

Reducción de emisiones generadas por el movimiento de bienes en el transporte marítimo en América del Norte

*Directrices técnicas para la actualización
del inventario nacional mexicano de emisiones de
buques y el acopio de la información pertinente
disponible de Canadá y Estados Unidos*



cec.org

Citar como:

CCA (2018), *Reducción de emisiones generadas por el movimiento de bienes en el transporte marítimo en América del Norte: Directrices técnicas para la actualización del inventario nacional mexicano de emisiones de buques*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 34 pp.

El presente informe fue elaborado por Eastern Research Group, Inc. para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. La información que contiene es responsabilidad de los autores y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Se permite la reproducción de este material sin previa autorización, siempre y cuando se haga con absoluta precisión, su uso no tenga fines comerciales y se cite debidamente la fuente, con el correspondiente crédito a la Comisión para la Cooperación Ambiental. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo "Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada", de Creative Commons.



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2018

ISBN: 978-2-89700-246-6

Available in English – ISBN: 978-2-89700-245-9

Disponible en français (sommaire de rapport) – ISBN : 978-2-89700-247-3

Dépôt légal — Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018

Dépôt légal — Library and Archives Canada, 2018

Detalles de la publicación

Categoría del documento: Documento de orientación

Fecha de publicación: junio de 2018

Idioma original: inglés

Procedimientos de revisión y aseguramiento de la calidad:

Revisión final de las Partes: mayo de 2018; QA2018.0334

Proyecto: Plan Operativo 2017-2018: Reducción de la contaminación generada por el transporte marítimo. Documento originalmente elaborado bajo los Planes Operativos 2013-14 y 2015-16.

Si desea más información sobre ésta y otras publicaciones de la CCA, diríjase a:

Comisión para la Cooperación Ambiental

393 rue St-Jacques Ouest, bureau 200

Montreal (Quebec), Canadá, H2Y 1N9

Tel.: 514.350.4300 fax: 514.350.4314

info@cec.org / www.cec.org



Índice

Siglas, acrónimos y abreviaturas.....	iii
Sinopsis	iv
Advertencia	iv
Resumen ejecutivo	iv
1. Introducción.....	1
2. Puertos mexicanos y rutas de navegación	1
3. Tipos de buque.....	2
4. Metodología general para la integración de inventarios de emisiones de buques marinos	4
4.1 Recopilación de datos	7
4.1.1 Datos sobre puertos mexicanos.....	7
4.1.2 Datos del Sistema de Identificación Automática.....	12
4.2 Cálculos de emisiones.....	13
4.2.1 Ecuación básica para el cálculo del consumo de combustible y la generación de emisiones.....	13
4.2.2 Datos de actividad.....	14
4.2.3 Factores de emisión.....	15
4.2.4 Cargas de trabajo.....	16
4.3 Ajustes temporales.....	18
4.4 Asignaciones espaciales.....	18
5 Metodología para la integración de un inventario de emisiones generadas por equipo para manejo de carga	19
5.1 Equipo para manejo de carga.....	19
5.2 Censo de equipo.....	20
5.3 Modelo de emisiones NONROAD	22
5.4 Escalamiento de los resultados de NONROAD a otros puertos	22
6. Verificaciones de aseguramiento de la calidad	23
7. Documentación	24
8. Archivos de datos.....	24
9. Referencias	25
Apéndice A. Combustibles y factores de emisión.....	A-1

Lista de cuadros

Cuadro 1. Estándares de motores y combustibles de la Organización Marítima Internacional (OMI) (Anexo VI del Convenio Marpol).....	6
Cuadro 2. Características típicas de los buques en América del Norte	10
Cuadro 3. Cargas de trabajo típicas para motores auxiliares por tipo de buque	16
Cuadro 4. Factores de ajuste de emisiones para cargas de trabajo de menos de 20 por ciento...17	
Cuadro 5. Cargas de trabajo de motores auxiliares típicos por modo	18
Cuadro 6. Equipo para el manejo de carga y códigos de clasificación de fuente de la EPA asociados	19
Cuadro 7. Tonelaje de carga por puerto	20

Lista de gráficas

Gráfica 1. Puertos mexicanos y rutas de navegación	2
Gráfica 2. Tipos de buque que hacen escala en puertos mexicanos	3
Gráfica 3. Metodología recomendada para la integración del inventario de emisiones de buques de navegación marítima en México.....	5
Gráfica 4. Sistema de identificación automática.....	7
Gráfica 5. Ruta de los buques de Veracruz a Miami.....	9
Gráfica 6. Datos SIA para la bahía de Campeche provistos por Port Vision.....	12
Gráfica 7. Localización de los receptores de PortVision	13

Siglas, acrónimos y abreviaturas

CH ₄	metano
CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
COV	compuestos orgánicos volátiles
gas LP	gas licuado de petróleo
GNL	gas natural licuado
HC	hidrocarburo
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, también conocido como Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
kg	kilogramo
kW	kilovatio
kWh	kilovatio-hora
m	metros
Marpol	Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques
MMSI	identificador del servicio marítimo móvil (del inglés: <i>maritime mobile service identity</i>)
N ₂ O	óxido nitroso
NO _x	óxidos de nitrógeno
OMI	Organización Marítima Internacional
PM ₁₀	partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros
PM _{2,5}	partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micrómetros
ppm	partes por millón
PS	partículas suspendidas
Ro-Ro	buques de carga rodada (del inglés: <i>roll-on/roll-off vessels</i>)
SCR	reducción catalítica selectiva (del inglés: <i>selective catalytic reduction</i>)
SIA	Sistema de Identificación Automática
SIG	Sistema de Información Geográfica
SO ₂	dióxido de azufre
SO _x	óxidos de azufre
TPM	tonelaje de peso muerto
ULCC	transportador ultra grande de crudo (del inglés: <i>ultra large crude carrier</i>)
VHF	frecuencia muy alta (del inglés: <i>very high frequency</i>)
VLCC	transportador muy grande de crudo (del inglés: <i>very large crude carrier</i>)
ZCE	Zona de Control de Emisiones

Sinopsis

Las presentes directrices técnicas proporcionan un marco que facilitará a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) de México la integración, a partir de información local, de inventarios de emisiones de buques que representen con toda exactitud el tráfico doméstico e internacional de las embarcaciones que navegan en aguas territoriales mexicanas. Además de permitir cuantificar el consumo de combustible y las emisiones, la metodología recomendada en este documento toma en consideración iniciativas concebidas para mejorar la eficacia del combustible y reducir las emisiones generadas por buques mediante el uso de combustibles con bajo contenido de azufre, la adopción de controles complementarios y la instrumentación de cambios en las operaciones marítimas como la navegación lenta. En gran medida, la metodología aquí presentada se basa en datos específicos por buque a fin de obtener estimaciones de emisiones de la manera más precisa. Para información específica de cada buque, se requiere compilar información detallada de puertos de manera individual, así como reunir información a través del rastreo electrónico de las embarcaciones con base en el Sistema de Identificación Automática (SIA). El marco provisto en estas directrices puede aplicarse en la integración de inventarios de emisiones de buques para cualquier año de inventario, toda vez que se incluyen factores de emisión que representan lo mismo motores no controlados que aquellos que cumplen con disposiciones de zonas de control de emisiones (ZCE) en vigor y a formularse en un futuro. Resultado de una detenida evaluación de metodologías sobre calidad del aire en relación con emisiones de embarcaciones de Canadá, Estados Unidos y otras de alcance mundial, la metodología aquí presentada busca facilitar la obtención de estimaciones de consumo de combustible y emisiones de calidad comparable en el ámbito internacional.

Advertencia

Los datos presentados en este informe se obtuvieron de bases de datos y otras fuentes consultadas con anterioridad a diciembre 2014. Por ello, sus contenidos corresponden a los datos disponibles en ese momento y no reflejan revisiones ni actualizaciones que pudieran haberse hecho desde entonces. Antes de citar o utilizar la información presentada en este informe, se conmina a los lectores a considerar el carácter temporal de los datos fuente, y por ende de los hallazgos u observaciones basados en tales datos.

Resumen ejecutivo

En 2008 se adoptaron nuevas enmiendas al Anexo VI del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (Convenio Marpol), cuyo objetivo es prevenir la contaminación atmosférica por buques oceánicos. Como parte de estas enmiendas, un país (o grupo de países) puede proponer el establecimiento de una zona de control de emisiones (ZCE): un área de amortiguamiento a cierta distancia definida de la costa donde se aplican normas más estrictas en materia de emisiones. Estas normas contribuyen al control de las emisiones de óxidos de azufre (SO_x), partículas suspendidas (PS), y/o óxidos de nitrógeno (NO_x) dentro de la ZCE, así como a la reducción de la contaminación atmosférica transportada hacia áreas pobladas y la disminución de otros impactos ambientales como la deposición de contaminantes atmosféricos en el agua y el suelo. En 2009 Canadá y Estados Unidos, a los que posteriormente se sumó Francia, sometieron ante la Organización Marítima Internacional (OMI) una propuesta para el establecimiento de una zona de control de emisiones conjunta, conocida como la ZCE de América del Norte. Desde la creación de esta ZCE regional, el gobierno mexicano ha manifestado su compromiso de adherirse al Anexo VI del Convenio Marpol y crear una ZCE mexicana. Para lograrlo, México debe presentar a la OMI una propuesta de designación de una ZCE que muestre en qué forma el área propuesta cumple con los criterios previstos en el Anexo VI. En caso de que México tenga éxito, la ZCE de América del Norte ya establecida adquiriría un alcance realmente subcontinental, ya que incluiría las aguas territoriales de todos los países de la región.

