico útil para calcular emisiones directas en puertos y de actividades derivadas, con esto se han impulsado iniciativas de desarrollo ambiental como la implementación de energías limpias, tecnologías sostenibles en embarcaciones, compensación de impactos ambientales y demás, todo esto en el contexto portuario.

Entre los primeros antecedentes se destaca, un estudio realizado en tres corredores marítimos en Indonesia, este basado en la estimación de emisiones en buques bajo la metodología EEOI IMO, recolectando datos clave de los navíos como velocidad, cargas, tonelajes muertos etc. Con el fin de optimizar los motores de los mismos de la mano del método EEOI basado en la eficiencia operativa del tráfico marítimo, este análisis dio como resultado, que al reducir la velocidad en un 10 a 12% se puede disminuir el consumo de combustible y por ende emisiones de CO₂ en un 17 y hasta 23% anualmente (*Ichsan, 2019*).

Sumado a lo anterior los Puertos del Estado de España desarrollaron y ejecutaron una guía metodológica para calcular su huella de carbono portuaria, esto utilizando como base principios del GHG Protocol en el que incluye las emisiones directas e indirectas derivadas del consumo de combustibles fósiles, electricidad, uso de combustibles en buques y en maquinaria portuaria, esta guía ayudo a identificar fuentes de emisión críticas y latentes, contribuyendo de manera significativa en la implementación de medidas de mitigación más estrictas y concisas, así como en aplicar mecanismos de sostenibilidad más estrictos en los puertos de España encaminados en la eficiencia operativa (*Estado, 2020*).

Por otro lado cabe mencionar, en cuanto a la actividad de buques un estudio realizado al naviero carguero Canopée en el cual se implementó una estrategia encaminada en la reducción de emisiones basado en un sistema de propulsión híbrida (mecánica y eólica) que

se adapta a condiciones del viento para reducir el consumo de combustible y por ende reducir emisiones de CO₂, este análisis arrojó que la propulsión híbrida reduce las emisiones en un rango de entre 15 a 40% lo que demuestra de manera directa la eficiencia de las tecnologías híbridas en la industria marítima (*Sector Marítimo*, 2021).

En la misma línea un estudio realizado en el Puerto de Chattogram en Bangladesh analizó la huella de carbono en el sector marítimo de su puerto, este estudio reveló que el 65.8% de las emisiones proviene de buques atracados en el puerto, un 19% de fuentes portuarias, un 10% de los equipos de carga y finalmente un 4.5% de vehículos en movimiento en el área, por lo que para mitigar parte de las emisiones se recomendó la electrificación en muelle “COLD IRONING” y la adopción de equipos de carga más eficientes, impulsando el uso de biocombustibles en equipos de carga y embarcaciones de asistencia, con lo que se refuerza el impulso de contabilidad y mitigación de emisiones (*Islam*, 2022).

Y en el periodo de los años 2021 al 2023 en el puerto de Málaga España se implementó una serie de nuevas tecnologías en materia de eficiencia energética portuaria, entre estas destaca el sistema de abastecimiento eléctrico desde tierra (OPS), el cual permite que los barcos se conecten al uso de electricidad mientras están atracados eliminando la necesidad de usar motores para mantener activo al buque, lo que disminuye contaminación y emisiones, la implementación de este mecanismo redujo significativamente emisiones de CO₂ particularmente en operaciones de buques de carga y pasajeros, con lo que se fortalece el cumplimiento normativo de la Unión Europea (*Parrondo*, 2024).

Mientras que un análisis de huella de carbono en los puertos de Los Ángeles y Long Beach consistió en la evaluación de emisiones por equipos de carga que usan gas natural y diésel, el objetivo fue claro cuantificar emisiones de operaciones en puerto, en el que se obtuvo un resultado alto en emisiones, por lo que se tomaron medidas estrictas de operación vehicular no limitando la operación pero si haciendo eficiente la logista del transporte y eficiencia en el uso de combustibles alternos, esto garantiza la eficiencia ecológica operativa del sistema de movimiento de carga en estos puertos (*Pirhadi*, 2024).

En ese sentido en uno de los puertos de Barcelona exactamente en Cádiz en el cual se han instalado infraestructuras de energía solar y eólica para el suministro de energía renovable al puerto y proveer de esta a barcos atracados, plantas de emergencia, y sistemas de luminarias, esto evitando el uso de energía eléctrica proveniente de fuentes contaminantes y evitando el uso de combustibles dañinos que ocasionan altas emisiones de CO₂, este proyecto puesto en práctica propuso reducir emisiones hasta en un 20% a largo plazo, esto aplicable al periodo anual de los años 2023 y 2024 (*Medina, 2025*).

Por otra parte y en el contexto empresarial las filiales como Baleària y Bound4blue han implementado el uso de ferris híbridos y velas de succión en sus flotas de transporte de pasajeros, esto ayudo demasiado en la eficiencia de combustible al reducir el uso de este en los navíos, y con ello reduciendo emisiones de CO₂, todo lo anterior ajustándose a las condiciones meteorologías positivas para las embarcaciones, en dicho proyecto el uso de velas de succión redujo emisiones entre un 15% a un 40%, aplicando esta innovación tecnológica para los años 2022 al 2025 (*Medina, 2025*).

En México la preocupación por la Huella de Carbono en Puertos es latente, preocupante y ha crecido de manera paulatina en los últimos años, en línea con compromisos ambientales que tiene el país para reducir emisiones de GEI y promover el desarrollo sostenible. Para lograr todo esto se han aplicado iniciativas y proyectos tanto en el sector público y privado, con lo que se han cuantificado y mitigado parte de las emisiones portuarias. En este sentido varios puertos en México han realizado la cuantificación de su huella de carbono mediante inventarios de registro con el objetivo de identificar áreas críticas de generación y partir hacia modelos de transición energética más limpios, sostenibles y eficientes en materia de mejoramiento ambiental, siempre en cumplimiento normativo y con la visión de mejorar en las rutas logísticas de comercio.

En el sentido de cuantificación y reducción de emisiones, el Puerto de Manzanillo en el 2013 se convierte en pionero en la cuantificación de su Huella de Carbono, lo anterior como parte de la colaboración entre la Administración Portuaria Integral (API) Manzanillo y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en el que el objetivo fue clave cuantificar emisiones bajo la metodología GHG Protocol, la norma ISO 14064-1:2006 y NMX-SAA-14064-1-

IMNC-2007, el resultado arroja que el 29% de las emisiones corresponden a las derivadas de combustibles fósiles en maquinarias o vehículos, el 12% a emisiones por consumo de electricidad, mientras que el 59% proviene de emisiones indirectas asociadas al transporte marítimo, con esto se realizó un inventario anual de emisiones que posteriormente se registró en la plataforma ECOPIS que se define como Emisiones Contaminantes del Puerto Inteligente Seguro, un sistema que permite el registro de emisiones para seguimiento y proponer medidas de mitigación y reducción de emisiones, garantizando la eficiencia energética sostenible (*Comisión Interamericana de Puertos*, 2015).

Seguido del Puerto Marítimo de Progreso en Yucatán, en el año 2021 fue el segundo en la cuantificación de su Huella de Carbono también en colaboración con la API de Progreso y el Banco Interamericano de Desarrollo, el objetivo fue cuantificar emisiones bajo la metodología GHG Protocol y las mismas normas que uso el Puerto de Manzanillo, los resultados arrojaron un total de 83,726.15 TonCO₂eq derivadas de actividades que implican el uso de combustibles fósiles, electricidad y transporte marítimo, también con la iniciativa de crear un inventario anual de emisiones e integrarlos a la plataforma ECOPIS para registro anual y crear medidas de compensación y mitigación más severas encaminadas en el desarrollo ambiental de ASIPONA Progreso y sus socios comerciales ((*SEMAR*), 2024).

Por otro lado el Puerto de Veracruz, también en el año 2021 realizó su cálculo de Huella de Carbono bajo la metodología GHG Protocol y las normativas de los puertos anteriores, en colaboración con la API del puerto de Veracruz y el Banco Interamericano de Desarrollo en el que los resultados arrojaron 14,186.86 TonCO₂eq derivadas de las mismas actividades que los puertos anteriores y de igual manera sirvió para hacer un inventario anual de emisiones y con esto registrar la información capturada para ser cargada en el módulo ECOPIS, en el que se analiza y comprende la información recopilada para desarrollar estrategias de mitigación y compensación de impactos ambientales por las actividades portuarias, desarrollando el uso de energías limpias y la sustentabilidad del puerto ((*SEMAR*), 2024).

A la par el Puerto de Ensenada en Baja California Norte en el año 2021 realizó el cálculo de su Huella de Carbono, esto recopilando información de las operaciones portuarias y terrestres bajo el mismo sistema metodológico del GHG Protocol y las normativas de los puertos

anteriores, también en colaboración con la API del Puerto de Ensenada y el Banco Interamericano de Desarrollo, en el que el resultado de las emisiones arrojó 30,473.80 TonCO₂eq derivado de las mismas actividades operativas que los demás puertos, esto con el objetivo claro de organizar la información en un inventario de emisiones e integrarlo a la plataforma ECOPIS, y con ello promover medidas y mejoras sustentables en la eficiencia operativa del puerto buscando comprender las fuentes de emisión cíclicas y mejorar la calidad ambiental fomentando el desarrollo sustentable de manera objetiva y clara ((SEMAR), 2024).

Los puertos nacionales antes mencionados han realizado la cuantificación de emisiones de manera estricta y apegada a normativas nacionales, así como a convenios mexicanos e internacionales, todo con el fin de mejorar e implementar estrategias de primer nivel encaminadas en la reducción de la contaminación del sector portuario.

Es así como se reafirma el compromiso de la integración de las ASIPONAS mexicanas al convenio MARPOL VI (OMI, 2022) que habla sobre la prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por buques, a la par acatando las estrategias clave que demanda la AGENDA 2030 (ONU, 2015) que actualmente se extiende hasta el 2050 y que tiene como objetivo la adopción de energías limpias, electrificación de operaciones portuarias, buques eficientes y demás todo esto en el contexto de la descarbonización de puertos.

Estas estrategias y estudios nacionales e internacionales son clave para lograr una neutralidad en carbono y lograr los primeros pilares de la descarbonización de puertos en México, siempre alineándose a normativas líderes en reducción de emisiones.

Los estudios mostrados son relevantes y con miras a futuro en el profundo desarrollo de la descarbonización en México, mejorando la sostenibilidad ambiental y la competitividad económica de los puertos mexicanos.

2.2 Fundamentos Teóricos

Cambio Climático

Alteración significativa y sostenida del clima en la Tierra a lo largo del tiempo, atribuida directa o indirectamente la actividad humana, que modifica la composición de la atmosfera y aumenta la concentración de gases de efecto invernadero, afectando patrones de temperatura, precipitación y fenómenos extremos (*IPCC, 2014*).

Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Componentes gaseosos de la atmosfera, naturales o antropogénicos que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación emitida por la superficie de la Tierra. Gases como el vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), ozono (O₃) que son GEI primarios de la atmosfera terrestre (*IPCC, 2018*).

Bioteología

Uso de organismos vivos para desarrollar soluciones que ayudan a reducir emisiones de carbono, como biocombustibles eficientes, captura de CO₂, materiales biodegradables, microorganismos activos y demás (*Boloorchí, 2021*).

Huella de Carbono

Cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directamente por una organización, individuo, actividad o producto, dicha métrica busca medir el impacto ambiental de las actividades humanas en términos de emisiones (GEI) (*Carbon Trust, 2025*).

Protocolo de Gases de Efecto Invernadero

Metodología reconocida y utilizada a nivel global para la cuantificación de GEI, sistema que se clasifica en tres alcances: alcance 1 emisiones directas provenientes de la organización, alcance 2 emisiones del consumo eléctrico y alcance 3 emisiones indirectas como transporte marítimo o residuos (*GHG Protocol, 2025*).

Economía Circular

Sistema que busca cerrar periodos de producción y consumo para minimizar desperdicios y reducir el uso de recursos o perdidas innecesarias. Principio basado en reducir, reutilizar, reciclar, generar productos eficientes, materiales reciclados o ecológicos (*Foundation, 2015*).

Evaluación del Ciclo de Vida

Metodología apta para evaluar impactos ambientales de un producto o actividad de manera específica durante todas sus etapas de fabricación (desde materias primas, construcción, consumo, hasta desecho), este evalúa las emisiones asociadas a las etapas de su fabricación, consumo y vida útil (*ISO, 2025*); (*ISO, 2006*).

Descarbonización

Proceso de disminución de emisiones de CO₂ mediante la adopción de tecnologías limpias y eficientes, así como cambios encaminados en la mitigación de impactos ambientales que afectan el cambio climático (*ONU, 2020*).

Sostenibilidad Empresarial

Capacidad de una empresa para operar de tal manera que se promueva la eficiencia, se minimice el impacto ambiental y se contribuya al bienestar social, dentro de esto incluido la huella de carbono como medida de sostenibilidad empresarial (*Elkington, 2004*).

Inventario de Gases de Efecto Invernadero

Herramienta sistemática que permite identificar, cuantificar y categorizar emisiones de GEI asociadas a actividades humanas dentro de un área delimitada, organización o sectores económicos específicos, estos pueden estructurarse bajo sistemas metodológicos como el GHG Protocol, IPCC o metodologías adaptadas (*GHG Protocol , 2004*).

GHG Protocol

Metodología para cuantificar y reportar emisiones de GEI, herramienta que clasifica a las mismas en 3 alcances, alcance 1 directas por emisiones de la organización, alcance 2 derivadas del consumo eléctrico y alcance 3 todas las indirectas que no están bajo el control organizacional (*GHG Protocol* , 2004).

Método Insumo-Producto

Modelo analítico de cuantificación y cálculo de emisiones directas e indirectas de GEI enfocado en el sector económico, adaptable en aspectos de combustibles fósiles, energía, residuos, transporte aéreo y marítimo, empleando factores de emisión específicos y organizando la información por categorías (*Ogbodo*, 2019).

Método EEOI (IMO) para emisiones marítimas (IMO MEPC.1/CIRC.684)

Método EEOI (Energy Efficiency Operational Indicator) propuesto por la OMI, permite calcular emisiones de CO₂ generadas por buques en operación a partir de su potencia en KW, tiempo de actividad y estancia en puerto, usando factores de emisión específicos (*IMO*, 2009).

2.3 Marco Normativo

Normas Internacionales

Organización Marítima Internacional

Órgano regulatorio sobre recomendaciones y aplicación de regulaciones encaminadas en la minimización de contaminación del transporte marítimo a nivel internacional (*IMO, 2025*).

Convenio MARPOL Anexo VI

Eje referente en la regulación de emisiones de CO₂ en buques y el transporte marítimo en general, este incluye recomendaciones y medidas para reducir emisiones, planes de gestión en eficiencia energética, etc. Todo encaminado en la eficiencia operativa y reducción de la huella de carbono del transporte marítimo (*OMI, 2022*).

Protocolo de Kioto de 1997

Compromiso internacional entre naciones, acuerdo encaminado en la reducción de emisiones de GEI por parte de países desarrollados, en dicho acuerdo México es firmante del compromiso para la reducción de contaminantes atmosféricos (*CMNUCC, 1997*).

Acuerdo de Paris de 2015

Acuerdo internacional que tiene como objetivo aplicar medidas reductoras para disminuir la afección del cambio climático en todos los sectores del mundo, y con ello contribuir en la mitigación del calentamiento global, México es signatario de este Acuerdo (*UNFCCC, 2025*).

Protocolo GHG (Greenhouse Gas Protocol)

Marco legal metodológico utilizado por muchas empresas a nivel mundial, estándar internacional en la cuantificación de emisiones de CO₂ (*GHG Protocol, 2025*).

Agenda 2030

Referencia global para la disminución de la contaminación por GEI, implementando estrategias de mejora sostenible, eficiencia energética y transporte limpio en muchos países, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) especialmente el 9 (infraestructura sostenible) y el 13 (acción climática), agenda que se extiende hasta 2050 para alcanzar sus metas (*ONU, 2015*).

IPCC (Intergovernmental Panel On Climate Change)

Organización científica intergubernamental creada con el objetivo de evaluar la información científica, técnica y socioeconómica sobre el cambio climático, también establece base científica para mejorar las políticas ambientales internacionales apegadas a acuerdos como el de París, el de Kioto, o el de la cumbre del Cambio Climático entre otros, con el fin de reducir emisiones de GEI en diversos sectores (*IPCC, 2025*).

Ante este marco normativo tan robusto en control de emisiones a nivel mundial se destaca que el Acuerdo de París y el Protocolo de Kioto son ejes clave de compromiso global en la reducción de emisiones, también el Convenio MARPOL Anexo VI que está encaminado en la reducción de emisiones GEI contaminantes por parte de buques (*IMO, Convenio MARPOL VI , 2025*), de la mano de la Estrategia Inicial de la OMI sobre GEI (2018) que establece una visión clave para descarbonizar el sector marítimo (*IMO, Convenio MARPOL VI , 2025*), cuyo objetivo está claramente alineado con la Agenda 2030 de la ONU y con los ODS 9 y 13 que hablan sobre desarrollo de infraestructura sostenibles, innovación en la industria y acción por el clima respectivamente (*ONU, 2015*).

A la par incitativas como la Estrategia Regional de Puertos impulsada por la Comisión Interamericana de Puertos (CIP) que promueve la sostenibilidad de los mismos en América Latina fomentando prácticas como la huella de carbono y mitigación de impactos (*CIP, 2025*).

Estas normas, regulaciones y políticas internacionales son fundamentales para garantizar una huella de carbono eficaz, clara y concisa, siempre buscando la mitigación del cambio climático.

Marco Normativo en México

Ley General de Cambio Climático (LGCC)

Ley que establece bases sólidas para frenar efectos del cambio climático en México. Sistema que comparte disposiciones, medidas, prácticas y promueve la adopción de iniciativas para mejorar la sostenibilidad ambiental de diversos sectores en el país (*Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión*, 2024).

Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC)

Marco normativo para la acción nacional por la lucha contra el cambio climático en México, alineándose con políticas internacionales y estableciendo metas entre sectores económicos para lograr un desarrollo ambiental pleno (*INECC*, 2013).

NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013

Campo regulatorio en medición y control de emisiones contaminantes atmosféricas generadas por fuentes fijas y móviles, incluidas las emisiones portuarias y adaptable a compromisos internacionales (*DOF*, 2013).

Programa Nacional para la Sustentabilidad de Puertos y Marina Mercante

Programa empleado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) para promover y aplicar medidas de sostenibilidad ambiental en los puertos mexicanos y con esto reducir la contaminación particulada, huella de carbono y daños ambientales en terminales portuarias (*SCT*, 2025).

Reglas de Operación del Puerto de Tuxpan, Veracruz

Reglas internas de operación del Puerto de Tuxpan que constituyen un marco normativo claro y articulado, cuyo propósito es garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones portuarias, proteger la infraestructura y salvaguarda del entorno marino, fomentando buenas prácticas de administración y sostenibilidad ambiental (*Administración Portuaria Integral de Tuxpan*, 2025).

Política Nacional de Puertos

Eje directivo que define las estrategias y acciones para mejorar la infraestructura portuaria en México, con eso se promueve la sostenibilidad portuaria y la adopción de buenas prácticas ambientales como energías limpias, descarbonización etc., favoreciendo la mitigación de impactos (*SEMAR, 2024*).

Reglamento de la Ley de Navegación y Comercio Marítimos

Sistema regulatorio de las operaciones marítimas en aguas nacionales que establece criterios de seguridad nacional y medioambiental alineados con estándares como el ANEXO VI del Convenio MARPOL (*SCT, 2015*).

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

Marco legal ambiental en México que regula la preservación y restauración del equilibrio ecológico, incluyendo aspectos relacionados con emisiones contaminantes, manejo de residuos e impacto ambiental (*Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 1988*).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)

Organismo federal en México responsable de diseñar y aplicar la política ambiental en el país, actúa coordinando leyes y programas encaminados en la mitigación del cambio climático en la nación y promoviendo el desarrollo sostenible (*SEMARNAT, 2025*).

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Organismo descentralizado de la SEMARNAT que contribuye de manera técnica al diseño y evaluación de políticas públicas encaminadas en la disminución del cambio climático en el país, eje normativo para la creación de inventarios de huella de carbono a partir de diversas metodologías, esto aplicando sus factores de emisión específicos, además de generar información de carácter científico para la mitigación de emisiones (*INECC, 2025*).

NOM-085-SEMARNAT-2011

Norma regulatoria para las fuentes fijas y sectores relacionados, regula los límites permisibles de contaminantes particulados en puertos y actividades empresariales sectoriales (*SEMARNAT, 2012*).

NOM-001-SEMARNAT-2021

Norma regulatoria en contaminantes de descargas de aguas residuales a cuerpos de agua nacionales sean ríos o al mar, establece el límite de descarga de agua contaminada ya sea con material particulado, contaminado o simplemente residual (*SEMARNAT, 2022*).

En conjunto estas leyes, normas, estrategias y organismos nacionales conforman la base regulatoria nacional que guía las acciones de mitigación de emisiones de GEI en México, lo que permite un desarrollo ambiental en puertos, vías terrestres e impulsa la transición hacia energías limpias en diversos sectores, siempre apegado a lineamientos internacionales y lo que demanda la Agenda 2030.

Normas Técnicas y Referenciales

ISO 14001

Sistema que establece los requisitos para implementar un sistema de gestión ambiental (SGA) que permita a una organización identificar, controlar y reducir sus impactos ambientales, cumpliendo con la legislación ambiental aplicable y la mejora continua (ISO, 2015).

ISO 14040

Sistema que establece los principios y marco de referencia para la evaluación del ciclo de vida de procesos o servicios (ISO, 2006).

ISO 14044

Sistema que establece y especifica los requisitos y directrices a seguir para un análisis de ciclo de vida optimo (ISO, 2006).

ISO 14064

Sistema que proporciona especificaciones directas y específicas para la cuantificación y reporte de emisiones y disminución de GEI en diversos sectores (ISO, 2018).

ISO 14064-3

Norma centrada en la verificación y validación de la cuantificación de emisiones de GEI (ISO, 2018).

ISO 14067

Norma específica sobre huella de carbono en productos, establece principios, requisitos y directrices para la cuantificación y reporte de huella de carbono en productos (ISO, 2018).

Estas normas técnicas internacionales constituyen una base metodológica que garantiza la integridad, trazabilidad y consistencia en la cuantificación y reporte de emisiones (huella de carbono).

Su incorporación en esta investigación permite asegurar que los resultados obtenidos, estén alineados con estándares ampliamente reconocidos, facilitando su comparación y validación.

2.4 Metodologías Relacionadas

Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Metodología que evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio desde la extracción de las materias primas para su fabricación, hasta su disposición final después del uso, aplicando la norma ISO 14040 (*ISO, 2006*).

Huella de Carbono Corporativa (GHG Protocol)

Metodología que se define como marco para la contabilidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de organizaciones, empresas o grupos de trabajo corporativos, basada en 3 alcances, el primero emisiones directas de la empresa u organización, el segundo emisiones por consumo eléctrico y el tercero emisiones indirectas (*GHG Protocol, 2025*).

Contabilidad de Carbono

Metodología que mide y reporta emisiones de CO₂ de productos, empresas o sectores definidos de generación, aplicando la norma ISO 14064 de la mano con el PAS 2050 que habla sobre emisiones de productos y servicios (*ISO, 2018*); (*BSI, 2011*).

Metodología Global Logistics Emissions Council Framework (GLEC)

Método que estandariza el cálculo de emisiones de GEI en toda la cadena logística, esto realizando cálculos mediante factores de emisión específicos por modo de transporte, tipo de carga, distancia y eficiencia operacional (*Smart Freight Centre*, 2023).

ISO 14064 Parte 1, 2 y 3

Sistema metodológico eje del cálculo de emisiones basado por partes, la parte 1 se basa en la cuantificación y reporte organizacional de GEI, la parte 2 engloba la cuantificación de reducciones de GEI y la parte 3 referida hacia la validación/verificación de inventarios de emisiones (*ISO*, 2018).

PAS 2050

Metodología que evalúa la huella de carbono de un producto considerando emisiones directas e indirectas en todo su ciclo de vida, usando factores de emisión específicos para cada sector (*Carbon Trust*, 2025).

ISO 14040 e ISO 14044

Metodologías que complementan el ACV, definen los principios y requerimientos para ejecutar un análisis de ciclo de vida óptimo en productos y servicios facilitando transparencia, coherencia y comparabilidad de estudios (*ISO*, 2006); (*ISO*, 2006).

IPCC (2006 Guidelines y 2019 Refinement)

Bases metodológicas que proporcionan guías para realizar inventarios nacionales de GEI o cuantificación de emisiones de CO₂, clasificando la cuantificación en 3 alcances clave y usando factores de emisión específicos para energía, transporte, residuos etc., (*IPCC*, 2006); (*IPCC*, 2019).

Diagramas de Sankey o Matrices de Flujo

Bases de guía para presentación de datos cuantificados de emisiones, se consolida como una herramienta visual que representa los flujos de energía o materiales de sectores o procesos y ayuda a identificar puntos críticos de emisión (*Emperinter, 2024*).

Análisis o método Insumo Producto (Entrada – Salida)

Metodología basada en el enfoque entrada – salida, es decir desde el uso del producto o servicio hasta sus consecuencias generadas o emisiones, sistema que calcula las mismas de combustibles fósiles o sintéticos, consumo eléctrico, residuos, vuelos de aviones y viajes de barcos (*Matthews, 2008*); (*Ogbodo, 2019*).

Método EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas

Metodología de la Organización Marítima Internacional usada para medir emisiones del transporte marítimo a partir de su eficiencia de potencia de motores, tiempos en puerto y tipo de combustible (*IMO, 2009*).

3. Estado del arte

Con el propósito de identificar los principales enfoques metodológicos y aportaciones existentes en torno al cálculo de la huella de carbono en el sector portuario, marítimo y operativo de las empresas, se presenta a continuación una síntesis comparativa de estudios y marcos metodológicos relevantes. Esta revisión permite analizar las coincidencias, diferencias y limitaciones que fundamentan la necesidad de la presente investigación.

Tabla 1 Estado del arte de investigaciones relevantes sobre la huella de carbono en el sector marítimo-portuario.

Autor/Año	Ámbito	Metodología	Aportaciones	Limitaciones
<i>(Ichsan, 2019).</i>	Corredores marítimos en Indonesia	Metodología EEOI de la OMI basada en eficiencia operativa; recolección de datos de velocidad, carga y tonelaje muerto.	Demuestra que la reducción de velocidad entre 10 – 12% permite disminuir el consumo de combustible y las emisiones de CO2 entre 17 – 23% anual, evidenciando el potencial del EEOI para optimizar la operación de buques.	El análisis se enfoca en corredores marítimos específicos y en la fase de navegación, sin considerar emisiones generadas durante operaciones portuarias.
<i>(Islam, 2022).</i>	Puerto de Chattogram, Bangladesh	Análisis de huella de carbono por fuentes emisoras portuarias.	Identifica que la mayor parte de emisiones proviene de buques atracados y propone electrificación en	Resultados específicos a un puerto asiático, con limitada extrapolación a otros contextos.

			muelle y equipos eficientes.	
<i>(Pirhadi, 2024).</i>	Puertos de los Ángeles y Long Beach	Evaluación de huella de carbono en equipos de carga a gas natural y diésel.	Identifica altas emisiones en operaciones portuarias y evidencia mejoras mediante eficiencia logística y uso de combustibles alternos.	Análisis enfocado en equipos terrestres, sin considerar emisiones de buques.
<i>(Comisión Interamericana de Puertos, 2015).</i>	Puerto de Manzanillo, México	GHG Protocol, ISO 14064-1 y NMX-SAA-14064-1.	Primer inventario de huella de carbono portuaria en México; identifica predominio de emisiones indirectas del transporte marítimo.	Estudio institucional enfocado al inventario, sin análisis comparativo metodológico.
<i>((SEMAR), 2024).</i>	Puerto de Veracruz, México	GHG Protocol, ISO 14064-1 y NMX-SAA-14064-1.	Inventario anual de huella de carbono portuaria y registro de emisiones en ECOPIS para estrategias de mitigación.	Enfoque descriptivo del inventario, con enfoque institucional y no comparativo.
<i>((SEMAR), 2024).</i>	Puerto de Ensenada, México	GHG Protocol, ISO 14064-1 y NMX-SAA-14064-1.	Inventario de huella de carbono portuaria y registro en ECOPIS para impulsar mejoras en eficiencia operativa y sostenibilidad.	Análisis general de operaciones portuarias y terrestres, sin desagregación detallada de fuentes.

La revisión de los estudios analizados evidencia que la evaluación de la huella de carbono en el sector marítimo-portuario se ha desarrollado principalmente a partir de las metodologías internacionales consolidadas, tales como GHG Protocol, las directrices del IPCC y los lineamientos de la Organización Marítima Internacional particularmente en el método EEOI.

Estos enfoques han permitido cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas tanto a la operación de los buques como a las actividades portuarias y terrestres, destacando que una proporción significativa de las emisiones se origina durante la estancia de las embarcaciones en puerto y en los procesos logísticos vinculados al movimiento de carga.

En el ámbito internacional, los estudios revisados se concentran en la optimización operativa de la navegación y en la identificación de las fuentes emisoras dentro de los puertos, proponiendo medidas como la reducción de velocidad, la electrificación en muelle y el uso de combustibles alternos. No obstante, estos trabajos suelen abordar las metodologías de manera aislada o enfocarse en contextos específicos, lo que limita su replicabilidad directa en otros puertos con características operativas distintas.

A nivel nacional los antecedentes muestran avances relevantes en la cuantificación de la huella de carbono en puertos mexicanos mediante la elaboración de inventarios anuales bajo el GHG Protocol y normas ISO 14064, integrados en plataformas de seguimiento como ECOPIS. Sin embargo, dichos estudios presentan un enfoque principalmente descriptivo, con escasa comparación entre metodologías y una limitada desagregación de las emisiones por tipo de actividad o fuente marítima. En este contexto, se identifica la necesidad de realizar evaluaciones integrales que combinen distintos enfoques metodológicos y permitan una caracterización más detallada de las emisiones portuarias y marítimas. Por ello, la presente investigación se orienta a evaluar la huella de carbono de la ASIPONA Tuxpan mediante la aplicación del método Insumo-Producto y el método EEOI IMO para emisiones marítimas, con el fin de generar información técnica que contribuya a la mitigación de la huella de carbono y fortalezca la gestión ambiental del puerto.

4. Metodología

4.1 Desarrollo metodológico

Derivado de las últimas dos metodologías mencionadas en el capítulo anterior y que fueron aplicadas en este análisis, se enlistan las variables utilizadas para el cálculo de la Huella de Carbono de la ASIPONA Tuxpan, sus cesionarios y prestadores de servicio de acuerdo a la metodología adaptada Insumo-Producto (Entrada-Salida):

Tabla 2 Factores de emisión de combustibles fósiles y/o sintéticos 2023 y 2024

Combustible	Factor de emisión (TonsCO ₂ eq/MJ)
Gasolina (combustible fósil)	0.000069300
Diesel (combustible fósil)	0.000074100
Diesel UBA (combustible fósil)	0.00007296
Gas LP (combustible fósil)	0.000065082
Acetileno (combustible sintético)	0.00006933

Fuente: (SEMARNAT, 2015); (INECC, 2014); (Linde, 2021) y cálculos estequiométricos de acuerdo a la formula del acetileno reportados por (Raman, 2019).

Tabla 3 Densidad de energía de combustibles fósiles y/o sintéticos 2023 y 2024

Combustible	Densidad de energía (MJ/I)
Gasolina (combustible fósil)	34.2
Diesel (combustible fósil)	38.6
Diesel UBA (combustible fósil)	35.8
Gas LP (combustible fósil)	24.2
Combustible	Densidad de energía (MJ/KG)
Acetileno (combustible sintético)	48.7

Fuente: (Mazloomi, 2012); (Harrison, 2018); (INECC, 2014); (Linde, 2021); (Raman, 2019).

Tabla 4 Factores de emisión de gases refrigerantes sintéticos no combustibles 2023 y 2024

Gas refrigerante	Factor de emisión (TonsCO ₂ eq/kg)
Gas Refrigerante (R-22)	1.81
Gas Refrigerante (R-410A)	2.088
Gas refrigerante (R-40)	0.013
Gas refrigerante (R-404A)	3.922
Gas refrigerante (R-134A)	1.43

Fuente: (Nystedt, 2022); (GHG Protocol, 2024); (EPA, 2023).

Tabla 5 Factores de emisión consumo de energía eléctrica para los años 2023 y 2024

Año	Factor de emisión (TonsCO ₂ eq/kW/h)
2023	0.000438
2024	0.000444

Fuente: (SEMARNAT, 2025).

Se enlistan las variables utilizadas para el cálculo de la Huella de Carbono de la ASIPONA Tuxpan, de acuerdo al método adaptado EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas:

Tabla 6 Barcos 2023, buques tanqueros tipo Handysize

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
28,460 a 53,082	9,000 a 13,000	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (Cepowski, 2019); (MundoMaritimo, 2020); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 7 Barcos 2024, buques tanqueros tipo Handysize

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
23,284 a 33,355	7,500 a 12,000	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (Cepowski, 2019); (MundoMaritimo, 2020); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 8 Barcos 2023, buques tanqueros tipo Panamax

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
47,058 a 48,738	11,000	Fuelóleo Pesado	0.29

Fuente: (Cepowski, 2019); (Longva, 2020); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 9 Barcos 2024, buques tanqueros tipo Panamax

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
47,268 a 47,308	11,000	Fuelóleo Pesado	0.29

Fuente: (Cepowski, 2019); (Longva, 2020); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 10 Barcos 2023, buques tipo tanquero Químico

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
4,447 a 31,905	1,080 a 8,000	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (Delta Marine , 2018); (Delta Marine , 2016); (Delta Marine , 2015); (CEMASTCO, 2024); (Hansen, 2019); (FKAB Marine Design, 2022); (Axis Consulting Growth, 2025); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 11 Barcos 2024, buques tipo tanquero Químico

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
5,145 a 15,591	1,080 a 7,200	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (Delta Marine , 2018); (Delta Marine , 2016); (Delta Marine , 2015); (CEMASTCO, 2024); (Hansen, 2019); (FKAB Marine Design, 2022); (Axis Consulting Growth, 2025); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 12 Barcos 2023, buques tipo Bulk Carrier (buques Graneleros)

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
10,186 a 35,812	2,648 a 6,050	Fuelóleo Pesado	0.29

Fuente: (VesselsLink, 2020); (Delta Marine , 2017); (Delta Marine , 2018); (Shipyards, 2025); (ShipSelector, 2019); (Clean Arctic Alliance, 2016); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 13 Barcos 2024, buques tipo Bulk Carrier (buques Graneleros)

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
19,816 a 26,411	5,920	Fuelóleo Pesado	0.29

Fuente: (Delta Marine , 2017); (Shipyards, 2025); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 14 Barcos 2023, buques tipo Abastecedor

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
387 a 3,601	2,423 a 12,000	Diesel Marino	0.28

Fuente: (Tugboat Information , 2025); (Serviport, 2012); (BalticShipping, 2017); (MarineLink, 2025); (BalticShipping, 2017); (Bourbon, 2016); (Eas, 2019); (United Offshore Support, 2022); (NIZBA, 2021); (Sharma, 2025); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 15 Barcos 2024, buques tipo Abastecedor

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
156 a 6,992	746 a 12,000	Diesel Marino	0.28

Fuente: (BalticShipping, 2017); (Corporativo Costa Afuera , 2021); (MEO Offshore, 2020); (HOMERE, Bourbon , 2011); (Crowley , 2021); (Tugboat Information , 2025); (Serviport, 2012); (BalticShipping, 2017); (MarineLink, 2025); (BalticShipping, 2017); (Bourbon, 2016); (Eas, 2019); (United Offshore Support, 2022); (NIZBA, 2021); (Sharma, 2025); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 16 Barcos 2023, buques tipo Carga General

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
2,545 a 71,543	1,135 a 15,130	Fuelóleo Pesado	0.29

Fuente: (Norden Ship Design House, 2025); (Horizon Ship Brokers, 2025); (Conoship International, 2025); (Ferus Smit, 2025); (Ferus Smit, 2025); (Scheepvaart West, 2020); (ClassNK, 2025); (Navie Capitani, 2023); (Shipseller, 2011); (Marine Consultants, 2025); (EShipTrading, 2025); (Maritime Zone , 2020); (Interlink Maritime, 2018); (Brodotrogir, 2013); (Horizon Ship Brokers, 2006); (Worldoils Marketplace, 2025);

(Shipyard, 2025); (Horizon Ship Brokers, 2024); (Scheepvaart West, 2017); (Corbett, 2004); (Smart Freight Centre, 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 17 Barcos 2024, buques tipo Carga General

DWT o peso muerto en toneladas	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
5,235 a 37,879	1,180 a 6,480	Fuelóleo Pesado	0.29

Fuente: (Norden Ship Design House, 2025); (Horizon Ship Brokers, 2025); (Conoship International, 2025); (Ferus Smit, 2025); (Ferus Smit, 2025); (Ferus Smit, 2025); (Scheepvaart West, 2020); (ClassNK, 2025); (Navie Capitani, 2023); (Hafen Hamburg, 2025); (Shipseller, 2011); (Marine Consultants, 2025); (Horizon Ship Brokers, 2006); (Corbett, 2004); (Smart Freight Centre, 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 18 Barcos 2023, buques tipo Container Ship (Portacontenedores) 1000 TEU

TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
6,734 a 18,334	6,300 a 16,980	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (BalticShipping, 2017); (BalticShipping, 2017); (Hafen Hamburg, 2024); (Limarko, 2019); (VSLJOIN, 2025); (Hansen, Knud E., 2017); (Scheepvaart West, 2020); (Lin, 2022); (Smart Freight Centre, 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 19 Barcos 2024, buques tipo Container Ship (Portacontenedores) 1000 TEU

TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
6,734 a 17,360	6,300 a 16,980	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (BalticShipping, 2017); (BalticShipping, 2017); (Hafen Hamburg, 2024); (Lin, 2022); (Smart Freight Centre, 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 20 Barcos 2023, buques tipo Container Ship (Portacontenedores) 5000 TEU

TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
66,278	54,946	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (Scheepvaartwest, 2022); (Huang, 2021); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 21 Barcos 2023, buques tipo Vehicle Carrier (Portavehículos)

TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
11,591 a 76,387	9,840 a 15,130	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (Wiedner, 2011); (Hafen Hamburg, 2024); (Scheepvaartwest, 2021); (Scheepvaartwest, 2021); (BalticShipping, 2017); (Scheepvaartwest, 2017); (Siem Shipping, 2025); (Scheepvaartwest, 2015); (Hafen Hamburg, 2015); (Scheepvaartwest, 2022); (Scheepvaartwest, 2013); (Scheepvaartwest, 2019); (AJOT, 2022); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 22 Barcos 2024, buques tipo Vehicle Carrier (Portavehículos)

TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
37,726 a 72,900	11,188 a 19,040	Fuelóleo Muy Bajo en Azufre	0.29

Fuente: (ClassNK, 2025); (World Ports, 2025); (Fakta, 2025); (Wiedner, 2011); (Hafen Hamburg, 2024); (Scheepvaartwest, 2013); (Maritime Database, 2025); (HSD MAN, 2025); (Scheepvaartwest, 2021); (Scheepvaartwest, 2021); (ClassNK, 2025); (BalticShipping, 2017); (Scheepvaartwest, 2017); (Siem Shipping, 2025); (Siem Shipping, 2025); (Finn, 2021); (Scheepvaartwest, 2015); (Hafen Hamburg, 2015); (Ochoa, 2021); (VesselFinder, 2023); (AJOT, 2022); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 23 Barcos 2023, embarcaciones tipo Draga

TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
2,472 a 5,005	1,880 a 6,776	Fuelóleo Pesado	0.29
		y	
		Diesel Marino	0.28

Fuente: (Dredgepoint, 2021); (Dutch Dredging, 2025); (Scheepvaartwest, 2024); (Mitsubishi Heavy Industries, 2021); (Blom, 2017); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 24 Barcos 2024, embarcaciones clasificadas como Miscellaneous

Lanchas con Cubierta			
TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
De 11, 17.84, 175, 26 y 47.87	184, 335.57, 5,593 y 186.4	Diesel Marino	0.28
Fuente: (iNautia , 2023); (Quicksilver Boats, 2021); (PM Offshore, 2022); (Astillero Río Paraná Sur, 2021); (Altosole, 2014); (Witkowski, 2020); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.			
Chalan sin Propulsión			
TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
De 4,479, 303, 829, 2,392, 2,120, 4,953,	115 a 5,050	Diesel Marino	0.28

Metodología

587, 1,309, 766 y 2,305			
Fuente: (BOA, 2021); (SAAM Towage, 2019); (Pon Power B.V., 2017); (John Deere Power Systems, 2017); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.			
Barcaza con Propulsión			
TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
1,201	746	Diesel Marino	0.28
Fuente: (SEACOR Marine, 2024); (AVS, 2023); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.			
Investigación Científica			
TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
821.99	1,268	Diesel Marino	0.28
Fuente: (UNAM , 2021); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.			
Tendedor de Cables o Tuberías			
TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
7,235	3,750	Gasóleo Marino	0.27
Fuente: (GD Offshore, 2021); (BalticShipping, 2017); (HEBO Maritiemservice, 2024); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.			

Draga			
TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
2,307 y 5,005	3,747 y 6,776	Fuelóleo Pesado	0.29
Fuente: (DredgePoint, 2024); (DredgePoint, 2023); (Dredging , 2017); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.			

Tabla 25 Barcos 2023, embarcaciones tipo Remolcador

TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
44 a 2,957	2,079 a 8,820	Gasóleo Marino	0.27

Fuente: (BalticShipping, 2021); (TugboatInformation, 2021); (TugboatInformation, 2022); (Boluda Corporación Marítima, 2024); (TugboatInformation, 2023); (BalticShipping, 2025); (COTECMAR, 2023); (Scheepvaart West, 2013); (LA Carriers, 2022); (Intertug, 2012); (TugboatInformation, 2022); (TugboatInformation, 2025); (TugboatInformation, 2021); (Revista Ingeniería Naval, 2022); (HF Offshore GmbH, 2023); (Lebadevas, 2021); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

Tabla 26 Barcos 2024, embarcaciones tipo Remolcador

TBR	Potencia motor principal en KW	Tipo de combustible	Factor de emisión en KgCO ₂ eq/KW/h
44 a 1,749	954 a 8,820	Gasóleo Marino	0.27

Fuente: (BalticShipping, 2021); (TugboatInformation, 2021); (BalticShipping, 2023); (TugboatInformation, 2022); (Boluda Corporación Marítima, 2024); (Boluda, 2025); (Expreso , 2017); (OSV Ijetty, 2024); (Gobierno de México, 2025); (BalticShipping, 2022); (TugboatInformation, 2023); (BalticShipping, 2025); (MarineLink Intelligence, 2025); (BalticShipping, 2025); (Naviera de Alvarado, 2024); (Marcellodesign, 2022); (Offshore Towing, 2025); (PM Offshore, 2024); (COTECMAR, 2023); (Landfall Marine Contractors, 2020); (TugboatInformation, 2022); (Boluda, 2023); (SAAM Towage , 2020); (Redacción TLW, 2019); (Scheepvaart West, 2013); (Lebadevas, 2021); (Smart Freight Centre , 2023) y ASIPONA Tuxpan.

La metodología Insumo-Producto (*Ogbodo, 2019*) es una herramienta que permite calcular la Huella de Carbono a partir del proceso de la manufactura de un producto como las materias primas para realizarlo, hasta el desecho del mismo.

Esta metodología se adapta a las actividades de la empresa ASIPONA Tuxpan, sus cesionarios y prestadores de servicio para el cálculo de la Huella de Carbono, tomando en cuenta los siguientes puntos clave:

- Consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos como Gasolina, Diesel, Gas LP, Acetileno y demás, esto referente al consumo en vehículos o equipos.
- Consumo de gases o fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles usados en los equipos de climatización.
- Consumo de energía eléctrica en oficinas y equipos.
- No obtener un resultado de emisiones por persona (cantidad de personal), sino general, con el fin de que los resultados finales sean comparables.

Es así como se adapta el método Insumo-Producto a las actividades empresariales de ASIPONA Tuxpan, cesionarios y prestadores de servicio, relacionadas al movimiento de mercancía terrestre y marítima, implicando el consumo eléctrico, de combustibles y de climatización en oficinas o bodegas, así como el uso de Acetileno en el mantenimiento de embarcaciones.

La metodología EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas (*IMO, 2009*) es un documento establecido por la OMI para la medida de la eficiencia energética operativa de los buques y que se basa en las potencias de los motores, con esto es posible la medición de emisiones de CO₂ de los mismos, teniendo en cuenta también el tipo y factor de combustible correspondiente de cada categoría evaluada. En casos donde no se dispone de datos directos de consumo de combustible es válida la adaptación metodológica que radica en la siguiente fórmula adaptada:

$$Emisiones (KgCO_2) = P M P * H P * F E C \quad (3.1)$$

PMP = Potencia de Motor Principal en unidades de KW

HP = Horas en Puerto (desde que entra hasta que sale del mismo)

FEC = Factor Emisión del Combustible en unidades de KgCO₂eq/KWh

Esta aproximación se considera coherente con los principios del indicador EEOI IMO y es ampliamente aceptado en estudios de eficiencia energética y emisiones marítimas.

Esta metodología como tal se adapta a las actividades empresariales de ASIPONA Tuxpan sus cesionarios y prestadores de servicio para el cálculo de la Huella de Carbono marítima (barcos), tomando en cuenta los siguientes puntos clave:

- Potencia de motor principal de cada tipo de buque, lancha, draga y demás en KW.
- Horas de estancia en puerto desde que entra al mismo hasta que sale, estas horas incluyen la actividad que realice cada tipo de embarcación en puerto como carga o descarga de mercancías, actividades de recreación, investigación, apoyos a embarcaciones en altamar, remolcado de embarcaciones, dragados, etc.
- Factor de emisión del tipo de combustible que usa cada categoría de embarcación.

De acuerdo a estas actividades y adaptaciones metodológicas se consideran 4 categorías clave que abarca este estudio tanto el método Insumo-Producto y método EEOI IMO para emisiones marítimas, las cuales son:

- **Categoría 1 Transporte:** Calcular las emisiones por consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos como Diesel, Gasolina, Gas LP, Acetileno de la entidad, sus cesionarios y prestadores de servicio.
- **Categoría 2 Fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles:** Calcular emisiones por consumo de gases o fluidos refrigerantes usados en equipos de climatización de la entidad, cesionarios y prestadores de servicio.
- **Categoría 3 Energía Eléctrica:** Calcular emisiones por consumo de electricidad de la entidad, cesionarios y prestadores de servicio.

- **Categoría 4 Transporte Marítimo (Barcos):** Calcular emisiones de barcos, buques, lanchas, dragas, remolcadores y demás que entran y salen del puerto y que realizan actividades diversas dentro del mismo, este rubro esta solo a cargo de ASIPONA Tuxpan.

Para realizar este estudio se consideraron los siguientes pasos:

Recopilar información general de las categorías antes mencionadas y organizarla en tablas u hojas de cálculo, (**al realizar esta accion se elaboró el inventario de emisiones**), el orden para la recolección de información fue el siguiente:

Para emisiones por *Transporte o por combustibles fósiles y/o sintéticos*:

Registrar el código del vehículo o equipo que utilice el tipo de combustible respectivo sea fósil o sintético como Diesel, Gasolina, Gas LP etc. Seguido de la definición del equipo (vehículos o camionetas), (planta de emergencia), etc. Anotar su marca, modelo, identificador, numero de equipos, tipo de combustible que usa, la unidad de medida que puede ser litros o kilogramos según sea el caso, y las cantidades consumidas por meses de enero a diciembre, el total anual o de los meses de consumo y el factor de emisión del tipo de combustible correspondiente, con esto para ejecutar la fórmula de transporte que aplica esta metodología.

Para emisiones por *Fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles*:

Registrar el código del equipo que utilice cualquier gas o fluido refrigerante como R-22, R-404A, R-410A, R-40, etc. Seguido de la definición del equipo (aires acondicionados), anotar su marca, modelo, identificador, numero de equipos, tipo de fluido o gas refrigerante usado y su unidad de medida que son kilogramos y las cantidades consumidas por mes, el total anual o de los meses consumidos y el factor de emisión de cada fluido o gas refrigerante, con esto para ejecutar la fórmula de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles que aplica esta metodología.

Para emisiones por consumo de *Energía eléctrica*:

Registrar el código del equipo que utilice la red eléctrica nacional mexicana (suministrado por la empresa CFE). Seguido de la definición del equipo (edificios u oficinas), (luminarias), (iluminación interior o exterior), etc. Anotar su marca, modelo, identificador, número de equipos, tipo de combustible que en este caso sería energía eléctrica (MIX Nacional) y su unidad de medida kW/h, así como los valores de kW/h consumidos por mes, el total anual o de los meses consumidos, el precio medio de 1 kW/h para saber cuánto se paga de manera mensual y el factor de emisión de la energía eléctrica nacional, con esto para ejecutar la fórmula de energía eléctrica que aplica esta metodología.

Para emisiones por *Transporte marítimo (barcos)*:

Registrar por embarcación de cada categoría, de acuerdo a si es; Tanquero Handysize, Tanquero Panamax, Tanquero Químico, Bulk Carrier, Carga General, Miscellaneous, Portavehículos, Portacontenedores, Abastecedores, Remolcadores, Lanchas, Barcos de Investigación o de cualquier otra categoría, el número de folio de la embarcación, el nombre del navío, tipo de embarcación de acuerdo a si es gasero, petrolero, remolcador, de recreación, etc. Seguido de su hora y fecha exacta en que llega a puerto y su hora y fecha exacta de salida, registrar la potencia del motor principal de la embarcación en KW, el DWT (peso muerto) en toneladas, si no se cuenta con ese dato se puede anotar su TBR en su lugar, estas dos opciones son solo para aproximación y con esto buscar la ficha técnica del buque, lancha, draga, etc., y saber su potencia de motor, las horas de estancia desde que entro hasta que salió del puerto, esto incluye (llegada, carga o descarga y salida del puerto) o la actividad que realice cada tipo de embarcación en el puerto (esto para el caso de dragas, lanchas de recreación, remolcadores y demás), tipo de combustible que usa cada categoría de embarcación y factor de emisión del combustible, con esto para ejecutar la fórmula de transporte marítimo (barcos) que aplica esta metodología.

Este proceso se realizó por cada cesionario o prestador de servicio de manera anual para los años 2023 y 2024, la información se almaceno en hojas de cálculo para facilidad en la ejecución de resultados.

Aclaraciones metodológicas

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de emisiones en este análisis han sido adaptadas de acuerdo a lo que establece la metodología Insumo-Producto (*Ogbodo, 2019*), este enfoque permite vincular de manera sistemática los flujos de insumos energéticos, refrigerantes y eléctricos con sus respectivas emisiones, considerando interrelaciones entre sectores productivos y coeficientes específicos.

Las ecuaciones de cálculo se ajustaron a partir de información con la que se cuenta, la cual es la siguiente: consumos mensuales promedio, litros y kilogramos consumidos, costos, factores de conversión y de emisión, estos últimos validados por organismos internacionales, empresariales y fuentes oficiales mexicanas. De esta manera se garantiza la coherencia y credibilidad metodológica y a la par comparabilidad y consistencia en la obtención de resultados.

Para el caso de **combustibles fósiles** y/o sintéticos se utilizó el promedio de cuanto combustible se consumió por mes, este proceso consta de dividir el total de carga anual entre los meses de consumo (pueden ser menos meses del año), la densidad de energía en unidades de (MJ/Litro) para la Gasolina es de 34.2 MJ/Litro y para el Diesel de 38.6 MJ/Litro, estas ya están en unidades aptas para el cálculo de acuerdo a estudios de (*Mazloomi, 2012*) y (*Harrison, 2018*), mientras que para el Diesel UBA y Gas LP los datos para calcular sus densidades energéticas nos los proporciona el INECC, con lo que para tenerlas en unidades de MJ/Litro es necesario usar la siguiente formula de conversión:

$$Densidad\ energetica\ \frac{MJ}{L} = Poder\ Calorifico\ Inf.\ \frac{MJ}{KG} * Densidad\ \frac{KG}{L} \quad (3.2)$$

Siguiendo la formula anterior se obtiene la densidad de energía del;

Diesel UBA: de acuerdo a datos que proporciona el (*INECC, 2014*)

Poder calorífico inferior: 43.08 MJ/KG

Densidad: 0.832 KG/L

$$\frac{MJ}{L} = 43.08 \frac{MJ}{KG} * 0.832 \frac{KG}{L} = 35.8 \frac{MJ}{L} \quad (3.3)$$

La densidad de energía para el **Diesel UBA** es de **35.8 MJ/L**, de acuerdo a datos que proporciona el (INECC, 2014).

Gas LP: de acuerdo a datos que proporciona el (INECC, 2014)

Poder calorífico inferior: 46.16 MJ/KG

Densidad 0.525 KG/L

$$\frac{MJ}{L} = 46.16 \frac{MJ}{KG} * 0.525 \frac{KG}{L} = 24.2 \frac{MJ}{L} \quad (3.4)$$

La densidad de energía para el **Gas LP** es de **24.2 MJ/L**, de acuerdo a datos que proporciona el (INECC, 2014).

La densidad de energía del Acetileno es de **48.7 MJ/KG** de acuerdo a estudios realizados por (Linde, 2021), la cual es una empresa líder en la carga de tanques estacionarios y fijos de Acetileno cuyo material es usado para soldaduras, también el estudio de (Kumar, 2020) que confirma el mismo número de la densidad de energía del Acetileno en las mismas unidades, con lo que se refuerza el valor de la densidad energética de este combustible fósil sintético.

Para los factores de emisión de los combustibles fósiles en unidades TonCO₂eq/MJ los proporciona la (SEMARNAT, 2015), para la Gasolina es de 0.000069300 TonCO₂eq/MJ y para el Diesel con un valor de 0.000074100 TonCO₂eq/MJ, mientras que para el Diesel UBA y Gas LP el (INECC, 2014) proporciona los factores de emisión en unidades de KgCO₂eq/TJ con lo que para convertirlos a TonCO₂eq/MJ se necesita efectuar una conversión de unidades, aplicando leyes simples se muestra la conversión de los factores de emisión:

El INECC proporciona los siguientes datos para la conversión de los factores de emisión de los combustibles fósiles Diesel UBA y Gas LP.

Diesel UBA: de acuerdo a datos que proporciona el (INECC, 2014)

Factor de emisión: 72,959.62 KgCO_{2eq}/TJ

Conversión a TonCO_{2eq}/MJ:

Convertir KgCO_{2eq} a TonCO_{2eq}

$$72,959.62 \frac{KgCO_{2eq}}{TJ} * \frac{1 \text{ TonCO}_{2eq}}{1,000 \text{ KgCO}_{2eq}} = \frac{72,959.62}{1,000} = 72.95962 \frac{\text{TonCO}_{2eq}}{TJ} \quad (3.5)$$

Convertir TJ a MJ

$$72.95962 \frac{\text{TonCO}_{2eq}}{TJ} * \frac{1 \text{ TJ}}{1,000,000 \text{ MJ}} = \frac{72.95962}{1,000,000} = 0.00007296 \frac{\text{TonCO}_{2eq}}{\text{MJ}} \quad (3.6)$$

Con lo que el factor de emisión para el **Diesel UBA** es de **0.00007296 TonsCO_{2eq}/MJ**, esto de acuerdo a datos que proporciona el (INECC, 2014).

Gas LP: de acuerdo a datos que proporciona el (INECC, 2014)

Factor de emisión: 65,082.90 KgCO_{2eq}/TJ

Conversión a TonCO_{2eq}/MJ:

Convertir KgCO_{2eq} a TonCO_{2eq}

$$65,082.90 \frac{KgCO_{2eq}}{TJ} * \frac{1 \text{ TonCO}_{2eq}}{1,000 \text{ KgCO}_{2eq}} = \frac{65,082.90}{1,000} = 65.0829 \frac{\text{TonCO}_{2eq}}{TJ} \quad (3.7)$$

Convertir TJ a MJ

$$65.0829 \frac{\text{TonCO}_{2eq}}{TJ} * \frac{1 \text{ TJ}}{1,000,000 \text{ MJ}} = \frac{65.0829}{1,000,000} = 0.000065082 \frac{\text{TonCO}_{2eq}}{\text{MJ}} \quad (3.8)$$

Con lo que el factor de emisión para el **Gas LP** es de **0.000065082 TonsCO_{2eq}/MJ**, esto de acuerdo a datos que proporciona el (INECC, 2014).

El factor de emisión para el Acetileno se obtuvo de acuerdo a la formula química del compuesto, la cual es:



El estado físico de este compuesto es gas, incoloro con olor característico, muy inflamable y es usado en la soldadura oxiacetilénica, la cual implica la quema de este compuesto con oxígeno puro que puede generar una llama muy caliente de hasta 3,100 °C y que es apta para este tipo de soldaduras.

Los valores clave para obtener el factor de emisión del Acetileno los proporciono (*Linde, 2021*), una empresa líder en la carga de este tipo de gas, así como el estudio trabajado por (*Kumar, 2020*), que ha realizado practicas con este tipo de gas en diversas pruebas, estos estudios nos dan los elementos clave para tener el factor de emisión del Acetileno en unidades de TonsCO₂eq/MJ. El procedimiento para la obtención del factor de emisión se muestra a continuación:

Acetileno: de acuerdo a datos que proporciona (*Linde, 2021*) y (*Kumar, 2020*)

Poder calorífico inferior o densidad de energía: 48.7 MJ/KG

Con esto se calcula:

Contenido de carbono por unidad de masa;

Fórmula química del **Acetileno:**



Se sabe que contiene 2 átomos de Carbono y 2 átomos de Hidrogeno por mol

Calculando las masas molares:

$$\text{Carbono (C)} = 12.01 \text{ g/mol} = 24.022 \text{ g/mol}$$

$$\text{Hidrogeno (H)} = 1.008 \text{ g/mol} = 2.016 \text{ g/mol}$$

Masa molar total del Acetileno

$$24.022 + 2.016 = 26.04 \text{ g/mol}$$

Con lo que

$$\frac{24.022}{26.04} = 0.921 \frac{\text{KgC}}{\text{Kg}} \text{ de Acetileno} \quad (3.9)$$

Conversión de Carbono a CO₂

$$1 \text{ Kg C} * \frac{44 \text{ peso molecular del Dioxido de Carbono}}{12 \text{ peso molecular del Carbono}} = 3.667 \text{ KgCO}_2 \quad (3.10)$$

El factor de emisión del Acetileno es de **3.667 KgCO₂** esto según la fuente oficial del (IPCC, 2006).

Con este factor de emisión obtenido es necesario convertirlo a unidades **TonsCO₂eq/MJ**:

Cálculo de factor de emisión del **Acetileno** en unidades **TonsCO₂eq/MJ**:

$$\text{KgCO}_2/\text{Kg Combustible} = 0.921 * 3.667 = 3.377 \text{ KgCO}_2/\text{KgC}$$

$$\frac{\text{KgCO}_2}{\text{MJ}} = \frac{3.377 \text{ KgCO}_2/\text{KgC}}{48.7 \text{ MJ/Kg}} = 0.06933 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{MJ}} \quad (3.11)$$

Realizando la conversión final

$$0.06933 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{MJ}}$$

$$0.06933 \frac{\text{KgCO}_2}{\text{MJ}} * \frac{1 \text{ Ton CO}_2\text{eq}}{1,000 \text{ KgCO}_2} = 0.00006933 \frac{\text{TonCO}_2\text{eq}}{\text{MJ}} \quad (3.12)$$

Con lo que el factor de emisión para el **Acetileno** es de **0.00006933 TonsCO₂eq/MJ** gracias al valor base de la densidad energética del Acetileno que proporciono (Linde, 2021) y (Kumar, 2020).

Lo anterior para cumplir de acuerdo a lo que establece la metodología adaptada Insumo-Producto en la categoría de **Transporte o por consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos** (Ogbodo, 2019).

En este estudio también se ha decidido como forma de adaptación del método Insumo-Producto **no dividir todas las fórmulas de cálculo de emisiones entre el número de ocupantes del uso de combustibles sean fósiles o sintéticos, de las áreas de uso de refrigerantes y electricidad, con el objetivo de obtener un valor más general que represente el impacto total y no individualizado de la huella de carbono**, con el fin de que los resultados sean más comparables y legibles, permitiendo tomar estrategias de mitigación más específicas y con mejores resultados.

En cuanto a lo referente a consumo por fluidos o refrigerantes sintéticos no combustibles la aplicación de esta metodología sigue la lógica del registro de equipos, denominación, número de equipos y demás, así como sus cantidades de cargas de gas refrigerante por cada mes a lo largo del año, el total de esto, seguido del promedio mensual de carga de cualquier gas refrigerante y el factor de emisión correspondiente en unidades TonsCO₂eq/Kg, estos factores nos los proporcionaron estudios realizados por (Nystedt, 2022); (GHG Protocol, 2024) y (EPA, 2023), estas referencias aportaron los factores de emisión de los gases refrigerantes R-22, R-410A, R-40, R-404A y R-134A que son los analizados en este estudio, estas bibliografías dan los factores en unidades KgCO₂eq/Kg, por lo que con conversiones simples es posible convertir estos factores de emisión en las unidades solicitadas TonsCO₂eq/Kg, el procedimiento se muestra a continuación:

R-22: de acuerdo a datos que proporciona (Nystedt, 2022)

Factor de emisión: 1,810 KgCO₂eq/Kg

Conversión a **TonsCO₂eq/Kg:**

$$1,810 \frac{KgCO_2eq}{Kg} * \frac{1 TonCO_2eq}{1,000 KgCO_2eq} = 1.81 TonCO_2eq/Kg \quad (3.13)$$

Con lo que el factor de emisión para el Gas refrigerante **R-22** es de **1.81 TonsCO₂eq/Kg**, de acuerdo a datos que proporciona (Nystedt, 2022).

R-410A: de acuerdo a datos que proporciona (Nystedt, 2022)

Factor de emisión: 2,088 KgCO₂eq/Kg

Conversión a **TonsCO₂eq/Kg**:

$$2,088 \frac{\text{KgCO}_2\text{eq}}{\text{Kg}} * \frac{1 \text{ TonCO}_2\text{eq}}{1,000 \text{ KgCO}_2\text{eq}} = \mathbf{2.088 \text{ TonCO}_2\text{eq/Kg}} \quad (3.14)$$

Con lo que el factor de emisión para el Gas refrigerante **R-410A** es de **2.088 TonsCO₂eq/Kg**, de acuerdo a datos que proporciona (Nystedt, 2022).

R-40: de acuerdo a datos que proporciona (GHG Protocol, 2024)

Factor de emisión: 13 KgCO₂eq/Kg

Conversión a **TonsCO₂eq/Kg**:

$$13 \frac{\text{KgCO}_2\text{eq}}{\text{Kg}} * \frac{1 \text{ TonCO}_2\text{eq}}{1,000 \text{ KgCO}_2\text{eq}} = \mathbf{0.013 \text{ TonCO}_2\text{eq/Kg}} \quad (3.15)$$

Con lo que el factor de emisión para el Gas refrigerante **R-40** es de **0.013 TonsCO₂eq/Kg**, de acuerdo a datos que proporciona (GHG Protocol, 2024).

R-404A: de acuerdo a datos que proporciona (EPA, 2023)

Factor de emisión: 3,922 KgCO₂eq/Kg

Conversión a **TonsCO₂eq/Kg**:

$$3,922 \frac{\text{KgCO}_2\text{eq}}{\text{Kg}} * \frac{1 \text{ TonCO}_2\text{eq}}{1,000 \text{ KgCO}_2\text{eq}} = \mathbf{3.922 \text{ TonCO}_2\text{eq/Kg}} \quad (3.16)$$

Con lo que el factor de emisión para el Gas refrigerante **R-404A** es de **3.922 TonsCO₂eq/Kg**, de acuerdo a datos que proporciona (EPA, 2023).

R-134A: de acuerdo a datos que proporciona (EPA, 2023)

Factor de emisión: 1,430 KgCO₂eq/Kg

Conversión a **TonsCO₂eq/Kg**:

$$1,430 \frac{\text{KgCO}_2\text{eq}}{\text{Kg}} * \frac{1 \text{ TonCO}_2\text{eq}}{1,000 \text{ KgCO}_2\text{eq}} = \mathbf{1.43 \text{ TonCO}_2\text{eq/Kg}} \quad (3.16)$$

Con lo que el factor de emisión para el Gas refrigerante **R-134A** es de **1.43 TonsCO₂eq/Kg**, de acuerdo a datos que proporciona (EPA, 2023).

Estos cálculos anteriores son clave para cumplir de acuerdo a como lo establece la metodología adaptada Insumo-Producto en la categoría de ***Fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles*** (Ogbodo, 2019).

Esta adaptación sigue remarcando el no dividir el valor de las emisiones totales entre el número de ocupantes promedio debido a que no se requiere un valor individualista si no general en cuanto a la cuantificación de emisiones.

En lo que respecta a consumo de energía eléctrica, se es necesario el promedio total para saber cuánto se gasta en KW por cada mes aproximadamente, esto se obtiene de dividir el total de consumo en KW anual entre los meses en los que se usó la red eléctrica proveniente de CFE (MIX NACIONAL), seguido de esto es necesario saber el promedio de pago mensual por el consumo de los KW registrados en su recibo de consumo, ósea dividir el total anual de pago entre los meses consumidos, para saber cuánto se paga mensualmente, esto de manera estimada, así como saber el precio de 1KW/h que es tomado del recibo de pago, y es diferente para los años 2023 y 2024, considerando que ambos años son periodos de análisis en este estudio, seguido del factor de emisión de la energía eléctrica para los mismos años y que son proporcionados por la (SEMARNAT, 2025), y es diferente para 2023 y 2024, por lo que esta referencia aporta los factores de emisión de los dos años en unidades de TonsCO₂eq/MW/h, con lo que con conversiones simples de unidades es posible obtener el factor en las unidades solicitadas TonsCO₂eq/KW/h, dicho proceso se muestra a continuación:

Factor de emisión del **sistema eléctrico nacional 2023** de acuerdo a datos que proporciona (SEMARNAT, 2025).

Factor de emisión: 0.438 TonCO₂eq/MW/h

Conversión a **TonsCO₂eq/KW/h**:

Se sabe que 1 MW = 1,000 KW y que $\frac{1MW}{1,000KW} = 1$

Por lo tanto:

$$0.438 \frac{\text{TonCO}_2\text{eq}}{\text{MW/h}} * 1 \frac{\text{MW}}{1,000 \text{ KW}} \quad (3.17)$$

$$= 0.438 \frac{\text{TonCO}_2\text{eq} * \text{MW}}{\text{MW} * h * 1,000 \text{ KW}} \quad (3.18)$$

$$= \frac{0.438 \text{ TonCO}_2\text{eq}}{1,000 \text{ KW/h}} = \mathbf{0.000438} \frac{\text{TonCO}_2\text{eq}}{\text{KW/h}} \quad (3.19)$$

Con lo que el factor de emisión para el **sistema eléctrico nacional 2023** es de **0.000438 TonsCO₂eq/KW/h** de acuerdo a datos que proporciona (SEMARNAT, 2025).

Factor de emisión del **sistema eléctrico nacional 2024** de acuerdo a datos que proporciona (SEMARNAT, 2025).

Factor de emisión: 0.444 TonCO₂eq/MW/h

Conversión a **TonsCO₂eq/KW/h**:

Se sabe que 1 MW = 1,000 KW y que $\frac{1MW}{1,000KW} = 1$

Por lo tanto:

$$0.444 \frac{\text{TonCO}_2\text{eq}}{\text{MW/h}} * 1 \frac{\text{MW}}{1,000 \text{ KW}} \quad (3.20)$$

$$= 0.444 \frac{\text{TonCO}_2\text{eq} * \text{MW}}{\text{MW} * h * 1,000 \text{ KW}} \quad (3.21)$$

$$= \frac{0.444 \text{ TonCO}_2\text{eq}}{1,000 \text{ KW/h}} = \mathbf{0.000444} \frac{\text{TonCO}_2\text{eq}}{\text{KW/h}} \quad (3.22)$$

Con lo que el factor de emisión para el **sistema eléctrico nacional 2024** es de **0.000444 TonsCO₂eq/KW/h** de acuerdo a datos que proporciona (SEMARNAT, 2025).

Lo anterior para cumplir de acuerdo a como lo establece la metodología adaptada Insumo-Producto en la categoría de **Energía eléctrica** (Ogbodo, 2019).

La adaptación de esta metodología igual radica en no dividir el valor final de las emisiones entre el número de ocupantes promedio de la energía eléctrica nacional debido a que se requiere un análisis más general y no específico de la cuantificación de emisiones.

Para lo que respecta en la cuantificación de emisiones por transporte marítimo se utilizó otro enfoque metodológico el cual se define como la metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas (IMO, 2009), la cual se basa en estudios base sobre buques de acuerdo a lineamientos de la OMI en cuantificación de emisiones de este sector, y es aplicable en este análisis solo en la categoría de **Transporte Marítimo (barcos)**.

La adaptación de este método EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas radica en usar factores de emisión específicos para tipos de combustibles únicamente usados por cada tipo de categoría embarcación, como dragas, lanchas, buques y demás, estos factores en unidades KgCO₂eq/KW/h, para tener emisiones en KgCO₂eq, que se pueden transformar a TonCO₂eq con una sola conversión, y que es el objetivo de este análisis, la adaptación de este método se basa en que considera la potencia del motor principal en KW de cada embarcación de cada categoría en análisis, las horas de estancia en puerto desde que entra hasta que sale del mismo (considerando que la estancia en horas implica carga o descarga del buque o la actividad que cada embarcación de cada categoría realice en el puerto como en el caso de dragas, remolcadores, abastecedores o lanchas de recreación en el que su tiempo de estancia puede ser mayor o variado), seguido del factor de emisión del tipo de combustible usado por cada categoría de embarcación, dentro de esto se considera como elemento importante la potencia del motor principal de cada embarcación, y aspectos clave como:

- Fase de entrada al puerto: El motor principal este en uso para navegación, maniobras y reducción de velocidad antes del fondeo o atraque.
- Durante el fondeo o espera activa: Aunque algunos buques pueden apagarlo, la mayoría lo mantienen encendido a baja carga o “Standby” para estar listos para maniobras.
- Durante carga o descarga: En la mayoría de los tipos de buques, el motor principal puede seguir encendido si no hay conexión eléctrica terrestre o si se usa para mantener sistemas operativos o equipos auxiliares por falta de generadores.
- Durante maniobras de salida: Indiscutiblemente vuelve a estar en operación a plena carga o a su máxima potencia en la mayoría de los buques.

En el caso de las **lanchas con o sin cubierta, lanchas operativas de cruce o de transporte de personal, buques pequeños o de investigación**, se considera el único motor que tienen para propulsión como motor principal y hacer efectiva esta metodología adaptada de emisiones marítimas. Por otro lado, en el caso de **chalanés sin propulsión se considera la potencia del motor del barco que los asiste que en su mayoría son remolcadores**. Lo anterior con el objetivo de simplificación y facilidad comparativa de los resultados. Este enfoque permite obtener una estimación global de emisiones portuarias de embarcaciones en general.

En este aspecto es necesario saber la siguiente información de cada embarcación por cada categoría de buque, lancha, draga etc., su folio de seguimiento, nombre del buque, lancha, barco de investigación, de recreación y demás, tipo de embarcación, es decir si es granelero, gasero, de recreación, pesca, etc., la fecha y hora exacta de llegada y salida del puerto, así como la potencia de motor de cada embarcación de cada categoría en KW y que es obtenida de estimación de estudios que abordan potencias similares para buques de las mismas dimensiones que los abordados en este análisis y de fichas técnicas originales de los barcos en estudio que son buscadas de acuerdo a su DWT (peso muerto) en toneladas o de acuerdo a su TBR, estos datos también se deben de registrar ya sea DWT o TBR según se tenga, registrar el tiempo exacto de estancia en puerto desde que entra hasta que sale esto incluye (llegada, carga o descarga y/o actividad que realice cada embarcación y salida del puerto), el

tipo de combustible que usa cada categoría de embarcación, así como el factor de emisión operacional del combustible de cada categoría o también conocido como TTW (Tank-to-Wheel) que considera el uso del combustible en las operaciones de la embarcación. Los valores clave para obtener estos factores de los diversos tipos de combustibles usados en las categorías de embarcaciones analizadas en este estudio fueron proporcionados por la Guía del Global Logistics Emissions Council Framework una guía eje en factores de emisión de diversos combustibles y que es usada de manera internacional y son aplicables a esta metodología adaptada EEOI IMO (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas, el resultado nos arroja emisiones en unidades KgCO_{2eq}, con lo que con conversiones simples se pueden obtener emisiones en unidades TonCO_{2eq}, tal como lo pide esta metodología adaptada.

Los datos clave para calcular los factores de emisión TTW de los tipos de combustibles abordados en este análisis los proporciono la referencia de la Guía del Global Logistics Emissions Council Framework (*Smart Freight Centre*, 2023), el procedimiento para obtener los factores de emisión de los combustibles de las embarcaciones en unidades KgCO_{2eq}/KW/h se muestra a continuación:

Factor de emisión del **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre (Very Low Sulfur Fuel Oil, VLSFO)**:

Factor de emisión TTW (Tank-to-Wheel)

Según datos que proporciona la fuente GLEC Framework (*Smart Freight Centre*, 2023)

Emisión GHG Operational TTW = 81.8 gCO_{2eq}/MJ

Poder calorífico inferior: 39.5 MJ/Kg

Se sabe que 1 KW/h = 3.6 MJ

Conversión de MJ a KW/h:

$$Emission \frac{\frac{gCO_{2eq}}{KW}}{h} = 81.8 \frac{gCO_{2eq}}{MJ} * 3.6 \frac{MJ}{KW} = 294.48 \frac{gCO_{2eq}}{h} \quad (3.23)$$

Conversión de gramos a kilogramos:

$$Emission \frac{\frac{KgCO_2eq}{KW}}{h} = \frac{294.48 \frac{gCO_2eq}{h}}{1,000 \frac{g}{Kg}} = 0.29 \frac{\frac{KgCO_2eq}{KW}}{h} \quad (3.24)$$

Con lo que el factor de emisión para el **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre (Very Low Sulfur Fuel Oil, VLSFO)** es de **0.29 KgCO₂eq/KW/h**, de acuerdo a valores que proporciona la fuente GLEC Framework (*Smart Freight Centre , 2023*).

Factor de emisión del **Fuelóleo Pesado (Heavy Fuel Oil, HFO)**:

Factor de emisión TTW (Tank-to-Wheel)

Según datos que proporciona la fuente GLEC Framework (*Smart Freight Centre , 2023*)

Emisión GHG Operational TTW = 81.8 gCO₂eq/MJ

Poder calorífico inferior: 39.5 MJ/Kg

Se sabe que 1 KW/h = 3.6 MJ

Conversión de MJ a KW/h:

$$Emission \frac{\frac{gCO_2eq}{KW}}{h} = 81.8 \frac{gCO_2eq}{MJ} * 3.6 \frac{MJ}{\frac{KW}{h}} = 294.48 \frac{\frac{gCO_2eq}{KW}}{h} \quad (3.25)$$

Conversión de gramos a kilogramos:

$$Emission \frac{\frac{KgCO_2eq}{KW}}{h} = \frac{294.48 \frac{gCO_2eq}{h}}{1,000 \frac{g}{Kg}} = 0.29 \frac{\frac{KgCO_2eq}{KW}}{h} \quad (3.26)$$

Con lo que el factor de emisión para el **Fuelóleo Pesado (Heavy Fuel Oil, HFO)** es de **0.29 KgCO₂eq/KW/h**, de acuerdo a valores que proporciona la fuente GLEC Framework (*Smart Freight Centre , 2023*).

Factor de emisión del **Diesel Marino (Marine Diesel Oil, MDO; 0.5% de azufre)**:

Factor de emisión TTW (Tank-to-Wheel)

Según datos que proporciona la fuente GLEC Framework (*Smart Freight Centre , 2023*)

Emisión GHG Operational TTW = 78.7 gCO₂eq/MJ

Poder calorífico inferior: 41.0 MJ/Kg

Se sabe que 1 KW/h = 3.6 MJ

Conversión de MJ a KW/h:

$$Emission \frac{\frac{gCO_2eq}{KW}}{h} = 78.7 \frac{gCO_2eq}{MJ} * 3.6 \frac{MJ}{KW} = 283.32 \frac{gCO_2eq}{KW} \quad (3.27)$$

Conversión de gramos a kilogramos:

$$Emission \frac{\frac{KgCO_2eq}{KW}}{h} = \frac{283.32 \frac{gCO_2eq}{h}}{1,000 \text{ g}} = \mathbf{0.28} \frac{KgCO_2eq}{KW} \quad (3.28)$$

Con lo que el factor de emisión para el **Diesel Marino (Marine Diesel Oil, MDO; 0.5% de azufre)** es de **0.28 KgCO₂eq/KW/h**, de acuerdo a valores que proporciona la fuente GLEC Framework (*Smart Freight Centre , 2023*).

Factor de emisión del **Gasóleo Marino (Marine Gas Oil, MGO; 1.0% de azufre):**

Factor de emisión TTW (Tank-to-Wheel)

Según datos que proporciona la fuente GLEC Framework (*Smart Freight Centre , 2023*)

Emisión GHG Operational TTW = 75.2 gCO₂eq/MJ

Poder calorífico inferior: 42.8 MJ/Kg

Se sabe que 1 KW/h = 3.6 MJ

Conversión de MJ a KW/h:

$$Emission \frac{\frac{gCO_2eq}{KW}}{h} = 75.2 \frac{gCO_2eq}{MJ} * 3.6 \frac{MJ}{KW} = 270.72 \frac{gCO_2eq}{KW} \quad (3.29)$$

Conversión de gramos a kilogramos:

$$Emission \frac{\frac{KgCO_2eq}{KW}}{h} = \frac{270.72 \frac{gCO_2eq}{h}}{1,000 \frac{g}{Kg}} = 0.27 \frac{\frac{KgCO_2eq}{KW}}{h} \quad (3.30)$$

Con lo que el factor de emisión para el **Gasóleo Marino (Marine Gas Oil, MGO; 1.0% de azufre)** es de **0.27 KgCO₂eq/KW/h**, de acuerdo a valores que proporciona la fuente GLEC Framework (*Smart Freight Centre , 2023*).

Estos cálculos anteriores con el fin de adaptarse al criterio de la metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas en la categoría **Transporte marítimo (barcos)** que ejecuta esta metodología (*IMO, 2009*).

Las clasificaciones de las diversas categorías de barcos y el orden en que se presentan son de acuerdo a estándares internacionales en materia de transporte marítimo como la OMI (*IMO, 2009*), la metodología GLEC Framework (*Smart Freight Centre , 2023*) y empresas reconocidas como DNV, Lloyd's, IHS, etc.

Las potencias de motor de las embarcaciones se muestran tal cual en las fichas técnicas citadas en cada tabla de potencias que aborda este análisis, y también algunas potencias son citadas de estudios referenciales, cada una de estas referencias se encuentran citadas debajo de cada tabla, estas fueron obtenidas a base del DWT o TBR de cada embarcación.

Los tipos de combustibles que usa cada categoría de embarcación están de igual manera citados de estudios que confirman explícitamente el uso del combustible de cada categoría de embarcación mostrada en este análisis y cada una esta citada al pie de cada tabla.

Los datos de TBR y DWT de cada embarcación están respaldados por ASIPONA Tuxpan que recolecta la información de cada embarcación que entra y sale del puerto, como respaldo adicional se citan las fichas técnicas y estudios que respaldan las potencias de motores principales de cada embarcación abordada en este análisis.

Dada toda la información anterior se ejecutaron las fórmulas metodológicas adaptadas y que fueron aplicadas en este estudio.

Formulas ejecutadas:

Transporte:

Emisiones por consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos.

*Para combustibles que se manejan en litros:

$$Emis. de GEI = 12 \text{ meses} * \frac{\text{litros}}{\text{mes}} * \text{Densidad de energia} * \text{Factor de emisión} \quad (3.31)$$

$$= 12 \text{ meses} * \frac{l}{\text{mes}} * \frac{MJ}{l} * \frac{\text{tonsCO2eq}}{MJ} \quad (3.32)$$

*Para combustibles que se manejan en Kg:

$$Emis. de GEI = 12 \text{ meses} * \frac{Kg}{\text{mes}} * \text{Densidad de energia} * \text{Factor de emisión} \quad (3.33)$$

$$= 12 \text{ meses} * \frac{Kg}{\text{mes}} * \frac{MJ}{Kg} * \frac{\text{tonsCO2eq}}{MJ} \quad (3.34)$$

Nota: Los l/mes y la densidad en MJ/l puede cambiarse en la formula a Kg/mes y MJ/Kg si se está calculando emisiones de algún combustible fósil y/o sintético que su unidad de medida sea Kg, como el caso del Acetileno que se ejecuta en este estudio comparativo.

Fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles:

Emisiones por consumo de gases refrigerantes.

$$Emis. de GEI = 12 \text{ meses} * \frac{\text{Numero de kilogramos}}{\text{mes}} * \text{Factor de emisión} \quad (3.35)$$

$$= 12 \text{ meses} * \frac{Kg}{\text{mes}} * \frac{\text{tonsCO2eq}}{Kg} \quad (3.36)$$

Energía eléctrica:

Emisiones por consumo de energía eléctrica.

$$Emis.de\ GEI = 12\ meses * \frac{costo}{mes} * \frac{kw/h}{costo} * Factor\ de\ emisión \quad (3.37)$$

$$= 12\ meses * \frac{\$}{mes} * \frac{1kw/h}{\$} * \frac{tonsCO2eq}{\frac{kw}{h}} \quad (3.38)$$

Transporte marítimo (barcos):

Emisiones por viajes de barcos o embarcaciones en general.

$$Emis.de\ GEI = P * t * FE \quad (3.39)$$

$$= KW * Horas * \frac{KgCO2eq}{\frac{Kw}{h}} \quad (3.40)$$

Donde:

**P: Potencia del Motor Principal.*

**t: Tiempo en horas en puerto desde que entra hasta que sale, esto incluye (entrada, carga o descarga y salida del puerto) o el tiempo de estancia en horas en puerto si son embarcaciones tipo dragas, barcos de investigación, lanchas recreativas, de pesca, etc.*

**FE: Factor de emisión del tipo de combustible de cada categoría de embarcación.*

5. Resultados

5.1 Resultados con metodología GHG Protocol (2023)

Se muestran los resultados finales de emisiones en TonCO₂eq, de los cesionarios y prestadores de servicio activos en el 2023 en el puerto de Tuxpan, Veracruz.

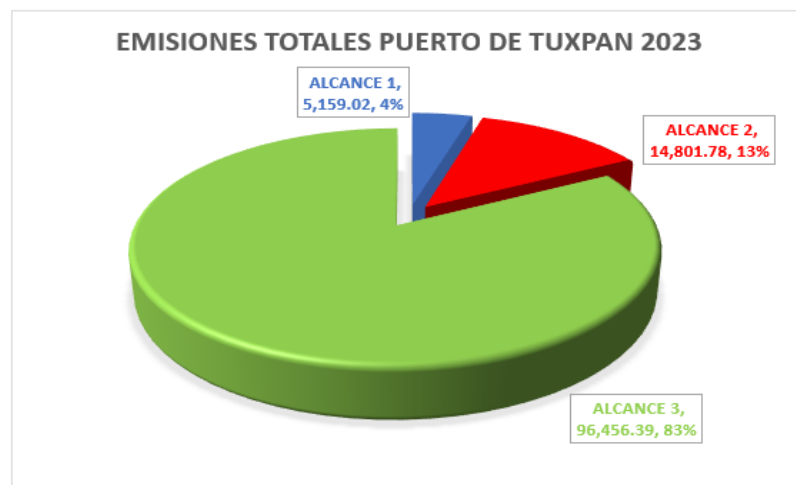
Cesionarios y prestadores de servicio (empresas) del 2023:

- Administración del Sistema Portuario Nacional Tuxpan, ASIPONA Tuxpan.
- Tuxpan Port Terminal
- FR Terminales
- Administradora de Tuxpan
- Andino Terminales de México
- Compañía Terminal de Tuxpan
- Desguaces Metálicos y Relaminables
- Ferroservicios S.A. DE C.V.
- Granelera Internacional de Tuxpan
- Litoral Tuxpeño
- María Margarita Magda Guzmán Carrillo
- Obras Marítimas HB
- Oxy Distribution
- Pemex Logística
- Suministros Marinos de Tuxpan
- Tajín Consignaciones
- Termigas
- Terminal Marítima Gas Tomza
- Terminal Portuaria de Tuxpan
- David Rojas Ingles
- Dulce María Bernabé Basurto
- Logística Integral del Puerto

- Mardonio Rodríguez Rivera
- María Azucena Santos Flores
- SAAM Towage México
- Tritón Maritime de México
- Almacenadora Sur S.A. DE C.V. Organización Auxiliar del Crédito
- Barreas Flotantes y Accesorios Marítimos
- Oil Spill Control Solutions
- Oil Test International México S.A DE C.V.
- José Antonio Leñero Solís
- Jacsal
- Smart Pass
- Industrial Marítima de Veracruz
- Marinoil Servicios Marítimos
- Certificaciones Internacionales de Embarques

Graficas;

De acuerdo a la metodología **GHG Protocol** se muestra el **alcance 1**, este cuantifica emisiones de **Combustibles fósiles y/o sintéticos** como Diesel, Gasolina, Gas LP o Acetileno y **Gases refrigerantes** como el R-22, R-40, etc. Es decir, **GHG Protocol** junta las emisiones en un solo alcance. Mientras que para el **alcance 2** cuantifica emisiones solo derivadas del **Consumo eléctrico** y el **alcance 3** cuantifica emisiones por transporte marítimo de embarcaciones como; **Buques, Dragas, Lanchas, etc.**, que entran y salen del puerto, todo esto a criterio y clasificación única que maneja la metodología **GHG Protocol** aplicada en ASIPONA Tuxpan. Con lo que da como resultado:



Emisiones alcance 1	5,159.02 TonCO ₂ eq
Emisiones alcance 2	14,801.78 TonCO ₂ eq
Emisiones alcance 3	96,456.39 TonCO ₂ eq
Emisiones totales 2023	116,417.19 TonCO₂eq

Ilustración 2 Emisiones Totales de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología GHG Protocol, Fuente: ASIPONA Tuxpan.