Con miras a apoyar este objetivo, la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) lleva a cabo actualmente un proyecto cuyo objetivo es preparar los análisis técnicos adicionales requeridos para presentar la propuesta de designación de una zona de control de emisiones mexicana ante la OMI. Producto emanado de ese proyecto, las presentes directrices técnicas buscan apoyar iniciativas futuras de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) encaminadas a actualizar el inventario de emisiones con que ya se cuenta al facilitar la integración de los propios inventarios de emisiones de buques a partir de datos internacionales y mexicanos que resulten pertinentes. Asimismo, en el futuro será crucial que —junto con su adhesión al Anexo VI del Convenio Marpol y la creación de una ZCA— México cuente con capacidad para actualizar el inventario de emisiones de buques, de manera que éste sustente estrategias encaminadas a mitigar las emisiones de embarcaciones, así como para brindar —en combinación con información de Canadá y Estados Unidos— un panorama preciso del estado que guardan las emisiones de buques y sus tendencias a escala subcontinental.

Como parte de esta iniciativa, la Semarnat y la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) de Estados Unidos han colaborado con miras a producir un inventario nacional de emisiones de buques, para lo cual se han empleado estimaciones obtenidas a partir del Modelo de Tráfico de Buques, Energía y Medio Ambiente (*Ship Traffic, Energy and Environment Model*, STEEM). A fin de asegurar la exhaustividad del inventario, la metodología aquí presentada abarca todas las actividades de embarcaciones en aguas mexicanas. De esta forma, habrán de realizarse estimaciones para contaminantes de criterio básicos —monóxido de carbono (CO), NO_x, partículas suspendidas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 y 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5}), dióxido de azufre (SO₂) y compuestos orgánicos volátiles (COV)—, así como de los principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). La metodología recomendada para calcular las emisiones de buques de navegación marítima consiste en utilizar factores de emisión en función de la potencia de los motores, junto con perfiles de actividad para buques individuales. Ello supone reunir de entre puertos mexicanos datos detallados sobre los buques, así como recabar datos por medio del rastreo electrónico de embarcaciones del SIA, desde torres terrestres y satélites. Los datos de los buques se asocian con las características de cada embarcación, lo que permite determinar la propulsión y los atributos de los motores auxiliares, así como información sobre su tamaño y velocidad. La información relativa a las horas de operación en aguas mexicanas puede aplicarse a los valores de potencia nominal de los motores y los factores de carga apropiados para obtener la energía consumida en kilovatios-hora, valor que puede aplicarse a factores de emisión disponibles para estimar emisiones. Tal vez resulten necesarios algunos ajustes para dar cuenta del contenido de azufre en los combustibles y de la aplicación de dispositivos de control tales como filtros de tela y tecnología de reducción catalítica selectiva a fin de cumplir con los estándares de la OMI, y para reflejar cambios relacionados con la conservación de combustible o con la implementación de modalidades operativas como navegación lenta, etcétera.

Un elemento fundamental de la metodología recomendada estriba en la compilación de datos precisos sobre la actividad de los buques, lo que incluye dar cuenta de las embarcaciones que parten de puertos mexicanos y que participan en: 1) el tráfico interno, y 2) el tráfico internacional. Esto supone compilar los datos de identificación de los buques a fin de poder establecer una correspondencia con parámetros de operación de cada embarcación (por ejemplo, velocidad máxima del buque) y características de los motores (propulsión máxima, velocidad de los motores y potencia de motores auxiliares, entre otros), obtenidos de sociedades de clasificación como Lloyd's Register o American Bureau of Shipping. Los datos compilados sobre puertos deberán incluir también los puertos de escala previo y posterior para facilitar el mapeo de las rutas de navegación.

Además de la metodología para estimar las emisiones de buques de navegación marítima, las presentes directrices técnicas también incluyen algunas indicaciones sobre las verificaciones para el aseguramiento de la calidad que deberán instrumentarse, la documentación necesaria para permitir reproducir en forma independiente los cálculos realizados, y un resumen de problemas de formato en los datos de salida que necesitarán considerarse para permitir a otros utilizar los resultados obtenidos en otras aplicaciones.

1. Introducción

Las directrices técnicas aquí presentadas buscan facilitar a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) de México la integración de futuros inventarios de emisiones de buques. Tales inventarios utilizarían información local que representa con precisión el tráfico marítimo interno e internacional, además de permitir la cuantificación del consumo de combustible y las emisiones generadas, y dar cuenta de iniciativas mexicanas e internacionales que buscan reducir las emisiones de buques de navegación marítima mediante el consumo de combustibles de bajo contenido de azufre, instrumentar controles complementarios y aplicar cambios operativos como la navegación lenta.

En gran medida, la metodología presentada en estas directrices técnicas se basa en información específica de cada buque a fin de alcanzar la mayor precisión en la estimación de las emisiones. La obtención de información para cada buque requerirá de la recopilación de datos detallados de los puertos mismos, así como el acopio de información por medio del rastreo electrónico de embarcaciones del Sistema de Identificación Automática (SIA), desde torres terrestres y satélites.

Estas directrices técnicas se encuentran organizadas de la siguiente manera: en el apartado 2 se presenta información de antecedentes sobre puertos mexicanos y rutas de navegación; en el apartado 3 se analizan los diferentes tipos de buque que llegan a puertos mexicanos o transitan en aguas mexicanas; el apartado 4 plantea la metodología recomendada para el cálculo de las emisiones generadas por el transporte marítimo; en el apartado 5 se describe la metodología recomendada para el cálculo de las emisiones generadas por operaciones de manejo de carga; las actividades conducentes al aseguramiento de la calidad relacionadas con la generación de información para la integración de inventarios se presentan en el apartado 6; en el apartado 7 se aborda la problemática de documentación de la metodología para la integración de inventarios; la estructura general del conjunto de datos final se analiza en el apartado 8, y finalmente el apartado 9 incluye las referencias consultadas para la elaboración de este documento.

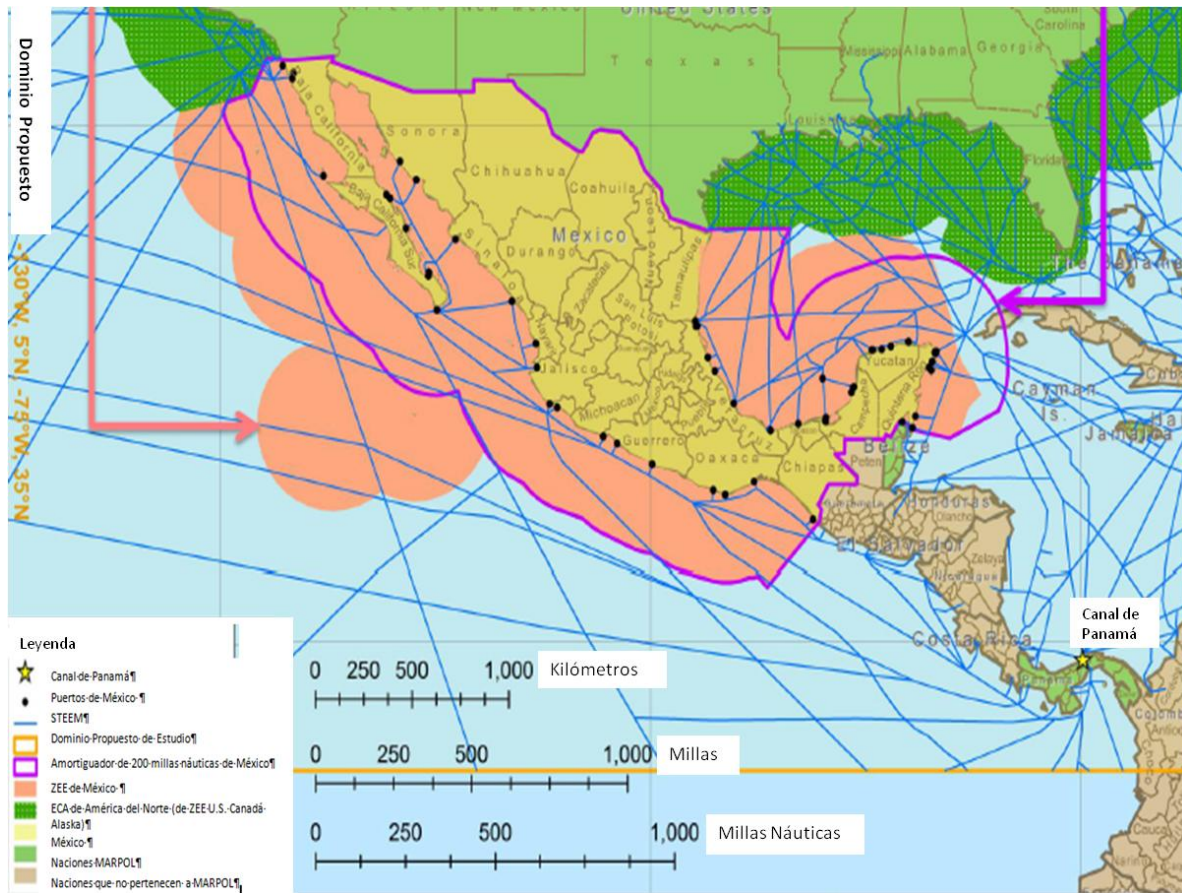
2. Puertos mexicanos y rutas de navegación

Un volumen considerable del tráfico de mercancías entre Asia y Sudamérica pasa por puertos y rutas navegables mexicanos o transitan en aguas mexicanas; ello comprende buques que salen desde el Canal de Panamá con destino a puertos en el golfo de México en Estados Unidos. En caso de llegar a crearse una zona de control de emisiones mexicana,¹ para integrarse a la ZCE de América del Norte, ésta comprendería entre 8 y 11 por ciento de la actividad de transporte marítimo en la región (Corbett y Silberman, 2013).