Como se observa en la **Ilustración 2**, el total de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en ASIPONA Tuxpan durante el año 2023, calculadas mediante la metodología GHG Protocol, fue de **116,417.19 toneladas de CO₂ equivalente (TonCO₂eq)**.

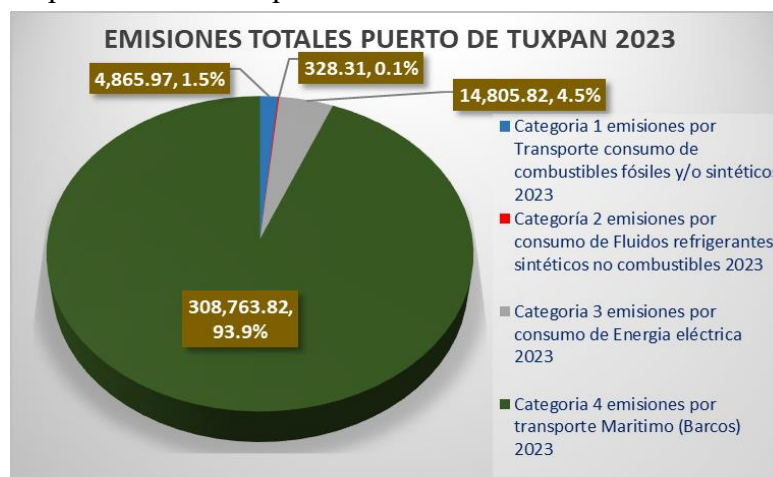
Con lo mostrado en la gráfica se sabe que la mayor contribución corresponde al **alcance 3**, con un total de **96,456.39 TonCO₂eq**, lo que representa el **83%** del total correspondiente a emisiones indirectas que no son generadas directamente por ASIPONA Tuxpan, pero están bajo su control operativo y forman parte de su esfera de responsabilidad al estar dentro de las actividades portuarias que esta administra. Este alcance es derivado de emisiones asociadas a las operaciones de buques, dragas, lanchas, servicios de maniobras y demás que están dentro del campo de operación del Puerto de Tuxpan.

El **alcance 2** corresponde al consumo de energía eléctrica, representa un **13%** del total con **14,801.78 TonCO₂eq**, mientras que el **alcance 1** que comprende al consumo directo de combustibles fósiles y/o sintéticos y gases refrigerantes por parte de ASIPONA Tuxpan, cesionarios y prestadores de servicio y que representan solo el **4%** del total con **5,159.02 TonCO₂eq**.

Esta distribución deja ver de manera clara y precisa que la mayor carga de emisiones se concentra en operaciones portuarias relacionadas con terceros o empresas que están ligadas a ASIPONA Tuxpan como cesionarios y prestadores de servicio (especialmente embarcaciones), pero que forman parte del sistema portuario gestionado por ASIPONA, lo cual justifica su inclusión bajo la metodología GHG Protocol en su **alcance 3**.

5.2 Resultados con metodologías adaptadas Insumo-Producto y EEOI IMO para emisiones marítimas (2023)

De acuerdo a la metodología **Insumo-Producto** método adaptado a las actividades de ASIPONA Tuxpan, cesionarios y prestadores de servicio y que clasifica las emisiones por separado en el caso de combustibles fósiles y/o sintéticos y refrigerantes, se muestra la **categoría 1** emisiones por **Transporte o consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos** como Gasolina, Diesel, Acetileno, etc., **categoría 2** emisiones por **Consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes)** como R-22, R-40, etc., **categoría 3** emisiones por **Consumo de energía eléctrica**. Seguido de la metodología adaptada **EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas**, con esto la **categoría 4** que cuantifica emisiones por **Transporte Marítimo (Barcos)** de embarcaciones en general, que entran y salen del puerto, estas son las categorías clave de este estudio comparativo y que en conjunto están aplicadas a ASIPONA Tuxpan como análisis metodológico comparativo. Con lo que da como resultado:



Emisiones categoría 1	4,865.97 TonCO ₂ eq
Emisiones categoría 2	328.31 TonCO ₂ eq
Emisiones categoría 3	14,805.82 TonCO ₂ eq
Emisiones categoría 4	308,763.82 TonCO ₂ eq
Emisiones totales 2023	328,763.92 TonCO₂eq

Ilustración 3 Emisiones Totales de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto y EEOI IMO, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados de los métodos.

Como se observa en la **Ilustración 3**, se deja ver la distribución de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) del puerto de Tuxpan en el año 2023, estas emisiones desglosadas por categorías conforme a la adaptación del método Insumo-Producto y el método EEOI IMO para emisiones marítimas

De acuerdo a los resultados mostrados en la gráfica:

- La **categoría 4** (transporte marítimo) representa la mayor fuente de emisiones, con un total de **308,763.82 TonCO₂eq**, lo que equivale al **93.9%** del total de las emisiones reportadas para el año 2023. Este resultado evidencia el gran peso ambiental que tienen las operaciones marítimas en el puerto, considerando la entrada, estancia y salida de diversas embarcaciones en general.
- En contraste las categorías 1, 2 y 3 relacionadas con (transporte o consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos, consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles o gases refrigerantes y consumo de energía eléctrica respectivamente), presentan una contribución mucho menor, representando entre todas apenas el 6.1% restante del total de las emisiones:
 - ✓ **Categoría 1: 4,856.97 TonCO₂eq (1.5%)**
 - ✓ **Categoría 2: 328.31 TonCO₂eq (0.1%)**
 - ✓ **Categoría 3: 14,805.82 TonCO₂eq (4.5%)**

Estos resultados permiten concluir que, bajo los enfoques metodológicos empleados, el transporte marítimo es el principal responsable de las emisiones de GEI en el puerto, derivado de las permanentes operaciones portuarias que este realiza procedente de la constante llegada de navíos al puerto y que de manera escalonada contribuyen al aumento de manera significativa de la huella de carbono exclusivamente en esta categoría.

Graficas de categoría 1 Emisiones por consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos 2023;

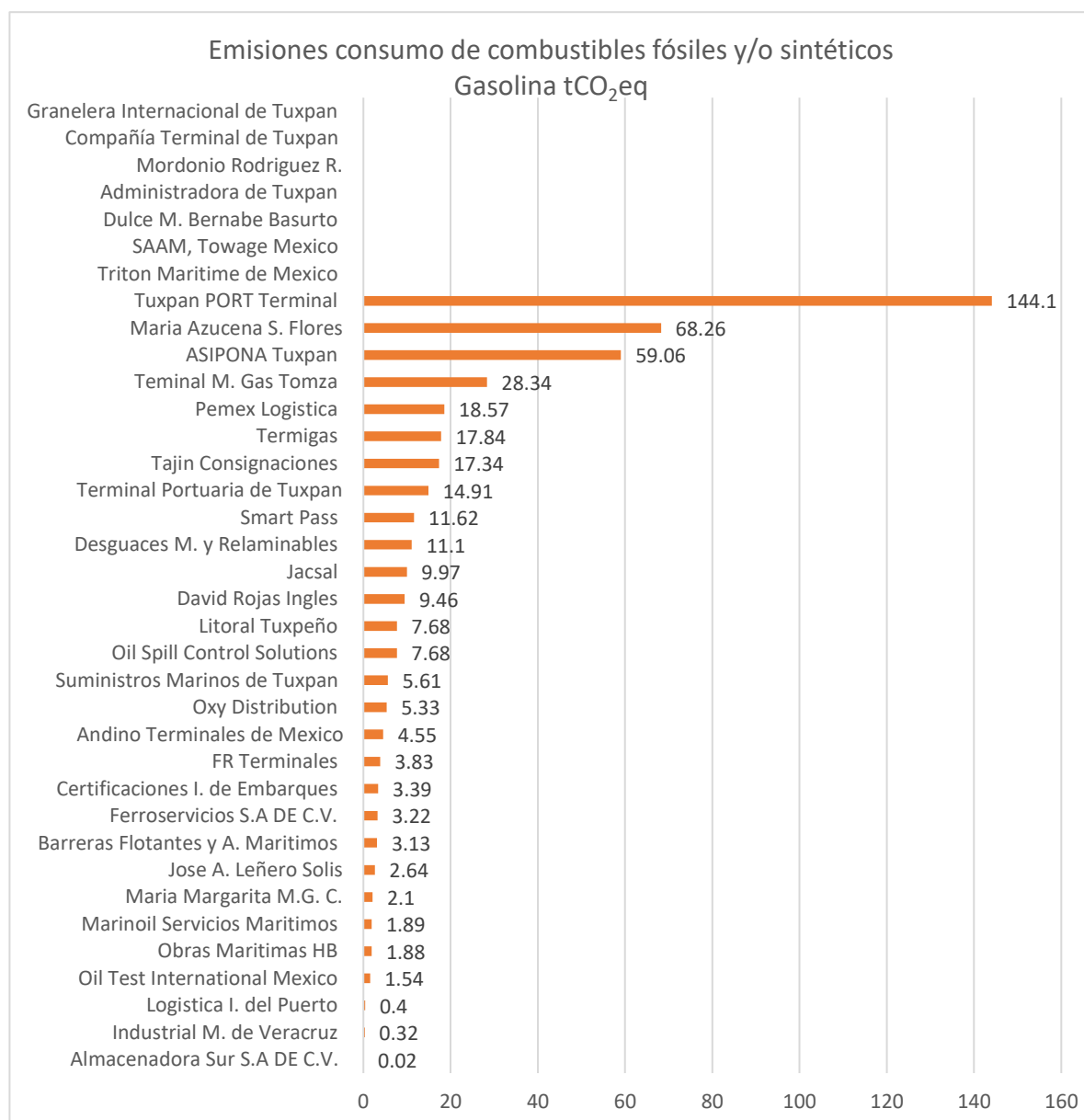


Ilustración 4 Emisiones Totales (Gasolina) de empresas del Puerto de Tuxpan 2023,
Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados
del método.

En la **Ilustración 4** se muestran las emisiones asociadas al consumo de gasolina por parte de cesionarios y prestadores de servicio de ASIPONA Tuxpan durante el **año 2023**, estas calculadas mediante el método adaptado Insumo-Producto.

Esta grafica mostrada deja ver que **Tuxpan Port Terminal** presenta el mayor nivel de emisiones, con **144.1 TonCO₂eq**, seguido de **María Azucena S. Flores** con **68.26 TonCO₂eq** y **ASIPONA Tuxpan** con **59.06 TonCO₂eq**, estos valores destacan significativamente frente al resto de las empresas, lo cual se debe al mayor número de unidades vehiculares y equipos como plantas de emergencia que usan gasolina.

También se identifican diversas empresas con emisiones menores a **10 TonCO₂eq** como **David Rojas Ingles** u **Oil Spill Control Solutions**, lo que sugiere un menor grado de participación operativa debido a que son empresas que cuentan con menos vehículos y equipos que consumen gasolina. En el caso de las empresas que reportaron cero emisiones o no presentan valores numéricos en la gráfica es porque participaron en el censo, pero no se encontraron vehículos o equipos que usaran este combustible, pero diésel si y estos resultados se muestran en la ilustración 5.

Estos resultados gráficos permiten visualizar de manera clara y jerárquica quienes son los principales **emisores por consumo de gasolina** permitiendo orientar acciones de mitigación en beneficio de las empresas con mayor huella de carbono.

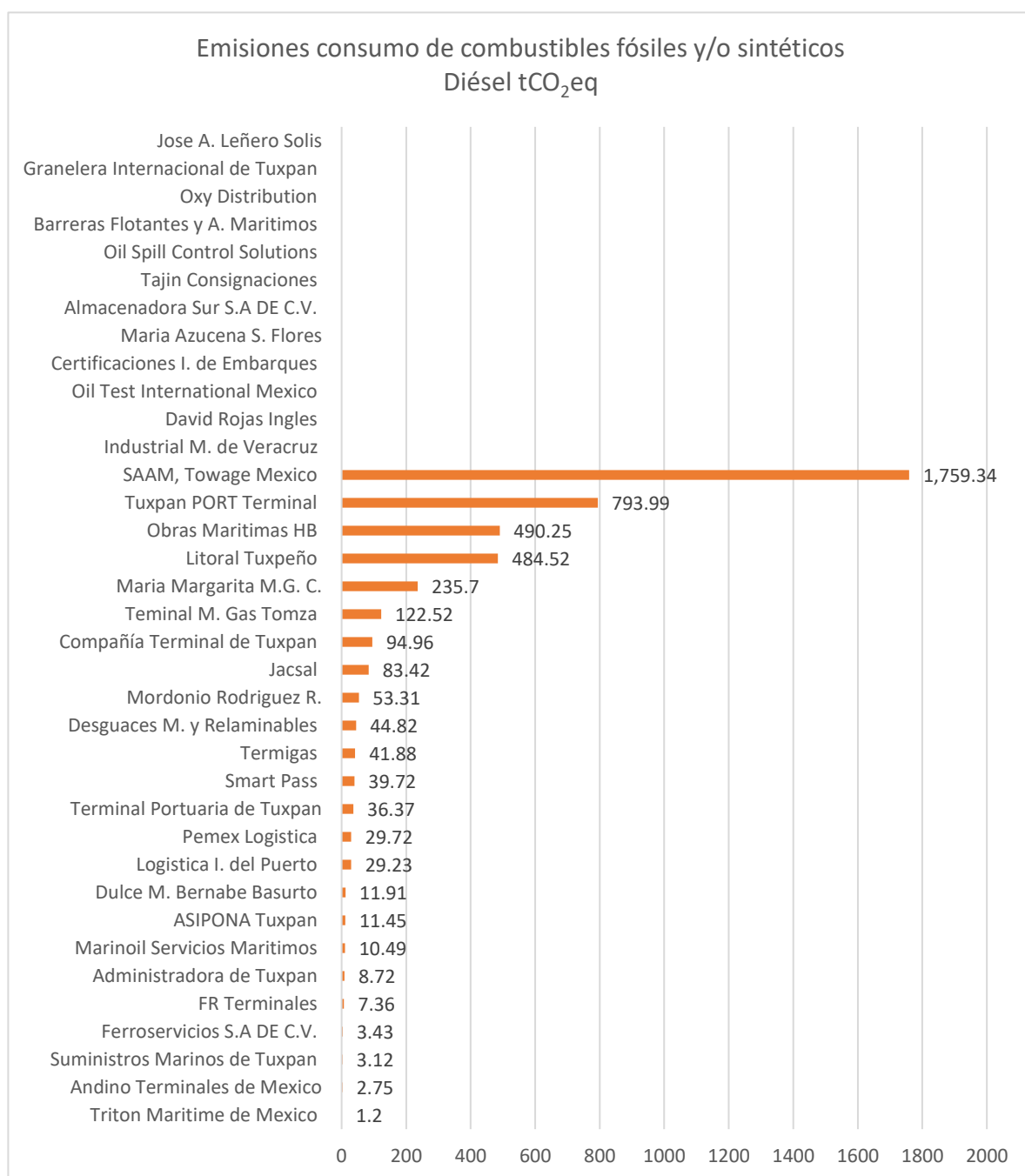


Ilustración 5 Emisiones Totales (Diésel) de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

En la **Ilustración 5** se muestran las emisiones derivadas del consumo de diésel por parte de cesionarios y prestadores de servicio de ASIPONA Tuxpan durante el **año 2023**, se observa que **SAAM Towage México** es el principal emisor con **1,759.34 TonCO₂eq** seguido de **Tuxpan Port Terminal** con **793.99 TonCO₂eq** y **Obras Marítimas HB** con **490.25 TonCO₂eq** y esto es derivado de que estas empresas operan vehículos remolcadores, maquinaria pesada, o vehículos logísticos de gran tamaño los cuales requieren una elevada demanda energética basada en el consumo de diésel.

El alto valor de las emisiones en **SAAM Towage** se atribuye al uso intensivo de remolcadores terrestres que demandan una gran cantidad de diésel en sus motores, el uso de plantas generadoras de energía y el uso de vehículos en general que demandan diésel. Por otro lado, empresas como **Pemex Logística**, **ASIPONA Tuxpan** o **FR Terminales** muestran valores significativamente menores, por debajo de las **30 TonCO₂eq**, lo cual indica una menor frecuencia operativa y el uso limitado de equipos o vehículos y una menor cantidad de estos.

Este desglose permite identificar con claridad a los actores que más contribuyen a las emisiones por el uso de diésel, proporcionado un punto de partida para la implementación de estrategias de mitigación en las empresas con una huella de carbono significativa.

Las empresas sin valores numéricos participaron en el censo, pero no se encontraron vehículos o equipos que consumieran diésel, pero si gasolina como se mostró en la ilustración 4.

Grafica de categoría 2 Emisiones por consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes) 2023;

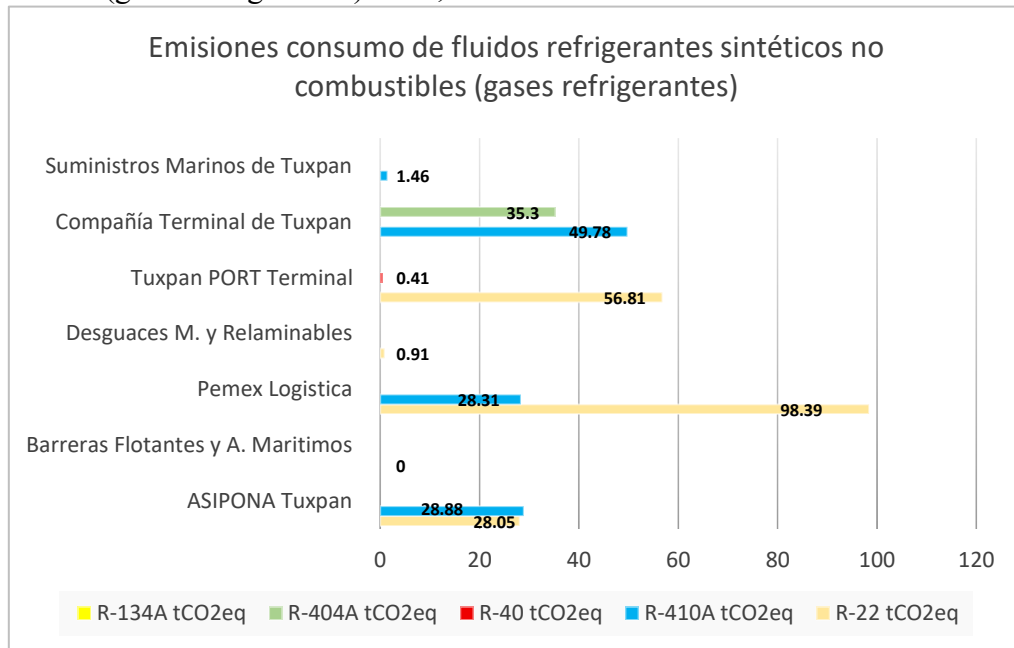


Ilustración 6 Emisiones Totales (Fluidos Refrigerantes Sintéticos no Combustibles) de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 6** muestra las emisiones generadas por el consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles de distintas empresas con presencia en el puerto de Tuxpan durante el **año 2023**. Estas emisiones están expresadas en TonCO₂eq, lo cual permite comparar el impacto climático de distintos tipos de gases, considerando su Potencial de Calentamiento Global (GWP).

Entre las empresas analizadas, **Pemex Logística** fue la que presentó el mayor volumen de emisiones con **98.39 TonCO₂eq** atribuibles exclusivamente al **gas R-22**, un refrigerante con alto GWP, le sigue **Tuxpan Port Terminal** con **56.81 TonCO₂eq** también por consumo de **gas R-22**. Esto evidencia que el uso de gases refrigerantes con alto GWP sigue siendo significativo en ciertas instalaciones del puerto, como las mencionadas anteriormente y que se debe principalmente a una mayor demanda en la climatización de oficinas.

En contraste empresas como **ASIPONA Tuxpan** y **Suministros Marinos de Tuxpan** presentaron emisiones menores, en el rango de **1 a 30 TonCO₂eq**, con una combinación de gases refrigerantes como **R-410A** y **R-22**.

En el caso de **Barreras Flotantes y Accesorios Marítimos** aparece en **0** porque se sabe que el equipo de climatización usa **gas refrigerante R-22** pero no se realizaron cargas durante el **año 2023** lo que no contribuyo en el uso de este gas y por ende **no genero emisiones**, sin embargo, se presenta en este análisis para remarcar que esta empresa consume ese gas refrigerante en su equipo de climatización.

Las **0.41 TonCO₂eq** mostradas en el grafico de la empresa **Tuxpan Port Terminal** corresponden al consumo del **gas refrigerante R-40**, mientras que las **0.91 TonCO₂eq** de la empresa **Desguaces Metálicos y Relaminables** corresponden al **gas R-22**, destacando que en el año de **estudio 2023** no hubo **ninguna empresa** que usara **gas refrigerante R-134A** en sus equipos de climatización.

El resto de las empresas no contabilizó emisiones en esta categoría debido a que no cuentan con oficinas que empleen equipos de climatización.

Es de importancia destacar que la presencia de múltiples tipos de gases refrigerantes en las empresas indica una diversidad tecnológica de refrigeración/climatización utilizada, lo cual podría estar relacionado con la antigüedad de los equipos o la falta de políticas de sustitución por alternativas más sostenibles.

Grafica de categoría 3 Emisiones por consumo de energía eléctrica 2023;

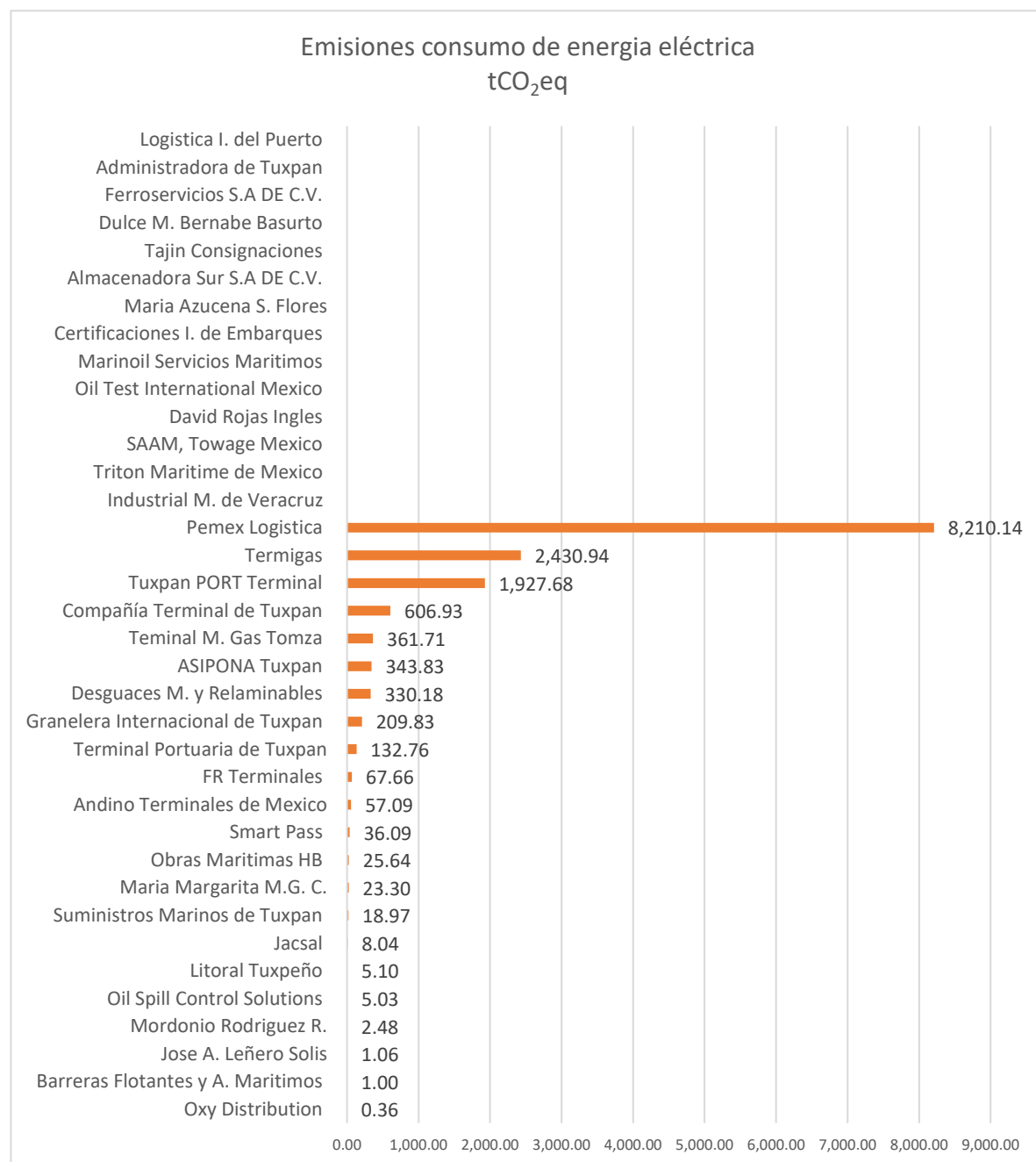


Ilustración 7 Emisiones Totales (Energía Eléctrica) de empresas del Puerto de Tuxpan 2023, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 6** muestra las emisiones en TonCO₂ derivadas del consumo de energía eléctrica de las empresas del puerto en el **año 2023**, esta grafica revela una marcada concentración de emisiones en un número reducido de empresas, entre las que destaca notablemente **Pemex Logística** con un total de **8,210.14 TonCO₂eq** lo cual representa la empresa con emisiones más altas entre todas las empresas evaluadas. Este resultado refleja un alto requerimiento energético asociado a procesos operativos continuos, sistemas de bombeo que demandan alta energía, el manejo de hidrocarburos o áreas de exploración y otras actividades industriales que demandan alta intensidad energética.

A esta empresa le sigue **Termigas** y **Tuxpan Port Terminal** con **2,430.94 TonCO₂eq** y **1,927.68 TonCO₂eq** respectivamente, cuyas operaciones también demandan una considerable cantidad energética usada en las operaciones de estas empresas, como el uso de energía constante en sus oficinas, operaciones de abastecimiento logístico y considerando que sus áreas de terreno son considerablemente extensas. El resto de las empresas presenta valores significativamente menores, siendo el grupo de emisores medios aquellas empresas cuyas emisiones están en el rango de **300 a 600 TonCO₂eq**, como en el caso de **Compañía Terminal de Tuxpan**, **Terminal Portuaria de Tuxpan** y **ASIPONA Tuxpan**, lo cual sugiere un consumo más moderado de la energía eléctrica en oficinas, alumbrado, áreas de ventilación, o equipos especializados de logística.

Por otro lado, una parte importante de las empresas muestran emisiones considerablemente bajas debido al uso menor en operaciones que conllevan el uso de la energía eléctrica. Cabe señalar que los cálculos fueron realizados con base en el factor de emisión **MIX Eléctrico Nacional de México**, el cual incluye una combinación de fuentes fósiles y renovables, pero que aún mantiene una alta participación del gas natural y el carbón, lo que incrementa la huella de carbono por cada kilowatt-hora consumido, esto reflejado directamente en el factor de emisión de la energía eléctrica que es usado en este análisis para el año de estudio 2023.

Las empresas sin valores de emisión participaron en el censo sin embargo no se encontraron equipos que usaran energía eléctrica en dichas empresas.

Graficas de categoría 4 emisiones por transporte marítimo (barcos) 2023;



Ilustración 8 Total de embarcaciones por categoría arribada en 2023 al Puerto de Tuxpan, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a datos de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 8** muestra el total de embarcaciones arribadas al Puerto de Tuxpan durante el **año 2023**, clasificadas por tipo de buque, es observable que las categorías con mayor número de arribos fueron los **tanqueros Handysize** con **310 arribos**, seguido de los **tanqueros Químicos** con **205 arribos**, con lo que en conjunto estas dos categorías presentan una proporción significativa del total de operaciones marítimas registradas en el puerto durante el **año 2023**.

Las categorías **Buques de Carga General** y **Container Ship 1000 TEU** representaron una cantidad media de arribos, con **63 embarcaciones cada una**. En contraste categorías como **Dragas** y **Container Ship 5000 TEU** registraron una participación mínima con solo **3** y **2 arribos respectivamente**.

Este resultado permite identificar el perfil operativo predominante del puerto de Tuxpan, evidenciando que **su actividad está altamente concentrada en el manejo de productos**

líquidos como hidrocarburos o químicos dados los altos volúmenes de tanqueros arribados. También se refleja una **actividad moderada en el manejo de carga general y contenedores pequeños, mientras que las operaciones con buques de gran tamaño como los portacontenedores 5000 TEU son prácticamente inexistentes, lo cual está relacionado con las limitaciones de infraestructura portuaria y la vocación especializada del puerto.**

Esta información es clave para contextualizar los niveles de emisiones reportados por tipo de buque, ya que existe una relación directa entre el número de arribos y la generación total de emisiones, **como se demuestra en las siguientes graficas que muestran las emisiones por categoría y emisiones promedio por cada embarcación de cada categoría.**

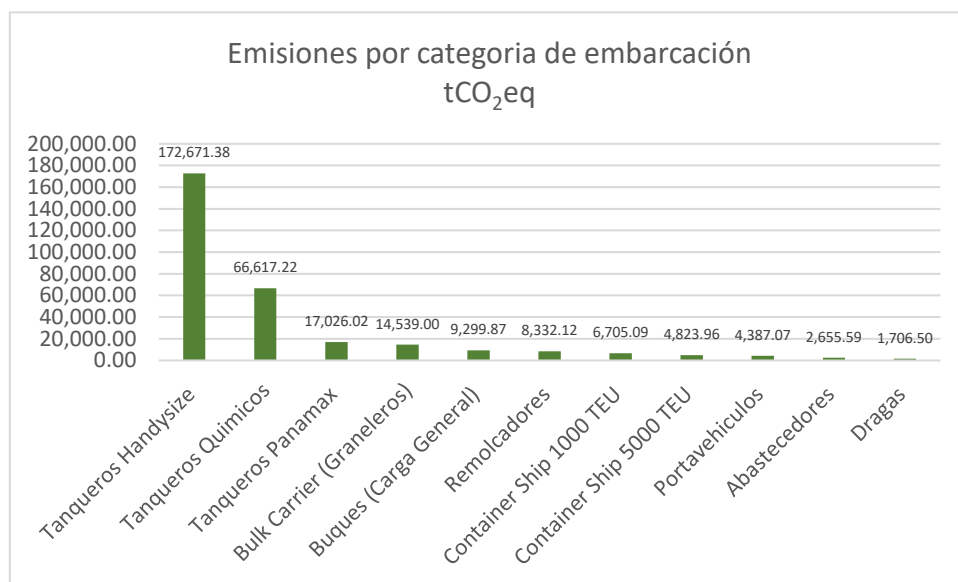


Ilustración 9 Total de Emisiones por categoría arribada en 2023 al Puerto de Tuxpan, Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

En la **Ilustración 9** se presentan las emisiones totales de GEI en TonCO₂eq derivadas de los distintos tipos de buques que operaron en el puerto de Tuxpan durante el **año 2023**.

Es observable a simple vista que los **tanqueros tipo Handysize** fueron los mayores emisores, con un total de **172, 671.38 TonCO₂eq** debido principalmente a que fue la categoría que

recibió más embarcaciones de este tipo en el puerto durante el **año 2023**, lo que representa la categoría con mayor impacto ambiental dentro del transporte marítimo local de acuerdo a las horas de estancia de cada embarcación de este tipo en el puerto, le siguen los **tanqueros Químicos**, con **66,617.22 TonCO₂eq** y en tercer lugar los **tanqueros Panamax** con **17,026.02 TonCO₂eq**.

El resto de las categorías presento valores considerablemente menores. Destacan los **Bulk Carrier** con **14,539.00 TonCO₂eq** y los **Buques Carga General** con **9,299.87 TonCO₂eq**. En el extremo inferior se encuentran las **Dragas** con apenas **1,706.50 TonCO₂eq**, así como los **Abastecedores** con **2,655.59 TonCO₂eq**, lo cual refleja una menor frecuencia de operación y de potencia instalada en comparación con los grandes tanqueros.

Estos resultados en conjunto evidencian que el tipo de embarcación tiene una relación directa con el volumen de emisiones, influido por factores como el tamaño del buque, la potencia de sus motores, el tiempo de operación en puerto y el tipo de combustible empleado.

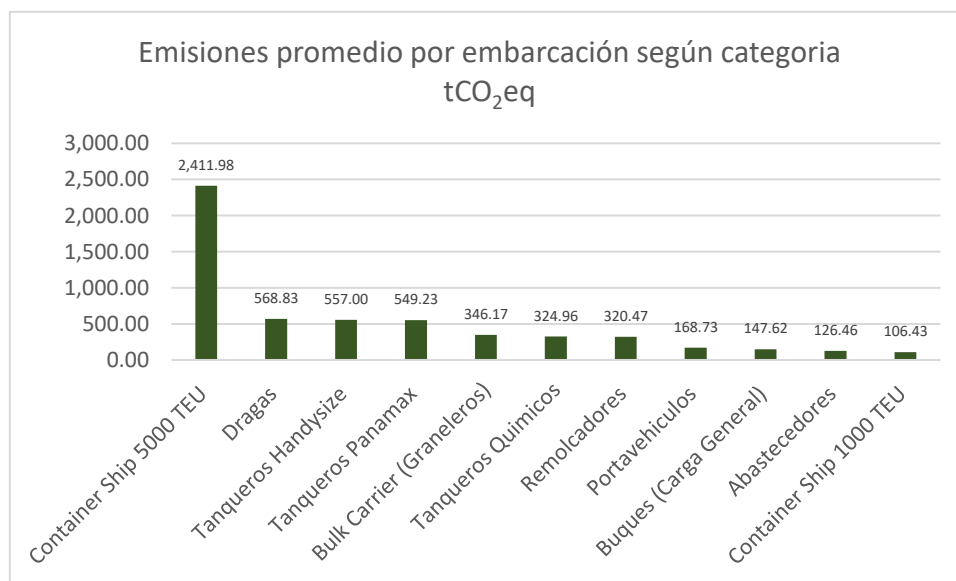


Ilustración 10 Emisiones Promedio por embarcación según categoría arribada en 2023 al Puerto de Tuxpan, Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

En la **Ilustración 10** se muestran las emisiones promedio de cada embarcación según cada categoría en unidades TonCO₂eq que arribaron al puerto de Tuxpan en el **año 2023**, este grafico es factible en este estudio ya que algunas categorías de embarcaciones contienen alrededor de **300 o más buques arribados al puerto** en el periodo de estudio, por lo que es complejo mostrarse en una gráfica de barras, en ese caso se ha optado por el promedio de cada embarcación según categoría.

La grafica muestra que en promedio los **Container Ship 5000 TEU** emiten **2,411.98 TonCO₂eq** cada uno, considerando que en el **año 2023** solo arribaron **2 buques** de este tipo, mientras que la categoría que sumo más emisiones según la **Ilustración 9** fue la de los **tanqueros Handysize** con **310 buques arribados al puerto en el 2023** y que en promedio sus emisiones por unidad fueron de **557 TonCO₂eq** tal como lo muestra la **Ilustración 10**, seguido de **Dragas** y **tanqueros Panamax** con **568.83** y **549.23 TonCO₂eq** respectivamente, mientras que los **Bulk Carrier**, **tanqueros Químicos** y **Remolcadores** se encuentran en un rango de emisiones de **300 a 350 TonCO₂eq** y finalmente los **Portavehiculos**, **Buques Carga General**, **Abastecedores** y **Container Ship 1000 TEU** están en rangos mucho menores de emisiones de entre **105 a 170 TonCO₂eq**.

Estas emisiones promedio y diferencias clave se deben a las potencias de los motores de las diversas embarcaciones, tiempos y combustibles empleados, como ejemplo la categoría **Container Ship 5000 TEU** en el que sus motores tienen potencias de alrededor de **55,000 KW**, debido a esto, es que las emisiones aumentan considerando la estancia en puerto en horas y el tipo de combustible que utilizan.

Por otro lado, los **tanqueros Handysize** tienen potencias de entre **9,000 y 13,000 KW** mucho menores que los **Container Ship 5000 TEU** lo que hace que su representación promedio de emisiones por unidad en la gráfica refleje el valor de **557.00 TonCO₂eq** para estos tanqueros y potencias de motores muy similares en **Dragas** y **tanqueros Químicos** lo que refleja el valor de emisiones en la gráfica, mientras que para el resto de las embarcaciones no rebasan de las **200 TonCO₂eq** en emisiones, los motores rondan en rangos de **3,000 a 12,000 KW** de potencia instalada.

Por lo que en estas embarcaciones las emisiones son menores debido a que las potencias de sus motores son bajas, la estancia y el tipo de combustible que utilizan son diferentes.

Este análisis permite calcular emisiones de manera eficiente desde la potencia total del buque o cualquier tipo de embarcación en general, basado prácticamente en las horas de estancia en puerto y del tipo de combustible de cada embarcación, consolidando al método como un eje factible en el cálculo de la huella de carbono del transporte marítimo en general.

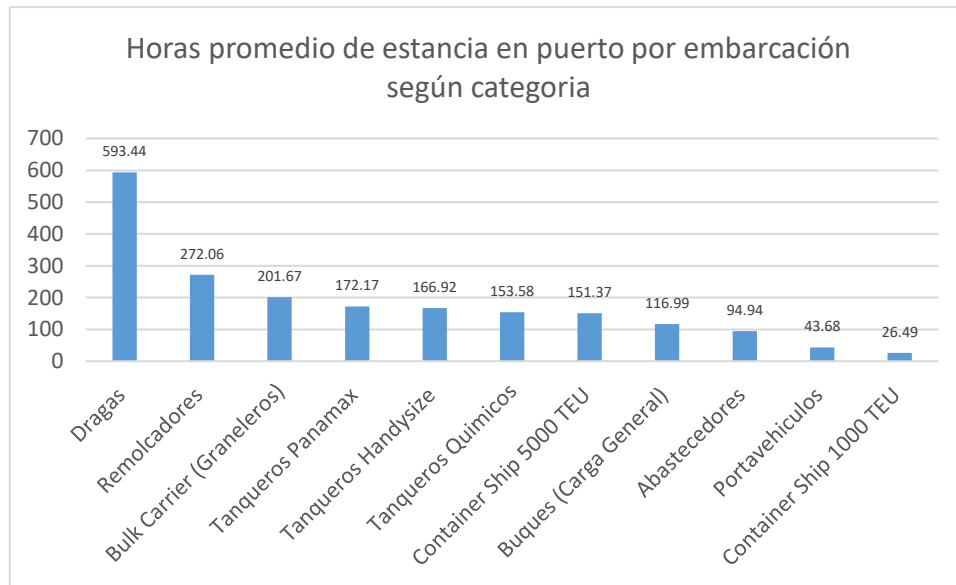


Ilustración 11 Horas Promedio de Estancia por embarcación según categoría arribada en 2023 al Puerto de Tuxpan, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a horas registradas por ASIPONA Tuxpan.

En la **Ilustración 11** se muestran las horas promedio de estancia de las diversas embarcaciones por categoría que arribaron al puerto de Tuxpan en el **año 2023**, de acuerdo a datos que muestra la gráfica, se deja ver que las **Dragas** son las que más tiempo pasan en estancia en el puerto con **593.44 horas en promedio cada una**, mientras que en segundo lugar están los **Remolcadores** con un tiempo promedio en estancia de **272.06 horas en puerto** y en tercer lugar se encuentran los **Bulk Carrier (Graneleros)** en el que sus horas promedio en puerto fueron de **201.67 horas cada uno**, seguido de rangos más bajos como las categorías de **tanqueros Panamax**, **tanqueros Handysize**, **tanqueros Químicos**, **Container Ship 5000 TEU**, **buques Carga General**, **Abastecedores**, **Portavehículos** y

Container Ship 1000 TEU que no rebasan más de **180 horas** de estancia en puerto por unidad según categoría, con lo que su estancia es menor.

Esto es debido a que las actividades que realiza cada tipo o categoría de embarcación son diferentes en lo que respecta al puerto, ejemplo claro son las **Dragas** en el que la estancia es variable en tiempo de acuerdo a actividades de dragado en el mismo, como retiro de sedimentos del lecho marino que mejoran el tránsito portuario, o profundización de zonas clave como el canal interior, exterior, etc., lo que requiere de tiempo de estancia considerable para ejercer dichas actividades en el puerto, solo por mencionar una categoría de embarcaciones y ciertas actividades de la misma.

Mientras que para los **Remolcadores** el tiempo de operación o de estancia en puerto es considerable ya que estos están presentes en la mayoría de las actividades de apoyo a embarcaciones grandes como tanqueros, graneleros y demás que necesitan ser remolcados o arrastrados hacia la salida al mar o hacia el interior del puerto en ciertas terminales especializadas.

Y para los **Bulk Carrier (graneleros)** su estancia en puerto en horas es significativa porque están siendo descargados en el puerto, lo que en la mayoría de los casos el descargue de granos es una actividad de amplio tiempo lo que ocupa varias horas e incluso días para el vaciado de este tipo de barcos y que repercute de manera clara en la estancia en el mismo.

Mientras que para los **tanqueros en general** el descargue de líquido es más rápido debido a la infraestructura más adaptada de descarga y almacenaje de combustibles o químicos transportados, lo que implica una operación más factible que reduce las operaciones y esto a su vez repercute en menor tiempo de estancia en puerto.

Por otro lado, los **Container Ship**, los **Buques Carga General** y los **Portavehículos** al tener terminales de descarga más especializadas y aptas para controlar la descarga de mercancía y almacenaje el tiempo de descarga es menor lo que hace que los buques estén menos tiempo en puerto según estas categorías.

Por ultimo los **Abastecedores** llegan apenas a casi **100 horas** de estancia en puerto cada uno, esto debido a actividades relacionadas con el movimiento de personas, agua o víveres a embarcaciones en altamar lo que disminuye sus tiempos en puerto ya que no siempre se requiere que un abastecedor apoye en estas actividades a buques más grandes en altamar.