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México reúne información de 40 puertos de carga mexicanos (véase la gráfica 1) (Corbett y Silberman, 2013). Battelle Memorial Institute y Energy and Environmental Research Associates (EERA), bajo contrato con la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) de Estados Unidos, estimaron que los doce puertos principales representan 95% de las escalas portuarias y 94% de las emisiones asociadas con puertos (Boyle, 2014). De estos doce puertos, seis (81 por ciento del total de escalas de los buques) suministran actualmente aceite combustible pesado residual a los buques en escala, los cuales son primordialmente barcos que sirven al tráfico internacional de mercancías (por ejemplo, buques petroleros y portacontenedores).

¹ Se presume que la ZCE mexicana alcanzaría las 200 millas náuticas de la costa, al igual que la actual ZCE de América del Norte.

Gráfica 1. Puertos mexicanos y rutas de navegación



Fuente: Corbett y Silberman, 2013.

3. Tipos de buque

Las embarcaciones de navegación marítima prestan un amplio abanico de servicios, para los cuales se requieren muy diversos tipos de buque. En la gráfica 2 se muestra la distribución de los tipos de buque que se asocian con los 40 puertos mexicanos cubiertos en las presentes directrices técnicas.

Los estudios sobre buques marinos agrupan los diferentes tipos de unidad en diversas categorías. Para efectos de estas directrices técnicas, se recomiendan las categorías utilizadas en el modelo Gases de Efecto Invernadero, Emisiones Reguladas y Consumo de Energía en el Transporte (*Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation*, GREET) del Laboratorio Nacional de Argonne del Departamento de Energía de Estados Unidos (*U.S. Department of Energy, DOE*) a efectos de asegurar que los buques puedan empatarse fácilmente con los factores de emisión recomendados que se presentan en este documento (DOE, 2013). Estas categorías de buques incluyen las siguientes:

- Buques para transporte de automóviles
- Graneleros
- Buques portacontenedores
- Líneas de cruceros
- Transbordadores
- Barcos pesqueros
- Cargueros
- Buques de propiedad del Estado
- Buques tanque de gas natural licuado y gas LP
- Buques tanque petroleros y quimiqueros
- Buques frigoríficos
- Buques de carga rodada (Ro-Ro, por sus siglas en inglés)
- Buques de apoyo (fuera de la costa)
- Remolcadores
- Otros tipos de buque

Gráfica 2. Tipos de buque que hacen escala en puertos mexicanos



Fuente: Corbett y Silberman, 2013.

Entre los tipos de buque es posible considerar aún más diferenciaciones debido a su amplia gama de tamaños, incluida una variedad de tamaños estándar internacionales, a saber:

Aframax: Buques petroleros con un tonelaje de peso muerto (TPM) de entre 80,000 y 119,999 toneladas en los que se utiliza el sistema de análisis de tarifas promedio de flete (*Average Freight Rate Assessment*).

Capesize: Categoría que comprende los buques de carga muy grandes y ultragrandes con una capacidad de más de 150,000 toneladas de peso muerto.

Chinamax: Graneleros de grandes dimensiones (eslora máxima de 360 metros, manga de 65 m y calado de 24 m) con capacidad para entrar en puertos chinos.

Handymax y Supramax: Buques más pequeños que pueden entrar a la mayor parte de los puertos y canales (con capacidad de menos de 60,000 TPM).

Handysize: Similar al Handymax pero más pequeño (15,000 a 30,000 TPM).

Malaccamax: Representa el barco más grande que puede atravesar el estrecho de Malaca (eslora máxima de 400 m, manga de 59 m y calado de 14.5 m).

Panamax y New Panamax: Buques más grandes que pueden atravesar el canal de Panamá, incluido el canal recién ampliado (eslora máxima de 294.13 m, manga de 32.31 y calado de 12.04 m; New Panamax: eslora máxima de 427 m, manga de 55 m y calado de 18.3 m).

QMax: Buque tanque de gas natural licuado (GNL) que puede atracar en Catar (eslora máxima de 345 m, manga de 53.8, altura de 34.7 m y calado de 12 m).

Seawaymax: Barco más grande que puede atravesar la desembocadura del río San Lorenzo (eslora máxima de 225.6 m, manga de 23.8 m, altura de 35.5 m y calado de 7.92 m).

Suezmax: Embarcación más grande que puede atravesar el canal de Suez (calado máximo de 20.1 m con una manga máxima de 50 m, o un calado de 12.2 m con una manga máxima de 77.5 m).

VLCC y ULCC: Petroleros muy grandes y ultragrandes (VLCC: 180,000 a 320,000 TPM; ULLC: más de 320,000 TPM).

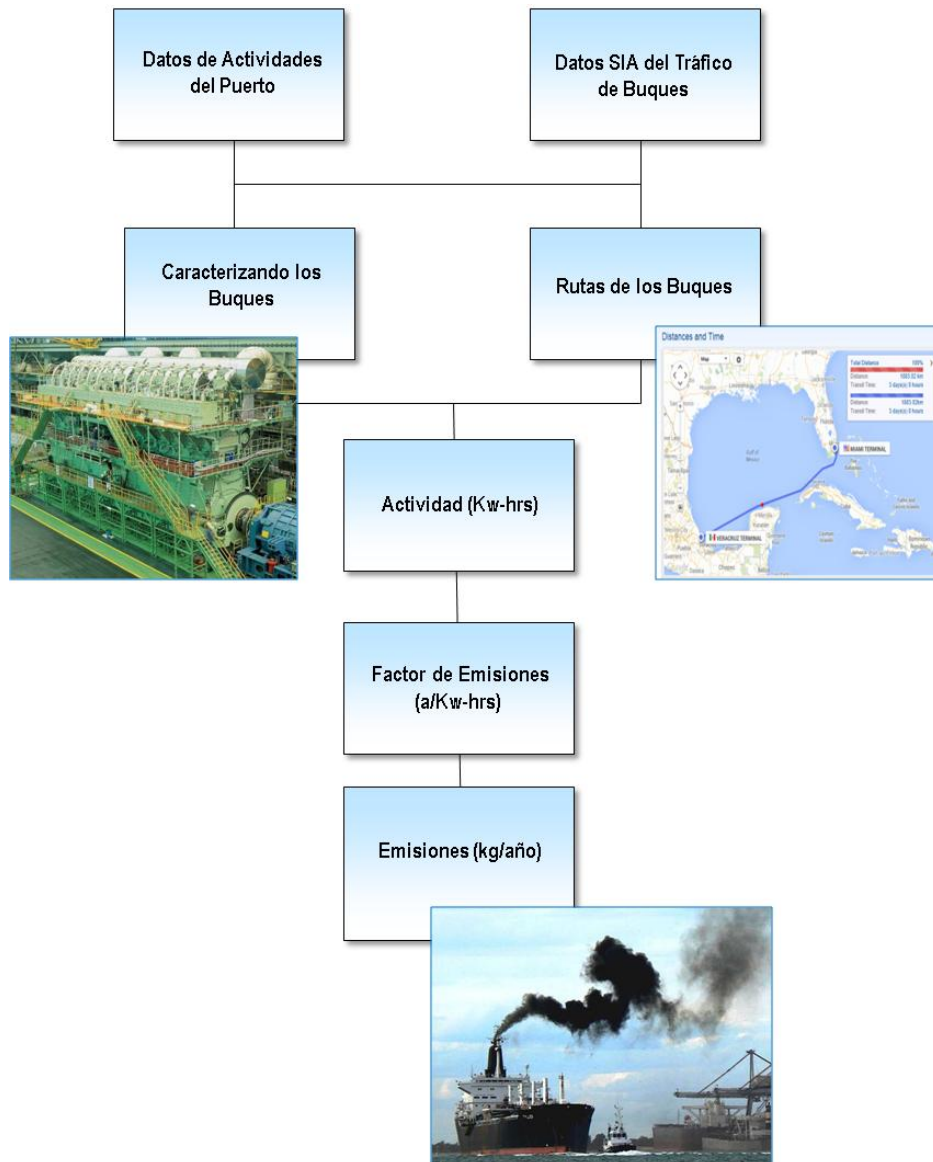
Las categorías de buques señaladas se derivan de información sobre las características de las embarcaciones proporcionada por sociedades de clasificación como Lloyd's Register y American Bureau of Shipping.

4. Metodología general para la integración de inventarios de emisiones de buques marinos

A fin de asegurar la exhaustividad del inventario de emisiones de buques marinos de México (y tomando como base la experiencia de Canadá y Estados Unidos), la metodología propuesta debe abarcar todas las actividades de embarcaciones en aguas mexicanas. Habrán de realizarse estimaciones tanto para contaminantes de criterio básicos —CO, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ y COV— como para los principales gases de efecto invernadero —CO₂, CH₄ y N₂O—; asimismo, si uno de los usos previstos de los datos del inventario es evaluar los impactos en la salud asociados con las actividades de buques marítimos, entonces deberán incluirse también contaminantes atmosféricos peligrosos.