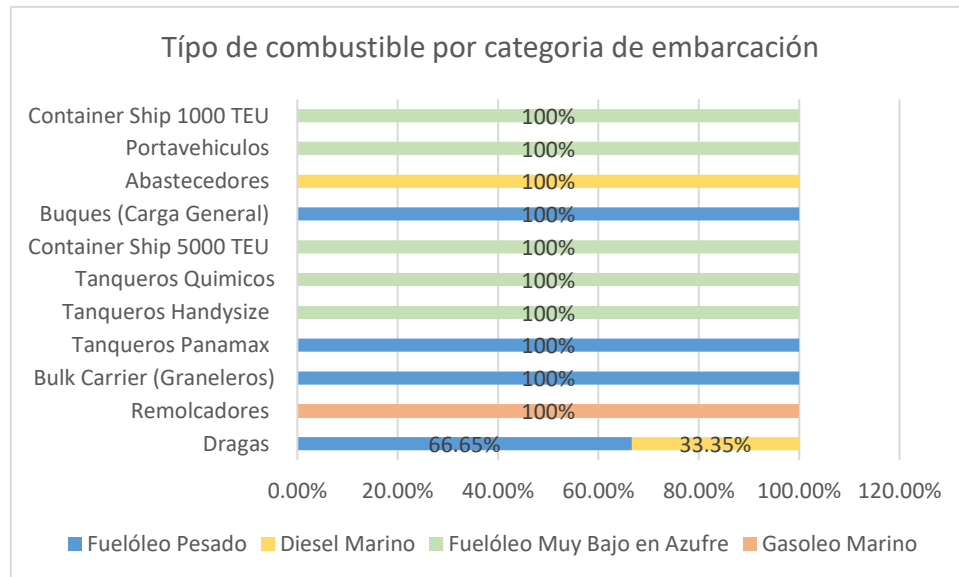


Ilustración 12 Combustible Usado por cada categoría de embarcación arribada al puerto de Tuxpan en 2023, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a estudios.

La **Ilustración 11** muestra el tipo de combustible que utiliza la flota de cada categoría de embarcaciones arribadas al puerto de Tuxpan durante el **año 2023**. Los porcentajes indican que proporción de la flota usa cada tipo de combustible, evidenciando que, en la mayoría de los casos, **el 100% de las embarcaciones dentro de una misma categoría utilizan un solo tipo de combustible**. Los **tanqueros Panamax, Bulk Carrier (Graneleros), Buques (Carga General)** usan **Fuelóleo Pesado** en el **100% de su flota** y solo el **66.65% de las Dragas** usan **exclusivamente Fuelóleo Pesado**, con esto es de bien saber que el **Fuelóleo Pesado** es uno de los combustibles más contaminantes de las flotas navieras y que poco a poco se ha estado suspendiendo su uso de acuerdo a recomendaciones de la **OMI**, mientras que la misma categoría de **Dragas** emplean la combinación con **Diesel Marino** ya que el **33.35%** de su flota lo usa como combustible, y los **Abastecedores** también usan **Diesel Marino en el 100% de su flota**, este combustible se considera un poco menos contaminante

que el **Fuelóleo Pesado**, por otro lado los **Container Ship 1000 TEU**, **Portavehículos**, **Container Ship 5000 TEU**, **tanqueros Químicos** y **Handysize** usan exclusivamente **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre en el 100% de sus flotas**, destacando que este tipo de combustible es ligeramente más limpio que el **Fuelóleo Pesado** y el **Diesel Marino**. El **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre** para uso en embarcaciones es ampliamente recomendado de acuerdo a la **OMI desde el 2020 a la fecha** ya que es uno de los combustibles más limpios en generación de emisiones para su uso en el transporte marítimo.

Y por último se encuentran los **Remolcadores** usados ampliamente como auxiliares principales de embarcaciones de gran tamaño en el puerto y que usan **Gasóleo Marino** en el **100% de su flota**, un combustible muy limpio y más eficiente que todos los mencionados en este apartado, incluso menos contaminante que el **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre**, el **Diesel Marino** y el **Fuelóleo Pesado**.

Esta información resulta fundamental para el cálculo de emisiones, ya que cada combustible tiene un factor de emisión diferente lo que impacta directamente en la huella de carbono generada por cada tipo de embarcación.

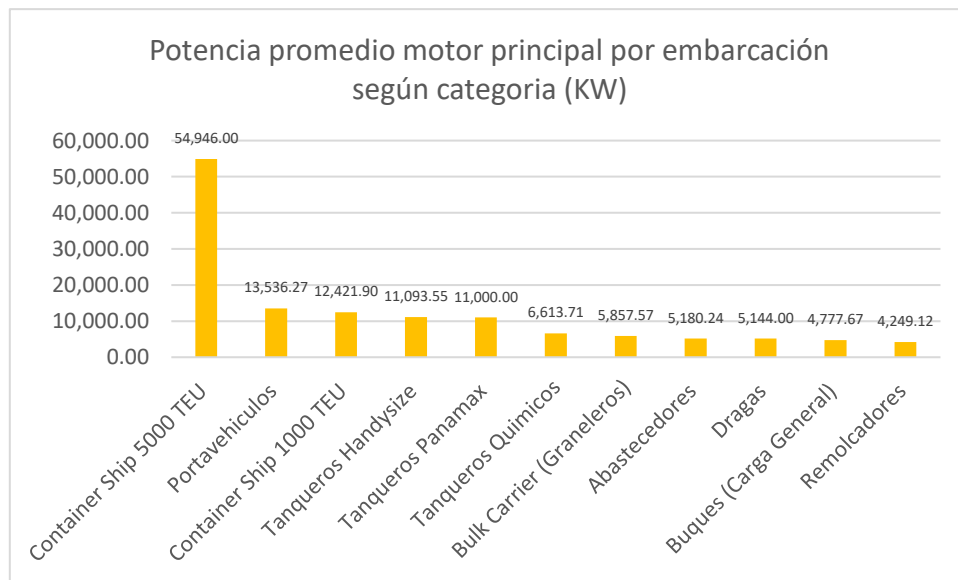


Ilustración 13 Potencias Promedio Motor Principal en KW por embarcación según categoría arribada al Puerto de Tuxpan en 2023, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a fichas técnicas de cada embarcación y estudios de potencias similares.

La **Ilustración 13** muestra las potencias promedio del motor principal en KW de las diversas embarcaciones por categoría arribada al puerto de Tuxpan en el **año 2023**, lo que evidencia diferencias notables entre las diversas categorías de embarcaciones que operaron en el puerto de Tuxpan. Se observa que los **Portacontenedores** o **Container Ship 5000 TEU** destacan por su potencia promedio que es de **54,946.00 KW** lo que refleja su gran tamaño en capacidad y magnitud, así como su alta demanda energética siendo esta categoría la más alta en potencia promedio de motores que se presenta en la gráfica.

Le siguen los **Portavehículos** y los **Portacontenedores** o **Container Ship 1000 TEU** con potencias promedio de **13,536.27 KW** y **12,421.90 KW** respectivamente, estas potencias son más ligeras en comparación con las de las categorías mencionadas en el párrafo anterior, esto es debido a que son de menor magnitud y menor capacidad. En contraste categorías como los **Remolcadores**, **Buques de Carga General** y **Dragas** presentan las potencias promedio más bajas, entre **4,249.12 KW** y **5,144.00 KW** esto acorde con sus menores dimensiones y funciones auxiliares dentro del sistema portuario.

Dado lo anterior, en el centro de la gráfica se muestran las categorías de **Abastecedores**, **Bulk Carrier (Graneleros)**, **tanqueros Químicos**, **Panamax** y **Handysize** en el que sus potencias de motores se encuentran entre **5,180.24** a **11,093.55 KW** dejando ver que sus potencias son medias debido a tamaños medianos con una capacidad similar entre sí de las diferentes categorías de embarcaciones de este tipo y que a su vez el uso de potencia y gasto energético depende del tiempo de estancia en puerto para estas categorías y en general.

Esta información resulta fundamental para el análisis comparativo de emisiones, ya que la potencia del motor principal influye directamente en el consumo de combustible durante la operación en puerto y por ende en la huella de carbono asociada a cada tipo de embarcación.

Resultados

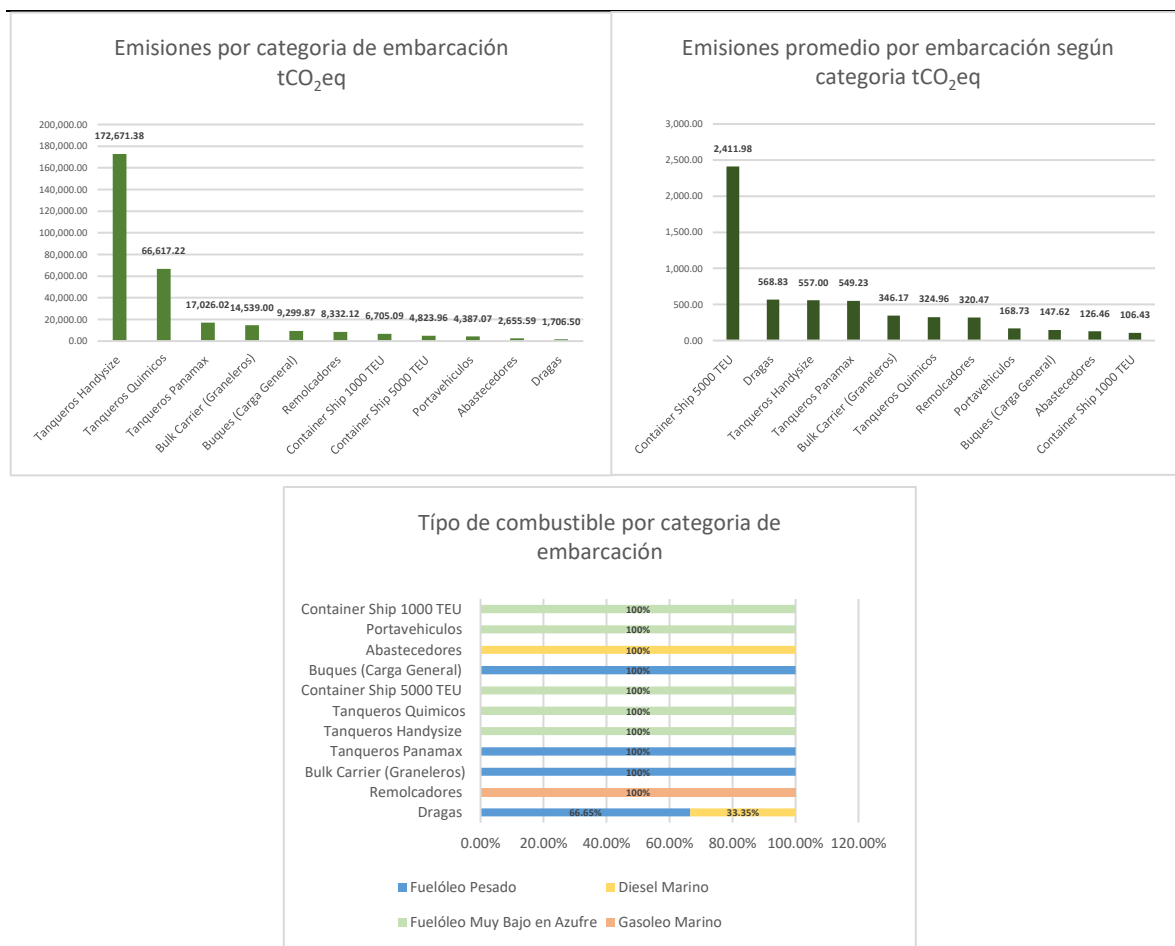


Ilustración 14 Principales Graficas de Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método y estudios de uso de combustible.

Con base en las gráficas de la **Ilustración 14** que incluye el análisis comparativo entre las **emisiones totales**, las **emisiones promedio por categoría de embarcación** y el **tipo de combustible utilizado**, se concluye que la categoría de los **tanqueros Handysize** fue la categoría de embarcaciones con mayor impacto ambiental en el Puerto durante el **año 2023**. Esta categoría presento el valor más alto de emisiones totales con **172,671.38 TonCO₂eq** una cifra significativamente mayor que el resto de las embarcaciones. Aunque no lideran en emisiones promedio por unidad (**donde destacan los buques portacontenedores de 5000 TEU con 2,411.98 TonCO₂eq por embarcación**), los **tanqueros Handysize** mantuvieron

un promedio elevado con **568.83 TonCO₂eq** y fue la flota más numerosa, lo cual amplificó su efecto acumulativo. Además, la totalidad de esta categoría utilizó **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre** un combustible bajo en emisiones y recomendado por la **Organización Marítima Internacional (OMI)** y que aun así incrementó el número de emisiones ya que el factor de emisión del **Fuelóleo Pesado** y el **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre** es el mismo, esto dado a que ambos presentan una densidad de energía similar, este valor es clave para calcular el factor de emisión que es el mismo en ambos tipos de combustibles ya que ambos son derivados de hidrocarburos.

Además en este análisis se deja ver que la cantidad de arribos de unidades de **tanqueros Handysize** influyó directamente en un número significativo de emisiones. **En conjunto estos factores y sus emisiones posicionan a los tanqueros Handysize como los principales generadores de emisiones de gases de efecto invernadero en el año de estudio 2023**, tanto por su actividad operativa y el uso de combustible en sus mismas actividades.

5.3 Resultados con metodología GHG Protocol (2024)

Se muestran los resultados finales de emisiones en TonCO₂eq de los cesionarios y prestadores de servicio activos en el 2024 en el puerto de Tuxpan, Veracruz.

Cesionarios y prestadores de servicio (empresas) del 2024:

- Administración del Sistema Portuario Nacional Tuxpan
- Tuxpan Port Terminal
- FR Terminales
- Administradora de Tuxpan
- Andino Terminales de Tuxpan
- Compañía Terminal de Tuxpan
- Desguaces Metálicos y Relaminables
- Ferroservicios, S.A. DE C.V.
- Granelera Internacional de Tuxpan

- Litoral Tuxpeño
- María Margarita Magda Guzmán Carrillo
- Obras Marítimas HB
- Oxy Distribution
- Pemex Logística
- Suministros Marinos de Tuxpan
- Tajín Consignaciones
- Termigas
- Terminal Marítima Gas Tomza
- Terminal Portuaria de Tuxpan
- David Rojas Ingles
- Dulce María Bernabé Basurto
- Logística Integral del Puerto
- Mardonio Rodríguez Rivera
- María Azucena Santos Flores
- SAAM Towage México
- Tritón Maritime de México
- Almacenadora Sur S.A. DE C.V. Organización Auxiliar del Crédito
- Barreras Flotantes y Accesorios Marítimos
- Oil Spill Control Solutions
- Oil Test International México S.A. DE C.V.
- José Antonio Leñero Solís
- Marinoil Servicios Marítimos
- Certificaciones Internacionales de Embarques
- Smart Pass
- Industrial Marítima de Veracruz
- Jacsal
- Amspec de México
- Ana Denisse Campos Rodríguez

- Camín Cargo Control de Mexico Coatzacoalcos
- Carlos Andrés Borges García
- Combustibles de Tuxpan
- Comercializadora y Servicios Múltiples Vismar
- Construcciones y Equipos Latinoamericanos
- Demetrio Pérez del Ángel
- Distribuidora de Diesel Rio Panuco
- Dusan Carovic Jurisic
- International Group Services
- Intertek Testing Services de México
- Jinamar de Tuxpan
- Maniobras y Servicios Especializados de Tuxpan
- Mexrom
- Navalmex Combustibles
- Operadora Cicsa
- Proveedora de Barcos Avimar
- Reco Cero
- Ruvaships
- Servicios Múltiples del Sureste
- Terminales Marítimas Transunisa

Graficas;

De acuerdo a la metodología **GHG Protocol** se muestra el **alcance 1** que contabiliza emisiones derivadas de **Combustibles fósiles y/o sintéticos** tales como Diesel, Gasolina, Gas LP, Acetileno y **Gases refrigerantes** como R-40, R-134A, R-22 entre otros, es decir que **GHG Protocol** cuantifica estas categorías en un solo alcance. En el **alcance 2** cuantifica emisiones por **Consumo eléctrico**, seguido del **alcance 3** el cual cuantifica emisiones del **Transporte marítimo del puerto, de embarcaciones tales como; Buques de carga, Lanchas de recreación, Buques de investigación, Dragas, Remolcadores** y demás, todo

esto de acuerdo a criterio y clasificación propia de la metodología **GHG Protocol** aplicada en ASIPONA Tuxpan. Con lo que da como resultado:

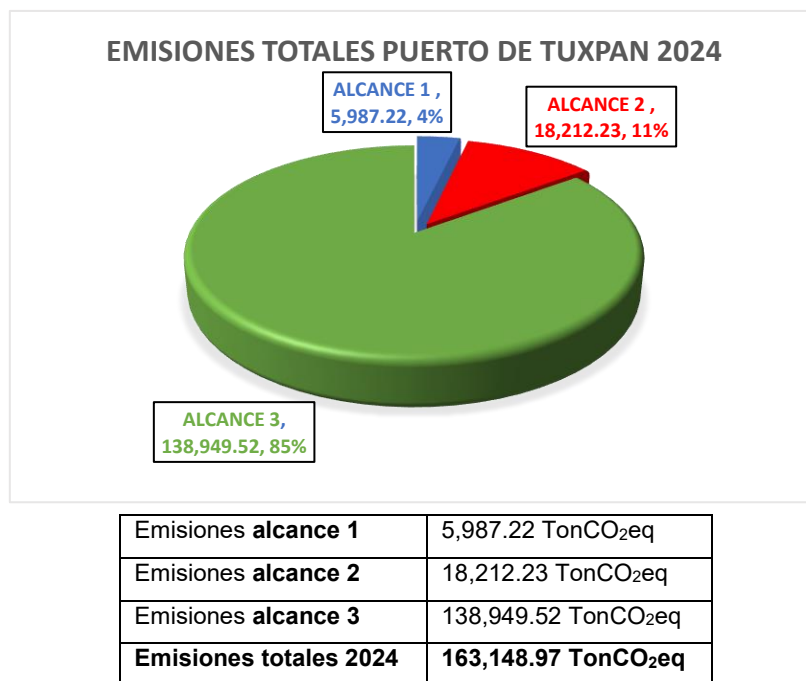


Ilustración 15 Emisiones Totales de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología GHG Protocol, Fuente: ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 15** muestra la distribución porcentual de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de la aplicación de la **metodología GHG Protocol**. La grafica deja ver que el **alcance 1** correspondiente a emisiones generadas por el consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos dentro de las operaciones propias del puerto (como maquinaria, vehículos, plantas de emergencia y equipos que usan algún combustible fósil y/o sintético) y el consumo de gases refrigerantes de equipos de climatización, es decir que **GHG Protocol** incluye ambas categorías en un solo **alcance 1**, el cual represento únicamente el **4% del total** con **5,987.22 TonCO₂eq**, un valor relativamente bajo comparado con el alcance 2 y 3 que muestra la misma grafica.

Por otro lado, el **alcance 2** que considera emisiones derivadas del consumo eléctrico aporta el **11% del total** equivaliendo a **18,212.23 TonCO₂eq** por consumo eléctrico de diversos

equipos de las empresas, lo que representa un valor considerable en materia de emisiones por consumo energético.

Finalmente, el **alcance 3** con un valor alto y muy significativo correspondiente a las emisiones generadas por el arribo de embarcaciones al puerto u operaciones portuarias relacionadas con terceros y que están ligadas directamente con ASIPONA como cesionarios y prestadores de servicio (especialmente embarcaciones) pero que forman parte del sistema portuario gestionado por ASIPONA, este alcance constituyó la mayor proporción con un **85% del total**, es decir **138,949.52 TonCO₂eq** derivado del transporte marítimo del 2024. Este resultado evidencia que el principal impacto ambiental del puerto está vinculado al tránsito y operaciones de los buques más que a las actividades internas de movimiento de vehículos o uso de diferentes equipos o al consumo de energía eléctrica.

5.4 Resultados con metodologías adaptadas Insumo-Producto y EEOI IMO para emisiones marítimas (2024)

De acuerdo con la metodología **Insumo-Producto** que es un método adaptado a las actividades de ASIPONA Tuxpan, cesionarios y prestadores de servicio y que clasifica las emisiones individualizadas exclusivamente en el caso con combustibles fósiles y/o sintéticos y refrigerantes, se muestra la **categoría 1** de emisiones por **Transporte o consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos** como Gasolina, Diesel, Acetileno, Gas LP, Diesel UBA, etc., seguido de la **categoría 2** emisiones por **Consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes)** como R-22, R-40, R-404A, R-134A, etc., seguido de la **categoría 3** que cuantifica emisiones por **Consumo de energía eléctrica**, mientras que para la cuantificación de emisiones por transporte marítimo se usa la metodología adaptada **EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas**, con esto sumándose una categoría más, la **categoría 4** que cuantifica emisiones por **Transporte Marítimo (Barcos)** de embarcaciones como; buques, dragas, lanchas, etc., que entran y salen del puerto, en conjunto, estas son las categorías clave de este estudio comparativo y que están aplicadas a ASIPONA Tuxpan como análisis metodológico comparativo. Con lo que da como resultado:

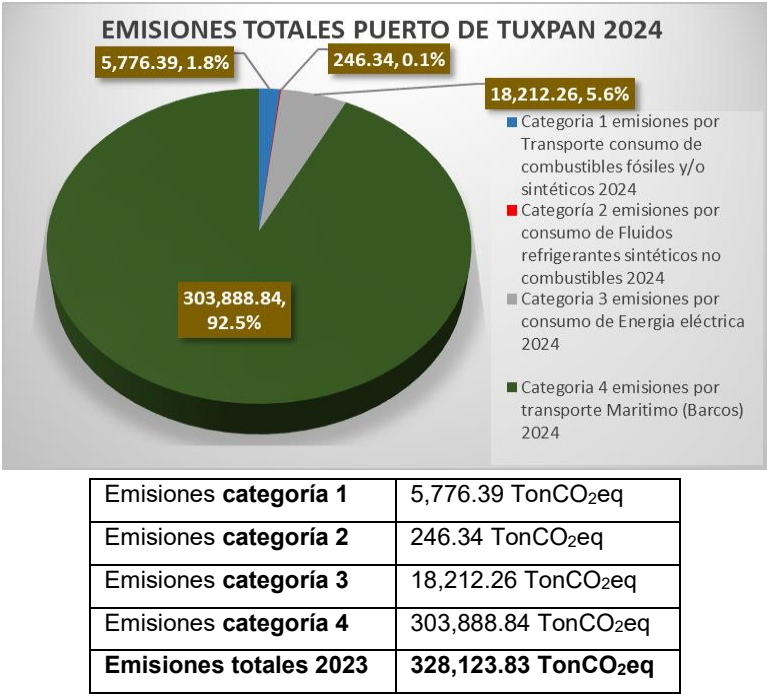


Ilustración 16 Emisiones Totales de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto y EEOI IMO, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados de los métodos.

La **Ilustración 16** muestra la distribución porcentual de las emisiones de (GEI) según cuatro categorías principales. Se observa que la **categoría 4** correspondiente al transporte marítimo (barcos) representa la mayor fuente de emisiones con un total de **303,888.84 TonCO₂eq**, lo que equivale al **92.5% del total** de emisiones del Puerto. En segundo lugar la **categoría 3** de emisiones por consumo de energía eléctrica contribuye con **18,212.26 TonCO₂eq** de emisiones lo que equivale al **5.6%**, le sigue la **categoría 1** de emisiones por consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos con **5,776.39 TonCO₂eq** un **1.8%** de las emisiones totales y finalmente la **categoría 2** de emisiones por consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes) con apenas **246.34 TonCO₂eq** lo que equivale apenas al **0.1 % del total de las emisiones**. Estos resultados derivados de la aplicación de las metodologías adaptadas Insumo-Producto y EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684) para emisiones marítimas, lo cual destaca el impacto predominante del transporte marítimo sobre las emisiones totales del puerto.

Graficas de categoría 1 Emisiones por consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos 2024;

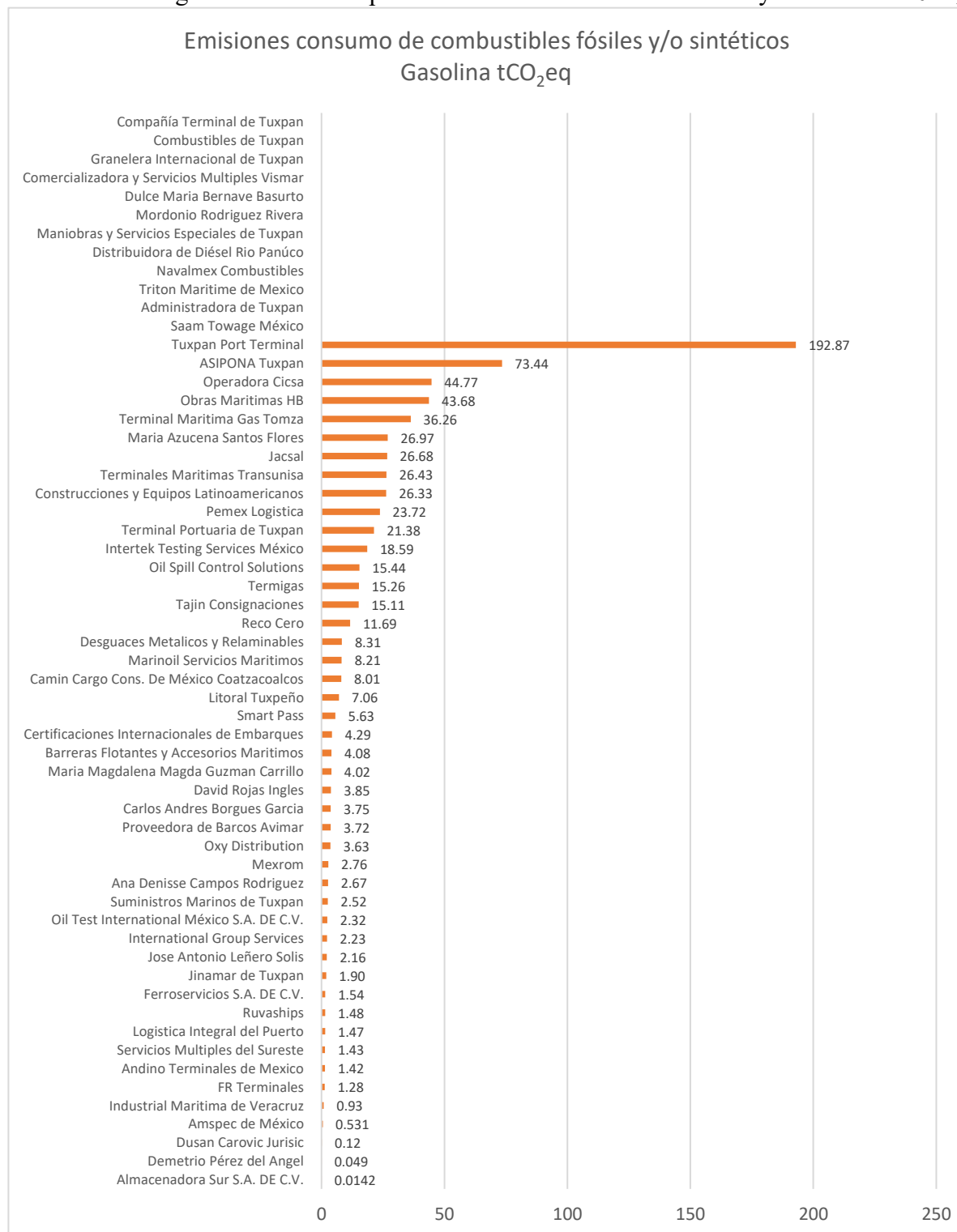


Ilustración 17 Emisiones Totales (Gasolina) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024,
Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados
del método.

La **Ilustración 17** muestra las emisiones por consumo de gasolina en unidades TonCO₂eq, lo que la gráfica deja ver es una marcada concentración de emisiones por algunas empresas del puerto, lo que evidencia una distribución desigual del impacto ambiental asociado al uso de combustibles fósiles en el Puerto de Tuxpan.

Destaca de manera significativa **Tuxpan Port Terminal** con **192.87 TonCO₂eq** representando el valor más alto de emisiones entre todas las empresas, seguido de **ASIPONA Tuxpan** con **73.44 TonCO₂eq**. Estas dos empresas en conjunto concentran más del **40%** de las emisiones totales reportadas por gasolina, lo que se atribuye a una mayor flota vehicular, intensidad operativa y mayores equipos que consumen este combustible, como grúas de carga, montacargas o plantas de emergencia.

A esto le siguen empresas como **Operadora Cicsa** con **44.77 TonCO₂eq** y **Obras Marítimas HB** con **43.68 TonCO₂eq** que también presentan niveles relevantes de emisiones. En contraste un gran número de empresas muestran emisiones bajas incluso por debajo de **20 TonCO₂eq**, lo que se traduce en menores actividades logísticas o el uso de flotas reducidas. Las empresas sin valores de emisiones participaron en el censo, pero no se encontraron equipos o vehículos que usaran gasolina, pero si diésel, como se muestra en la ilustración 18.

Estos resultados permiten identificar actores clave que emiten más emisiones por el uso del combustible fósil gasolina, derivado de actividad en movimiento de vehículos automotores o equipos en general.

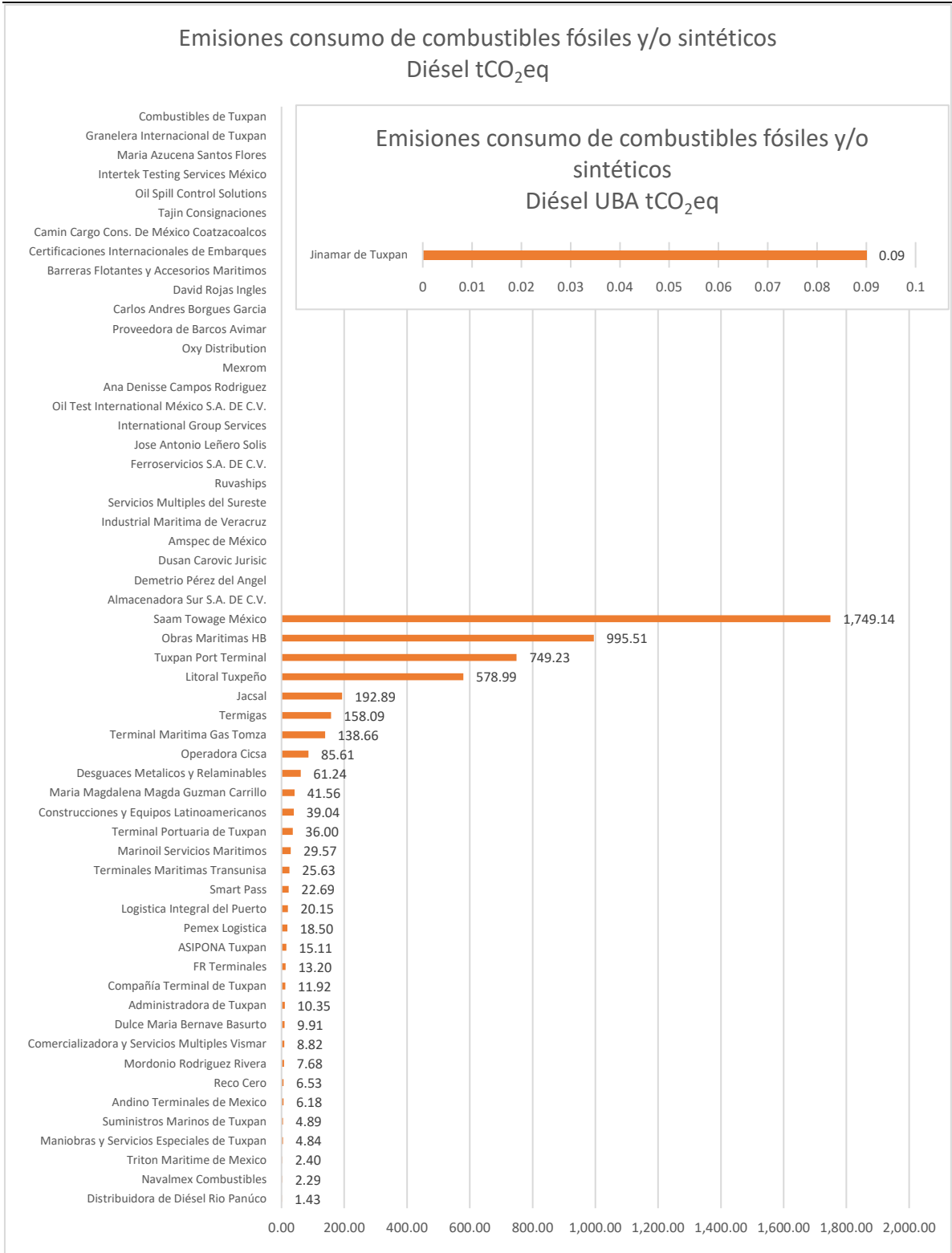


Ilustración 18 Emisiones Totales (Diésel y Diésel UBA) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 18** muestra las emisiones generadas por el consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos específicamente diésel convencional y diésel UBA (ultra bajo en azufre) expresadas en TonCO₂eq, es observable que la mayor parte de las emisiones provienen del uso del diésel convencional, siendo **Saam Towage México** la empresa con mayor contribución **1,749.14 TonCO₂eq**, seguida de **Obras Marítimas HB** con **995.51 TonCO₂eq** y **Tuxpan Port Terminal** con **749.23 TonCO₂eq**.

En contraste solo una empresa **Jinamar de Tuxpan** reporto el uso de diésel UBA con una emisión significativamente menor de apenas **0.09 TonCO₂eq**. Debido a su baja magnitud, esta emisión fue representada en una gráfica sobrepuesta para garantizar su visibilidad sin alterar la escala de la gráfica principal.

Este resultado deja ver una preferencia generalizada por el diésel convencional entre las empresas operadoras, lo que representa una oportunidad clara para incentivar la transición hacia combustibles más limpios como el diésel UBA.

En general las empresas con emisiones altas representan valores significativos en la gráfica, esto debido a su mayor uso de combustible diésel y al mayor número de vehículos en sus flotas, lo que hace que su huella de carbono exclusivamente por uso de diésel se vea elevada.

Las empresas vacías no reportaron el uso de diésel en sus vehículos ni equipos en general, sin embargo, se incluyen ya que se contabilizaron en el censo de la huella de carbono.

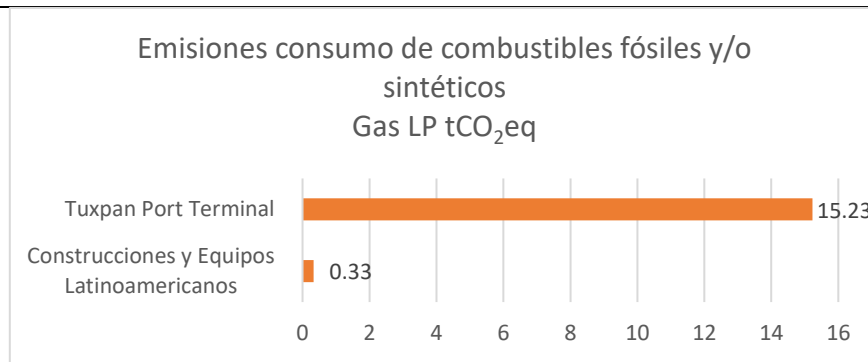


Ilustración 19 Emisiones Totales (Gas LP) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 19** muestra las emisiones de gases de efecto invernadero en unidades TonCO₂eq derivadas del consumo de gas LP por parte de las empresas que operaron en el Puerto en el **año 2024**. De un total de **58 empresas**, solo **2** reportaron el uso de este combustible en sus actividades. **Tuxpan Port Terminal** con emisiones significativamente mayores de **15.23 TonCO₂eq**, seguido de **Construcciones y Equipos Latinoamericanos** con apenas **0.33 TonCO₂eq**. Lo anterior evidencia que el uso de gas LP no es una práctica común en las flotas vehiculares de las empresas portuarias. Sin embargo, en los casos donde se emplea, como en **Tuxpan Port Terminal** su contribución a las emisiones es considerable, esto derivado a que una parte de la flota de esta terminal usa gas LP ya que cuenta con vehículos de gran tamaño, especialmente camionetas de carga que emplean el uso de este combustible, mientras que **Construcciones y Equipos Latinoamericanos** apenas llega a 1 o 2 camionetas que emplean este combustible fósil.

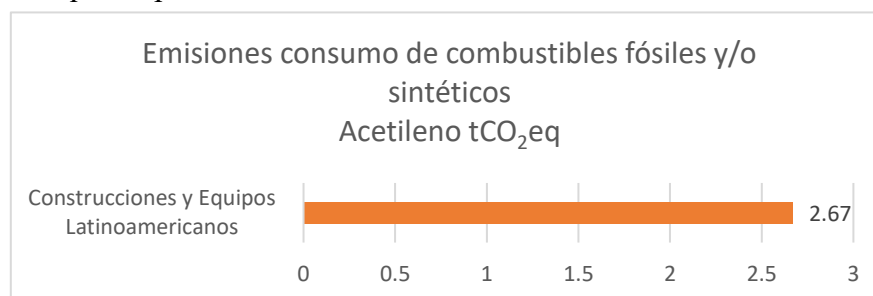


Ilustración 20 Emisiones Totales (Acetileno) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 20** muestra las emisiones en TonCO₂eq derivado del uso del combustible sintético acetileno, este solo utilizado por una empresa en el puerto **Construcciones y Equipos Latinoamericanos**, ya que esta misma lo emplea en sus actividades de **soldadura oxiacetilénica** y que en el **año 2024** esta empresa generó **2.67 TonCO₂eq** derivado del uso de este combustible sintético.

Las demás empresas no lo utilizaron en ninguna de sus actividades ni equipos. Este tipo de combustible, aunque poco común en comparación con otros como diésel o gasolina, ya que este combustible es usado ampliamente en soldadura de metales ferrosos y no ferrosos, cortes de metales, brazing y hardfacing, muy común en esta empresa.

Este resultado, **aunque cuantitativamente bajo la categoría de combustibles fósiles y/o sintéticos que aplica esta metodología adaptada, resalta la diversidad de fuentes de energía utilizadas en el sector portuario.**

La presencia de este tipo de combustible también evidencia la necesidad de incluir todos los tipos de insumos energéticos en los inventarios de emisiones, aun aquellos que son empleados por una fracción mínima de las empresas ya que su aporte, aunque limitado contribuye al total acumulado de la huella de carbono del sistema portuario.

Grafica de categoría 2 Emisiones por consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes) 2024;

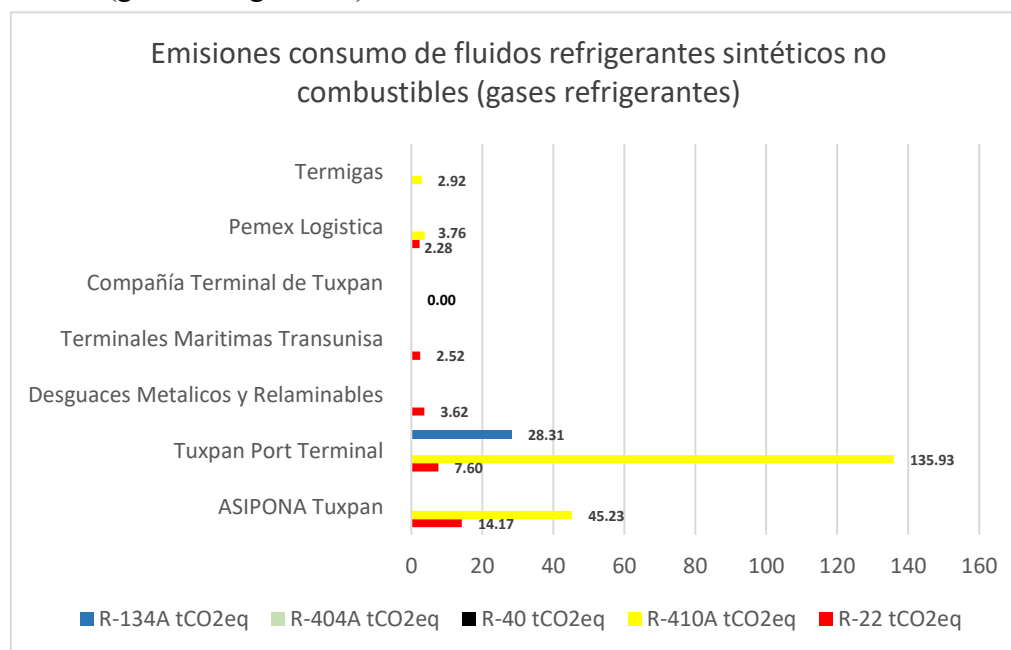


Ilustración 21 Emisiones Totales (Fluidos Refrigerantes Sintéticos no Combustibles) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto,
Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 21** presenta las emisiones de (GEI) en TonCO₂eq generadas por el consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes) en diversas empresas del Puerto de Tuxpan durante el **año 2024**. Se observa que **Tuxpan Port Terminal** destaca como el mayor emisor, alcanzando un total de **135.93 TonCO₂eq** exclusivamente atribuibles al gas refrigerante **R-410A** lo que representa un impacto ambiental considerable frente al resto de las empresas analizadas. Le sigue **ASIPONA Tuxpan** con **45.23 TonCO₂eq** también derivadas del uso de **R-410A**, así como emisiones adicionales menores provenientes de **R-22** (**14.17 TonCO₂eq**). En contraste **Compañía Terminal de Tuxpan** no registro emisiones por gases refrigerantes ya que no se realizaron cargas durante el periodo de estudio, reflejándose un valor de **0.00 TonCO₂eq**, se sabe que esta empresa usa gas refrigerante **R-22**, sin embargo, al no haber cargas durante el año no se generaron emisiones lo que se ve reflejado en cero emisiones totales.

Otras empresas como **Pemex Logística, Termigas, Terminales Marítimas Transunisa y Desguaces Metálicos y Relaminables** mostraron contribuciones menores, siendo estas principalmente asociadas al uso de **R-22, R-134A y R-410A**. Esto evidencia una concentración de emisiones en pocas empresas, especialmente aquellas que utilizan gases con alto potencial de calentamiento global como el **R-410A**, mientras que las 51 empresas restantes no usaron ningún equipo de climatización y por ende ningún gas refrigerante, con esto se resalta la necesidad de medidas de control y la transición hacia refrigerantes de menor impacto ambiental.