La metodología recomendada para calcular las emisiones de buques de navegación marítima consiste en utilizar factores de emisión en función de la potencia de los motores, junto con perfiles de actividad para buques individuales. A fin de alcanzar la mayor precisión en las estimaciones de emisiones, esta metodología parte de información recopilada sobre cada buque. Ello supone reunir de entre puertos mexicanos datos detallados sobre los buques, así como recabar datos por medio del rastreo electrónico de embarcaciones del SIA, desde torres terrestres y satélites. Los datos de los buques se asocian con las características de cada embarcación, lo que permite determinar la propulsión y los atributos de los motores auxiliares, así como información sobre su tamaño y velocidad. La información sobre la velocidad de los buques permite calcular las horas de operación mientras se encuentran en aguas mexicanas. La información relativa a las horas de operación puede aplicarse a los valores de potencia nominal de los motores y los factores de carga apropiados para obtener la energía consumida en kilovatios-hora, valor que puede aplicarse a factores de emisión disponibles para estimar emisiones, como se resume en la gráfica 3.

Gráfica 3. Metodología recomendada para la integración del inventario de emisiones de buques de navegación marítima en México



A fin de calcular las emisiones de los buques marítimos, se utilizan factores de emisión basados en la potencia junto con perfiles de actividad para buques individuales utilizando la siguiente ecuación.

$$E = P \times FC/100 \times A \times FE \times FConv$$

Donde:

- E = Emisiones para un buque específico, con un motor específico (gramos/año)
- P = Potencia nominal máxima continua para buque i (kilovatios)
- FC = Factor de carga de trabajo (por ciento)
- A = Actividad (horas/año)
- FE = Factor de emisión (gramos por kilovatio-hora)
- FConv = Factor de conversión de gramos a toneladas

Los factores de emisión recomendados se presentan en el apéndice A. La selección del factor correcto reviste fundamental importancia para asegurar la precisión en las estimaciones de las emisiones. Tal vez resulten necesarios algunos ajustes para dar cuenta del contenido de azufre (bajo o ultrabajo) en los combustibles y de la aplicación de dispositivos de control tales como filtros de tela y tecnología de reducción catalítica selectiva (*selective catalytic reduction*, SCR) a fin de cumplir con los estándares de una zona de control de emisiones y de la Organización Marítima Internacional (OMI) (véase el cuadro 1), y también para reflejar cambios relacionados con la conservación de combustible o con la implementación de modalidades operativas como navegación lenta, o el uso de cometas de viento o velas, gas licuado de petróleo (gas LP) o electricidad fotovoltaica.

Cuadro 1. Estándares de motores y combustibles de la Organización Marítima Internacional (OMI) (Anexo VI del Convenio Marpol)

	Año	Contenido de azufre en el combustible	NO _x
En zonas de control de emisiones	2010	10,000 ppm	n-c
	2015	1,000 ppm	n-c
	2016	n-c	Nivel III (aplicación postratamiento)
Fuera de zonas de control de emisiones	Del presente a enero de 2011	n-c	Nivel I (controles basados en el motor)
	2011	n-c	Nivel II (controles basados en el motor)
	2012	35,000 ppm	n-c
	2020 ^a	5,000 ppm	n-c

^a Sujeto a un estudio sobre la disponibilidad de combustible en 2018; podrá extenderse hasta 2025.

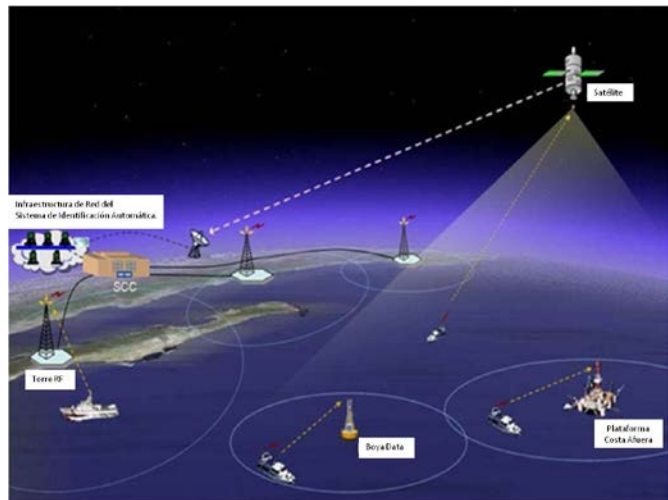
Un elemento fundamental para la adopción de la metodología recomendada estriba en la compilación de datos precisos sobre la actividad de los buques, lo que incluye dar cuenta de las embarcaciones que parten de puertos mexicanos y que participan en: 1) el tráfico interno (al navegar en aguas territoriales mexicanas) y 2) el tráfico internacional (fuera de aguas territoriales mexicanas). Esto supone compilar los datos de identificación de los buques a fin de poder establecer una correspondencia con parámetros de operación de cada embarcación (por ejemplo, velocidad máxima del buque) y características de los motores (propulsión máxima, velocidad de los motores y potencia de motores auxiliares, entre otros),

obtenidos de sociedades de clasificación como Lloyd's Register o American Bureau of Shipping. Los datos compilados sobre puertos deberán incluir también los puertos de escala previo y posterior para facilitar el mapeo de las rutas de navegación.

Asimismo, será necesario reunir información sobre embarcaciones que transitan en aguas territoriales, pero que no hacen escala en puertos mexicanos. A fin de dar cuenta de estos buques, se recomienda utilizar datos emanados del SIA. Los buques que participan en el SIA transmiten cada 2-10 segundos una señal a una torre costera, boya o plataforma en alta mar de muy alta frecuencia (VHF), o a un satélite (véase la gráfica 4). La transmisión permite identificar el buque; indica el tipo de embarcación de que se trata, y muestra su ubicación, velocidad, dirección y destino final. Los datos compilados a través del SIA permiten trazar mapas detallados de los movimientos de los buques.

Tanto en el caso de los buques que parten de o hacen escala en puertos mexicanos como de aquellos que únicamente navegan en aguas mexicanas, los códigos de identificación de cada unidad pueden asociarse con conjuntos de datos de sociedades de clasificación para obtener información sobre las embarcaciones y sus motores. Los datos relativos a las características de los motores se aplicarán a las horas de operación a fin de estimar el consumo energético en kilovatios-hora (kWh) para cada embarcación específica, mismo que se ajustará para dar cuenta de la carga de trabajo y para —combinado con los factores de emisión adecuados— estimar las emisiones totales de cada buque. Los datos SIA proveen la velocidad real de un buque a lo largo de un segmento de navegación, misma que, junto con la velocidad nominal máxima, podrá utilizarse para calcular la carga de trabajo.

Gráfica 4. Sistema de Identificación Automática



Con base en la velocidad real y nominal máxima de la embarcación en cuestión, esta metodología aporta información precisa sobre la carga de trabajo, y permite también la identificación de buques que operan con una carga igual o menor que 20 por ciento. Aunque los motores de diésel pueden operar con eficacia dentro de un amplio rango de cargas de trabajo, una vez que la carga de trabajo disminuye a menos de 20 por ciento, las emisiones aumentan porque el motor se encuentra operando fuera de su rango de diseño óptimo.

4.1 Recopilación de datos

A efectos de poder aplicar la metodología descrita en las presentes directrices técnicas, es preciso llevar a cabo tareas de recopilación de datos por separado para datos relacionados con puertos y aquellos relacionados con el SIA.

4.1.1 Datos sobre puertos mexicanos

Gran parte de los datos requeridos para estimar las emisiones de los buques que visitan puertos mexicanos puede obtenerse de la capitanía de los puertos o de un miembro del personal de las autoridades portuarias designado. Esta tarea incluye registrar la siguiente información:

- nombre del buque
- nombre del capitán
- código de identificación numérico asignado por la OMI
- número de identificación del servicio marítimo móvil (código MMSI, por sus siglas en inglés)
- señal distintiva de llamada
- matrícula de registro de buques mexicanos
- tipo de embarcación
- fecha y hora de llegada
- puerto de escala previo
- fecha y hora de salida
- puerto de escala siguiente

Idealmente, estos datos podrán recabarse con el operador del barco al momento de atracar en la terminal portuaria. Resulta de gran utilidad la creación de un sistema electrónico sencillo de base de datos que permita a cada autoridad portuaria asentar los datos recabados y almacenar los resultados en una unidad compartida o en la nube de manera que la Semarnat pueda consultarlos y utilizarlos en forma remota para el cálculo de las emisiones.

La combinación del nombre del buque, el nombre del capitán y los códigos de identificación permitirá diferenciar entre buques únicos y duplicados. Los códigos MMSI y las señales distintivas de llamada facilitan, además, la identificación de los buques que también aparecen en el conjunto de datos del SIA. Cabe tener en cuenta que, a fin de evitar un conteo doble de emisiones, es necesario eliminar tales embarcaciones de los datos del SIA. A menudo se observa que los buques que navegan aguas nacionales no cuentan con un código de identificación de la OMI, pero sí se encuentran incluidos en el Registro Público Marítimo Nacional (Ley de Navegación y Comercio Marítimos de 2006, capítulo II, artículo 7).

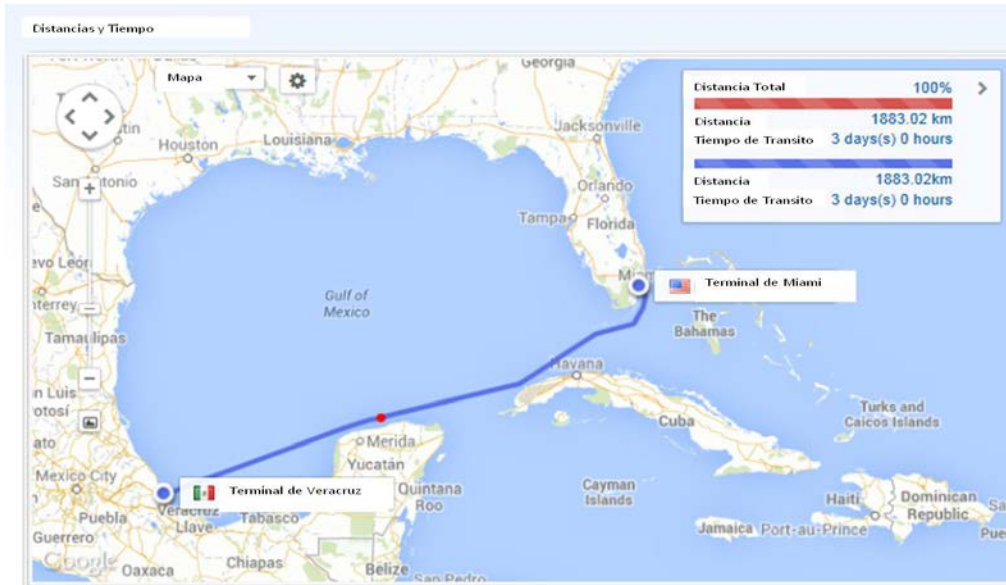
El identificador OMI permite asociar el barco con las características de la embarcación y las de sus motores, compiladas por sociedades de clasificación. Por lo general, al menos 95 por ciento de los buques que registran códigos de identificación OMI pueden combinarse en conjuntos de datos de clasificación con sus características de buque. Para los buques que no pueden combinarse, cabe la posibilidad de que se definan sustitutos por puerto con base en otros buques de tipo similar que visitan el puerto y para los que ya se han realizado combinaciones. Tenga en cuenta que es necesario contar con una suscripción a estas sociedades de clasificación para tener acceso a sus datos. Con frecuencia las sociedades de clasificación compilan datos de poca pertinencia para efectuar cálculos de emisiones. Entre los datos más pertinentes se incluyen los siguientes:

- nombre del buque
- identificación OMI
- señal distintiva de llamada
- año de fabricación
- marca y modelo del motor de propulsión
- potencia de propulsión máxima total
- marca y modelo de los motores auxiliares
- potencia auxiliar máxima total
- velocidad máxima del buque

La información sobre la velocidad del buque y los puertos de escala previo y siguiente serán de gran utilidad para trazar la ruta del buque en un mapa. Estas rutas podrán integrarse en forma de archivos de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (en formato *shape*), a partir de datos disponibles de rutas de buques pertenecientes a fuentes como SeaRates.com (<www.searates.com/reference/portdistance>).

La gráfica 5 muestra un ejemplo de la ruta de los buques de Veracruz, México, a Miami, Estados Unidos. A esta ruta en archivo *shape* pueden superponerse los límites territoriales de aguas mexicanas con el propósito de calcular la longitud del trayecto que tiene lugar en aguas mexicanas. Esta distancia puede dividirse entre la velocidad del buque para calcular las horas de operación en aguas mexicanas. A fin de calcular de manera precisa las horas de operación, deben efectuarse ajustes de velocidad para dar cuenta de los buques que operan en zonas de reducción de velocidad.

Gráfica 5. Ruta de los buques de Veracruz a Miami



Fuente: DOE, 2013.

En el caso de buques que operan entre dos puertos mexicanos, es importante evaluar con todo detenimiento los datos de la ruta para asegurar que no se compilen datos de actividad duplicados. Por ejemplo, un buque que se encuentre viajando de Tampico a Veracruz registrará a Veracruz como su próximo puerto de escala cuando zarpe de Tampico y, a su vez, registrará a Tampico como su puerto de escala previo cuando llegue a Veracruz. Esta información, junto con la fecha y hora de llegada y salida, es de suma utilidad para el control de la calidad de la integridad de los datos del puerto y podrá emplearse para verificar los cálculos de las horas de operación, pero será necesario considerar únicamente uno de estos tramos en el cálculo de las emisiones. Por regla general se recomienda que, cuando el puerto de escala siguiente sea nacional, se etiqueten estos tramos y no se utilicen en los cálculos de las emisiones. Obsérvese que datos como la fecha y hora de llegada y salida sirven para verificar la calidad del tráfico de buques y pueden utilizarse para cuantificar el tiempo que una embarcación permanece atracada en un puerto.

Para algunos buques como botes de pesca, transbordadores y buques de apoyo que circulan a poca distancia de la costa, los puertos de escala actual, previo y siguiente podrán ser el mismo porque normalmente estos buques operan a poca distancia y finalmente regresan al mismo puerto. En estos casos, los datos de salida y llegada pueden servir para calcular el tiempo que un buque pasa en el mar.

Como se señaló anteriormente, la potencia máxima (en kilovatios) del motor de un buque puede ajustarse para dar cuenta de la carga de trabajo, y aplicarse a las horas de operación y así obtener el consumo de energía en kilovatios-hora, datos que pueden aplicarse directamente a los factores de emisión. Además, el año de fabricación del buque ayuda a identificar los estándares de emisiones de motores de la OMI aplicables.

El tipo de buque constituye también un dato muy importante para confirmar que los datos de clasificación y OMI están asociados correctamente. La recopilación de los datos sobre el tipo de buque es necesaria para buques nacionales de menor tamaño que no cuentan con un código de identificación de la OMI y, por ello, tendrán que compararse con características genéricas de embarcaciones y motores para poder calcular las emisiones. Por lo general, entre los buques que carecen de códigos de la OMI se cuentan

buques de carga general, buques graneleros, remolcadores, transbordadores, buques del estado y barcos de pesca. Las presentes directrices técnicas proponen el uso de las características de los buques utilizadas en el modelo Gases de Efecto Invernadero, Emisiones Reguladas y Consumo de Energía en el Transporte (*Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation, GREET*) del Laboratorio Nacional de Argonne (véase el cuadro 2), hasta que puedan compilarse datos específicos para México.

Cuadro 2. Características típicas de los buques en América del Norte

Tipo de barco	Velocidad del motor	Calado (m)	Eslora (m)	Peso muerto (toneladas)	Total kW de los motores principales	Total kW de los motores auxiliares	Velocidad (nudos)
Granelero	Baja	12.33	193.31	58,151.07	8,756.41	320.22	14.33
Granelero	Media	8.59	123.09	20,552.71	4,874.65	310.01	13.49
Granelero	Alta	6.24	113.54	5,588.00	4,739.00	570.00	0.00
Buque para transporte de automóviles	Baja	9.01	–	15,433.07	9,697.20	–	18.13
Buque para transporte de automóviles	Media	9.42	–	16,519.00	10,863.00	–	18.00
Buque químico	Baja	11.20	169.23	36,410.95	8,317.31	606.17	14.55
Buque químico	Media	8.73	136.52	16,898.87	5,952.13	376.81	13.83
Buque químico	Alta	6.08	97.89	5,762.47	2,672.06	0.00	12.60
Contenedor	Baja	11.53	276.58	45,630.00	21,231.13	6,850.13	18.34
Contenedor	Media	6.25	118.60	6,533.00	5,400.00	1,475.00	15.90
Contenedor grande	Baja	12.71	256.97	57,950.83	39,711.08	1,026.26	23.36
Contenedor grande	Media	7.93	135.71	11,461.59	8,374.54	120.32	18.21
Draga	Media	8.41	124.01	9,950.00	10,150.00	0.00	15.00
Transbordador	Media	6.01		3,896.00	11,621.00		17.50
Transbordador	Alta	0.00	66.53	677.00	1,692.00	0.00	0.00
Pesquero	Baja	8.03	–	8,827.40	6,991.20	–	16.00
Pesquero	Alta	2.44	37.09	212.80	1,026.60	0.00	9.10
Carga general	Baja	10.52	154.16	31,702.11	8,469.52	254.75	14.89
Carga general	Media	7.44	123.09	9,798.98	4,801.79	430.93	14.41
Carga general	Alta	4.87	87.12	3,390.81	1,683.05	152.98	11.46
Remolcador integrado	Media	6.55	40.16	429.50	5,909.00	184.17	11.21