Grafica 3 de categoría 3 Emisiones por consumo de energía eléctrica 2024;

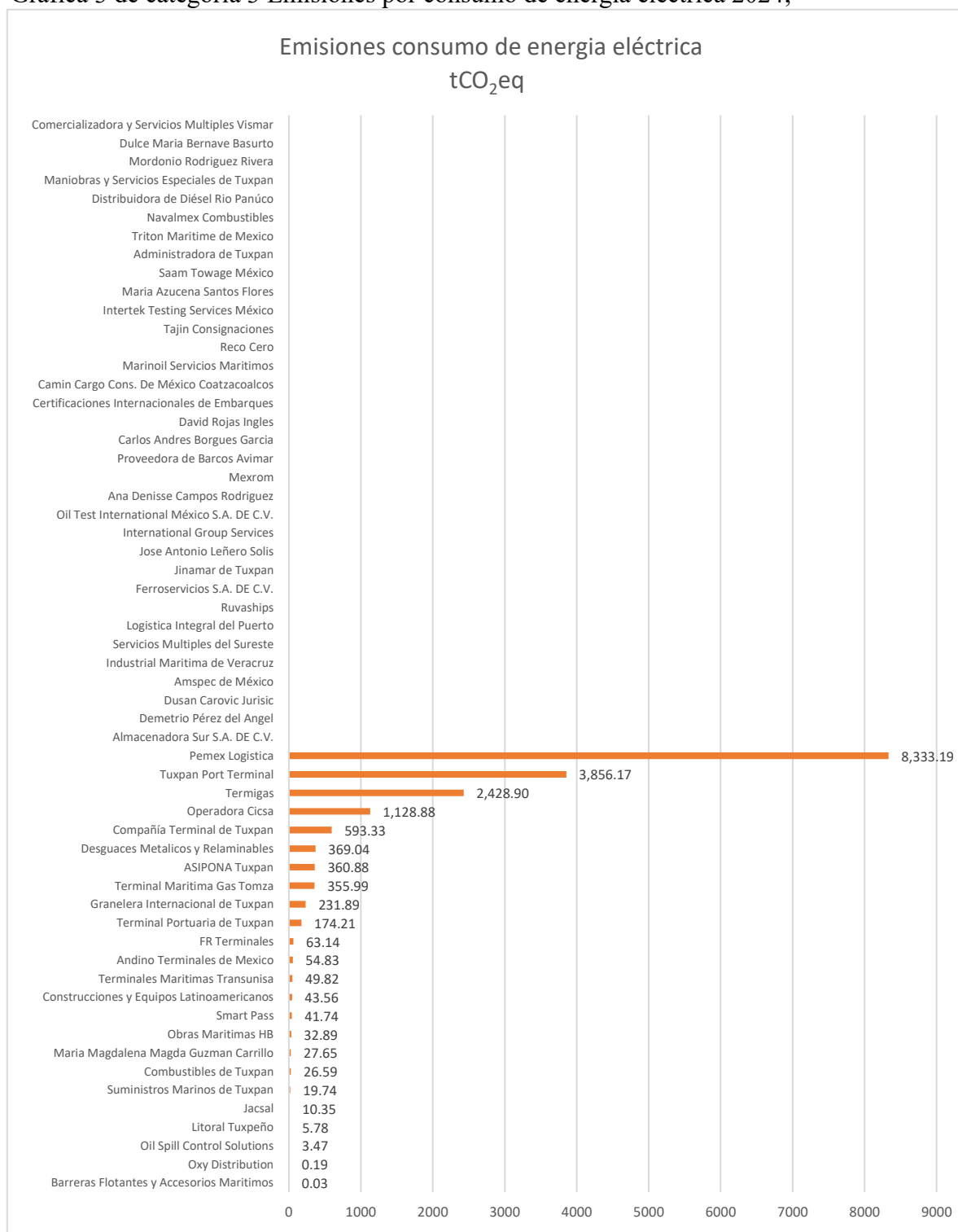


Ilustración 22 Emisiones Totales (Energía Eléctrica) de empresas del Puerto de Tuxpan 2024, Metodología adaptada Insumo-Producto, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 22** muestra las emisiones de GEI en unidades de TonCO₂eq, estas asociadas al consumo de energía eléctrica por parte de las empresas del Puerto en el **año 2024**. Estas presentaron una marcada concentración en un reducido número de participantes. **Pemex Logística** destaco como el mayor emisor, con un total de **8,333.19 TonCO₂eq**, seguido de **Tuxpan Port Terminal** con **3,856.17 TonCO₂eq**, **Termigas** con **2,428.90 TonCO₂eq** y **Operadora Cicsa** con **1,128.88 TonCO₂eq**, las cuales en conjunto representaron la mayor proporción de las emisiones totales en esta categoría.

Por otro lado, otras empresas presentaron valores en emisiones tales como; **Barreras Flotantes y Accesorios Marítimos 0.03 TonCO₂eq**, **Oxy Distribution 0.19 TonCO₂eq** y **Oíl Spill Control Solutions 3.47 TonCO₂eq** registraron valores mínimos, esto derivado a que estas empresas cuentan con menos equipos o edificios, los cuales consumen menos energía eléctrica en comparación con las empresas con emisiones altas donde se cuenta con muchos más equipos, edificios, luminarias y demás que consumen más energía eléctrica y que su magnitud se ve reflejada en emisiones altas.

Cabe señalar que un número considerable de empresas no reporto el consumo de energía eléctrica, pero participaron en el censo, sin embargo, no se encontraron equipos o edificios que usaran energía eléctrica en las mismas, lo que explica la ausencia de emisiones en sus registros reportados.

Estos resultados evidencian la importancia de focalizar estrategias de eficiencia energética y mitigación de emisiones en aquellas empresas con mayor consumo, a fin de lograr reducciones significativas en la huella de carbono del sector portuario.

Resultados con metodología EEOI IMO para emisiones marítimas

Graficas de categoría 4 emisiones por transporte marítimo (barcos) 2024;

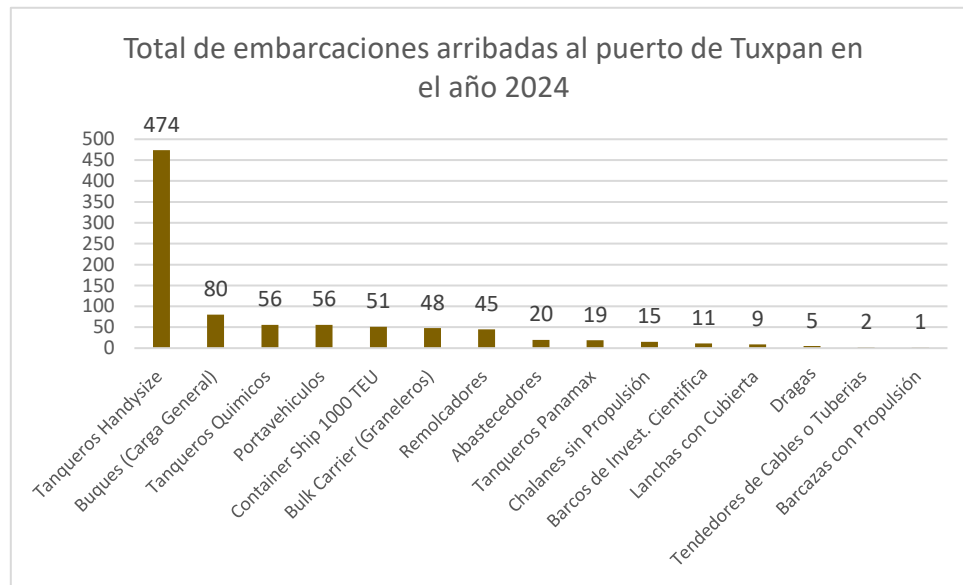


Ilustración 23 Total de embarcaciones por categoría arribada en 2024 al Puerto de Tuxpan, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a datos de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 23** muestra el total de las embarcaciones por categoría arribadas al Puerto de Tuxpan en el **año 2024**, se observa una marcada predominancia de **Tanqueros Handysize** con **474 arribos**, lo que refleja su papel central en las operaciones portuarias, debido a la relevancia del transporte de hidrocarburos líquidos en la región.

En segundo lugar, con una diferencia significativa los buques **de Carga General** con **80 arribos**, seguido de los **Tanqueros Químicos** y los **Portavehículos** con **56 arribos** cada categoría, así como los **Buques Portacontenedores** de aproximadamente **1,000 TEU** con **51 arribos** y los **Graneleros tipo Bulk Carrier** con **48 arribos**. Las demás categorías presentan volúmenes de arribo considerablemente menores, destacando **Remolcadores** con **45 arribos**, **Abastecedores** **20** y **Tanqueros Panamax** con **19**.

Por otro lado, embarcaciones especializadas y que en este estudio se consideran como **Miscellaneous** (**Chalanes sin Propulsión**, **Barcos de Investigación Científica**, **Lanchas con Cubierta**, **Dragas**, **Tendedores de Cables o Tuberías** y **Barcazas con Propulsión**) se

presentan como individuales para claridad en el reflejo de resultados en las gráficas, estas mismas registraron frecuencias marginales. Esta distribución evidencia una concentración operativa en ciertos tipos de buques, lo que implica un patrón comercial definido y una especialización del puerto en determinadas cadenas logísticas.

Estos números de cantidades de embarcaciones arribadas depende en gran medida de la necesidad del puerto de atraer inversiones y con esto la demanda en el arribo de las mismas, lo que repercute de manera clara y directa en la contaminación y con ello en la generación de emisiones por el arribo y salida de embarcaciones de diversas categorías, este análisis de emisiones se verá reflejado de manera mas específica en las siguientes graficas.

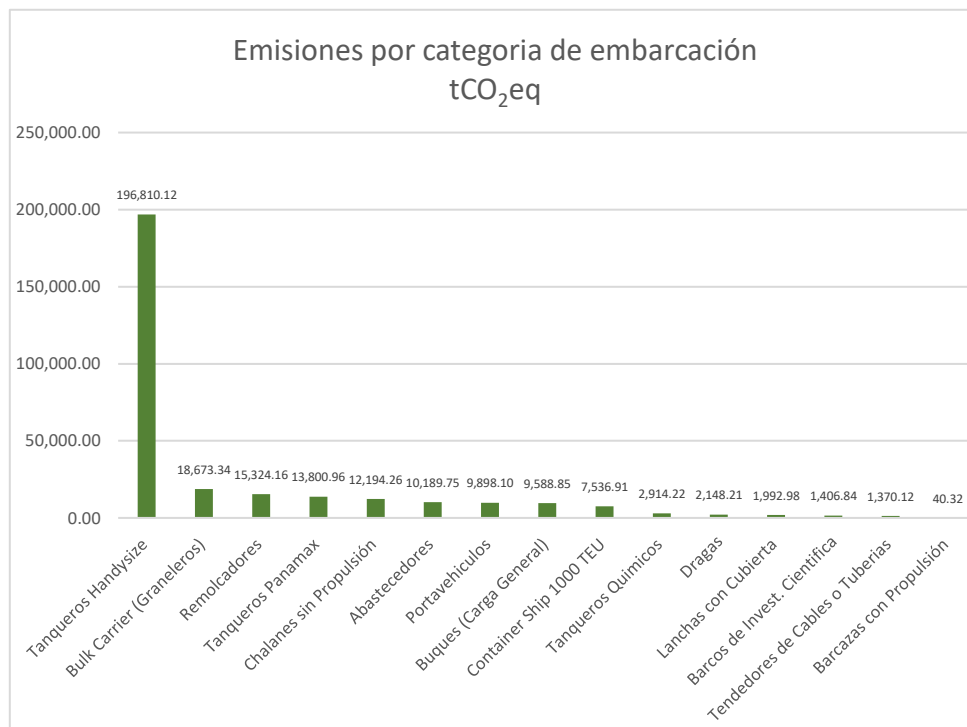


Ilustración 24 Total de Emisiones por categoría arribada en 2024 al Puerto de Tuxpan, Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 24** muestra las emisiones por categoría de embarcaciones arribadas al Puerto de Tuxpan en el **año 2024** en TonCO₂eq, estos resultados muestran una marcada concentración de emisiones, específicamente en la categoría de buques **Tanqueros Handysize** con **196,810.12 TonCO₂eq**, lo que representa la principal fuente de emisiones

dentro del Puerto para 2024. Este valor supera ampliamente al de las demás categorías, evidenciando su alta frecuencia de arribo y/o elevado consumo energético.

En segundo lugar, aunque con una magnitud mucho menor, se ubican los **Bulk Carrier (graneleros)** con **18,673.34 TonCO₂eq** y los **Remolcadores** con **15,324.16 TonCO₂eq** seguido por los **Tanqueros Panamax** con **13,800.96 TonCO₂eq** y los **Chalanes sin Propulsión** con **12,194.26 TonCO₂eq**.

Las elevadas emisiones registradas por la categoría de **Tanqueros Handysize** y mínima pero considerable de los **Panamax**, se explica por la vocación y especialización del Puerto de Tuxpan como uno de los principales puntos de operación y transferencia de hidrocarburos (líquidos) en la región. Esta condición implica un alto volumen de arribos y operaciones de buques tanqueros a lo largo del año, lo que se traduce en un mayor consumo de combustible y por ende en un aporte considerable a las emisiones totales de gases de efecto invernadero en el Puerto.

Las emisiones seguidas son de los **Graneleros** y **Remolcadores**, los **Graneleros** son de alta demanda en el Puerto de Tuxpan ya que es el principal punto estratégico de movimiento de granos en el país y los **Remolcadores** al tener altas emisiones es derivado del remolque de diversas y gran cantidad de embarcaciones que arriban y salen del Puerto, como un elemento de los **Miscellaneous** los **Chalanes sin Propulsión** que al no tener un motor de impulso son remolcados por **Remolcadores** para realizar diversas funciones dentro del área operativa, lo que implica un alto número de emisiones en la categoría de **Remolcadores**.

Mientras que los **Tanqueros Químicos** que transportan en su mayoría etileno, fenol, ácido acético y demás compuestos químicos, reflejan emisiones menores, ya que estas embarcaciones permanecen menos tiempo en el Puerto debido a actividades generales o a cargas/descargas temporales que no implican mucho tiempo de espera y que son menos comunes, al igual los **Abastecedores** que al transportar poco personal a embarcaciones o menos víveres como agua dulce, comida, combustible o material general necesario para abastecer una embarcación en altamar, exclusivamente en el área de fondeo, su emisión es menor.

Las demás embarcaciones generaron menos emisiones, como los **Portacontenedores** **Container Ship 1000 TEU**, buques **Carga General**, **Portavehículos** y los denominados **Miscellaneous** (Barcos de Investigación Científica, Lanchas con Cubierta, Dragas, Tendedores de Cables o Tuberías y Barcazas con Propulsión), debido al poco tiempo de estancia en el área de operación dentro del Puerto, lo que implica menos actividad y como tal menos emisión. Los Chalanés sin Propulsión están dentro de esta categoría, sin embargo, estos si presentaron emisiones considerables.

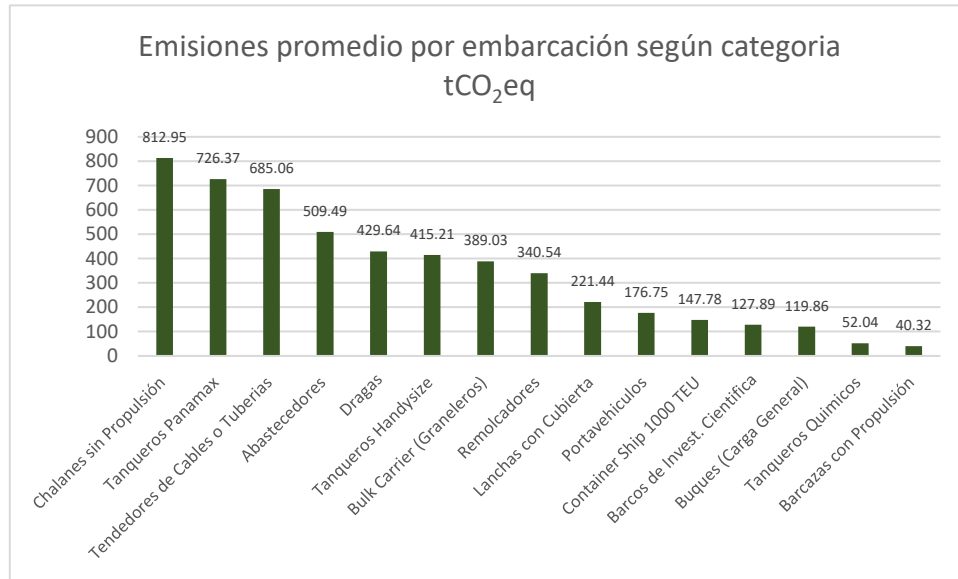


Ilustración 25 Emisiones Promedio por embarcación según categoría arribada en 2024 al Puerto de Tuxpan, Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método.

La **Ilustración 24** muestra las emisiones promedio que emite una embarcación de cada categoría mostrada en unidades de TonCO₂eq, estos resultados muestran que las mayores emisiones promedio por embarcación corresponden a los **Chalanés sin Propulsión** con **812.95 TonCO₂eq** por unidad, sin embargo esta categoría no predominó de manera muy activa en el año, ya que embarcaciones de este tipo solo arribaron 15 unidades y sus emisiones se ven elevadas y considerables ya que estas dependen de embarcaciones de apoyo como los **Remolcadores** para poder moverse y poder cumplir con la mayoría de sus funciones.

A esto le siguen los **Tanqueros Panamax** con **726.37 TonCO₂eq** promedio por embarcación y los **Tendedores de Cables o Tuberías** con **685.06 TonCO₂eq** emisiones promedio por embarcación activa, sin embargo, de estas categorías mencionadas tampoco tuvieron una amplia participación en arribos al Puerto en el año 2024, por lo que este resultado en emisiones por unidad de embarcación se asocia principalmente a las características operativas de cada tipo de buque.

En el caso de los **Tanqueros Panamax**, su gran capacidad de carga y tiempo de estadía en puerto genera una demanda energética considerable tanto en propulsión como en operación auxiliar, sin embargo, esta categoría tampoco radica como la mayor emisora, ya que sus arribos fueron menores, de acuerdo a la gráfica de emisiones por categoría y de acuerdo al número de embarcaciones arribadas.

Para **Abastecedores, Dragas, Graneleros, Remolcadores y Lanchas con Cubierta** las emisiones están en rangos de **220-510 TonCO₂eq** lo cual es significativo pero menor ya que de estas categorías arribaron menos unidades en el 2024 y para los **Portavehículos, Portacontenedores (Container Ship 1000), Barcos de Investigación Científica y buques de Carga General** sus emisiones están en rangos de **118-177 TonCO₂eq** lo que representa valores más bajos y no representan una mayoría si consideramos las unidades arribadas en el 2024.

Por otro lado, las categorías con menos emisiones, como las **Barcazas con Propulsión 40.32 TonCO₂eq** y los **Tanqueros Químicos** con **52.04 TonCO₂eq** presentaron operaciones más específicas y frecuencias de arribo reducidas, lo que limita su impacto relativo.

Mientras que las emisiones de los **Tanqueros Handysize** con **415.21 TonCO₂eq** por unidad, se considera el más contaminante si consideramos que esta categoría tuvo más de **400 arribos** en el **año 2024**.

En conjunto, la gráfica evidencia que el tipo de embarcación y su perfil operativo son factores determinantes en la huella de carbono portuaria.

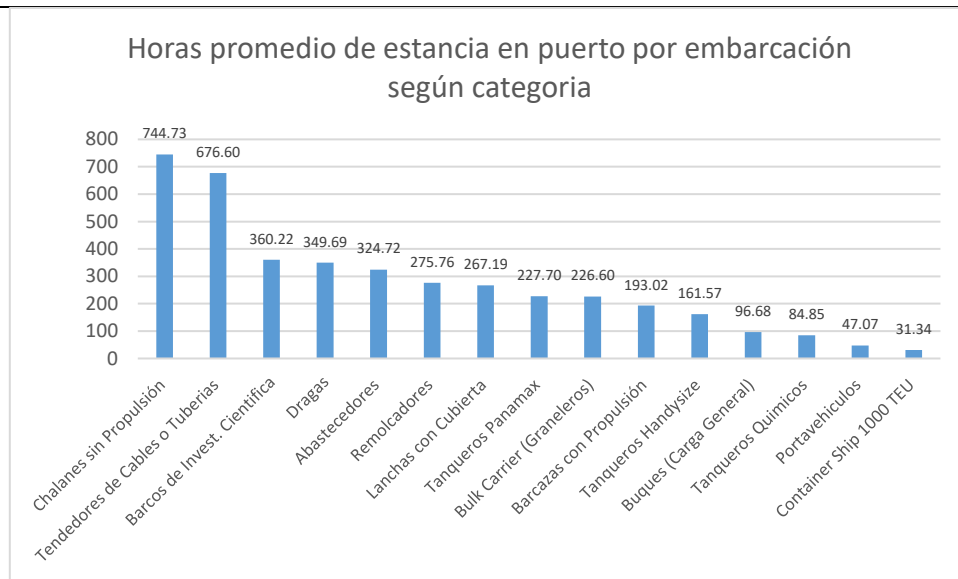


Ilustración 26 Horas Promedio de Estancia por embarcación según categoría arribada en 2024 al Puerto de Tuxpan, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a horas registradas por ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 25** muestra las horas promedio de estancia en Puerto de cada embarcación por categoría arribada en el **año 2024**, se observa que la categoría con mayor promedio de horas de estancia en puerto corresponde a los **Chalanes sin Propulsión** con **744.73 horas** promedio lo que refleja su uso prolongado en operaciones en las que se requiere tener a estos atracados o fondeados mientras realizan labores específicas, relacionadas con trabajos de apoyo a embarcaciones como limpieza exterior de barcos, soldadura de tuberías, etc., pero esta categoría al tener amplias horas de estancia no radica como la que más contamina si consideramos las unidades arribadas en el año, y en segundo lugar se ubican los **Tendedores de Cables o Tuberías** con **676.60 horas** por unidad, lo cual es coherente con la complejidad y duración de las operaciones de instalación o mantenimiento de infraestructura submarina u operaciones relacionadas con el mantenimiento de estas mismas unidades.

Los **Barcos de Investigación Científica** presentan **360.22 horas** promedio, seguidos por las **Dragas** con **349.69 horas**, ambas categorías asociadas a operaciones técnicas y de ingeniería que demandan tiempos prolongados de ejecución. Los **Abastecedores** registraron **324.72 horas** promedio, lo que está vinculado con la logística del suministro a plataformas o embarcaciones en tránsito o en el área de fondeo antes de entrar al Puerto.

En un rango intermedio se encuentran los **Remolcadores** con **275.76 horas** promedio, **Lanchas con Cubierta** **267.19 horas** promedio y los **Tanqueros Panamax** con **227.70 horas**, mientras que los **Bulk Carrier (Graneleros)** reportan **226.60 horas**, posteriormente las **Barcazas con Propulsión** **193.02 horas** promedio y los **Tanqueros Handysize** con **161.57 horas** promedio muestran estancias menores debido a procesos de carga y descarga más ágiles o a la naturaleza de su itinerario. Sin embargo, **esta última categoría** se puede clasificar como **la más contaminante y activa** si se consideran las unidades arribadas en el año 2024. Todas las demás categorías mostradas en la gráfica no se consideran tan contaminantes ya que permanecen más horas como lo muestra la gráfica, pero arribaron menos unidades en el año lo que hace que su valor de emisiones no se vea tan alto comparado con el de la categoría de **Tanqueros Handysize**.

Las categorías con menor tiempo de permanencia corresponden a buques de **Carga General** con **96.68 horas** promedio, **Tanqueros Químicos** con **84.85 horas**, **Portavehículos** con **47.07 horas** y finalmente los **Container Ship 1000 TEU o Portacontenedores** con **31.34 horas** promedio, lo que refleja operaciones más rápidas y eficientes, especialmente en el caso de los **Portacontenedores**, donde las maniobras suelen estar optimizadas para minimizar el tiempo en el puerto.

En conjunto la gráfica evidencia que el tipo de operación y la función específica de cada embarcación influye de manera determinante en el tiempo promedio de estancia en puerto, siendo mayor en aquellas categorías asociadas a labores técnicas, mantenimiento o instalación de infraestructura y menor en buques orientados al transporte de vehículos, carga general y contenedores, donde la eficiencia operativa es prioritaria.

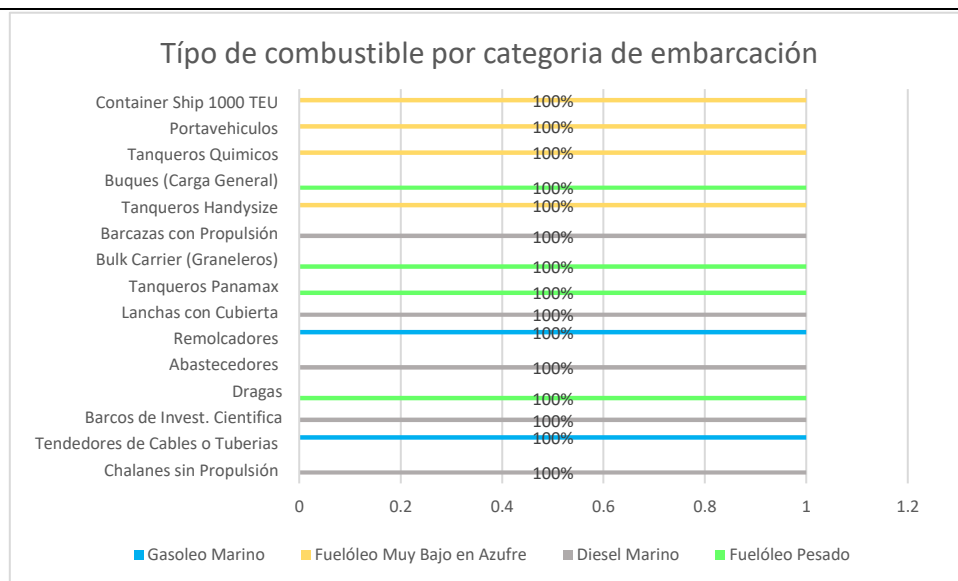


Ilustración 27 Combustible Usado por cada categoría de embarcación arribada al puerto de Tuxpan en 2024, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a estudios.

La **Ilustración 27** revela que en el **año 2024** la totalidad de las embarcaciones que arribaron al Puerto de Tuxpan emplearon de manera uniforme un único tipo de combustible predominante dentro de su respectiva flota. El **100%** de las unidades de cada categoría, incluyendo buques **Portacontenedores**, **Tanqueros**, **Graneleros**, **Remolcadores**, **Dragas**, **Embarcaciones de Investigación** y demás tipos utilizaron exclusivamente el combustible asignado según su diseño y requerimientos operativos.

Es observable que en la mayoría de las categorías usan **Fuelóleo Pesado**, un combustible altamente contaminante, a la par el **Diesel Marino** también es el más usado en las diversas categorías de embarcaciones en este año de estudio, este combustible se considera menos contaminante que el **Fuelóleo Pesado**, también una considerable cantidad de embarcaciones usan **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre** un combustible menos contaminante que el **Fuelóleo Pesado**, pero más contaminante que el **Diesel Marino** y que es recomendado por la **OMI** para navegación marítima de grandes navieros.

Por otro lado, una mínima cantidad de embarcaciones usan **Gasóleo Marino** un combustible también contaminante pero menos que el **Fuelóleo Pesado** y el **Diesel Marino** y casi igual de contaminante que el **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre**.

Esta homogeneidad en el uso del combustible por categoría refleja tanto los estándares técnicos de la industria marítima como la compatibilidad de los motores con un tipo específico de combustible, lo que a su vez incide directamente en los patrones de consumo y en la estimación de emisiones. Este resultado sugiere que no existe diversidad interna de combustibles dentro de una misma categoría en el Puerto, lo que simplifica el cálculo de emisiones, pero limita la posibilidad de transición energética parcial sin renovación o modificación de la flota.

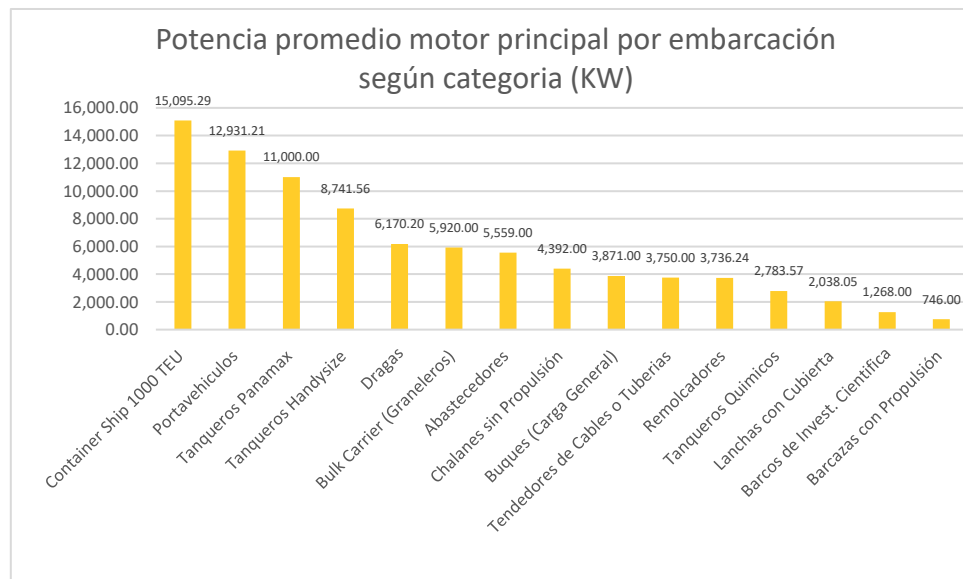


Ilustración 28 Potencias Promedio Motor Principal en KW por embarcación según categoría arribada al Puerto de Tuxpan en 2024, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a fichas técnicas de cada embarcación y estudios de potencias similares.

La **Ilustración 28** muestra las potencias promedio del motor principal de cada embarcación por categoría, este análisis de las potencias promedio de los motores principales en el **año 2024** muestra que los **Portacontenedores de 1000 TEU** lideran con **15,095.29 KW**, seguidos por los **Portavehículos** con **12,931.21 KW** y los **Tanqueros Panamax** con **11,000.00 KW**, debido a sus altos requerimientos de velocidad y capacidad de carga.

Los **Tanqueros Handysize** con **8,741.56 KW** y los **Graneleros** con **5,920.00 KW** mantienen potencias intermedias, acordes a su función de transporte a media y larga distancia.

Categorías como **Dragas** con **6,170.20 KW**, **Abastecedores** con **5,559.00 KW**, **Chalanes sin Propulsión** con **4,392.00 KW**, **buques de Carga General** con **3,871.00 KW**, **Tendedores de Cables o Tuberías** con **3,750.00 KW** y **Remolcadores** con **3,736.24 KW** presentaron altos niveles relativos a su tamaño, reflejando su demanda de fuerza para maniobras y trabajos especializados. En el rango bajo, se encuentran los **Tanqueros Químicos** con **2,783.57 KW**, **Lanchas con Cubierta** con **2,038.05 KW**, **Barcos de Investigación Científica** con **1,268.00 KW** y **Barcazas con Propulsión** con **746.00 KW**, cuya operación se limita a distancias cortas o velocidades moderadas.

Estos resultados evidencian que la potencia instalada esta directamente ligada al tipo de carga, la distancia de operación y las necesidades de la maniobrabilidad, por lo que estos son factores clave en la huella de carbono portuaria ya que todas las categorías contribuyen de manera significativa en la generación de emisiones.

Resultados

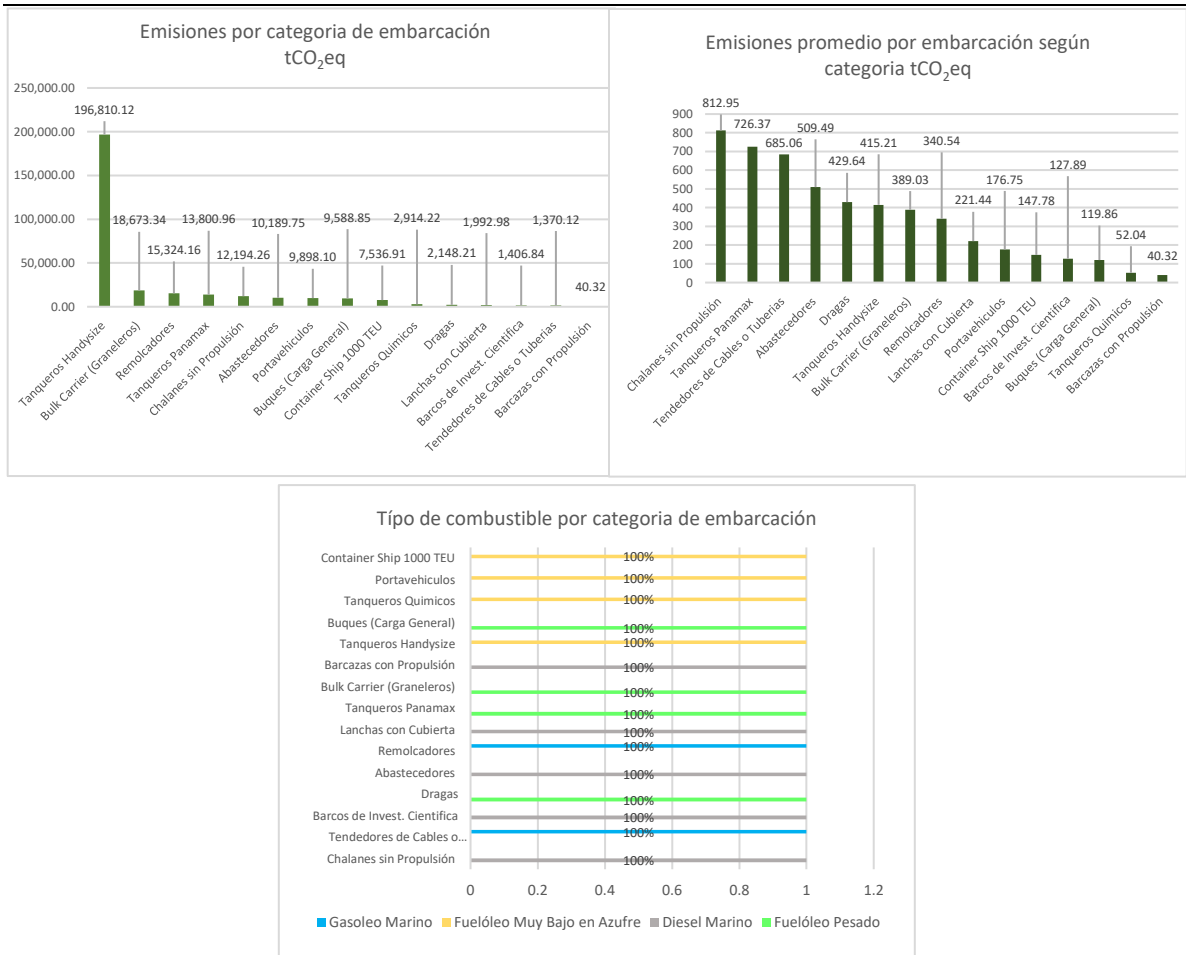


Ilustración 29 Principales Graficas de Metodología adaptada EEOI (IMO MEPC.1/CIRC.684), Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método y estudios de uso de combustible.

La **Ilustración 29** incluye las principales graficas que muestran el análisis comparativo entre las emisiones totales, las emisiones promedio por categoría de embarcación y el tipo de combustible utilizado, se revela que hubo una marcada concentración en los buques **Tanqueros Handysize**, los cuales representan la fuente principal de emisiones con un valor total de **196,810.12 TonCO₂eq** superando por un amplio margen al resto de las demás categorías. Esto confirma que la operación portuaria está fuertemente vinculada al manejo de hidrocarburos líquidos, lo que explica su peso tan marcado en la huella de carbono del Puerto en el año de estudio 2024.

En cuanto a las emisiones promedio por embarcación, los **Chalanes sin Propulsión** presentan los valores más elevados con **812.95 TonCO₂eq** por unidad, seguido por los **Tanqueros Panamax** con **726.37 TonCO₂eq** y los **Tendedores de Cables o Tuberías** con **685.06 TonCO₂eq**, aunque el volumen de **Chalanes** es menor, su intensidad de emisiones por unidad es alta, pero no repercute de manera tan severa como los **Handysize**, lo que resalta la importancia de considerar no solo el total de emisiones, sino también el impacto relativo de cada tipo de embarcación.

Respecto al tipo de combustible utilizado, se observó que todas las categorías dependen principalmente de combustibles fósiles convencionales como **Gasóleo Marino**, **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre**, **Diesel Marino** y **Fuelóleo Pesado**. La predominancia de estos combustibles explica los niveles significativos de emisiones, aun en embarcaciones de menor tamaño.

En conjunto los resultados evidencian que la mayor contribución absoluta a las emisiones proviene de los **Tanqueros Handysize**, esto se debe principalmente al número considerable de unidades arribadas al Puerto en el **año 2024**, mientras que los **Chalanes sin Propulsión** son más contaminantes en términos relativos por embarcación, sin embargo, de estas unidades arribaron menos comparado con los **Handysize**.

A la par se sabe que los **Tanqueros Handysize** usan **Fuelóleo Muy Bajo en Azufre** un combustible recomendado por la **OMI** para grandes navíos como estos y que se considera un combustible más limpio y que aun así sumaron emisiones significativas, considerando que la cantidad de arribos en el año también fue alta.

5.5 Comparación general emisiones 2023, entre metodología GHG Protocol y las metodologías adaptadas (Insumo-Producto y EEOI IMO para emisiones marítimas).

Graficas de categoría 1 Emisiones por consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos 2023;

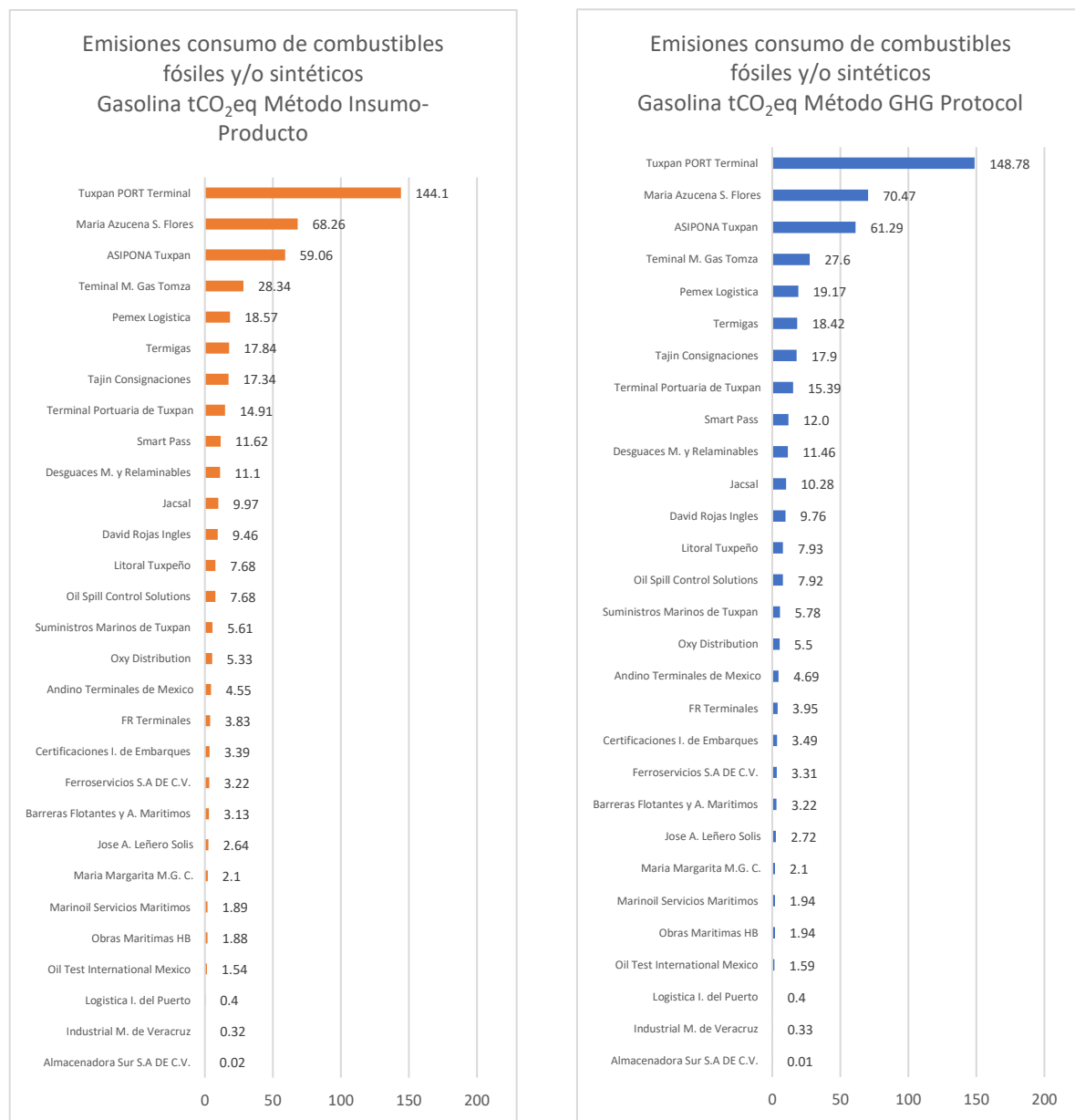


Ilustración 30 Emisiones 2023 (Gasolina), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 30** presenta la comparación de los resultados entre el **Método adaptado Insumo-Producto** y el **GHG Protocol**, esto demuestra que, aunque las emisiones absolutas de gasolina presentan ligeras variaciones, la jerarquía de las principales fuentes emisoras se mantienen sin cambios. Por ejemplo, **Tuxpan Port Terminal**, **María Azucena Santos Flores** y **ASIPONA Tuxpan** destacan en ambos métodos como los mayores emisores, lo que confirma la consistencia en las tendencias.

Las diferencias se reflejan en los valores numéricos: el **GHG Protocol** tiende a reportar emisiones ligeramente más altas que el **Método adaptado Insumo-Producto**, lo que responde a su carácter mas conservador y a la estandarización de factores de emisión, que en la mayoría de los tipos de combustibles utiliza factores de emisión ya fijados por órganos internacionales muy reconocidos como el **IPCC**. En contraste el **Método adaptado Insumo-Producto** ofrece una visión mas amplia al considerar impactos asociados a flujos económicos y energéticos como en el caso de combustibles, que considera la obtención de factores de emisión de acuerdo a densidades energéticas de los mismos, poderes caloríficos y demás que están estrictamente ligados a factores económicos que infieren en las características físicas de los combustibles como la obtención de hidrocarburos o la refinación de los mismos, lo que influye de manera directa en la ejecución del método **adaptado Insumo-Producto**.

Entre las fortalezas, el **GHG Protocol** aporta comparabilidad internacional, reputación y alineación con marcos normativos, mientras que el **Insumo-Producto** permite contextualizar la huella de carbono dentro de la dinámica productiva local, visión integral de la economía y la energía, cobertura más amplia de impactos y una facilidad en su adaptación como método de cálculo corporativo. Como similitud, ambos métodos coinciden en la identificación de los principales emisores, lo que refuerza la validez de los resultados y su utilidad para orientar estrategias de mitigación.