Cuadro 2. Características típicas de los buques en América del Norte

Tipo de barco	Velocidad del motor	Calado (m)	Eslora (m)	Peso muerto (toneladas)	Total kW de los motores principales	Total kW de los motores auxiliares	Velocidad (nudos)
Remolcador integrado	Alta	4.45	38.12	448.13	4,846.75	0.00	6.25
GNL	Baja	12.94	324.03	121,374.33	36,805.44	11,258.91	19.16
GNL	Media	11.30	253.35	69,113.08	31,869.27	2,843.09	18.88
GNL	Alta	11.70	284.30	79,275.30	28,274.90	1,799.40	19.35
Gas LP	Baja	10.47	170.42	28,379.57	9,445.17	1,062.40	16.15
Gas LP	Media	7.66	115.67	7,467.66	4,669.25	1,126.82	15.10
Apoyo mar adentro	Baja	6.90	89.96	3,266.00	11,840.00	0.00	16.00
Apoyo mar adentro	Media	6.66	108.00	6,470.77	12,036.10	187.76	13.68
Apoyo mar adentro	Alta	4.26	58.88	1,997.40	3,833.57	2.11	11.26
Otro	Baja	12.58	37.61	58,525.22	8,576.71	177.66	14.34
Otro	Media	5.91	109.17	3,939.20	6,072.27	111.15	13.87
Otro	Alta	4.59	70.65	2,178.58	3,888.49	0.00	11.73
De pasajeros	Baja	7.67	178.01	5,324.67	16,154.67	0.00	19.83
De pasajeros	Media	7.90	268.39	8,240.11	53,007.05	1,845.37	21.10
De pasajeros	Alta	7.35	250.25	9,278.74	57,682.84	1,502.11	21.44
Frigorífico	Baja	8.71	138.50	10,379.42	9,206.18	1,384.46	19.33
Frigorífico	Media	7.57	117.39	6,508.08	5,466.97	506.14	16.51
Frigorífico	Alta	7.11	109.01	6,124.50	4,044.00	879.00	16.00
Carga rodada	Baja	9.65	188.49	18,470.82	13,564.20	401.12	19.54
Carga rodada	Media	7.16	98.51	10,112.33	9,167.06	1,010.09	16.21
Carga rodada	Alta	3.27	73.94	1,887.10	4,012.80	87.06	13.65
Buque tanque	Baja	12.19		40,090.50	7,784.17		14.75
Buque tanque PanamaMax	Baja	13.08	202.45	60,085.65	10,599.56	674.57	14.90
Buque tanque PanamaMax	Media	8.64	146.82	20,375.29	6,261.33	605.80	13.85
Buque tanque PanamaMax	Alta	5.54	74.74	5,145.85	2,270.50	142.50	8.49
Buque tanque VLCC	Baja	15.53	249.26	125,089.78	14,930.74	805.60	15.04
Buque tanque VLCC	Media	11.37	99.55	72,117.20	10,215.20	0.00	13.98

Cuadro 2. Características típicas de los buques en América del Norte

Tipo de barco	Velocidad del motor	Calado (m)	Eslora (m)	Peso muerto (toneladas)	Total kW de los motores principales	Total kW de los motores auxiliares	Velocidad (nudos)
Buque tanque VLCC	Alta	2.88	47.27	730.00	536.00	0.00	9.00
Remolcador	Media	5.45	55.23	1,612.57	7,588.57	290.79	12.19
Remolcador	Alta	3.47	31.31	87.51	2,525.57	11.19	7.44

Nota: VLCC = *very large crude carriers* [transportador muy grande de crudo].

4.1.2 Datos del Sistema de Identificación Automática

Concebido para optimizar las operaciones de navegación y reducir las colisiones en el mar, el Sistema de Identificación Automática (SIA) también se emplea para monitorear las actividades de los buques pesqueros, mejorar las operaciones de búsqueda y rescate, mantener la seguridad costera y ayudar con las investigaciones relacionadas con accidentes. En apego a las disposiciones previstas en el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (Convenio SOLAS, por sus siglas en inglés) de la OMI, los buques de carga con un tonelaje bruto de más de 300 toneladas y todos los barcos de pasajeros deberán transmitir señales del SIA. Los buques de menos de 300 toneladas podrán participar en forma voluntaria en el SIA para mejorar la navegación y la seguridad. Se estima que en 2012 ya se habían instalado transceptores del SIA en unos 250 mil buques, y se anticipa que este número aumentará en forma considerable en respuesta a la instrumentación de nuevas disposiciones en el futuro.

Los buques que participan en el SIA transmiten cada dos segundos una señal que los identifica, muestra su ubicación actual y anterior, así como velocidad, dirección y destino actuales. Estas señales son recibidas por embarcaciones cercanas, torres terrestres de muy alta frecuencia (VHF, por sus siglas en inglés), plataformas marítimas, boyas y satélites. Las señales VHF se pueden extender hasta 60 millas [96.56 km] mar adentro. Las transmisiones de los buques aún más alejados pueden ser recibidas por satélites. La gráfica 6 presenta un ejemplo de datos SIA para la bahía de Campeche.

Gráfica 6. Datos SIA para la bahía de Campeche

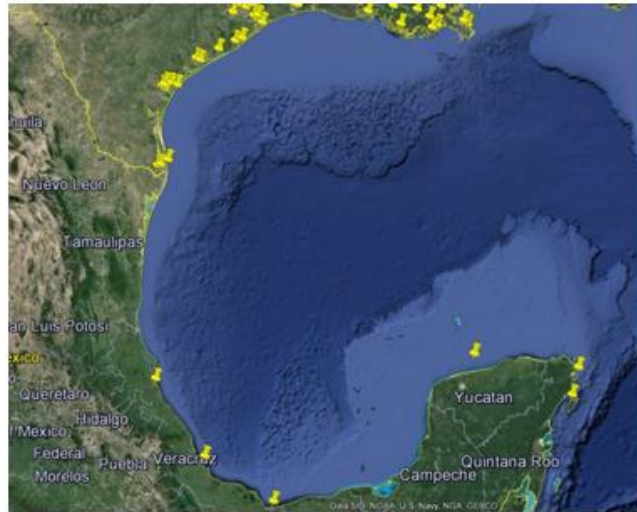


Fuente: PortVision.

Los datos SIA se han utilizado con éxito en estudios para integrar inventarios de emisiones al asociar los buques individuales con sus características, de la misma manera como las han recopilado las sociedades de clasificación para obtener datos sobre la potencia nominal de los motores de propulsión y auxiliares de los buques. El SIA también aporta datos sobre la ubicación anterior y actual del buque, así como su dirección y destino, lo que hace posible asignar a una embarcación un corredor marítimo adecuado. El SIA muestra los datos de la velocidad de los buques que pueden aplicarse a la distancia del corredor de navegación para determinar las horas de operación. La velocidad del buque también puede compararse con su velocidad máxima para calcular la carga de los motores. La combinación de la potencia nominal del motor con la carga de trabajo y horas de operación se traduce en kilovatios-hora, aplicables a los factores de emisión empleados para calcular las emisiones.

Una ventaja de los datos SIA es que permiten la inclusión de los buques que transitan en aguas mexicanas pero que no necesariamente entran en algún puerto mexicano. El sistema, sin embargo, también presenta limitaciones: el SIA genera grandes cantidades de datos (cada 2-10 segundos), que han de desglosarse en datos de movimientos de buques por hora y por día. Además, dado el rango limitado de las señales VHF, la capacidad es importante para tener acceso a una extensa red de receptores. Se recomienda recurrir a empresas de manejo de datos como PortVision para el procesamiento previo de los datos para aplicaciones de inventarios. Además de su experiencia en el desglose de datos SIA en intervalos de tiempo más convenientes, PortVision cuenta con un número creciente de sensores que dan servicio a puertos mexicanos (véase la gráfica 7).

Gráfica 7. Localización de los receptores de PortVision



Asimismo, en la actualidad, PortVision registra diariamente más de 50 millones de posiciones de buques en todo el mundo y cuenta con más de 30,000 millones de posiciones en su base de datos histórica. Téngase en cuenta que existen limitaciones con el componente satelital del SIA. Aunque cada receptor satelital tiene capacidad para rastrear un número limitado de buques y puede sobrecargarse en áreas de mucho tráfico, como el canal de Yucatán, se trata de un problema que ya se atiende con el incremento del número de satélites SIA en órbita, una mejor integración de datos terrestres y satelitales, y el uso de receptores de siguiente generación en los nuevos satélites.

4.2 Cálculos de emisiones

Sin importar si se utiliza información obtenida de los puertos o si se recurre a datos SIA para cuantificar el tráfico marítimo, los cálculos de las emisiones son similares: los datos de actividad se generan en términos de potencia ajustada que se aplica a los factores de emisión pertinentes, los cuales se combinan con los tipos de motor y el combustible usado.

4.2.1 Ecuación básica para el cálculo del consumo de combustible y la generación de emisiones

A fin de calcular el consumo de combustible y las emisiones generadas, los datos de actividad compilados se asocian con los factores de emisión en función del tipo de motor, el tamaño del motor general, el tipo

de combustible y el área de operación (por ejemplo, aguas estatales —sin zonas de control de emisiones—, zonas de reducción de velocidad, zonas de control de emisiones y aguas no sujetas a controles).

Como se señaló anteriormente, se calculan emisiones para todas las categorías de buques utilizando la siguiente ecuación:

$$E_{ijk} = A_{ij} \times LF/100 \times EF_k \times CF$$

Donde:

E_{ijk}	=	Emisiones para buque i, con motor k (gramos [g/marco temporal j])
A_{ij}	=	Actividad (kilovatios-hora por año)
FC	=	Factor de carga de trabajo (porcentaje)
FE_k	=	Factor de emisión del motor k (gramos por kilovatio-hora [g/kWh])
F_{Conv}	=	Factor de conversión (g = 1.10231 E-6 ton)
i	=	Para un buque específico (por ejemplo, buque “Mary Lou II” [OMI: 898765]) o un grupo de buques (por ejemplo, botes de pesca)
j	=	Marco temporal (por ejemplo, por hora, día, mes, año)
k	=	Tipo de motor (por ejemplo, motor de propulsión grande de velocidad media)

Para el cálculo de las emisiones en el área de embarque, se aplica la misma metodología, salvo que la potencia nominal utilizada corresponde al motor auxiliar, pero en caso de no indicarse éste, se utilizará el motor de propulsión presumiendo una carga de trabajo de 10 por ciento; las horas de operación podrán calcularse al restar el día y hora de llegada y el día y hora de salida.

Ejemplo de cálculo

El total de kilovatios-hora de operación de embarcaciones de apoyo en alta mar en aguas mexicanas sumó 912,492,000 kWh. El factor de la carga es 0.83 y el factor de emisión para NO_x es 14 g/kWh.

$$E = 912,492,000 \times 0.83 \times 14 \times 1.10231 \times 10^{-6}$$

$$E = 11,688 \text{ toneladas de } NO_x$$

4.2.2 Datos de actividad

La metodología recomendada requiere datos de actividad en términos de kilovatios por hora. La metodología empleada para calcular la actividad es diferente dependiendo de si se utilizan datos para un buque específico o si se recurre a datos para tipos de buque más genéricos.

A fin de calcular datos de actividad por buque, es necesario desagregar las rutas de los buques en: 1) aguas estatales (sin ZCE), 2) zonas de reducción de velocidad, 3) zonas de control de emisiones (ZCE) y 4) aguas no sujetas a controles, debido a que la velocidad o el tipo de combustible de cada buque (en ZCE = combustibles con bajo contenido de azufre) puede variar, lo cual afecta la forma en que las emisiones deben calcularse.

Las horas de operación se calculan al dividir la distancia dentro de la zona entre la velocidad promedio ajustada (92 por ciento de la velocidad máxima para velocidad normal de crucero o para operación de crucero en zonas de reducción de velocidad; si la velocidad máxima establecida para la zona de reducción de velocidad es menor que la velocidad de crucero, entonces la velocidad en la zona de reducción de velocidad deberá utilizarse para calcular el tiempo transcurrido dentro de esta zona). Algunos buques, como los grandes contenedores, podrán reducir en forma voluntaria su velocidad (lo que se conoce como

navegación lenta) a fin de disminuir la tasa de consumo de combustible. Para determinar el grado en que se aplica la navegación lenta, será razonable incorporar en las tareas de acopio de información relacionada con los puertos una pregunta sobre la aplicación de la navegación lenta al estar en aguas mexicanas.

Al igual que con la zona de reducción de velocidad, las horas de operación de los buques que aplican la navegación lenta podrán incrementarse para cuantificar de una manera más precisa estas actividades.

Las horas de operación en muelle podrán estimarse restando el día y la hora de llegada del día y la hora de salida.

A fin de estimar la actividad de una flota de buques para los cuales no se cuenta con datos por buque, será necesario calcular las horas de operación típicas por año de un buque de la flota en cuestión. La siguiente ecuación facilita el cálculo del total de horas:

$$A_i = PB_i \times TU_i \times NM_i \times P_i \times DO_i \times 24$$

Donde:

- A_i = Total de horas de operación por tipo de buque i en modo j
- PB_i = Población de tipo de buque i
- TU_i = Tasa de utilización para la flota de buques i
- NM_i = Número promedio de motores en el tipo de buque i
- P_i = Potencia nominal del motor típico para el tipo de buque i
- DO_i = Días de operación para el tipo de buque i
- 24 = Horas al día
- i = Tipo de buque (es decir, remolcadores o grúas, transbordadores, barcos pesqueros, al igual que buques de apoyo en alta mar, militares y de transporte marítimo de corta distancia)

A fin de calcular el total de horas de operación, se requiere contar con datos sobre el tipo de buque para facilitar la cuantificación de la potencia de la embarcación, mismos que podrán obtenerse con la aplicación de un cuestionario dirigido.

4.2.3 Factores de emisión

Los datos sobre la tasa de consumo de combustible y los factores de emisión de contaminantes de criterio (véase el apéndice A) se enumeran en términos de kilovatios-hora para:

- diferentes tipos de motor (es decir, diésel, turbinas de vapor y gas natural licuado);
- tamaño del motor (por ejemplo, pequeño = categoría 1; medio = categoría 2, y grande = categoría 3 de la EPA), y
- tipos de combustible: mezclas destiladas y residuales utilizados en aguas no sujetas a controles, y combustibles que acatan las normas de una ZCE.

La Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) de Estados Unidos define tres categorías para motores de propulsión principales y auxiliares de buques marinos: categoría 1 y 2 y categoría 3 (EPA, 2009). Los motores categoría 1 y 2 (utilizados por la mayoría de los buques de puerto y de pesca) corresponden a aquellos con una capacidad de entre cinco y 30 litros por desplazamiento del cilindro. Los motores categoría 3 (usados en buques oceánicos grandes) tienen una capacidad de más de 30 litros por desplazamiento del cilindro. Los motores categoría 3 son similares a los grandes motores de diésel generadores de energía eléctrica. Para fines de las presentes directrices técnicas, los factores de

emisión presentados corresponden a motores pequeños y medianos, que serían similares a los motores de categoría 1 y 2, y motores de mayor tamaño, similares a los motores categoría 3 de la EPA.

Los factores de emisión también se agrupan por tipo de combustible a partir de su contenido de azufre. Las tres categorías de combustibles líquidos corresponden a los tipos residual, destilado y mezcla residual de destilado bajo en azufre. Un combustible adicional que está comenzando a tener aplicación en buques marinos es el gas natural licuado (GNL).

El contenido de azufre en el combustible residual es de hasta 27,000 ppm; en el combustible destilado, conocido también como combustóleo destilado de uso marítimo, va de menos de 1,000 a 2,000 ppm, y las mezclas residuales de destilado bajo en azufre tienen un contenido de azufre de 5,000 ppm.

Para fines de las presentes directrices, los factores de emisión utilizados para motores alimentados con combustible residual se incluyen en el apéndice A bajo la designación “no controlados”. Esta designación hace referencia a los motores que no se sujetan a disposiciones reglamentarias vigentes; en cambio, los motores sujetos a las normas de la OMI (incluidos estándares aplicables lo mismo en aguas no sujetas a controles de emisiones que en zonas de control de emisiones o ZCE) que utilizan combustibles destilados se incluyen en los factores de emisión enumerados en el apéndice A bajo la designación de “controlados”.

4.2.4 Cargas de trabajo

Las cargas de trabajo se expresan como porcentaje de la potencia total de los motores de propulsión o auxiliares de un buque. La carga típica en fase crucero para motores de propulsión es de 83 por ciento. Gracias a que los datos del Sistema de Identificación Automática (SIA) comprenden las velocidades reales de los buques, es posible calcular las cargas de propulsión utilizando la siguiente ecuación:

$$FC = (VR/VM)^3$$

Donde:

- FC = Factor de carga (por ciento)
- VR = Velocidad real (nudos)
- VM = Velocidad máxima (nudos)

Cuando no se dispone de datos SIA, pueden emplearse factores de carga de 83 por ciento para la fase crucero normal y de 60 por ciento para operaciones dentro de una zona de reducción de velocidad o de navegación lenta. Las cargas de trabajo de los motores auxiliares varían en función del tipo de buque y el modo de operación, como se observa en el cuadro 3.

Cuadro 3. Cargas de trabajo típicas para motores auxiliares por tipo de buque

Tipo de embarcación	Modo de operación			
	Crucero	Zona de reducción de velocidad	En maniobra	Atracado
Transportador de automóviles	0.15	0.30	0.45	0.26
Granelero	0.17	0.27	0.45	0.10
Buque contenedor	0.13	0.25	0.48	0.19
Crucero	0.80	0.80	0.80	0.64

Tipo de embarcación	Modo de operación			
	Crucero	Zona de reducción de velocidad	En maniobra	Atracado
Carga general	0.17	0.27	0.45	0.22
Misceláneo	0.17	0.27	0.45	0.22
Remolcador OG	0.17	0.27	0.45	0.22
Buque de carga rodada	0.15	0.30	0.45	0.26
Buque frigorífico	0.20	0.34	0.67	0.32
Buque tanque	0.24	0.28	0.33	0.26

Como se indicó, es importante identificar los buques que operan con una carga igual o menor que 20 por ciento porque estas operaciones se asocian con mayores tasas de emisión debido a que los motores se encuentran operando fuera de su rango óptimo. Es posible ajustar las emisiones para dar cuenta de bajas cargas de trabajo con el uso de los factores de ajuste mostrados en el cuadro 4.

Cuadro 4. Factores de ajuste de emisiones para cargas de trabajo de menos de 20 por ciento

Carga	NO _x	HC	CO	PS	SO ₂	CO ₂
1%	11.47	59.28	19.32	19.17	5.99	5.82
2%	4.63	21.18	9.68	7.29	3.36	3.28
3%	2.92	11.68	6.46	4.33	2.49	2.44
4%	2.21	7.71	4.86	3.09	2.05	2.01
5%	1.83	5.61	3.89	2.44	1.79	1.76
6%	1.60	4.35	3.25	2.04	1.61	1.59
7%	1.45	3.52	2.79	1.79	1.49	1.47
8%	1.35	2.95	2.45	1.61	1.39	1.38
9%	1.27	2.52	2.18	1.48	1.32	1.31
10%	1.22	2.20	1.96	1.38	1.26	1.25
11%	1.17	1.96	1.79	1.30	1.21	1.21
12%	1.14	1.76	1.64	1.24	1.18	1.17
13%	1.11	1.60	1.52	1.19	1.14	1.14
14%	1.08	1.47	1.41	1.15	1.11	1.11
15%	1.06	1.36	1.32	1.11	1.09	1.08
16%	1.05	1.26	1.24	1.08	1.07	1.06
17%	1.03	1.18	1.17	1.06	1.05	1.04
18%	1.02	1.11	1.11	1.04	1.03	1.03
19%	1.01	1.05	1.05	1.02	1.01	1.01

Cuadro 4. Factores de ajuste de emisiones para cargas de trabajo de menos de 20 por ciento

Carga	NO _x	HC	CO	PS	SO ₂	CO ₂
20%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

A fin de cuantificar con mayor precisión las operaciones en aguas territoriales mexicanas, es posible generar datos representativos de carga de motor para unidades auxiliares mediante la aplicación de estudios preparados específicamente para México. En su defecto, en vez de utilizar tales estudios, pueden aplicarse los valores enumerados en el cuadro 5.