Resultados

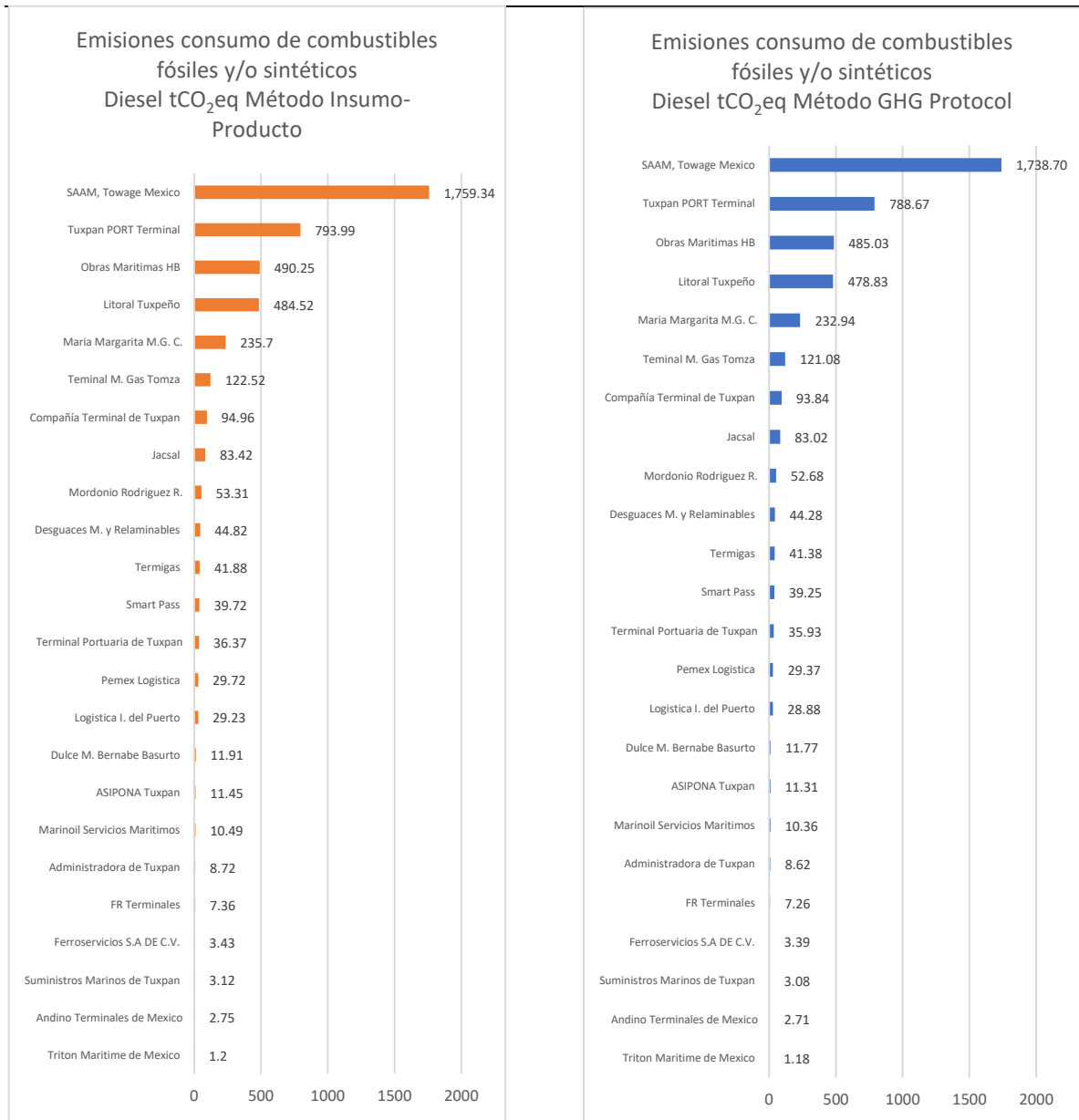


Ilustración 31 Emisiones 2023 (Diesel), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 31** presenta la comparativa de resultados entre el **Método adaptado Insumo-Producto** y el **GHG Protocol**, esto demuestra que las emisiones de CO₂eq derivadas del consumo de diésel reflejan una alta correspondencia en los valores obtenidos para las distintas empresas analizadas. En ambos casos, la empresa **SAAM Towage México** se

identifica como la mayor emisora, con valores superiores a **1,700 TonCO₂eq**, seguida por **Tuxpan Port Terminal, Obras Marítimas HB y Litoral Tuxpeño**, lo cual confirma la consistencia de las metodologías aplicadas al reflejar la misma jerarquía de emisores.

Las diferencias observadas entre los métodos son mínimas, en la mayoría de los casos, lo que evidencia que ambos enfoques son robustos para la estimación de la huella de carbono en el consumo de combustibles fósiles. No obstante, cada metodología presenta particularidades que constituyen sus fortalezas. El método **adaptado Insumo-Producto** permite obtener resultados integrales al considerar relaciones económicas y energéticas indirectas como la refinación para la obtención de los combustibles como el diésel y el precio de estos a lo largo de la cadena de producción y consumo, lo cual brinda una visión más amplia del impacto asociado a la cadena productiva. Por otro lado, el **GHG Protocol** destaca por su estandarización y aceptación internacional, lo que facilita la comparabilidad de resultados y su alineación con reportes de sostenibilidad y compromisos climáticos.

En síntesis, ambos métodos confirman que el consumo de diésel en las operaciones portuarias de Tuxpan constituye una fuente significativa de emisiones de GEI, especialmente concentradas en ciertas empresas con mayor intensidad operativa. La aplicación comparativa de estas metodologías no solo valida la consistencia de los resultados, sino que además enriquece el análisis al permitir contrastar un enfoque económico-energético (Insumo-Producto) con uno normativo y estandarizado (GHG Protocol), fortaleciendo así la credibilidad y la solidez de este estudio comparativo.

Graficas de categoría 2 Emisiones por consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes) 2023;

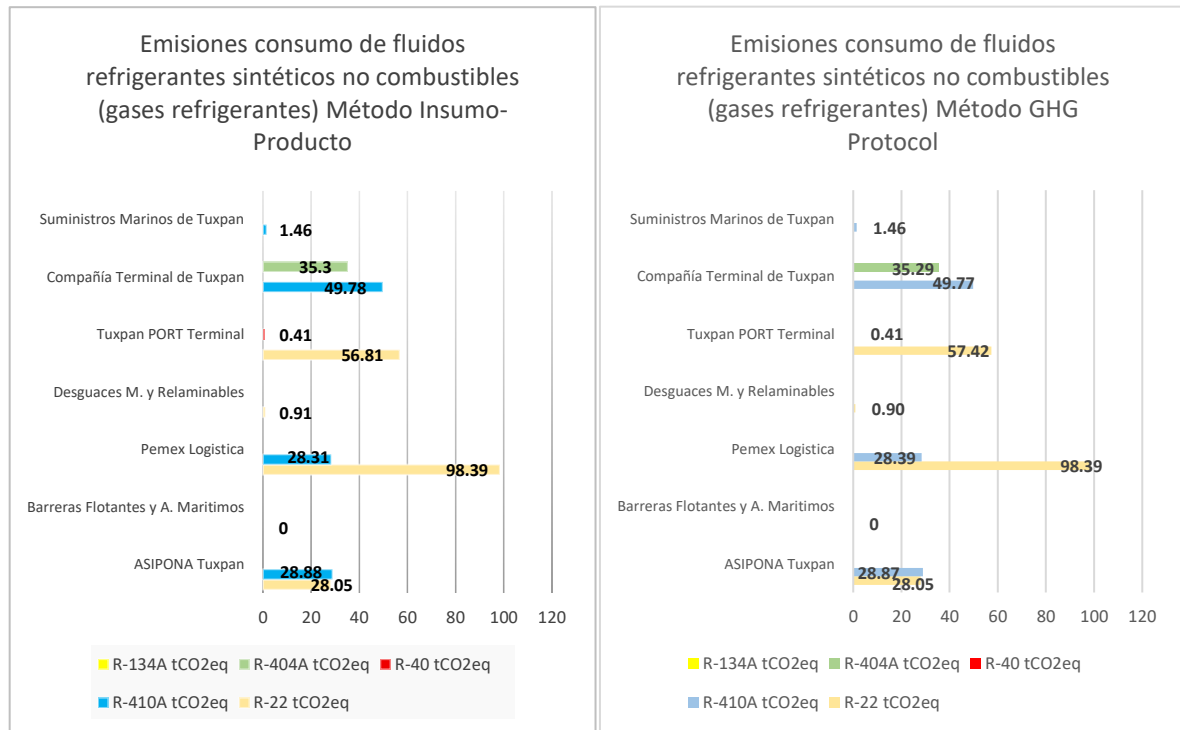


Ilustración 32 Emisiones 2023 (Fluidos Refrigerantes Sintéticos no Combustibles), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 31** muestra la comparación de los resultados entre el **Método adaptado Insumo-Producto** y el **GHG Protocol** esto refleja que, las emisiones en TonCO₂eq derivadas del consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes) no es muy común en casi la mayoría de las empresas analizadas, lo que se traduce en el poco uso de estos y por ende solo algunas empresas los utilizan en sus sistemas de calefacción, las gráficas muestran resultados muy similares en magnitud, aunque con ligeras variaciones numéricas en algunos casos.

Ambos métodos coinciden en identificar a **Pemex Logística** como la empresa con mayor nivel de emisiones **98.39 TonCO₂eq**, seguido de **Tuxpan Port Terminal** y **Compañía Terminal de Tuxpan**, mientras que empresas como **ASIPONA Tuxpan** y **Barreras Flotantes y Accesorios Marítimos** presentan emisiones nulas o mínimas.

El método **adaptado Insumo-Producto** se caracteriza por basarse en factores de emisión obtenidos de estudios a nivel económico y que afectan la calidad ambiental, específicamente de estudios de la **EPA**, lo que le otorga la ventaja de capturar de manera integral los flujos de insumos y su impacto general en las emisiones. Su fortaleza principal radica en ofrecer una visión más amplia del efecto indirecto de la actividad económica, lo que lo hace útil para evaluaciones comparativas entre sectores y empresas, de igual manera su fortaleza radica en la adaptación del método en la cuantificación de emisiones por gases refrigerantes ya que se consideran fluidos sintéticos que no son combustibles, es decir que no son inflamables, haciéndolo apto para este tipo de categoría.

Por otro lado, el método **GHG Protocol**, utilizado comúnmente por **ASIPONA**, se apoya de lineamientos internacionales estandarizados que emplean factores de emisión específicos para cada tipo de gas refrigerante (R-134A, R-404A, R-410A, y R-22), entre muchos otros. La fortaleza de este método radica en la precisión en la contabilidad directa de emisiones, ya que considera de manera puntual el potencial de calentamiento global (**PCG**) de cada gas, ofreciendo resultados transparentes y comparables a nivel internacional, su limitación es que se centra principalmente en las emisiones directas de los gases, sin incorporar de forma amplia los efectos indirectos de la cadena económica, como si lo hace **Insumo-Producto**.

En términos generales, ambas metodologías muestran coherencia en la tendencia de resultados, lo que valida la robustez del análisis. El método **adaptado Insumo-Producto** aporta un enfoque integral y de contexto económico-ambiental, mientras que el **GHG Protocol** otorga un buen análisis de datos y estandarización en la cuantificación directa de gases refrigerantes.

Graficas de categoría 3 Emisiones por consumo de energía eléctrica 2023;

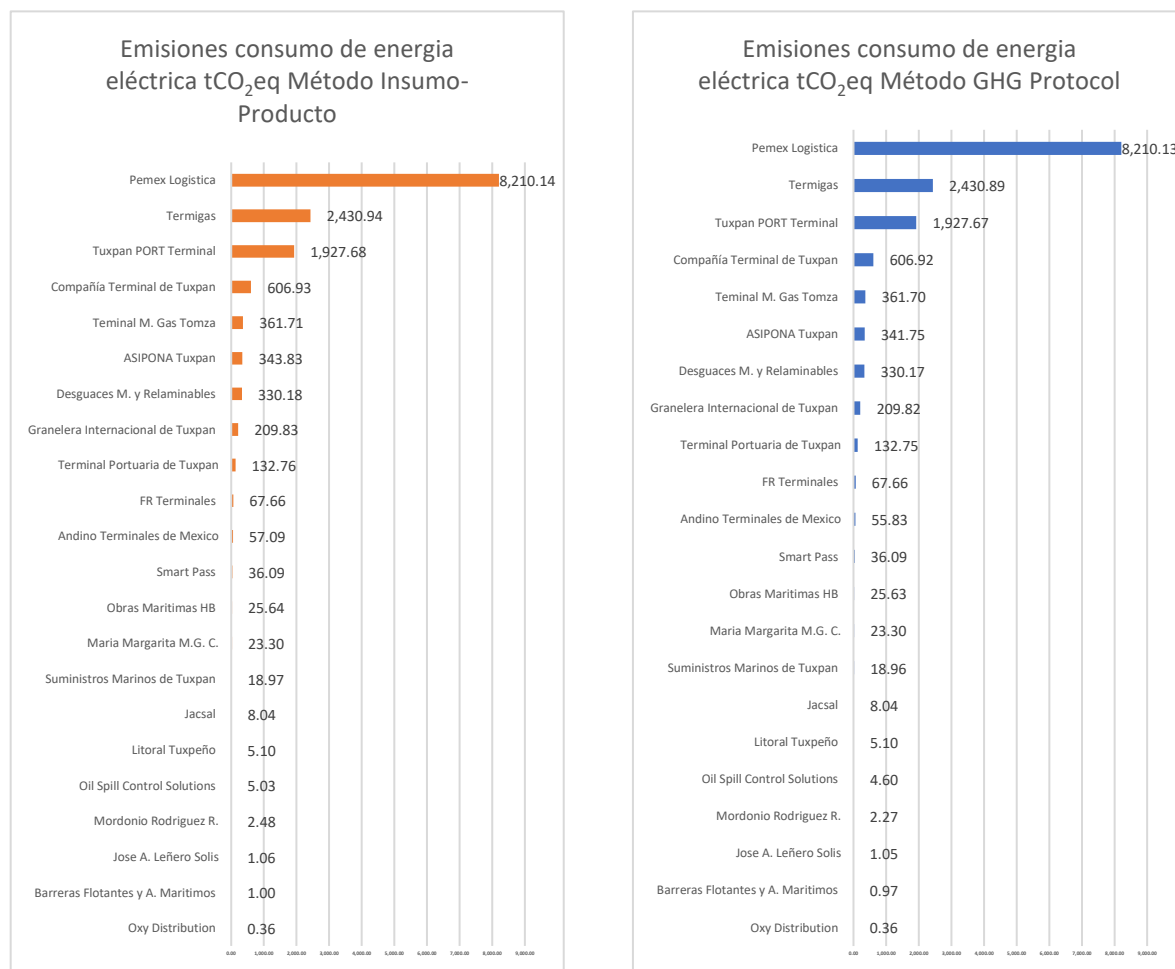


Ilustración 33 Emisiones 2023 (Energía Eléctrica), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

En la **Ilustración 33** se muestra la comparación de los resultados entre el **Método adaptado Insumo-Producto** y el **GHG Protocol**, ambas graficas muestran que las emisiones en TonCO₂eq derivadas del consumo de energía eléctrica Mix Nacional presenta una alta coherencia entre ambas metodologías, aunque con ligeras variaciones en los valores reportados por empresa. En ambos casos, las compañías que destacan como las principales emisoras son **Pemex Logística** con más de **8,200 TonCO₂eq**, seguida de **Termigas** con alrededor de **2,430 TonCO₂eq** y **Tuxpan Port Terminal** con cerca de **1,928 TonCO₂eq**, lo

que refleja que gran parte de la huella de carbono del sector se encuentra en unas pocas empresas de gran tamaño.

Por otro lado, entidades como **Oxy Distribution, Barreras Flotantes y Accesorios Marítimos** o **José Antonio Leñero Solís** muestran emisiones marginales, menores a **2 TonCO₂eq**, lo que indica que su impacto relativo es casi despreciable en la escala global del Puerto. La similitud en los resultados confirma la consistencia de ambas metodologías, aunque se observan diferencias mínimas atribuibles al enfoque de cálculo, el método **adaptado Insumo-Producto** incorpora relaciones económicas sectoriales y permite captar impactos indirectos en la generación eléctrica, lo cual le da un alcance más holístico, este método toma en cuenta los sistemas y precios de generación de energía eléctrica nacional, precio de un kilowatt hora, así como el factor de emisión que dicta la secretaria de energía en México y que es universal para el país de acuerdo al año de estudio, lo que lo hace más específico y válido en cuanto al sistema eléctrico mexicano, de igual manera toma en cuenta las formas en las que se genera la electricidad en el país, es decir si proviene de fuentes de quema de combustibles fósiles como combustóleo o carbón, energía solar, eólica y demás, a la par toma en cuenta los precios del sector económico de generación y venta de la energía, lo que influye en el cálculo de la huella de carbono exclusivamente en el factor de emisión y en la de cuantificación de emisiones por consumo de energía eléctrica.

En contraste el **GHG Protocol** proporciona estimaciones consistentes y estandarizadas, con la fortaleza de su aceptación y comparabilidad internacional, aunque depende estrictamente de datos de actividad directa y puede omitir externalidades.

En síntesis, el uso conjunto de ambos métodos permite un análisis más completo: el **GHG Protocol** asegura consistencia y credibilidad a nivel global, mientras que el método **Insumo-Producto** aporta una visión más amplia de los encadenamientos productivos y de los impactos indirectos asociados al consumo eléctrico en el Puerto de Tuxpan, lo que lo hace un método muy adaptable a la actividad económica del mismo.

Graficas de categoría 4 Emisiones por transporte marítimo (barcos) 2023;

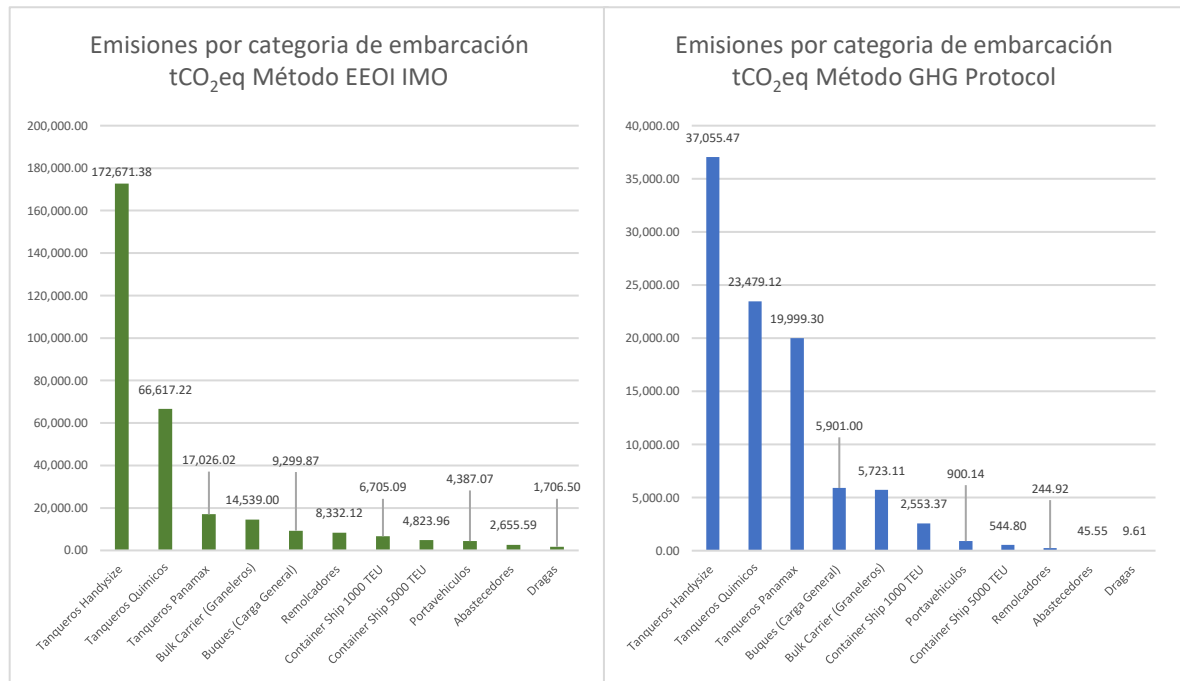


Ilustración 34 Emisiones 2023 Transporte Marítimo (Barcos), comparativa, Metodología adaptada EEOI IMO vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 34** presenta la comparación de resultados entre el método **adaptado EEOI IMO** para emisiones marítimas y el **GHG Protocol**, las emisiones se muestran en unidades de TonCO₂eq, estas graficas analizadas muestran que independientemente de la metodología aplicada, la categoría de los **Tanqueros Handysize** y **Químicos** se posicionan como las embarcaciones con mayores emisiones de GEI en el Puerto de Tuxpan en el **año 2023**, lo que evidencia su alta participación en la dinámica portuaria. Sin embargo, se observan diferencias significativas en las magnitudes, mientras que el método **adaptado EEOI IMO** estima emisiones mucho más elevadas (**con picos superiores a 170,000 TonCO₂eq en los Tanqueros Handysize**), el método **GHG Protocol** aplicado por ASIPONA Tuxpan reporta valores menores, en el orden de decenas de miles de toneladas.

Esta discrepancia marcada se debe principalmente al enfoque metodológico: el método **adaptado EEOI IMO** incorpora factores de operación más detallados (distancias, tiempos

de estancia, y consumos energéticos), lo que ofrece una estimación más representativa de la actividad real de los buques; en contraste el **GHG Protocol** se centra en una contabilización corporativa y estandarizada, más sencilla de aplicar, pero con menor grado de especificidad en fases operativas, como las que ejecuta el Puerto de Tuxpan, que al ser un puerto diverso, sus actividades son muy generales y engloba un tráfico importante de embarcaciones.

A pesar de estas diferencias, ambas metodologías resaltan y coinciden en la jerarquización relativa de las categorías más emisoras, lo que confirma la robustez de los resultados en cuanto a tendencias generales. El método **adaptado EEOI IMO** tiene como fortaleza clave la precisión y el alineamiento con estándares internacionales de la **OMI**, lo que lo hace más confiable para estudios técnicos y comparativos a nivel global; sin embargo, exige mayor disponibilidad de información específica y complejidad en el cálculo, al tener en consideración potencias de motores principales de las embarcaciones, horas de estancia, tipo de combustible y su factor de emisión correspondiente.

Por su parte el método **GHG Protocol** destaca por su facilidad de implementación y la comparabilidad con reportes corporativos, aunque puede subestimar emisiones al no considerar en detalle parámetros operativos, el tipo de combustible ni el factor de emisión del mismo en su enfoque metodológico, como si lo hace **EEOI IMO**.

En conjunto ambas aproximaciones o métodos aportan una visión complementaria: una metodología detallada para análisis técnicos (**EEOI IMO**) y otra más simplificada para fines administrativos y de reporte corporativo (**GHG Protocol**).

5.6 Comparación general de emisiones 2024, entre metodología GHG Protocol y las metodologías adaptadas (Insumo-Producto y EEOI IMO para emisiones marítimas).

Graficas de categoría 1 Emisiones por consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos 2024;

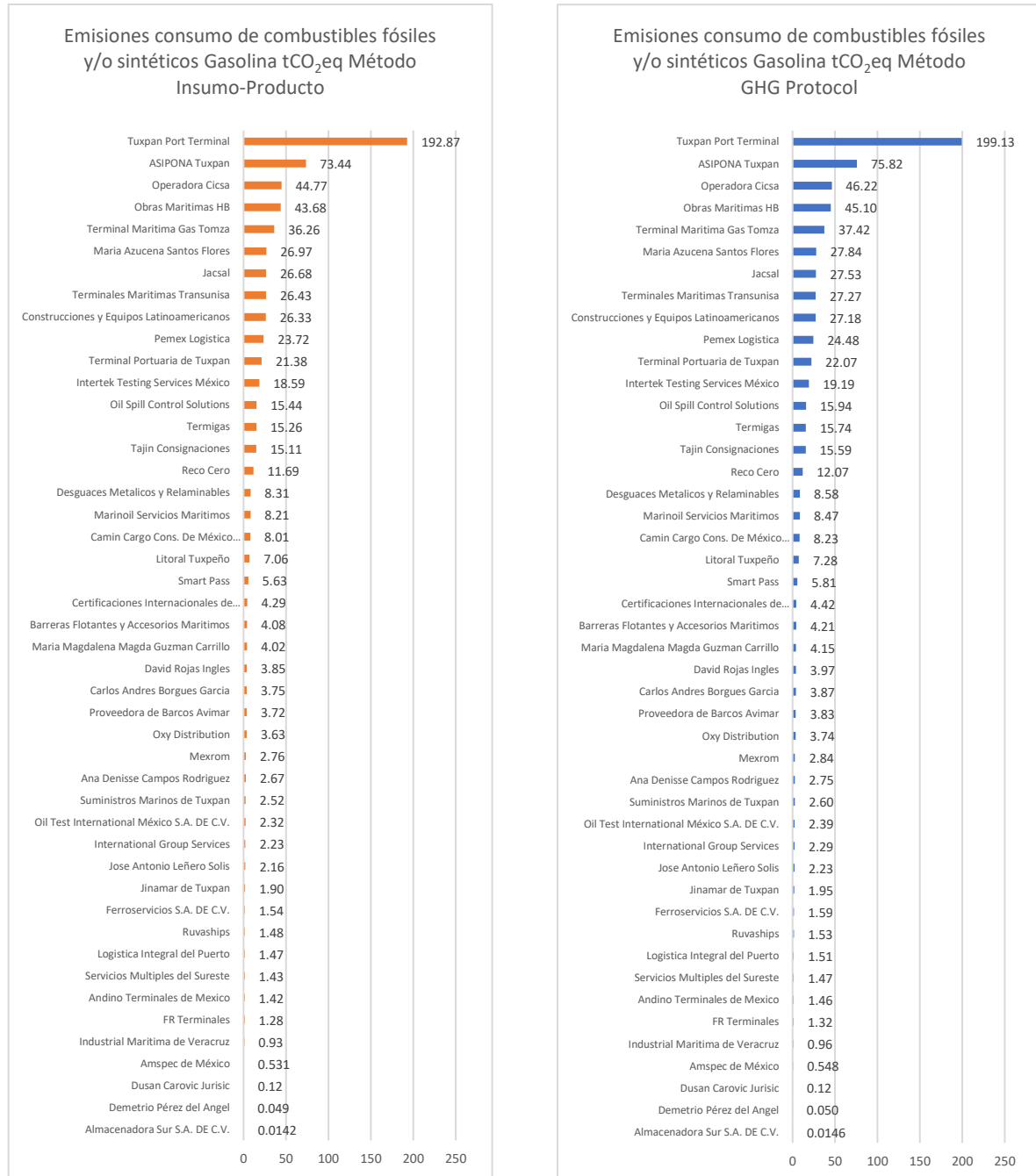


Ilustración 35 Emisiones 2024 (Gasolina), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 35** muestra la comparación de los resultados entre el método **adaptado Insumo-Producto** y el **GHG Protocol**, las emisiones se muestran en unidades de TonCO₂eq, estas mismas revelan que las empresas con mayores emisiones por consumo de combustible fósiles y/o sintéticos exclusivamente gasolina resultaron ser **Tuxpan Port Terminal, ASIPONA Tuxpan, Operadora Cicsa y Obras Marítimas HB**, lo que refleja una consistencia en la identificación de los principales emisores independientemente del enfoque aplicado o sistema metodológico que se aplique. Tanto el método **adaptado Insumo-Producto** como el **GHG Protocol** muestran valores totales cercanos entre sí en las emisiones mostradas en las gráficas, aunque con ligeras variaciones en la magnitud asignada a cada empresa.

Estas diferencias se deben a que el método **adaptado Insumo-Producto** distribuye las emisiones en función de la estructura económica y relaciones productivas, es decir sistemas que engloban la obtención del hidrocarburo, refinación y el combustible listo para usarse y los precios que esto conlleva (cadena productiva), así como el costo de venta del mismo combustible, mientras que el **GHG Protocol** se enfoca en la contabilidad directa de emisiones a partir de consumos reportados o estimados.

En las fortalezas clave, se destaca que el método **adaptado Insumo-Producto** permite captar externalidades y cadenas indirectas de consumo como la cadena de producción del combustible, ofreciendo una visión más integral y refinada de la contabilidad de emisiones. En contraste el **GHG Protocol** brinda un cálculo directo y específico, lo que lo hace transparente y comparable internacionalmente, aunque con el riesgo de subestimar impactos al no considerar efectos indirectos como sí lo hace **Insumo-Producto**.

En conjunto ambos métodos se complementan: uno aporta robustez y el otro precisión contable, permitiendo una evaluación más completa de la huella de carbono en el Puerto de Tuxpan.

Resultados

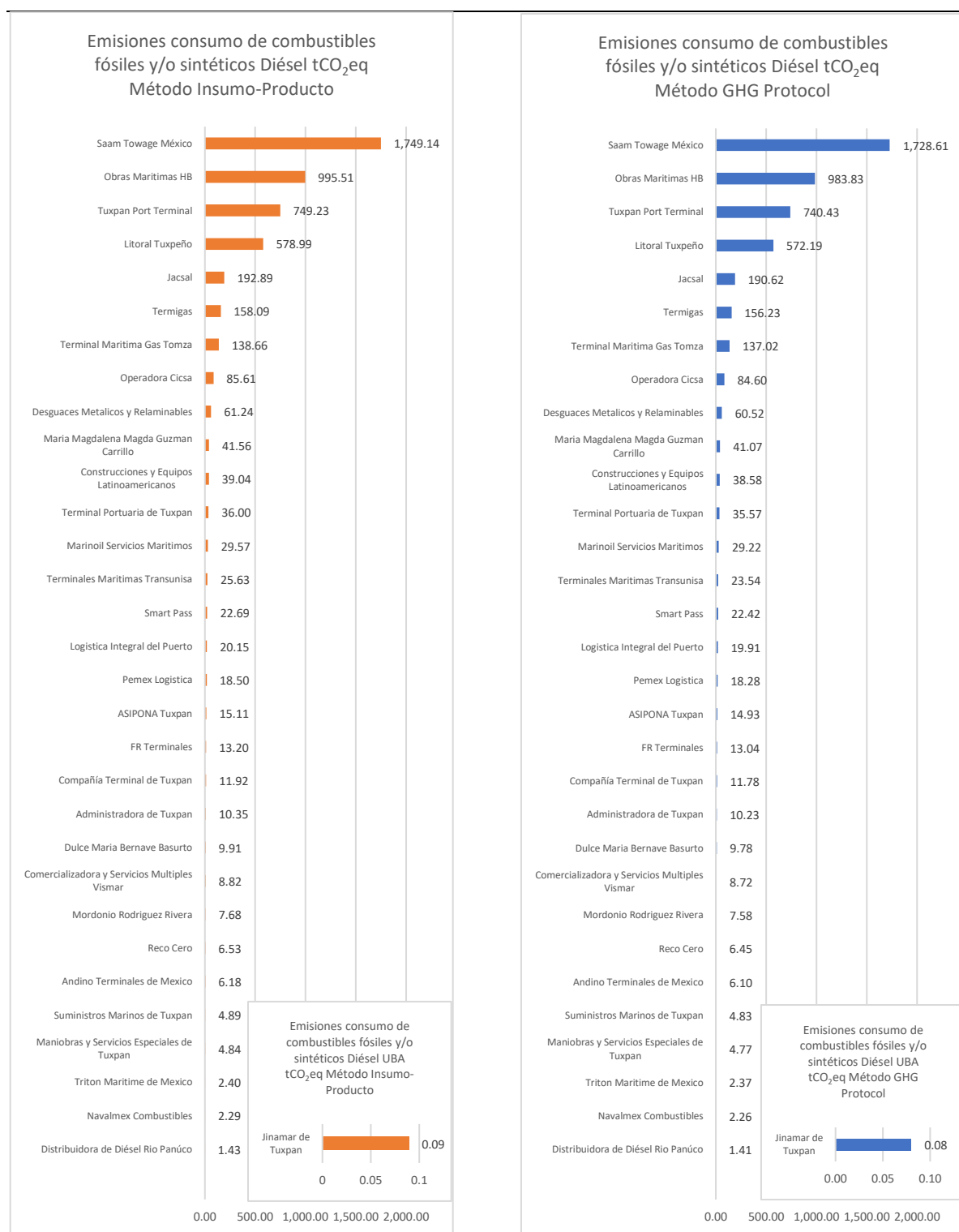


Ilustración 36 Emisiones 2024 (Diésel y Diésel UBA), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

En la **Ilustración 36** se muestra la comparación de resultados entre el método **adaptado Insumo-Producto** y el **GHG Protocol**, las emisiones se muestran en unidades TonCO₂eq, esta comparativa muestra que, aunque ambas metodologías (**Insumo-Producto** y **GHG Protocol**) mantienen un mismo orden en la jerarquización de las empresas con mayores emisiones, existen diferencias en las magnitudes de los resultados. En ambos casos las empresas **Saam Towage México, Obras Marítimas HB y Tuxpan Port Terminal** son las principales emisoras, seguidas por **Litoral Tuxpeño y Jacsal** lo que refleja consistencia en la identificación de los principales contribuyentes de la huella de carbono. Sin embargo, se observa que la metodología **adaptada Insumo-Producto** tiende a generar valores ligeramente más elevados en comparación con el **GHG Protocol**, lo que puede atribuirse a la forma en que se integran los factores indirectos del consumo energético, es decir la cadena de producción que engloba todo el combustible.

De igual forma se muestran las emisiones del consumo de diésel UBA o diésel ultra bajo en azufre, se observa que solo una empresa uso este tipo de combustible y que sus emisiones son bajas en comparabilidad con las demás, lo que refleja su poco uso en las flotas vehiculares.

En el campo de las fortalezas, el método **adaptado Insumo-Producto** ofrece una visión más amplia al considerar impactos indirectos en la cadena de valor, aunque si no se consideran factores específicos puede sobreestimar las emisiones. Por otro lado, el **GHG Protocol** destaca por su estandarización internacional y comparabilidad, proporcionando mayor precisión y transparencia en los cálculos directos, aunque pueden subestimar ciertos impactos al no capturar con mayor detalle los efectos indirectos como si lo hace el método **Insumo-Producto**.

En conjunto ambas metodologías son complementarias: una asegura exhaustividad y la otra comparabilidad, lo que permite un análisis más sólido de la huella de carbono portuaria.

Resultados

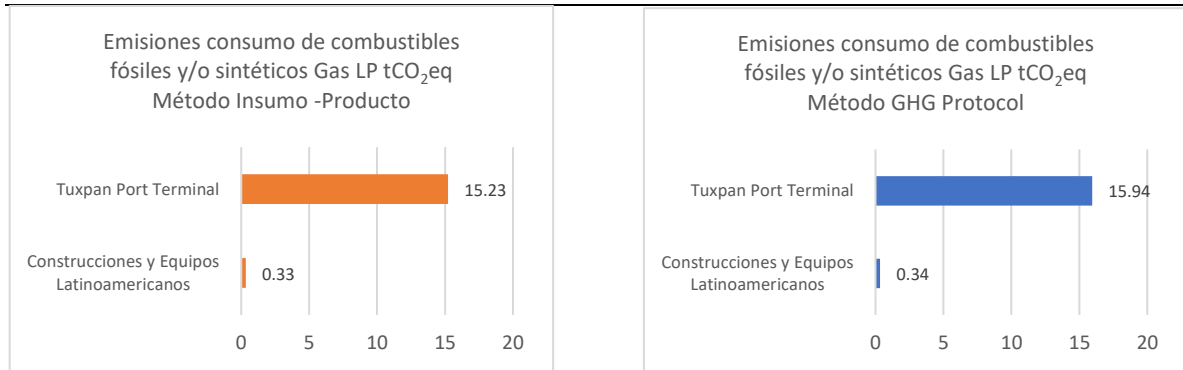


Ilustración 37 Emisiones 2024 (Gas LP), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 37** muestra la comparación de resultados entre el método **adaptado Insumo-Producto** y el **GHG Protocol**, las emisiones se muestran en unidades TonCO₂eq, estas graficas dejan ver que tanto el método **adaptado Insumo-Producto** como el **GHG Protocol** presentan valores muy similares en las emisiones por consumo de Gas LP, lo que confirma la consistencia entre ambos enfoques. En ambos casos, **Tuxpan Port Terminal** concentra las mayores emisiones lo que refleja coherencia en la aplicación de ambos métodos al resaltar a la empresa que más genera emisiones, mientras que **Construcciones y Equipos Latinoamericanos** aporta valores mínimos también con la aplicación de ambos sistemas metodológicos, lo que resalta la veracidad de las metodologías en la evaluación de emisiones que reflejan lo esencial, que es destacar a las empresas más contaminantes.

El método **adaptado Insumo-Producto** ofrece una visión más amplia al considerar interrelaciones económicas, es decir la cadena de producción del combustible, y los factores económicos que interfieren en ese proceso, en cambio el **GHG Protocol** proporciona una mejor precisión y alineación con estándares internacionales, pero este depende más de la calidad de los datos.

Esta coincidencia de resultados valida la solidez del análisis y la confiabilidad de las estimaciones obtenidas con ambos sistemas metodológicos.

Resultados

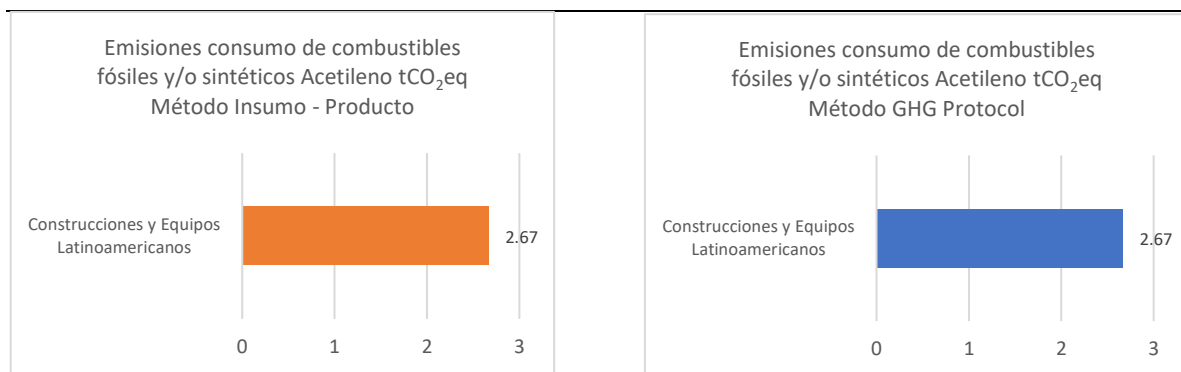


Ilustración 38 Emisiones 2024 (Acetileno), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 38** muestra la comparación de resultados entre el método **adaptado Insumo-Producto** y el **GHG Protocol**, las emisiones se muestran en unidades de TonCO₂eq, las gráficas exponen las emisiones derivadas del consumo del combustible sintético acetileno, que es muy usado en la industria de la soldadura, estos resultados arrojaron el mismo valor de emisiones en la aplicación de ambos sistemas metodológicos, esto demuestra una total consistencia metodológica, lo que refuerza la confiabilidad de los resultados.

La principal diferencia radica en el enfoque: el método **adaptado Insumo-Producto** aporta una visión macroeconómica más amplia al considerar la cadena de producción de cualquier combustible fósil o sintético como en este caso el acetileno al que se le considera un combustible sintético, mientras que el **GHG Protocol** se centra en la contabilidad directa con estándares internacionales.

La igualdad en los valores confirma que, para este combustible específico, ambos enfoques convergen plenamente y ofrecen resultados igual de sólidos y comparables.

Graficas de categoría 2 Emisiones por consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes) 2024;

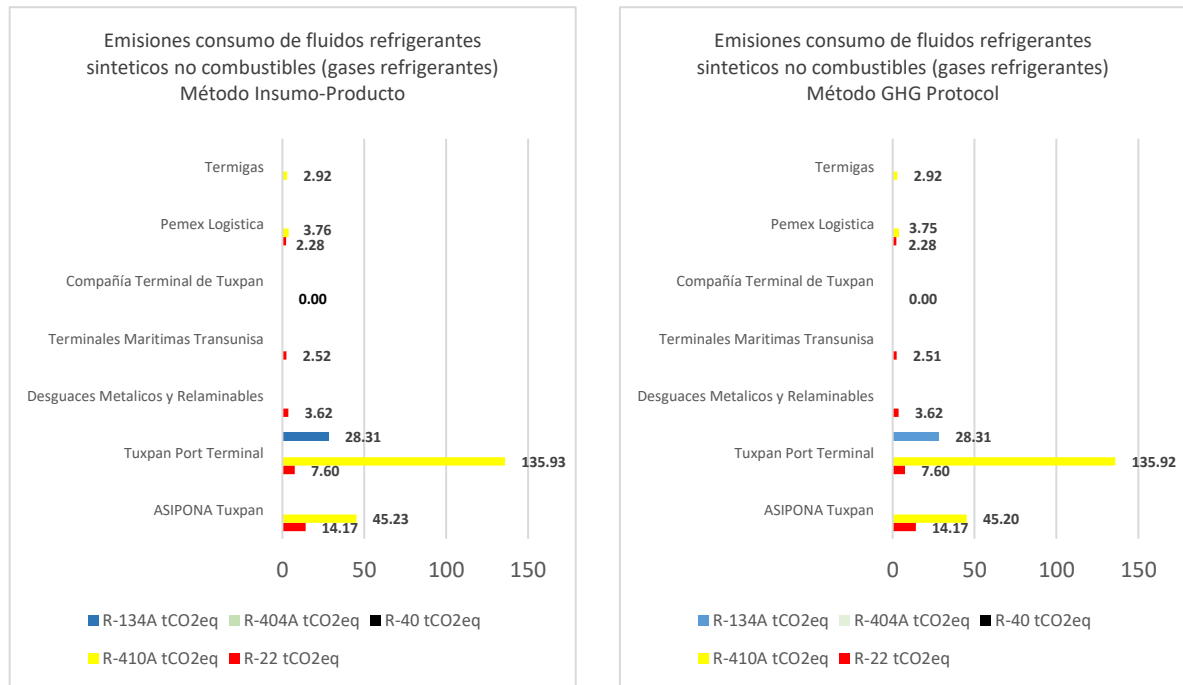


Ilustración 39 Emisiones 2024 (Fluidos Refrigerantes Sintéticos no Combustibles), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 39** muestra la comparativa de emisiones totales del consumo de fluidos refrigerantes sintéticos no combustibles (gases refrigerantes) aplicando las dos metodologías mostradas, estos resultados se presentan en unidades de TonCO₂eq, al analizar estas se demuestra que las empresas con mayores emisiones derivadas de este consumo de fluidos fueron **Tuxpan Port Terminal** y **ASIPONA Tuxpan**, destacando por el uso de R-22 y R-410A que representan la mayor proporción de TonCO₂eq, mientras que compañías como **Termigas**, **Pemex Logística** y **Desguaces Metálicos y Relaminables** presentan valores menores, y **Compañía Terminal de Tuxpan** prácticamente no registro emisiones al no haber recargado sus equipos de climatización lo que no refleja la generación de las mismas.

Ante esto se observa una alta similitud entre ambos métodos (**Insumo-Producto** y **GHG Protocol**), ya que los valores reportados coinciden en magnitud y en el orden de las empresas más emisoras.

La fortaleza del método **adaptado Insumo-Producto** es que permite integrar el análisis a nivel económico y de cadenas de suministro, analizando los factores económicos en la cadena de producción de los combustibles sintéticos y los precios de las ventas de estos, ofreciendo una visión más global de la contabilidad de emisiones. En contraste el **GHG Protocol** tiene como fortaleza la estandarización y trazabilidad directa de datos a partir de inventarios específicos, lo que le da mayor confiabilidad operativa, aunque puede depender de la disponibilidad y calidad de la información proporcionada por las empresas.

Graficas de categoría 3 Emisiones por consumo de energía eléctrica 2024;

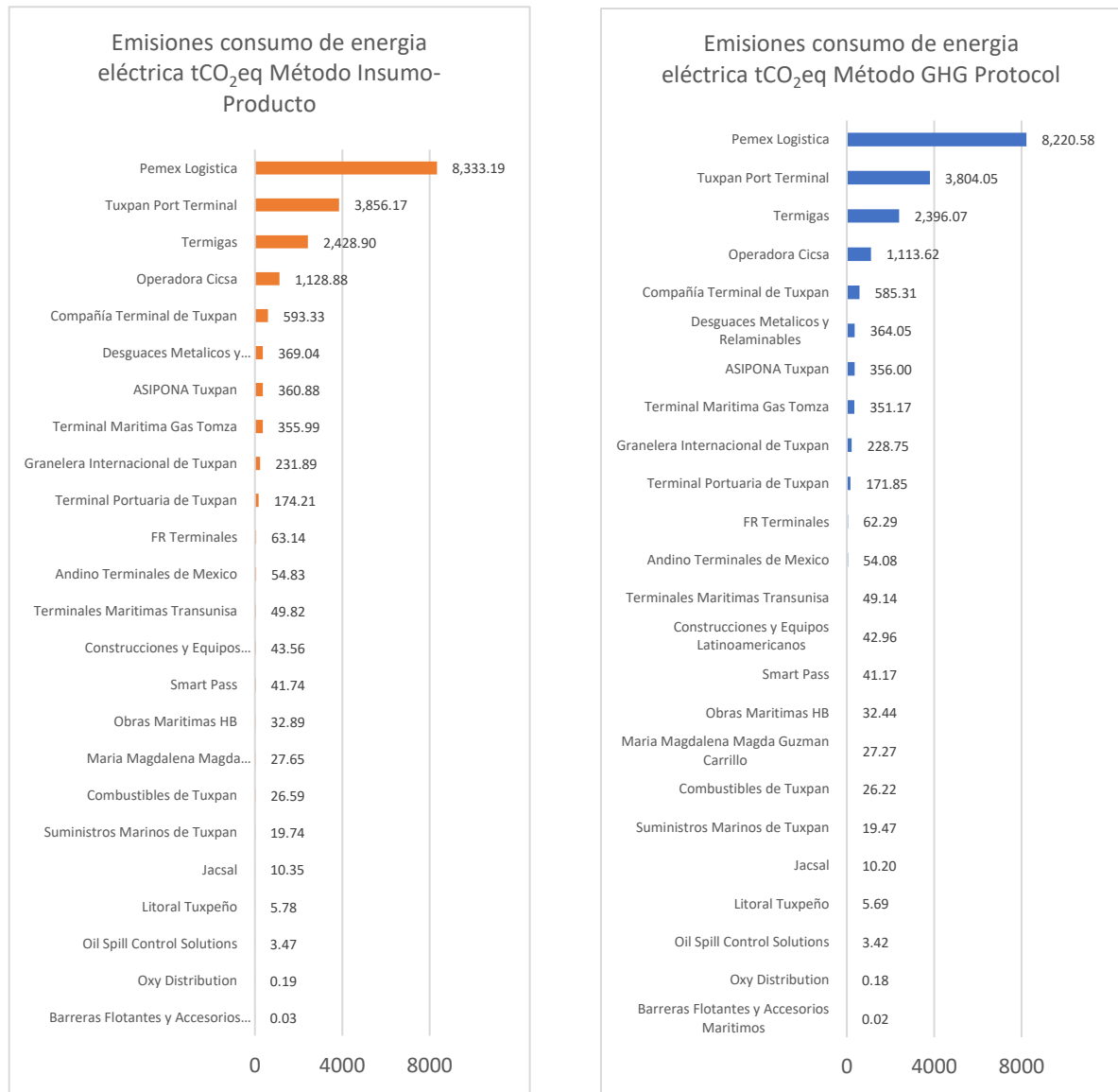


Ilustración 40 Emisiones 2024 (Energía Eléctrica), comparativa, Metodología adaptada Insumo-Producto vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 40** muestra la comparativa entre resultados de las dos metodologías aplicadas a la cuantificación de emisiones derivadas del consumo eléctrico, estas se presentan en unidades de TonCO₂eq y como tal muestran que, bajo ambas metodologías, las empresas con mayores emisiones por consumo eléctrico fueron **Pemex Logística, Tuxpan Por Terminal**

y **Termigas**, lo que evidencia una tendencia coherente y consistente en la identificación de las empresas más emisoras.

Asimismo, la mayoría de las demás empresas mantienen una jerarquía similar en ambos casos, aunque con ligeras variaciones en las magnitudes de emisiones.

Por lo que el método **adaptado Insumo-Producto** presenta valores más altos debido a que este método considera promedios nacionales en facturas eléctricas y efectos indirectos como la cadena de producción de la energía eléctrica, es decir el precio de la energía en la generación de la misma, desde el costo de los combustibles para mover generadores y crear energía eléctrica como la construcción de centrales eléctricas, la infraestructura o si proviene de energías limpias y el costo que esto implica, lo que amplía el panorama a la hora de calcular emisiones y que se ve reflejado en los factores de emisión. En cambio, el **GHG Protocol** se centra en el consumo real reportado, ofreciendo estimaciones más específicas, aunque dependientes de la calidad de datos. Así, ambos enfoques se complementan: uno aporta una visión integral y el otro mayor precisión en los resultados.

Graficas de categoría 4 Emisiones por transporte marítimo (barcos) 2024;

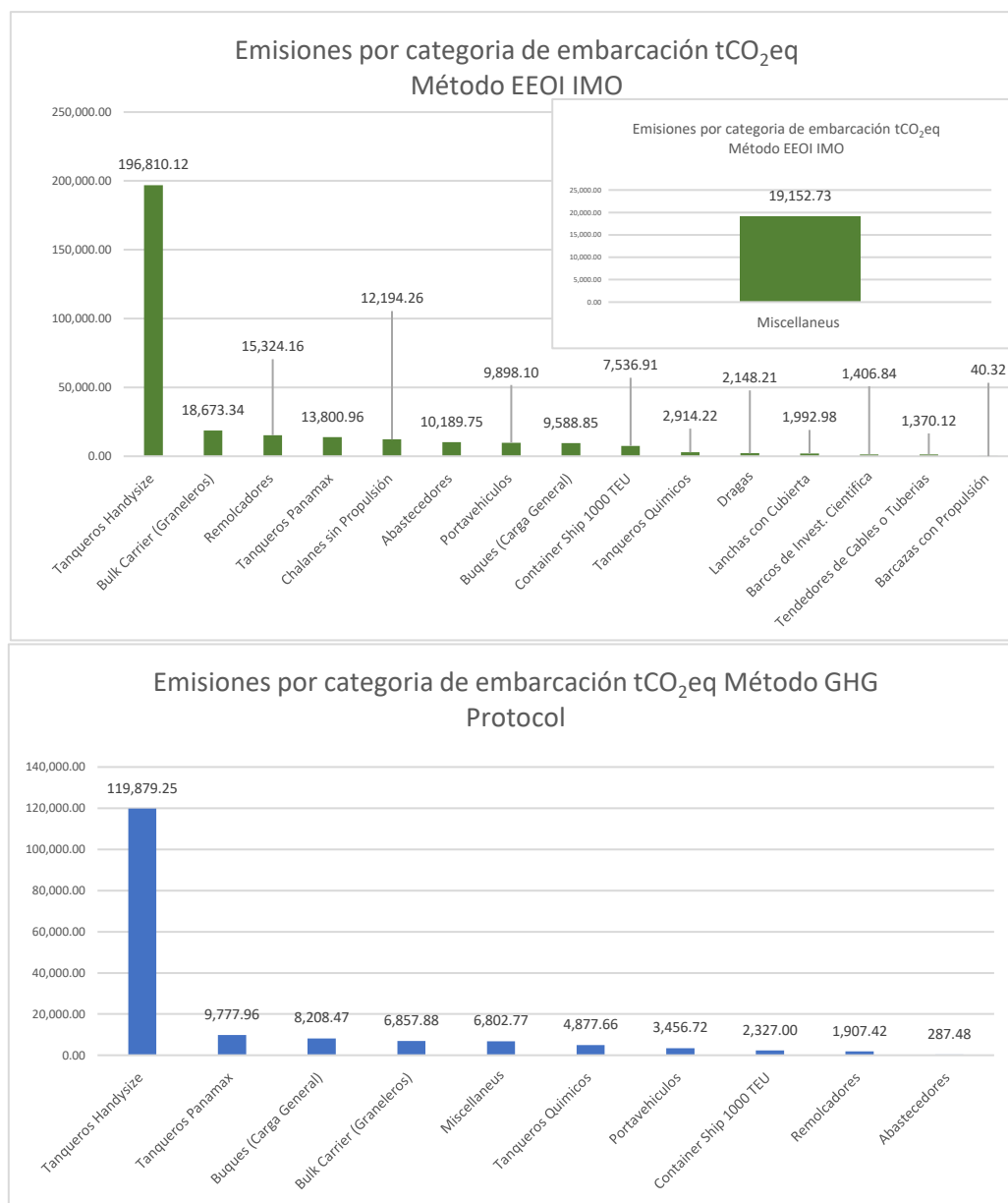


Ilustración 41 Emisiones 2024 Transporte Marítimo (Barcos), comparativa, Metodología adaptada EEOI IMO vs. Metodología GHG Protocol, Fuente: Elaboración propia de acuerdo a resultados del método adaptado y aplicación metodológica de ASIPONA Tuxpan.

La **Ilustración 41** muestra la comparativa de resultados de emisiones entre ambos métodos aplicados, las emisiones se muestran en unidades TonCO₂eq, en las mismas se puede observar

que al aplicar ambas metodologías es evidente que coinciden en identificar a los **Tanqueros Handysize** como la categoría principal en emisiones de GEI, aunque con valores distintos; el método **adaptado EEOI IMO** presenta estimaciones más altas **196,810.12 TonCO₂eq** solo para **Tanqueros Handysize** frente al **GHG Protocol** con **119, 879.25 TonCO₂eq** para la misma categoría. En ambos casos, categorías como **Bulk Carrier**, **Transporte Químico** y **Carga General** mantienen posiciones relevantes, mientras que los **Remolcadores** y **Abastecedores** se confirman como los de menor impacto. Esto demuestra que, a pesar de las diferencias en magnitudes, existe consistencia en la jerarquía de las principales categorías emisoras.

Por otro lado, el método **GHG Protocol** categoriza como **Miscellaneous** a embarcaciones tales como; **Chalanes sin Propulsión**, **Dragas**, **Lanchas con Cubierta**, **Barcos de Investigación Científica**, **Tendedores de Cables o Tuberías** y **Barcazas con Propulsión**. Mientras que el método **adaptado EEOI IMO** las individualiza y calcula sus emisiones de manera individual por cada tipo de categoría de embarcación, ante este panorama, en la gráfica de resultados de **EEOI IMO** se muestra la suma de esta categoría **Miscellaneous** que llega a **19,152.73 TonCO₂eq**, en contraste con los resultados que da el **GHG Protocol** de **6,802.77 TonCO₂eq** para la misma categoría, lo que evidencia una variabilidad significativa en la cuantificación de emisiones.

Las diferencias radican en el enfoque de cada método: el método **adaptado EEOI IMO** ofrece una visión más amplia al integrar emisiones indirectas, lo que facilita la integración de todos los factores de la cadena de producción de combustibles usados en las embarcaciones lo que se ve reflejado en el factor de emisión del tipo de combustible y por ende en las emisiones finales, además este método ofrece comparabilidad objetiva y clara, mientras que el **GHG Protocol** se centra en emisiones directas y permite mayor comparabilidad internacional, aunque puede subestimar impactos indirectos como no lo hace **EEOI IMO**. En conjunto ambos métodos son complementarios: uno brinda exhaustividad y el otro método estandarización, lo que fortalece el análisis de la huella de carbono del Puerto de Tuxpan.

Ante estos resultados encontrados se puede deducir que las emisiones significativas siguen un orden secuencial en cantidad de emisiones, es decir que las mismas presentan una secuencia en cuanto a su magnitud, siendo las menores las asociadas al consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos, seguidas por las de electricidad, posteriormente las generadas por el uso de refrigerantes y finalmente las más significativas que corresponden al transporte marítimo, esta secuencia se presenta en los dos años de estudio y esto es basado de acuerdo a los resultados obtenidos en la aplicación de los sistemas metodológicos.

Resaltando de igual forma que la categoría que más contamina en ambos años de estudio es la del transporte marítimo esto según ambos métodos que son críticos y consistentes en la recolección de datos de emisiones en diversos ámbitos y estos mismos contribuyen de manera significativa a la evaluación de la huella de carbono de cualquier empresa, y a la par ambos métodos sirven en marcar lo esencial que es quien contamina más y de acuerdo a esto tomar decisiones espontaneas encaminadas en la mejora ambiental, en este caso del puerto que incluye una diversidad de empresas.

Ambos métodos son viables y resaltan lo esencial en la evaluación de la huella de carbono portuaria, siempre resaltando coherencia y veracidad en la información obtenida y en la interpretación de la misma.

Este apartado concluye con la visión de que el factor más contaminante en el Puerto son las mismas actividades marítimas, esto en ambos métodos y que con esto se contribuye a la toma de decisiones en mejoras en las eficiencias operativas del sector marítimo, siempre buscando la mejora continua, la protección al medio ambiente, el desarrollo económico y el cuidado a la fauna y flora acuática, así como al fomento de propuestas encaminadas en la reducción de contaminación y mitigación de daños ambientales al ambiente, con esto consolidando al Puerto de Tuxpan como un sistema logístico sostenible y comprometido ampliamente con el desarrollo económico y ambiental del estado de Veracruz y el país.

5.7 Áreas de oportunidad de acuerdo a metodologías aplicadas.

Los resultados obtenidos mediante las metodologías GHG Protocol y la adaptación del método Insumo-Producto, así como el método EEOI IMO para emisiones marítimas permitieron identificar áreas de oportunidad significativas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el Puerto de Tuxpan, ver.

Entre las áreas de oportunidad para la metodología GHG Protocol se encuentran:

1. Ampliación de límites organizacionales: incluir más actividades tercerizadas contratistas, remolcadores externos y transporte terrestre fuera del puerto.
2. Profundizar en el alcance 3: integrar emisiones indirectas relevantes como ciclo de vida de combustibles de navíos, gastos de combustibles exactos, documentar los tipos de combustibles de cada categoría, documentar toda la información relevante de cada embarcación, viajes de empleados y transporte de carga fuera del puerto.
3. Mayor desagregación de datos: en lugar de usar promedios de consumo energético, emplear mediciones específicas por área o instalación portuaria, es decir registrar los gastos exactos en combustible y KW de los motores de barcos o vehículos, equipos y demás.
4. Incorporación de indicadores de eficiencia: no solo totales de emisiones, sino también emisiones por tonelada movilizada o TEU, lo que mejora la comparabilidad.

Entre las áreas de oportunidad para la metodología adaptada Insumo-Producto destacan:

1. Mayor actualización de factores de emisión: las tablas nacionales de factores de emisión y sistemas de conversión de energía pueden estar desfasadas lo que puede generar sesgos, por lo que se recomienda actualizar coeficientes con datos actuales de la industria, en aspectos de combustibles, densidades de energía de los mismos, precios fijos de venta en el caso de electricidad y factores exactos y actualizados por año.
2. Escala espacial más precisa: en vez de usar coeficientes nacionales, generar matrices regionales o sectoriales ajustadas a Tuxpan o al sistema portuario mexicano.

3. Considerar impactos indirectos ampliados: por ejemplo, proveedores de servicios logísticos, cadenas de valor energético, construcción de infraestructura portuaria.
4. Integración con análisis de ciclo de vida: puede complementarse con información única de cada elemento en estudio, como el análisis de ciclo de vida de vehículos o navíos, con el objetivo de tener una mayor profundidad en el análisis comparativo y generar un mejor desempeño económico-ambiental.

Para la metodología adaptada EEOI IMO, sus áreas de oportunidad son:

1. Mayor especificidad en perfiles de buque: usar datos reales de consumo de combustible, tipo y KW gastados por su motor en su estancia y travesía en el puerto, esto de cada embarcación en lugar de sus TBR o DWT.
2. Integrar emisiones de maniobras y espera: muchas veces se subestiman fases de fondeo, remolque y uso de generadores auxiliares.
3. Incorporación de combustibles alternativos: modelar escenarios con sistemas especiales para el uso de nuevos combustibles y evitar un nivel alto de contaminación, en opciones como: metanol, biocombustibles o depuradores en barcos que operan en el puerto.
4. Validación con monitoreo en sitio: instalar medidores de consumo energético y electrificación en muelle con el fin de disminuir el uso de motores de embarcaciones durante su estadía en puerto, y con estos medidores registrar y verificar que el consumo es menor y por ende de manera autónoma la reducción de emisiones.

Estas áreas de oportunidad metodológicas son de acuerdo a los resultados encontrados y a la forma en la que se obtuvo la información, ya que ASIPONA Tuxpan no contaba con el tipo de combustible exacto de cada categoría de buque, tampoco contaba con el total gastado por embarcación, lo que resultó en que para este estudio se investigaran de manera autónoma.

Es así como estas áreas de oportunidad por método son muy constructivas y llamativas para ser tomadas en cuenta en nuevos estudios futuros, con lo que se consolida la transparencia en la información y la ejecución metodológica, así como en la transparencia de resultados.

Se recomienda un análisis más profundo y exhaustivo a la hora de la recopilación de la información ya que de esto depende la ejecución metodológica y con ello la presentación de los resultados.

En conjunto los tres sistemas metodológicos son clave, claros y concisos para el cálculo de la huella de carbono en puertos y de sus actividades derivadas, así como de cualquier empresa que desee aplicarlos, con lo que se fortalece el compromiso ambiental y el desarrollo sostenible, normativo y de mitigación ambiental de cualquier empresa u organización como ASIPONA Tuxpan.

5.8 Recomendaciones prácticas y viables para la mejora del desempeño ambiental de ASIPONA Tuxpan, encaminado en la reducción de emisiones.

De acuerdo a los resultados de emisiones analizados en este estudio se propone lo siguiente:

1. Transporte marítimo (mayor fuente de emisiones)

Objetivo: Reducir las emisiones derivadas de las maniobras y estancias de los buques.

- Implementar un sistema de monitoreo energético-portuario (basado en indicadores como EEOI para registrar las emisiones por tipo de buque y optimizar la logística portuaria).
- Fomentar el uso de combustibles más limpios (biodiesel marino, o fuelóleo muy bajo en azufre en la totalidad de las flotas arribadas al puerto).
- Proponer el uso de energía eléctrica en muelle (shore power) durante la estancia de los buques, reduciendo el uso de generadores auxiliares.
- Optimizar tiempos de atraque y despacho mediante sistemas de gestión digital (ventanilla única o programación inteligente de atraques) para minimizar tiempos de espera y emisiones en modo “idle”.
- Impulsar programas de compensación ambiental por emisiones marítimas como reforestación de manglares y conservación de humedales costeros (que actúan como sumideros de carbono).

2. Electricidad

Objetivo: Disminuir el consumo eléctrico de las instalaciones portuarias y fomentar energías limpias.

- Instalar sistemas fotovoltaicos en edificios administrativos, almacenes y patios de maniobra.
- Sustituir luminarias convencionales por tecnología LED con sensores de movimiento y temporizadores.
- Capacitar al personal en eficiencia energética, fomentando el apagado de equipos fuera del horario laboral.

- Implementar auditorías energéticas anuales, identificando áreas de alto consumo.
- Evaluar la contratación de energía proveniente de fuentes renovables mediante acuerdos con CFE o productores privados.

3. Gases refrigerantes

Objetivo: Controlar y reducir las fugas de refrigerante de alto potencial de calentamiento global (GWP)

- Sustituir equipos de aire acondicionado antiguos por sistemas con refrigerantes de bajo GWP (como R-32).
- Establecer un programa de mantenimiento preventivo para detectar fugas en sistemas de refrigeración.
- Capacitar al personal técnico en buenas prácticas de manejo, recuperación y reciclaje de refrigerantes.
- Implementar un registro interno de consumo y recarga de gas, para llevar un control anual de emisiones directas.

4. Combustibles fósiles y/o sintéticos (vehículos, maquinaria y equipos en general que usen estos tipos de combustibles)

Objetivo: Reducir emisiones derivadas de transporte terrestre, maquinaria y equipos en general que son usados por las empresas en sus actividades internas o en las operaciones portuarias.

- Renovar la flota vehicular priorizando unidades híbridas o eléctricas.
- Establecer programas de mantenimiento preventivo para reducir consumo de diésel, gasolina, gas LP, etc.
- Fomentar la conducción eficiente (“eco-driving”) entre operadores y personal logístico.
- Usar biodiesel o combustibles alternos en maquinaria y vehículos de apoyo.
- Optimizar rutas internas dentro del recinto portuario para disminuir recorridos innecesarios.

5. Medidas transversales

Objetivo: Consolidar una cultura ambiental dentro de ASIPONA

- Crear un comité de gestión de carbono encargado del seguimiento anual de la huella de carbono y del plan de mitigación.
- Establecer metas anuales de reducción de emisiones (porcentaje o toneladas de CO₂) para cada fuente.
- Promover la educación ambiental y la sensibilización del personal sobre la importancia de las emisiones portuarias.
- Publicar informes anuales de sostenibilidad, reforzando la transparencia ambiental ante SEMARNAT y la comunidad.

6. Conclusiones

El presente proyecto tubo gran relevancia debido a la aplicación de 3 metodologías clave en la cuantificación de emisiones de CO₂, lo que resalta el análisis comparativo abordado y con ello la comprensión de resultados clave, que en general tuvieron el fin de ser comparados entre sí, obteniendo ventajas competentes en la aplicación de los métodos.

De igual manera este análisis comparativo exploro campos clave como combustibles, refrigerantes, electricidad y transporte marítimo, lo que remarca el compromiso en la cuantificación de emisiones y las recomendaciones solidas encaminadas en la reducción de emisiones contaminantes, contribuyendo en la sostenibilidad y el desarrollo sustentable de las empresas analizadas.

Entre lo recomendado a la entidad ASIPONA Tuxpan, se encuentra la recolección de información más específica del transporte marítimo, como datos exactos de potencias de motores, consumos de combustibles exactos, así como el tipo de combustible que usan. También entre las recomendaciones que hace este análisis se encuentra tener una mejor organización de la información recopilada para consulta en cualquier momento, tomando en cuenta que la organización de la información es clave para la medición de la huella de carbono.

En la experiencia profesional se resalta el uso de tecnologías clave para la resolución de problemas, gráficos e informes, también en la experiencia ambiental adquirida en campo en la supervisión ambiental de plantas de tratamiento, medidores de agua, revisión de la calidad de absorbancia de emisiones con plantas de mangle etc., fortaleciendo el campo del liderazgo y observación, así como el del análisis ambiental al aplicar los conocimientos de ingeniera ambiental en el cálculo de emisiones, resaltado el profesionalismo de leer y aprender en lo investigado durante la aplicación de este análisis comparativo, fortaleciendo el desarrollo profesional de mi formación como ingeniero ambiental.

En adición final y con base en los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología adaptada Insumo-Producto y el método adaptado EEOI IMO se confirma la hipótesis planteada en este trabajo, al demostrarse que es posible cuantificar la huella de carbono de la ASIPONA Tuxpan con estas metodologías y que las mismas presentan diferencias significativas respecto a GHG Protocol en la estimación de emisiones.

COMPETENCIAS DESARROLLADAS

1. Aplicación de metodologías para la evaluación ambiental.
Se implementaron herramientas y métodos reconocidos internacionalmente (GHG Protocol, Insumo-Producto e EEOI IMO) para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en operaciones portuarias y terrestres.
2. Análisis e interpretación de datos ambientales.
Se procesaron datos de consumo de combustibles fósiles y/o sintéticos, gases refrigerantes, electricidad, tiempos de operación y tonelaje bruto de registro (TBR) de distintos tipos de buques, utilizando herramientas informáticas como Excel, para obtener resultados confiables y comparables.
3. Gestión de información técnica y normativa.
Se revisaron y aplicaron disposiciones legales nacionales e internacionales en materia de cambio climático y protección ambiental y lineamientos de la Organización Marítima Internacional.
4. Evaluación de impactos y desempeño ambiental.
Se identificaron fuentes de emisión, se calcularon indicadores de huella de carbono y se propusieron medidas de mitigación para la reducción de emisiones en las operaciones portuarias y terrestres.
5. Comunicación y redacción técnica.
Se elaboraron reportes técnicos, tablas y gráficos comparativos para la presentación de resultados, así como conclusiones sustentadas en evidencia cuantitativa y normativa.
6. Planeación y desarrollo de proyectos ambientales.
Se diseñó y ejecutó un proyecto estructurado con objetivos, metas y fases definidas, integrando conocimientos de ingeniería, estadística y gestión ambiental.
7. Ética y responsabilidad ambiental.
Se garantizó el manejo adecuado de la información ambiental, la transparencia metodológica y la búsqueda de soluciones sostenibles para el sector portuario y sus derivados en operaciones terrestres.

GLOSARIO DE TERMINOS

Huella de carbono

Métrica que mide la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por una actividad, organización, producto o servicio expresada en CO₂ equivalente, en el contexto portuario incluye las emisiones generadas por el transporte marítimo, las operaciones de movimiento de mercancía y la infraestructura asociada.

Análisis del ciclo de vida

Herramienta metodológica que avalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas sus etapas, desde la extracción de las materias primas hasta la disposición final o desecho del producto y/o servicio, en el contexto portuario incluye el impacto de construcción, operación, transporte de mercancías, y disposición de residuos.

Gases de efecto invernadero (GEI)

Gases que contribuyen al calentamiento global al atrapar el calor en la atmosfera. Los principales GEI son el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxidos de nitrógeno (NO_x), estos derivados de diversas actividades humanas como la industria en general, la aviación, en puertos las principales fuentes son las emisiones de los barcos y vehículos terrestres asociados.

CO₂ Equivalente (CO₂e)

Unidad de medida usada para expresar los gases de efecto invernadero en términos del potencial de calentamiento global del dióxido de carbono (CO₂). Esto permite sumar las emisiones de diferentes GEI en un solo valor.

Operaciones Portuarias

Actividades realizadas dentro de un puerto o terminal portuaria, como la carga, descarga, almacenamiento de mercancías y gestión logística en general. Estas actividades son responsables de emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero.

ISO 14040

Norma internacional que establece los principios y el marco referencial para la evaluación del ciclo de vida (ACV), define las fases de este, así como la definición de objetivos, análisis del inventario y evaluación de impactos resultantes de la realización de un producto o servicio.

ISO 14044

Norma complementaria de la ISO 14040 que detalla requisitos y directrices para llevar a cabo un análisis de ciclo de vida de manera correcta, completa y concisa.

Transporte marítimo

Modalidad de transporte que incluye el desplazamiento de mercancías o personas a través de buques en altamar, esta actividad es una de las principales fuentes de emisiones de carbono en los puertos, debido a la quema de combustibles fósiles.

Emisiones indirectas

Emisiones de gases de efecto invernadero que no son producto directo de la actividad de una organización, empresa o entidad corporativa, pero que se generan en sus procesos asociados como el transporte de mercancías hacia y desde el puerto.

Infraestructura portuaria

Conjunto de estructuras primordiales y necesarias para que un puerto funcione como muelles, dársenas, almacenes y terminales, la construcción y mantenimiento de estas infraestructuras son fuentes de emisiones indirectas de carbono.

Sostenibilidad portuaria

Aplicación de principios de sostenibilidad en la gestión de puertos, que busca reducir el impacto ambiental mediante la disminución de emisiones, la optimización de recursos y la implementación de buenas prácticas de gestión ambiental.

Estrategias de mitigación

Son acciones adoptadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, en puertos estas pueden incluir la electrificación de equipos portuarios, uso de combustibles más limpios y la mejora de la logística para reducir el tráfico terrestre.

Impacto ambiental

Cualquier cambio negativo en el medio ambiente debido a la actividad humana, en el contexto de puertos esto puede incluir la contaminación del aire, del agua y el impacto sobre la biodiversidad marina debido a las emisiones y desechos generados.

GHG Protocol

Estándar internacional desarrollado por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) que proporciona lineamientos para cuantificar y reportar las emisiones de gases de efecto invernadero. Clasifica las emisiones en tres alcances: directo (alcance 1), indirecto por energía (alcance 2) y otras emisiones indirectas (alcance 3).

Alcances de emisiones (scopes)

Clasificación establecida por el GHG Protocol que agrupa las emisiones según su origen:

Alcance 1: emisiones directas de fuentes propias o controladas por la organización.

Alcance 2: emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad, vapor, calefacción o refrigeración comprados.

Alcance 3: otras emisiones indirectas como transporte de mercancías, cadena de suministro y actividades asociadas.

Factores de emisión

Valores numéricos que relacionan la cantidad de contaminante emitido con una unidad de actividad o consumo, por ejemplo, kilogramos de CO₂ emitidos por litro de diésel consumido. Son esenciales para cuantificar emisiones en estudios de huella de carbono.

Metodología Insumo-Producto

Enfoque analítico basado en la matriz de insumo-producto que permite estimar los impactos ambientales asociados a la producción y consumo, considerando las interrelaciones entre distintos sectores económicos. Es utilizada para calcular la huella de carbono de actividades complejas, como operaciones portuarias.

Método Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) de la OMI para emisiones marítimas

Indicador de la OMI que mide la eficiencia energética de un buque en operación. Se calcula como los gramos de CO₂ emitidos por tonelada de carga transportada por milla náutica (gCO₂/ton*milla), considerando tipo de combustible, distancia recorrida y horas de estancia en puerto. Su objetivo es monitorear y mejorar la eficiencia energética, cuantificar y reducir emisiones de GEI en el transporte marítimo.

Inventario de emisiones

Registro sintético y cuantitativo de todas las fuentes de gases de efecto invernadero dentro de una organización, operación o territorio. Incluye emisiones directas e indirectas y sirve como base para el análisis de huella de carbono y la planificación de estrategias de mitigación.

Eficiencia energética

Relación entre la energía utilizada y el rendimiento obtenido en un proceso, actividad o instalación. En el contexto portuario, implica optimizar el uso de combustibles y electricidad para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y costos operativos.

Carbono neutralidad

Condición en la que una organización, operación o actividad equilibra sus emisiones de gases de efecto invernadero mediante acciones de reducción y compensación, logrando un impacto neto de carbono.

Potencial de calentamiento global (GWP)

Medida que indica la capacidad de un gas de efecto invernadero para atrapar calor en la atmosfera durante un periodo determinado, comparado con la misma cantidad de CO₂. Permite expresar distintos GEI en CO₂ equivalente (CO₂e).

FUENTES DE INFORMACION

Administración del Sistema Portuario Nacional. *Módulo ECOPIIS*. ASIPONA / Gobierno de Mexico. Ciudad de Mexico, 2025. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Agosto de 2025: <https://puertointeligenteseguro.com.mx/#/home/modulo>

Administración Portuaria Integral de Tuxpan (ASIPONA Tuxpan). *Fundamentos Legales*. Digital. Gobierno de Mexico, 31 de mayo de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: <https://www.puertotuxpan.com.mx/apitux/quienes/fundamentos.html>

AJOT. “*TotalEnergies Marine Fuels and MOL Group complete first biofuel bunker operation of a vehicle carrier in Singapore*”. Digital. AJOT. 29 de junio de 2022. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Septiembre de 2025: <https://www.ajot.com/news/totalenergies-marine-fuels-and-mol-group-complete-first-biofuel-bunker-operation-of-a-vehicle-carrier-in-singapore?utm>

Altosole, M. Alternative propulsion technologies for fishing vessels: A case study. 2024. *International Review of Mechanical Engineering (I.RE.M.E.)*, 8(2), 296. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://doi.org/10.15866/ireme.v8i2.5736>

ASIPONA Veracruz. (2023). *Informe Consolidado 2023*. Administración del Sistema Portuario Nacional Veracruz (ASIPONA Veracruz), Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Ciudad de Mexico: Secretaria de Marina. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Agosto de 2025: https://www.puertodeveracruz.com.mx/apiver/archivos/Informe_Consolidado_%2822%29.pdf

Astillero Río Paraná Sur. *Lancha fluvial para amarre 11 metros*. 23 de junio de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://astilleroparanasur.com/portfolio/lancha-fluvial-amarre-11-metros/?utm>

AVS. *www.avs.com.mx* . 3 de julio de 2023. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: https://avsmanual.com/search/?v5=0&url=/i.caterpillar/495159-fluid-recommendations-c32-marine-propulsion-engine/?utm&utm#google_vignette

Axis Consulting Growth. *Very Low Sulphur Fuel Oil (VLSFO) Market: By Application*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://sites.google.com/view/axis-consulting-growth/market-trends/very-low-sulphur-fuel-oil-vlsfo-market-by-application?utm>

BalticShipping. (1 de Junio de 2017). *BalticShipping.com – Vessel IMO 9430090*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9430090>

BalticShipping. (4 de Julio de 2017). *BalticShipping.com – Vessel IMO 9318929*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9318929?utm>

BalticShipping. “*MISS MONSE, Offshore supply vessel, IMO 8662115*, Digital”. BalticShipping (editor y productor), 3 de agosto de 2017. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/8662115?utm>

BalticShipping. “*SFL COMPOSER, Car carrier, IMO 9293583 | Vessel details*”. Digital. BalticShipping. 3 de julio de 2017. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9293583?utm>

BalticShipping. *ARCTICABORG, Offshore supply vessel, IMO 9184976*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9184976>

BalticShipping. *BalticShipping.com — Vessel IMO 9517886*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9517886?utm>

BalticShipping. *CAPT.JOHN, Tug boat, IMO 8896302 | Vessel details*. 23 de octubre de 2021.

Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025:
<https://www.balticshipping.com/vessel/imo/8896302?utm>

BalticShipping. *CROSBY COMMODORE, Tug boat, IMO 7507423*. 23 de enero de 2025.

Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025:
<https://www.balticshipping.com/vessel/imo/7507423?utm>

BalticShipping. *DON ALFREDO I, Tug boat, IMO 8873269 | Vessel details*. 2 de julio de

2025. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025:
<https://www.balticshipping.com/vessel/imo/8873269?utm>

BalticShipping. *Vessel / IMO 8213029*. 23 de julio de 2022. Obtenido en la Red Mundial el

27 de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/8213029?utm>

BalticShipping. *Vessel / IMO 8759152*. 2 de julio de 2017. Obtenido en la Red Mundial el 27

de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/8759152>

BalticShipping. *Vessel / IMO 9534078*. 2 de julio de 2023. Obtenido en la Red Mundial el 27

de Septiembre de 2025: <https://www.balticshipping.com/vessel/imo/9534078?utm>

Banco Mundial. (2025). *Port Reform Toolkit – Module 8: Environmental Sustainability*.

Washington, DC: Banco Mundial – Sector de Transporte / Medio Ambiente. Obtenido en la Red Mundial el 22 de Agosto de 2025:
https://documents1.worldbank.org/curated/en/099073025114570099/pdf/P176624-7f744870-850b-4ff9-9a13-e5d620525935.pdf?utm_

Blom, E. v. “*The future of dredging: sustainable vessels and equipment*”. Dredging Today, 4

de septiembre de 2017. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025:
<https://www.dredgingtoday.com/2017/09/04/the-future-of-dredging-sustainable-vessels-and-equipment/?utm>

BOA. *BOABARGE 43/44*. BOA , Ingenieria. Paraguay, 2021. Obtenido en la Red Mundial

el 27 de Septiembre de 2025: <https://cdn.prod.website->

files.com/65e5ae6bafba01929fc021a6/67161b0ecc61513b34b45bf5_Brochure%20BB%2043-44%20v2.pdf

Boloorch, M. “Climate change, decarbonization and smart grid”. *IEEE Smart Grid Bulletin*, 2021. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://smartgrid.ieee.org/bulletins/january-2021/climate-change-decarbonization-and-smart-grid>

Boluda Corporación Marítima. *CMM OAXACA*. 5 de junio de 2024. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.boluda.com.es/es/caracteristicas-buque/CMM%20OAXACA/>

Boluda. *Características del buque / CMM OAXACA*. 30 de diciembre de 2023. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.boluda.com.es/es/caracteristicas-buque/CMM%20OAXACA/>

Boluda. *Caractéristiques du bateau / CMM PAPALOAPAN*. 26 de Septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.boluda.com.es/fr/caracteristiques-du-bateau/CMM%20PAPALOAPAN/>

Bourbon. *Bourbon Liberty 150 Series Commercial Leaflet*. Nueva Zelanda: Bourbon, 2016. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.bourbonoffshore.com/sites/default/files/documents-associates/pdf/bourbon-liberty-150-series-commercial-leaflet.pdf?utm>

British Standards Institution (BSI). *PAS 2050:2011 – Especificación para la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el ciclo de vida de bienes y servicios*. Digital, 19 de octubre de 2011. Obtenido en la Red Mundial el 10 de Septiembre de 2025: <https://www.en-standard.eu/pas-2050-2011-specification-for-the-assessment-of-the-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-of-goods-and-services/>

Brodotogir. *Multi-purpose dry cargo ship of 9,800 dwt*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025:

<https://www.brodotrogir.hr/en/index.php/shipbuilding/projects/item/25-multi-purpose-dry-cargo-ship-of-9-800-dwt?utm>

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2024). *Ley General de Cambio Climático*. Ciudad de Mexico: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf>

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Digital. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 1988. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>

Carbon Trust. *Carbon Trust*. Digital, 7 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://www.carbontrust.com/es>

Carbon Trust. *Guides, reports and videos*. Digital, 11 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 11 de Septiembre de 2025: <https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/guides-reports-and-videos>

Carbon Trust. *Guides, reports and videos*. The Carbon Trust, 2025. Obtenido en la Red Mundial el 11 de Septiembre de 2025: <https://www.carbontrust.com/our-work-and-impact/guides-reports-and-videos>

CEMASTCO. *CM0972 MR1 Tankers IMO2 29,000 DWT/2005-2006 built for sale*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://cemastco.com/tanker-vessels-for-sale/mr-tankers-25-45-dwt/cm0972-mr1-tankers-imo2-29000-dwt-2005-2006-built-for-sale/>

Cepowski, T. “Regression formulas for the estimation of engine total power for tankers, container ships and bulk carriers on the basis of cargo capacity and design speed.” *Polish Maritime Research*, 26 (1), 105 (2019). Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: [//journal.mostwiedzy.pl/pmr/article/view/369](http://journal.mostwiedzy.pl/pmr/article/view/369)

ClassNK. “*ClassNK Register of Ships – M/S AMETHYST ACE (CNo. 083074)*”. Digital.

ClassNK. 6 de mayo de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: https://www.classnk.or.jp/register/regships/one_dsp.aspx?imo=9397999

ClassNK. “*ClassNK Register of Ships - M/S MARVELOUS ACE (CNo.060320)*”. Digital.

ClassNK. 7 de abril de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: https://www.classnk.or.jp/register/regships/one_dsp.aspx?imo=9293519&utm

ClassNK. *ClassNK Register of Ships – M/S CHICAGO HARMONY (CNo.153425)*. En línea.

Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: https://www.classnk.or.jp/register/regships/one_dsp.aspx?imo=9755696&utm

Clean Arctic Alliance. *What Types of Ships Use Heavy Fuel Oil in the Arctic?*. Obtenido en

la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: https://www.hfofreearctic.org/hrf_faq/types-ships-use-heavy-fuel-oil-arctic/?utm

Comisión Interamericana de Puertos (CIP). (s.f.). CIP. Obtenido en la Red Mundial el 09 de

Septiembre de 2025: <https://portalcip.org/>

Comisión Interamericana de Puertos. *Resumen Huella de Carbono: Puerto de Manzanillo,*

México 2013. Comisión Interamericana de Puertos, Manzanillo, 2015. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025: <https://portalcip.org/wp-content/uploads/2020/05/resumen-huella-de-carbono.pdf>

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD). (2022).

Informe sobre el transporte marítimo 2022: Panorama general. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD), División de Transporte Marítimo y Logística. Ginebra, Suiza: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Agosto de 2025: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022overview_es.pdf

Conoship International. *14,300 tdw Multipurpose vessel EasyMax*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.conoship.com/portfolio-item/14300-tdw-open-top-easymax/?utm>

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). (1997). *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Bonn, Alemania: Naciones Unidas. Obtenido en la Red Mundial el 08 de Septiembre de 2025: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC). (s.f.). *The Paris Agreement*. Obtenido en la Red Mundial el 08 de Septiembre de 2025: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. *Impulsando la descarbonización del sector marítimo-portuario en México, con un enfoque en el Puerto de Manzanillo*. WWF México / Coordinación General de Puertos y Marina Mercante. Ciudad de Mexico, 2023. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Agosto de 2025: <https://wwflac.awsassets.panda.org/downloads/reporte-impulsando-la-descarbonizacion-del-sector-maritimo-portuario-wwf-climateworks.pdf?utm>

Corbett, J. J. Marine Transportation and Energy Use. En C. J. Cleveland (Ed.), *Encyclopedia of Energy*, 746. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B012176480X001935?via%3Dihub>

Corporativo Costa Afuera. *Miss Monse*. Corporativo Costa Afuera (editor y productor), 18 de junio de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://ccocoa.com/en/miss-monse/?utm>

COTECMAR. *REMOLCADOR OFFSHORE*. 2023. Ingeniería. Colombia, 2023. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Septiembre de 2025: <https://www.cotecmar.com/sites/default/files/media/documentos/2023-12/remolcador.pdf>

-
- Crowley. *Platform Supply Vessel 6500 (SPS-30567) – Vessel Specifications*. Crowley, Seattle, WA, Estados Unidos, 2021. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.crowley.com/wp-content/uploads/sites/7/2021/02/SPS-30567.pdf>
- Delta Marine. *Bulk Carrier – 20,000 DWT*. Alemania: Delta Marine, 2017. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://deltamarine.com.tr/pdf/products/Merchant%20Ships/Bulk%20Carrier-20000DWT.pdf?utm>
- Delta Marine. *Bulk Carrier – 32,000 DWT*. Londres: Delta Marine, 2018. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.deltamarine.com.tr/pdf/products/arsiv/Bulk%20Carrier-32000DWT.pdf?utm>
- Delta Marine. *Oil & Chemical Tanker – 10,000 DWT*. Turquía: Delta Marine, 2016. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://deltamarine.com.tr/pdf/products/Merchant%20Ships/Oil%20Chemical%20Tanker-10000DWT-1.pdf?utm>
- Delta Marine. *Oil & Chemical Tanker – 15,000 DWT*. Turquía: Delta Marine, 2018. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.deltamarine.com.tr/pdf/products/Merchant%20Ships/Oil%20Chemical%20Tanker-15000DWT.pdf?utm>
- Delta Marine. *Oil & Chemical Tanker – 5,000 DWT*. Turquía: Delta Marine, 2015. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.deltamarine.com.tr/pdf/products/Merchant%20Ships/Oil%20Chemical%20Tanker-5000DWT.pdf?utm>
- DOF. *NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013*. En línea. Diario Oficial de la Federación, 4 de junio de 2013. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: https://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5303391

-
- DredgePoint. *Amazona PDT Attachment Equipment Spec Sheet*. Ingenieria. Italia, 2024. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Septiembre de 2025: https://dredgepoint.org/dredging-database/sites/default/files/attachment-equipment/amazone_pd.pdf?utm
- Dredgepoint. *Crestway - Trailing suction hopper dredgers - Equipment*. Dredging Database, 12 de noviembre de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://dredgepoint.org/dredging-database/equipment/crestway?utm>
- DredgePoint. *Crestway – Trailing suction hopper dredgers*. 12 de junio de 2023. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://dredgepoint.org/dredging-database/equipment/crestway?utm>
- Dredging. *The future of dredging: sustainable vessels and equipment*. 4 de septiembre de 2017. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.dredgingtoday.com/2017/09/04/the-future-of-dredging-sustainable-vessels-and-equipment/?utm>
- Dutch Dredging. *Technical Data Sheet Elbe*. Dutch Dredging, Canada, 2025. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.dutchdredging.nl/media/data-sheet-elbe-2025-eng.pdf?utm>
- Eas. *SPC-CHART-002 Eas Specifications Sheet – Revision 5.0*. Brasil: Eas, 2019. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://edtoffshore.com/storage/app/media/SPC-CHART-002%20Eas%20Specifications%20-%20Rev%205.0%20-%2029.09.2021.pdf?utm>
- Elkington, J. *Enter the Triple Bottom Line*. SustainAbility Ltd. Londres, Reino Unido, 2004. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://johnelkington.com/archive/TBL-elkington-chapter.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. *Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition*. Ellen MacArthur Foundation, 2015. Obtenido en la Red

Mundial el 07 de Septiembre de 2025:
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>

Emperinter. (2024, 7 de Julio). *Visualizing energy flow and emissions: The insightful power of Sankey charts in sustainable planning*. (SankeyMaster, Editor). Obtenido en la Red Mundial el 12 de Septiembre de 2025: <https://sankeymaster.com/visualizing-energy-flow-and-emissions-the-insightful-power-of-sankey-charts-in-sustainable-planning/>

EPA. *Technology Transitions GWP Reference Table*. Washington, D.C., Estados Unidos: Environmental Protection Agency (EPA), 2023. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.epa.gov/climate-hfcs-reduction/technology-transitions-gwp-reference-table>

EShipTrading. *SS93291*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://www.eshiptrading.com/SS93291.html?utm>

Expreso. *Inicia operaciones compañía marítima*. 7 de enero de 2017. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://expreso.press/2017/01/07/inicia-operaciones-compania-maritima/?utm>

Fakta. “*Future Way 2024*”. Digital. Fakta. 19 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: https://faktaomfartyg.se/future_way_2024.htm?utm

Ferus Smit. *14600 DWT*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.ferussmit.com/portfolio-item/14600-dwt/>

Ferus Smit. *23000 DWT*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.ferussmit.com/portfolio-item/23000-dwt/>

Ferus Smit. *8400 DWT*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://www.ferussmit.com/portfolio-item/8400-dwt/>

-
- Finn, R. “*Siem Confucius wins Shippax Deep-Sea Ro-Ro Environmental Award*”. Digital. Logistics Manager. 8 de noviembre de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: <https://logistics-manager.com/siem-confucius-wins-shippax-deep-sea-ro-ro-environmental-award/?utm>
- FKAB Marine Design. *Sirius T31 – 7990 DWT Oil & Chemical Tanker IMO II*. Uddevalla, Suecia: FKAB Marine Design, 2022. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.fkab.com/wp-content/uploads/2022/05/Sirius-T31-LOW.pdf?utm>
- GD Offshore. *TOG MOR*. Ingenieria. Turquia, 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.gdoffshore.com.mx/assets/files/Tog%20Mor.pdf?ut>
- GHG Protocol. (s.f.). *GHG Protocol*. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://ghgprotocol.org/>
- GHG Protocol. *GHG Protocol*. World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2025. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://ghgprotocol.org/>
- GHG Protocol. *Global Warming Potential Values*. Washington, D.C., Estados Unidos: World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2024. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2024-08/Global-Warming-Potential-Values%20%28August%202024%29.pdf>
- GHG Protocol. *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard, Revised Edition*. World Resources Institute (WRI) y World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Washington, D.C., 2004. Obtenido en la Red Mundial el 08 de Septiembre de 2025: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>

Gobierno de Mexico. (2015). *Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de México al Acuerdo de París*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Agosto de 2025: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/39248/2015_indc_esp.pdf

Gobierno de México. *Ficha técnica de CROSBY ADMIRAL*. 30 de junio de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/451125/ficha_tecnica_CROSBY_ADMIRAL.pdf?utm

Gobierno del Estado de Veracruz. *Veracruz, una década ante el cambio climático*. Universidad Veracruzana / Gobierno del Estado de Veracruz , Programa Estatal de Cambio Climático del Estado de Veracruz (PECC-UV). Xalapa, Veracruz, México, 2020. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Agosto de 2025: https://www.uv.mx/peccuv/files/2020/07/Veracruz-una-decada-ante-el-cambio-climatico.pdf?utm_source=

Hafen Hamburg. (2 de Enero de 2024). *Queen B III – Vessel Information*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.hafen-hamburg.de/en/vessels/queen-b-iii-46651/?utm>

Hafen Hamburg. “*Grande Portogallo*”. Digital. Hafen Hamburg. 23 de octubre de 2024. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.hafen-hamburg.de/en/vessels/grande-portogallo-3866/?utm>

Hafen Hamburg. “*Violet Ace*”. Digital. Hafen Hamburg. 27 de julio de 2015. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.hafen-hamburg.de/en/vessels/violet-ace-31282/?utm>

Hafen Hamburg. *Cinnamon*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://www.hafen-hamburg.de/en/vessels/cinnamon-46292/?utm>

-
- Hansen, Knud E. (2017). *Geared Cellular Container Feeder Vessel ECX-2300*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.knudehansen.com/wp-content/uploads/2017/10/Geared-Cellular-Container-Feeder-Vessel-ECX-2300-1288.04.pdf>
- Harrison, K. W. “High Density Alkyl Diamondoid Fuels Synthesized by Catalytic Cracking of Nonane and Heptane in the Presence of Adamantane”. *Energy & Fuels*, 32(7), 7786 (2018). Obtenido en la Red Mundial el 15 de Septiembre de 2025: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.energyfuels.8b00792>
- HEBO Maritiemservice. *HEBO-CB1 Construction Barge – Specs sheet_10*. Ingenieria. Rotterdam, Países Bajos, 2024. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: https://www.hebo-maritiemservice.nl/wp-content/uploads/2024/11/HEBO-CB1_Specsheet_10.pdf
- HF Offshore GmbH. *Flota offshore*. 1 de julio de 2023. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.hf-offshore.com/fleet/>
- HOMERE, Bourbon. *BOURBON HOMERE – DP2 PSV Technical Specifications*. Bourbon Offshore, Marseille, Francia, 2011. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.bourbonoffshore.com/sites/default/files/2021-08/bourbon-homere-dwt-dp2.pdf>
- Horizon Ship Brokers. *117m General Cargo Ship 2006 China DWT 7000*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://horizonship.com/ship/117m-general-cargo-ship-2006-china-dwt-7000/?utm>
- Horizon Ship Brokers. *117m General Cargo Ship 2006 China DWT 7000*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://horizonship.com/ship/117m-general-cargo-ship-2006-china-dwt-7000/?utm>
- Horizon Ship Brokers. *2 x 179m Bulk Carriers 2024 built China – DWT 40,200*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025:

<https://horizonship.com/ship/2-x-179m-bulk-carriers-2024-built-china-dwt-40200/?utm>

HSD MAN. “*Listado de vehículos*”. Digital. HSD MAN. 19 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: https://hsd-man.com/?list_22%2F24330.html=&utm

Huang, D. “Lifespan cost analysis of alternatives to global sulphur emission limit with uncertainties”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 235 (1), 10, enero 2021. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1475090220983140>

Ichsan, M. F. “Estimation and optimization of the voyage energy efficiency operational indicator (EEOI) on Indonesian sea tollway corridors.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, diciembre (2019), Vol. 673, No. 1, p. 012024. Obtenido en la Red Mundial el 5 de Septiembre de 2025: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/673/1/012024>

IMO. *Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)*. International Maritime Organization, Londres, Reino Unido, 2009. Obtenido en la Red Mundial el 08 de Septiembre de 2025: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Circ-684.pdf?utm_

iNautia. *Quicksilver Activ 805 Open 2023*. 12 de julio de 2023. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.inautia.com/boat/2023-quicksilver-activ-805-open-9217729/?utm>

INECC. *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles que se consumen en México*. Ciudad de México: INECC, 2014. Obtenido en la Red Mundial el 15 de Septiembre de 2025: <https://www.gob.mx/inecc/documentos/factores-de->

emision-para-los-diferentes-tipos-de-combustible-fosiles-que-se-consumen-en-mexico

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2013, 3 de agosto). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: <https://www.gob.mx/inecc/documentos/estrategia-nacional-de-cambio-climatico-vision-10-20-40>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2024). *Memoria Documental del INECC 2024*. Ciudad de México: Gobierno de México. Obtenido en la Red Mundial el 23 de Agosto de 2025: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/952824/01_2024_Memoria_Documental_del_INECC.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Digital. Gobierno de Mexico, 9 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: <https://www.gob.mx/inecc>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Agosto de 2025: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf?utm_

Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). (s.f.). *IPCC*. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: <https://www.ipcc.ch/>

Interlink Maritime. *39000 DWT Bulk Carrier – Pocket Plan*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: https://interlinkmaritime.com/wp-content/uploads/2018/05/39k_pocket_plan_r1.pdf?utm_

International Maritime Organization (IMO). (2009). *Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)*. Marine Environment Protection Committee (MEPC). Londres, Reino Unido: International Maritime Organization (IMO). Obtenido en la Red Mundial el 08 de Septiembre de 2025: https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Circ-684.pdf?utm_

International Maritime Organization (IMO). (2025, 08 de Septiembre). *GreenVoyage2050*. Obtenido en la Red Mundial el 08 de Septiembre de 2025: <https://greenvoyage2050.imo.org/>

International Organization for Standardization (ISO). *ISO 14067:2018*. Digital, 20 de agosto de 2018. Obtenido en la Red Mundial el 10 de Septiembre de 2025: <https://www.iso.org/standard/71206.html>

International Organization for Standardization (ISO). *ISO 14001 — Sistemas de gestión ambiental*. Digital, 15 de septiembre de 2015. Obtenido en la Red Mundial el 10 de Septiembre de 2025: <https://www.iso.org/es/norma/14001>

International Organization for Standardization (ISO). *ISO 14044:2006 – Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. Digital, 10 de julio de 2006. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3d74118-4c9f-4f3e-b556-11d704441abb/iso-14044-2006>

International Organization for Standardization (ISO). *ISO 14044:2006 – Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. Digital, 10 de julio de 2006. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3d74118-4c9f-4f3e-b556-11d704441abb/iso-14044-2006>

-
- International Organization for Standardization (ISO). *ISO 14064-1:2018 Greenhouse gases*. Digital, 1 de diciembre de 2018. Obtenido en la Red Mundial el 10 de Septiembre de 2025: <https://www.iso.org/standard/66453.html>
- International Organization for Standardization (ISO). *ISO 14067:2018 – GEI*. Digital, 20 de agosto de 2018. Obtenido en la Red Mundial el 10 de Septiembre de 2025: <https://www.iso.org/standard/71206.html>
- Intertug. *KIN*. Ingenieria. Colombia, 2012. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Septiembre de 2025: <https://www.intertug.com/Current/Eng/pdfs/itg-rmkin.pdf?utm>
- Intituto Mexicano del Transporte. *ESTUDIO DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMATICO EN LA LINEA DE PLAYA DEL PUERTO DE VERACRUZ*. Instituto Mexicano del Transporte. Queretaro, México, 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Agosto de 2025: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt652.pdf?utm>
- IPCC. *Glosario del Grupo de Trabajo I del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5)*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza, 2018. Obtenido en la Red Mundial el 06 de Septiembre de 2025: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf
- IPCC. (2006, 1 de enero). *2006 IPCC*. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. (IPCC, Editor). Obtenido en la Red Mundial el 11 de Septiembre de 2025: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- IPCC. (2014). *Resumen técnico del Grupo de Trabajo III. Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Quinta Evaluación (AR5)*. Ginebra: IPCC. Obtenido en la Red Mundial el 20 de Agosto de 2025: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5_SPM_TS_Volume_es-1.pdf?utm

-
- IPCC. (2019, 12 de Mayo). *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. (IPCC, Editor). Obtenido en la Red Mundial el 11 de Septiembre de 2025: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>
- IPCC. *Chapter 3: Chemical Industry Emissions — 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3: Industrial Processes and Product Use*. IPCC, Japón, 2006. Obtenido en la Red Mundial el 30 de Septiembre de 2025: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/3_Volume3/V3_3_Ch3_Chemical_Industry.pdf
- IPCC. *IPCC – Home*. Obtenido en la Red Mundial el 06 de Septiembre de 2025: <https://www.ipcc.ch/>
- Islam, M. R. y M. G. “Strategies to Reduce Carbon Footprint in Port and Terminal Operations: Evidence from a Developing Country.” *Journal of Agroforestry and Environment*, Julio (2022), Vol. 15, No. 1, p. 7. Obtenido en la Red Mundial el 04 de Septiembre de 2025: <https://jagroforenviron.com/strategies-to-reduce-carbon-footprint-in-port-and-terminal-operations-evidence-from-a-developing-country/>
- ISO. *ISO 14044:2006 – Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines*. International Organization for Standardization, 2006. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/b3d74118-4c9f-4f3e-b556-11d704441abb/iso-14044-2006>
- ISO. *ISO 14044:2006 – Gestión ambiental — Evaluación del ciclo de vida — Requisitos y directrices*. International Organization for Standardization, 2006. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://www.iso.org/cms/%20render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/03/84/38498.html>

-
- John Deere Power Systems. *PowerTech™ 6068TFM50 Diesel Engine: Marine Propulsion Engine Specifications*. John Deere Power Systems, Ingenieria. Waterloo, Iowa, EE.UU., 2017. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Septiembre de 2025: https://www.deere.com/assets/pdfs/common/industries/engines-and-drivetrain/specsheets/6068tfm50_c.pdf
- Knud E. Hansen. *24000 DWT Chemical Tanker (IMO II)*. Dinamarca: Knud E. Hansen, 2019. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.knudehansen.com/wp-content/uploads/2019/10/24000-DWT-Chemical-Tanker-IMO-II-0788.29.pdf>
- Kumar, N. (2020). Experimental studies to evaluate the combustion performance and emission characteristics of acetylene fuelled CI engine. *International Journal of Ambient Energy*, 41 (13), 1546. Obtenido en la Red Mundial el 30 de Septiembre de 2025: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01430750.2019.1709896>
- LA Carriers. *Karen Koby Spec Sheet*. Ingenieria. Larose, Louisiana, 2022. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.lacarriers.net/wp-content/uploads/2022/05/Karen-Koby-Spec-Sheet.pdf>
- Landfall Marine Contractors. *Technical details ISLE OF JURA*. 23 de septiembre de 2020. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.landfall.nl/wp-content/uploads/2020/09/Technical-details-ISLE-OF-JURA-1.pdf>
- Lebadevas, S. Investigation of Effect on Environmental Performance of Using LNG as Fuel for Engines in Seaport Tugboats, 2021. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(2), 123. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/2/123>
- Limarko. (2019). *m/v LIMARKO BREEZE 1 738 TEU*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.limarko.com/wp-content/uploads/2025/05/LIMARKO-BREEZE.pdf>

-
- Lin, C. (12 de Octubre de 2022). Verification of fuel consumption and carbon dioxide emissions under sulfur restriction policy during oceanographic navigation. *Applied Sciences*, 12 (1), 19. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/19/9857>
- Linde. *Factor Acetileno*. Madrid, España: Linde, 2021. Obtenido en la Red Mundial el 15 de Septiembre de 2025: [//www.linde-gas.es/wcsstore/ES_RES_Industrial_Gas_CatalogueAS/Attachment/hojas_tecnicas_producto/Acetileno_2.6_Absorcion%20Atomica.pdf](https://www.linde-gas.es/wcsstore/ES_RES_Industrial_Gas_CatalogueAS/Attachment/hojas_tecnicas_producto/Acetileno_2.6_Absorcion%20Atomica.pdf)
- Longva, T. *Finding the best design for a future-proof bulker*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.dnv.com/expert-story/maritime-impact/Finding-the-best-design-for-a-future-proof-bulker/>
- Marcellodesign. *FINN FALGOUT*. 20 de abril de 2022. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.marcellodesign.com/globaltowing/vessel-finn-falgout.php?utm>
- Marine Consultants. *Trader Brochure*. En linea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: https://www.marineconsultants.com/trader_brochure.html?utm
- MarineLink Intelligence. *DON ALFREDO 431*. 3 de agosto de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://intelligence.marinelink.com/vessels/vessel/don-alfredo-322635?utm>
- MarineLink. *Seacor Continues to Build Monohulls*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.marinelink.com/news/continues-monohulls326958?utm>
- Maritime Database. “*GRANDE TEXAS Vehicles Carrier, IMO 9796365, MMSI 247441100, Call Sign IBRB under the flag of Italy*”. Digital. Maritime Database. 19 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: <https://maritime-database.com/vessel.php?vid=80154&utm>

-
- Maritime Zone. *Single Engineer Vacancy – General Cargo Ship*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://maritime-zone.com/en/vacancy/139506?utm>
- Matthews, H. S., and Matthews, C. W. (2008). *Estimating carbon footprints with input-output models*. Carnegie Mellon University, Department of Civil and Environmental Engineering: International Input-Output Association (IIOA), Sevilla, España. Obtenido en la Red Mundial el 12 de Septiembre de 2025: https://www.iioa.org/conferences/intermediate-2008/pdf/1c1_Matthews.pdf
- Mazloomi, K. “Environmental and economic performance of biodiesel production from waste cooking oil and its application in diesel engines”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (1), 490 (2012). Obtenido en la Red Mundial el 15 de Septiembre de 2025: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112001220?via%3Dihub>
- Medina, M. Á. “*Así avanza la transición verde del sector marítimo en España: barcos con alas de avión, ferris eléctricos y puertos renovables.*” EL PAIS (sección Clima y Medio Ambiente), 10 de Marzo de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025: <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2025-03-10/asi-avanza-la-transicion-verde-del-sector-maritimo-en-espana-barcos-con-alas-de-avion-ferris-electricos-y-puertos-renovables.html>
- MEO Offshore. *MEO Ranger – Vessel Specifications Brochure*. MEO Group, Alemania, 2020. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.meogroup.com/wp-content/uploads/2020/03/VesselSpecsBrochure-MEO-Ranger.pdf?utm>
- Mitsubishi Heavy Industries. *Mitsubishi Marine Engine – S12R-T2MPTK (package)*. MHI Engine-Genset, 12 de septiembre de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://engine-genset.mhi.com/hubfs/00.%20Website/01.%20Marine/02.%20Product/Engine/00.%>

20Documents/Mitsubishi%20Marine%20Engine%20-%20S12R-
T2MPTK%28package%29.pdf?hsLang=en&utm

MundoMaritimo. *Mezclas de VLSFO: ¿Cómo es que pueden llegar a arruinar la maquinaria y el motor de un buque?*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/mezclas-de-vlsfo-como-es-que-pueden-llegar-a-arruinar-la-maquinaria-y-el-motor-de-un-buque>

Navie Capitani. *Cielo dei Maronti*. En línea, 2023. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://www.naviecapitani.it/gallerie%20navi/Bulk%20carrier/schede%20navi/C/CI/Cielo%20dei%20Maronti.htm?utm>

Naviera de Alvarado. *Remolcadores*. 10 de febrero de 2024. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://navieradealvarado.com.mx/en/remolcadores.html?utm>

NIZBA. *Nizba Brochure GALEM I*. Ciudad de México, México: NIZBA, 2021. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://nizba.com/docs/Nizba-Brochure-GALEM-I.pdf?utm>

Norden Ship Design House. *5000 DWT General Cargo*. Norden Ship Design House (editor y productor), 16 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.nordenshipdesign.com/5000-dwt-general-cargo/?utm>

Nystedt, E. *The transition to lower GWP refrigerants: Performance assessment of lower GWP refrigerants as drop-in replacements for R-134a in a combined heating and cooling application*. Lappeenranta, Finlandia: Lappeenranta–Lahti University of Technology, LUT School of Energy Systems, Department of Mechanical Engineering, 2022. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/163902/Nystedt%20Einar.pdf?sequence=5>

-
- Ochoa, R. “*Volkswagen encarga cuatro buques portacoches propulsados por GNL*”. Digital. Cadena de Suministro. 15 de julio de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: https://www.cadenadesuministro.es/noticias/volkswagen-encarga-cuatro-buques-portacoches-propulsados-por-gnl_1373847_102.html?utm
- OECD. (2022). *International trade during the COVID-19 pandemic: Big shifts and uncertainty*. Paris, Francia: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Obtenido en la Red Mundial el 22 de Agosto de 2025: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/03/international-trade-during-the-covid-19-pandemic-big-shifts-and-uncertainty_33e349d3/d1131663-en.pdf?utm_
- Offshore Towing. *Ficha técnica FINN FALGOUT*. 4 de abril de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://offshoretowing.com/files/spec-sheets/FINN%20FALGOUT.pdf>
- Ogbodo, P. G. (2019, 26 de Octubre). Carbon (CO₂) Footprint Determination: An Empirical Study of Families in Port Harcourt. *Journal of Physics: Conference Series (IOP Conference Series)*, 1299(1), 15. (IOP, Editor): <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1299/1/012019>
- ONU. *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020*. Naciones Unidas, 2020. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://argentina.un.org/es/105084-informe-de-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible-2020>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). “*Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.” Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU (UNDESA) – Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), 25 de Septiembre de 2015. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025: <https://sdgs.un.org/2030agenda>

-
- Organización Marítima Internacional (OMI). (2020). *Cuarto Estudio sobre los Gases de Efecto Invernadero 2020*. Londres, Reino Unido: Organización Marítima Internacional (OMI). Obtenido en la Red Mundial el 21 de Agosto de 2025: <https://www.imo.org/es/ourwork/environment/pages/fourth-imo-greenhouse-gas-study-2020.aspx>
- Organización Maritima Internacional (OMI). (2022, 15 de Septiembre). *Análisis actualizado del Anexo VI de MARPOL*. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025: <https://www.imo.org/es/mediacentre/pages/whatsnew-1754.aspx>
- Organización Maritima Internacional (OMI). “*Análisis actualizado del Anexo VI de MARPOL*.” Organización Maritima Internacional, 15 de Septiembre de 2022. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025: <https://www.imo.org/es/mediacentre/pages/whatsnew-1754.aspx>
- OSV Ijetty. *Coastal Vanguard*. 20 de noviembre de 2024. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://osv.ijetty.com/Vessel/coastal-vanguard/>
- Parrondo, J. R. “*Las leyes climáticas fuerzan la modernización de los puertos*.” EL PAIS, 27 de Octubre de 2024. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025: <https://elpais.com/extra/infraestructuras/2024-10-27/las-leyes-climaticas-fuerzan-la-modernizacion-de-los-puertos.html>
- Patricia, O. G. “Carbon (CO₂) Footprint Determination: An Empirical Study of Families in Port Harcourt”. *Journal of Physics: Conference Series*, 1299(1), 15, 2019. Obtenido en la Red Mundial el 07 de Septiembre de 2025: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1299/1/012019>
- Pirhadi, M. y K. T. “Criteria pollutant and greenhouse gas emissions from cargo handling equipment operating at the Ports of Los Angeles and Long Beach.” *Science of the Total Environment*, Marzo (2024), Vol. 927, Art. 172084. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969724022277?via%3Dihub>

PM Offshore. *Ficha técnica AHT GOLIATH*. 20 de julio de 2024. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: https://pmoffshore.com/Barcos/PMO_FichaBarcos_Goliath.pdf

PM Offshore. *Ficha técnica del L/P Lady Barbara*. PM Offshore, Italia, 2022. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: https://www.pmoffshore.com/Barcos/PMO_FichaBarcos_Barbara.pdf?utm

Pon Power B.V. *Cat 3516C-HD DITTA Marine Propulsion Engine 2525 bkW (3386 bhp) @ 1800 rpm – D-Rating – Keel Cooled – SCAC*. Pon Power B.V., Ingeniería . Barcelona, 2017. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.pon-cat.com/application/files/6615/8876/8054/0-DDS-3516C-PR-10010.pdf?utm>

Puertos del Estado. *Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono en puertos*. Ente Público Puertos del Estado, Área de Sostenibilidad, Madrid, 2020. Obtenido en la Red Mundial el 04 de Septiembre de 2025: <https://www.puertos.es/sites/default/files/2024-02/Guia%20Huella%20de%20Carbono%20-%20Puertos%20del%20Estado%20-%20Web.pdf>

Quicksilver Boats. *Activ 905 Weekend – Specifications*. 7 de septiembre de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.quicksilver-boats.com/uk/en/activ-905-weekend/specifications>

Raksha Sharma. *Marine Diesel Oil (MDO) Market Report | Global Forecast From 2025 To 2033*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://dataintel.com/report/marine-diesel-oil-mdo-market>

Raman, R. “Experimental Studies to Evaluate the Combustion, Performance and Emission Characteristics of Acetylene Fuelled CI Engine”. *International Journal of Ambient*

Energy, 43(10), 1546 (2019). Obtenido en la Red Mundial el 15 de Septiembre de 2025:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544223030153?via%3Dihub>

Redacción TLW. *Llega a Lázaro Cárdenas un nuevo remolcador*. 13 de Noviembre de 2019.

Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025:

<https://thelogisticsworld.com/historico/llega-a-lazaro-cardenas-un-nuevo-remolcador/>

Revista Ingeniería Naval. *Últimas entregas de los astilleros Damen*. 23 de mayo de 2022.

Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025:

<https://sectormaritimo.es/ultimas-entregas-de-los-astilleros-damen>

SAAM Towage. *SAAM Huasteca ya navega hacia Veracruz*. 8 de Enero de 2020. Obtenido

en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025:

<https://www.saam.com/blog/2020/01/08/saam-huasteca-ya-navega-hacia-veracruz/?utm>

SAAM Towage. *SAAM Towage sumará nuevo remolcador a su flota en el Puerto de*

Veracruz. 24 de septiembre de 2019. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre

de 2025: [https://www.saamtowage.com/blog/2019/09/24/saam-towage-sumara-](https://www.saamtowage.com/blog/2019/09/24/saam-towage-sumara-nuevo-remolcador-a-su-flota-en-el-puerto-de-veracruz-2/?utm)

[nuevo-remolcador-a-su-flota-en-el-puerto-de-veracruz-2/?utm](https://www.saamtowage.com/blog/2019/09/24/saam-towage-sumara-nuevo-remolcador-a-su-flota-en-el-puerto-de-veracruz-2/?utm)

Scheepvaart West. (21 de Agosto de 2020). *Sonderborg – IMO 9454242*. En línea. Obtenido

en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025:

<https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/containerships/10155-sonderborg-imo-9454242?utm>

Scheepvaart West. *Armia Krajowa - IMO 9708033*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el

16 de Septiembre de 2025: [https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/general-](https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/general-cargo/10364-armia-krajowa-imo-9708033)

[cargo/10364-armia-krajowa-imo-9708033](https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/general-cargo/10364-armia-krajowa-imo-9708033)

Scheepvaart West. *Retriever - IMO 8106991*. 7 de diciembre de 2013. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/tugs/3653-retriever-imo-8106991?utm>

Scheepvaart West. *Sunshine Ace – IMO 9338852*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/6986-sunshine-ace-imo-9338852?utm>

Scheepvaartwest. (1 de Marzo de 2022). *Brussels – IMO 9200691*. Digital. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/containerships/11366-brussels-imo-9200691?utm>

Scheepvaartwest. “*Autopride – IMO 9131955*”. Digital. Scheepvaartwest. 13 de agosto de 2013. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/66-autopride-imo-9131955?utm>

Scheepvaartwest. “*Drive Green Highway – IMO 9728069*”. Digital. Scheepvaartwest. 8 de mayo de 2022. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/11494-drive-green-highway-imo-9728069?utm>

Scheepvaartwest. “*Glovis Conductor – IMO 9293909*”. Digital. Scheepvaartwest. 18 de julio de 2017. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/7420-glovis-conductor-imo-9293909?utm>

Scheepvaartwest. “*Grande Sierra Leone – IMO 9437945*”. Digital. Scheepvaartwest. 10 de agosto de 2013. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/235-grande-sierra-leone-imo-9437945?utm>

Scheepvaartwest. “*Lake Taupo – IMO 9289908*”. Digital. Scheepvaartwest. 12 de julio de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/10910-lake-taupo-imo-9289908?utm>

Scheepvaartwest. “*Lake Wanaka – IMO 9432892*”. Digital. Scheepvaartwest. 2 de octubre de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/11106-lake-wanaka-imo-9432892?utm>

Scheepvaartwest. “*Supreme Ace – IMO 9610391*”. Digital. Scheepvaartwest. 6 de septiembre de 2015. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/5667-supreme-ace-imo-9610391?utm>

Scheepvaartwest. “*Viking Destiny – IMO 9728863*”. Digital. Scheepvaartwest. 18 de junio de 2019. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/car-carriers-ro-ro/9042-viking-destiny-imo-9728863?utm>

Scheepvaartwest. *Elbe - IMO 9452842*. 19 de agosto de 2024. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.scheepvaartwest.be/CMS/index.php/dredgers-workboats/12789-elbe-imo-9452842?highlight=WzIwMjRd&utm>

SEACOR Marine. *235 Class - L/B Caitlin*. 3 de enero de 2024. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://seacormarine.com/vessel/l-b-caitlin-235-class/?utm>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). *Desarrollo Portuario Sustentable*. Digital. Gobierno de Mexico, 9 de Septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: <https://www.sct.gob.mx/puertos-y-marina/fomento-y-administracion-portuaria/desarrollo-portuario-sustentable/>

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). *Reglamento de la Ley de Navegación y Comercio Marítimos*. Digital. Diario Oficial de la Federación, 4 de marzo de 2015. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5384263&fecha=04/03/2015#gsc.tab=0

Secretaría de Marina (SEMAR). (2024). *Estrategia de Descarbonización de Puertos*. Ciudad de México: Secretaría de Marina. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Agosto de 2025: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/924365/10062024_Descarbonizaci_n_de_Puertos_VF.pdf

Secretaría de Marina (SEMAR). *Descarbonización de puertos*. Digital. Gobierno de México, 2024. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/924365/10062024_Descarbonizaci_n_de_Puertos_VF.pdf

Secretaría de Marina (SEMAR). *Estrategia de Descarbonización de Puertos*. Secretaría de Marina (SEMAR), Coordinación General de Puertos y Marina Mercante, Ciudad de México, 2024. Obtenido en la Red Mundial el 05 de Septiembre de 2025: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/924365/10062024_Descarbonizaci_n_de_Puertos_VF.pdf

Secretaría de Marina. (s.f.). *Puertos*. En proyectos México. Gobierno de México (Editor). Obtenido en la Red Mundial el 23 de Agosto de 2025: https://www.proyectosmexico.gob.mx/como-invertir-en-infraestructura-en-mexico/ciclo-inversion/ciclos-puertos/?utm_

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *NOM-085-SEMARNAT-2011, Contaminación atmosférica: Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición*. Digital. Diario Oficial de la Federación, 2012. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025:

<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/680168/NOM-085-SEMARNAT-2011.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Digital. Diario Oficial de la Federación, 11 de marzo de 2022. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Digital. Gobierno de Mexico, 9 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 09 de Septiembre de 2025: <https://www.gob.mx/semarnat>

Sector Marítimo. “*Canopée, el primer carguero moderno, dedicado al transporte del cohete Ariane 6.*” *Sector Marítimo*, 11 de agosto de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 04 de Septiembre de 2025: <https://sectormaritimo.es/canopee-el-primer-carguero-moderno-dedicado-al-transporte-del-cohete-ariane-6>

SEMARNAT. *ACUERDO que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero*. Ciudad de Mexico: SEMARNAT, 2015. Obtenido en la Red Mundial el 15 de Septiembre de 2025: [//biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO3637.pdf](https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/DO3637.pdf)

SEMARNAT. *Registro Nacional de Emisiones*. Ciudad de Mexico, Mexico: SEMARNAT, 2025. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/registro-nacional-de-emisiones-rene>

Serviport. *Remolcador Doña Clary. Especificaciones técnicas*. Ciudad de Mexico, Mexico: Serviport, 2012. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025:

<https://serviportsa.com/wp-content/uploads/2022/12/REMOLCADOR-DONACLARY.pdf?utm>

ShipSelector. *2009 Built 29,000 DWT Bulk Carrier Vessel*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://shipselector.com/index.php/offers/sale/cargo-ship/bulk-carrier/16188-2009-built-29000-dwt-bulk-carrier-vessel?utm>

Shipseller. *35000 DWT Principal Dimensions*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: https://www.shipseller.net/1246-35000-dwt-principal-dimensions/details.html?utm#google_vignette

Shipyard. *Bulk / Container Carrier BULK & MULTIPURPOSE Builder / Yard No.: Shipyard 3*. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: https://docslib.org/download/13596502/bulk-container-carrier-bulk-multipurpose-builder-yard-no-shipyard-3#google_vignette

Shipyard. *Bulk / Container Carrier BULK & MULTIPURPOSE Builder / Yard No.: Shipyard 3*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: https://docslib.org/download/13596502/bulk-container-carrier-bulk-multipurpose-builder-yard-no-shipyard-3#google_vignette

Siem Shipping. “*Siem Aristotle Info Sheet I*”. Digital. Siem Shipping. 12 de marzo de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: <https://www.siemshipping.com/wp-content/uploads/2025/03/Siem-Aristotle-Info-Sheet-1.pdf?utm>

Siem Shipping. “*Siem Cicero Info Sheet*”. Digital. Siem Shipping. 12 de marzo de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://www.siemshipping.com/wp-content/uploads/2025/03/Siem-Cicero-Info-Sheet.pdf?utm>

Smart Freight Centre (SFC). *Global Logistics Emissions Council Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting (Versión 3.0, actualizado 13 de diciembre de*

-
- 2023). Digital. Smart Freight Centre, Ámsterdam, Países Bajos, 2023. Obtenido en la Red Mundial el 10 de Septiembre de 2025: https://smart-freight-centre-media.s3.amazonaws.com/documents/GLEC_FRAMEWORK_v3_UPDATED_13_12_23.pdf
- Smart Freight Centre. (2023). *GLEC Framework v3*. Ámsterdam, Países Bajos: Smart Freight Centre. Obtenido en la Red Mundial el 21 de Agosto de 2025: https://smart-freight-centre-media.s3.amazonaws.com/documents/GLEC_FRAMEWORK_v3_UPDATED_13_12_23.pdf
- Smart Freight Centre. *Global Logistics Emissions Council Framework for Logistics Emissions Accounting and Reporting*. Ámsterdam, Países Bajos: Smart Freight Centre, 2023. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: https://smart-freight-centre-media.s3.amazonaws.com/documents/GLEC_FRAMEWORK_v3_UPDATED_13_12_23.pdf
- Tugboat Information. *CROSBY COMMODORE*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://www.tugboatinformation.com/tug.cfm?id=2222&utm>
- TugboatInformation. *CAPT. JOHN*. 12 de enero de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://tugboatinformation.com/tug.cfm?id=6805&utm>
- TugboatInformation. *CROSBY COMMODORE*. 12 de julio de 2023. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.tugboatinformation.com/tug.cfm?id=2222&utm>
- TugboatInformation. *Lady Ora*. 28 de julio de 2022. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.tugboatinformation.com/tug.cfm?id=5534&utm>
- TugboatInformation. *LEO (IMO 9369215)*. 4 de abril de 2022. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://tugboatinformation.com/tug.cfm?id=1308&utm>

-
- TugboatInformation. *Miss Jean*. 12 de febrero de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.tugboatinformation.com/tug.cfm?id=13131&utm>
- TugboatInformation. *Miss Lis*. 13 de junio de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.tugboatinformation.com/tug.cfm?fs=&id=3710&utm>
- TugboatInformation. *SPARTAN SERVICE*. 3 de junio de 2022. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.tugboatinformation.com/tug.cfm?id=3121&utm><https://www.tugboatinformation.com/tug.cfm?id=3121&utm>
- UNAM. *Descripción técnica – Justo Sierra*. 2 de octubre de 2021. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://buques.cic.unam.mx/justo-sierra/descripcion-js/?utm>
- UNCTAD. (2022). *Port Management Review 2022: Overview of Current Policies and Practices*. Ginebra, Suiza: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. Obtenido en la Red Mundial el 22 de Agosto de 2025: https://unctad.org/system/files/official-document/dtlkdb2022d1_es.pdf
- United Offshore Support. *GH Atlantis (UT 786 CD) – Technical Specifications*. Leer, Alemania: UOS GmbH, 2022. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://uos.ag/wp-content/uploads/2022/10/UT-updated.pdf?utm>
- VesselFinder. “*WOLFSBURG, Vehicles Carrier - Detalles del buque y posición actual*”. Digital . VesselFinder. 18 de septiembre de 2023. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: <https://www.vesselfinder.com/es/vessels/details/9941790?utm>
- VesselsLink. *2020 Built 10000 DWT Bulk Carrier For Sale*. Obtenido en la Red Mundial el 16 de Septiembre de 2025: <https://vesselslink.com/products/2020-built-10000-dwt-bulk-carrier-for-sale?utm>

-
- VSLJOIN. (18 de Septiembre de 2025). *K BREEZE – Vessel Information*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: <https://vesseljoin.com/vessel/k-breeze/?utm>
- Wiedner. *GRAND NEPTUNE IMO No: 9303209 Car Carrier 2006 / 59217 GT*. Cargo Vessels International. Alemania, 2011. Obtenido en la Red Mundial el 18 de Septiembre de 2025: https://www.cargo-vessels-international.at/GRAND_NEPTUNE_IMO9303209.pdf?utm
- Witkowski, K. Research of the Effectiveness of Selected Methods of Reducing Toxic Exhaust Emissions of Marine Diesel Engines. 2020. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(6), 452. Obtenido en la Red Mundial el 27 de Septiembre de 2025: <https://www.mdpi.com/2077-1312/8/6/452>
- World Bank. (2020). *World Development Report 2020: Trading for Development in the Age of Global Value Chains*. Washington, DC: World Bank. Obtenido en la Red Mundial el 25 de Agosto de 2025: <https://ideas.repec.org/b/wbk/wbpubs/32437.html#author-abstract>
- World Ports. “*Low Emission Car Carriers for VW Trade*”. Digital. World Ports. 19 de septiembre de 2025. Obtenido en la Red Mundial el 19 de Septiembre de 2025: <https://www.worldports.org/low-emission-car-carriers-for-vw-trade/?utm>
- Worldoils Marketplace. *Handysize Bulk Carrier - 47,000 DWT - for Sale*. En línea. Obtenido en la Red Mundial el 17 de Septiembre de 2025: <https://worldoils.com/marketplace/equipdetails.php?id=669>

ANEXOS



Marina
Secretaría de Marina



Asunto: Liberación Asesor Externo

Xoyotitla, Mpio de Álamo Temapache, Ver., a (20 de diciembre de 2025)

MAYRA ALEJANDRA MORALES OROPEZA.

JEFA DEL DEPTO. DE RESIDENCIAS PROFESIONALES
Y SERVICIO SOCIAL
PRESENTE:

Por este conducto, le comunico que el(la) estudiante Fernando Cruz Bautista de la Carrera de Ingeniería Ambiental del Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache ha concluido satisfactoriamente su Residencia Profesional correspondiente al periodo (Agosto 2025-Enero 2026).

Resolviendo el problema de la carencia de un estudio comparativo, se analizó el desempeño del GHG Protocol frente al método Insumo-Producto y EEOI (IMO) con el desarrollo del proyecto ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA PORTUARIO NACIONAL TUXPAN, S.A. DE C. V. (ASIPONA): METODOLOGÍA GHG PROTOCOL VS. ADAPTACIÓN DEL MÉTODO INSUMO-PRODUCTO Y MÉTODO EEOI (IMO) PARA EMISIONES MARÍTIMAS.

Por tal motivo, la(el) residente queda liberado de toda responsabilidad en esta empresa.

Sin otro particular, quedo a sus apreciables órdenes.

Atentamente

Biol. Celia Guadalupe Padrón Valdez

Asesor Externo



2025
La Mujer
Indígena



**INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE ÁLAMO - TEMAPACHE**

Asunto: Liberación Asesor Interno

Oficio: Academia de Ing. Ambiental

Xoyotitla, Mpio de Álamo Temapache, Ver., a (05 de enero 2026)

ESTHER MORENO CARBAJAL
JEFE(A) DE CARRERA DE ING. AMBIENTAL
PRESENTE:

Por este conducto, le comunico que el(la) estudiante Fernando Cruz Bautista de la Carrera de Ing. Ambiental ha concluido satisfactoriamente su Informe Técnico de Residencia Profesional correspondiente al periodo (Agosto 2025 - Enero 2026), con el proyecto ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA HUELLA DE CARBONO DE LA ADMINISTRACIÓN DEL SISTEMA PORTUARIO NACIONAL TUXPAN, S.A. DE C.V. (ASIPONA): METODOLOGÍA GHG PROTOCOL VS. ADAPTACIÓN DEL MÉTODO INSUMO-PRODUCTO Y MÉTODO EEOI (IMO) PARA EMISIONES MARÍTIMAS.

de acuerdo a los lineamientos estipulados en el procedimiento de Residencias Profesionales.

Por tal motivo se autoriza una reproducción en formato electrónico.

Atentamente

Miguel Ángel López Velázquez

Aesor Interno

Docente

C.C.P. Mayra Alejandra Morales Oropeza/ Jefa del Dpto. de Residencias Profesionales y Servicio Social Interesado(a).