Cuadro 5. Cargas de trabajo de motores auxiliares típicos por modo

Tipo de embarcación	Crucero	Zona de reducción de velocidad	En maniobra	Atracado
Transportador de automoviles	0.15	0.30	0.45	0.26
Granelero	0.17	0.27	0.45	0.10
Barco contenedor	0.13	0.25	0.48	0.19
Crucero	0.80	0.80	0.80	0.64
Carga general	0.17	0.27	0.45	0.22
Misceláneo	0.17	0.27	0.45	0.22
Remolcador OG	0.17	0.27	0.45	0.22
Buque de carga rodada	0.15	0.30	0.45	0.26
Buque frigorífico	0.20	0.34	0.67	0.32
Buque tanque	0.24	0.28	0.33	0.26

4.3 Ajustes temporales

La aplicación de la metodología recomendada permite la generación de estimaciones anuales de emisiones. Con base en la fecha y hora de llegada y salida de conjuntos de datos portuarios o del SIA, es posible calcular emisiones por mes, día y hora. Estas asignaciones temporales pueden servir para obtener estimaciones por temporada, diurnas o por hora para su aplicación en actividades de modelización local o regional.

4.4 Asignaciones espaciales

A fin de representar visualmente las emisiones en aguas mexicanas, éstas podrán asignarse espacialmente a los límites de las aguas territoriales de México a partir de información de rutas compilada por los puertos o el SIA. Las emisiones por ruta podrán asociarse directamente con las rutas de navegación

utilizando tablas de atributos SIG. Por su parte, las emisiones por puerto podrán aplicarse directamente a puertos de escala de manera individual.

Es posible intersecar espacialmente las rutas con los límites marítimos y calcular la longitud de cada segmento. Para calcular las emisiones en curso a lo largo de cada ruta y segmento de límite de aguas, basta con multiplicar las emisiones a lo largo de cada ruta por la proporción de la ruta total representada por cada segmento, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$EmLM = EmR \times ((LongR_i S_j) / \Sigma (*LongR_i S_j))$$

Donde:

EmLM	=	Emisiones en curso por límite marítimo de México (toneladas/año)
EmR	=	Emisiones en curso por ruta (toneladas/año)
LongR _i S _j	=	Longitud del segmento para límite marítimo j para ruta especificada i (km)

Los porcentajes de asignación derivados para emisiones han de aplicarse a datos de actividad y combustible a fin de asegurar que los datos de las emisiones guarden congruencia con los datos de actividad en términos del límite marítimo individual en curso. Después de su procesamiento, los datos de emisiones y actividad deben integrarse en términos del límite marítimo individual en curso a fin de proporcionar las emisiones totales por límite de aguas.

5 Metodología para la integración de un inventario de emisiones generadas por equipo para manejo de carga

5.1 Equipo para manejo de carga

En términos generales, en los puertos se utiliza equipo específicamente diseñado para estibar y desestibar el contenido de los buques marinos. En el cuadro 6 se presenta una lista de equipo para el manejo de carga que normalmente puede encontrarse en los puertos.

Cuadro 6. Equipo para el manejo de carga y códigos de clasificación de fuente de la EPA asociados

Equipo	Tipo de motor	Asignación CCF	Descripción CCF
Tractor de patio	Gasolina	2265003070	Tractores de terminal de cuatro tiempos
Montacarga	Propano	2267002057	Montacarga de gas LP para terreno escarpado
Tractor	Propano	2267002066	Tractores, cargadoras y retroexcavadoras de gas LP
Barredora	Propano	2267003030	Barredoras y depuradores de gas LP
Misceláneo	Propano	2267003050	Otro equipo de gas LP para manejo de materiales
Tractor de patio	Propano	2267003070	Tractores de terminal de gas LP
Excavadora	Diésel	2270002036	Excavadoras de diésel
Grúa	Diésel	2270002045	Grúas de diésel
Grúa tipo RTG*	Diésel	2270002045	Grúas de diésel
Camión	Diésel	2270002051	Camiones todoterreno de diésel
Apilador de alcance	Diésel	2270002057	Montacarga de diésel para terreno escarpado
Cargadora	Diésel	2270002060	Tractor de carga de diésel con neumáticos de caucho

Cuadro 6. Equipo para el manejo de carga y códigos de clasificación de fuente de la EPA asociados

Equipo	Tipo de motor	Asignación CCF	Descripción CCF
Tractor	Diésel	2270002066	Tractores, cargadoras y retroexcavadoras de diésel
Buldócer	Diésel	2270002069	Tractor de orugas o buldócer de diésel
Cargador de dirección deslizante	Diésel	2270002072	Cargador de dirección deslizante de diésel
Cesta elevadora	Diésel	2270003010	Cesta aérea de diésel
Montacarga	Diésel	2270003020	Montacarga de diésel
Carretilla contenedores lateral	Diésel	2270003020	Montacarga de diésel
Carretilla contenedores frontal	Diésel	2270003020	Montacarga de diésel
Barredoras	Diésel	2270003030	Barredoras y depuradores de diésel
Manipulador de materiales	Diésel	2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales
Misceláneo	Diésel	2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales
Tractor de patio, todoterreno	Diésel	2270003070	Tractores de terminal de diésel
Encarrilador	Diésel	2285002015	Equipo de diésel para mantenimiento de ferrocarriles

* Grúa pórtico sobre neumáticos (RTG, por sus siglas en inglés).

El equipo para manejo de carga funciona por combustión de combustibles a base de petróleo, como gasolina, diésel y propano. La quema de estos combustibles emite contaminantes de criterio, gases de efecto invernadero y compuestos tóxicos.

5.2 Censo de equipo

A efectos de asegurar la máxima precisión en la generación de estimaciones de las emisiones de equipos para el manejo de carga, se recomienda levantar un censo de las unidades que permita cuantificar el equipo utilizado en puertos mexicanos que manejan dos millones de toneladas o más de carga al año. El cuadro 7 presenta la lista de puertos y el tonelaje de carga correspondiente a 2010 manejado en cada uno, proporcionada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2014).

Cuadro 7. Tonelaje de carga por puerto

Nombre del puerto	Tonelaje de carga (2010)
Cayo Arcas, Campeche	48,664,121
Manzanillo, Colima	17,791,133
Veracruz, Veracruz	15,327,690
Altamira, Tamaulipas	15,071,869
Isla Cedros, Baja California	13,633,266
Salina Cruz, Oaxaca	13,164,629
Tuxpan, Veracruz	11,064,560

Cuadro 7. Tonelaje de carga por puerto

Nombre del puerto	Tonelaje de carga (2010)
Dos Bocas, Tabasco	9,232,219
Playa del Carmen, Quintana Roo	8,481,443
Lázaro Cárdenas, Michoacán	8,015,297
Guerrero Negro, Baja California Sur	6,900,032
Guaymas, Sonora	5,663,535
Topolobampo, Sinaloa	5,124,244
Ensenada, Baja California	4,982,776
Coatzacoalcos, Veracruz	4,401,188
Progreso, Yucatán	4,355,061
Tampico, Tamaulipas	4,328,498
La Paz, Baja California Sur	4,281,972
Mazatlán, Sinaloa	3,173,951
Rosarito, Baja California	2,528,348
Isla San Marcos, Baja California Sur	916,683
Campeche, Campeche	861,980
Cozumel, Quintana Roo	767,579
Acapulco, Guerrero	592,514
Puerto Libertad, Sonora	587,503
El Sauzal, Baja California	356,691
San Carlos, Baja California Sur	171,066
Puerto Morelos, Quintana Roo	63,123
Puerto Chiapas, Chiapas	44,179
Santa Rosalía, Baja California Sur	35,886
Isla Holbox, Quintana Roo	28,760
Ciudad del Carmen, Campeche	9,306
San Felipe, Baja California	517
Frontera, Tabasco	128
Total	210,621,747

En el caso de los puertos de mayor tamaño, resaltados en verde en el cuadro 7, se recomienda levantar un censo del equipo para el manejo de carga de manera que contenga los siguientes elementos:

- tipo de equipo;
- número de unidades en operación;
- antigüedad de cada unidad;
- tipo de combustible asociado con cada unidad;
- contenido de azufre en el combustible utilizado por el equipo para el manejo de carga;
- potencia nominal de cada unidad;
- horas de operación al año;
- cargas de trabajo típicas, y
- dispositivo de control aplicado a cada unidad.

5.3 Modelo de emisiones NONROAD

La información emanada de los censos descritos en el apartado 5.2 podrá compilarse en un archivo de entrada a aplicarse en el modelo de estimación de emisiones NONROAD de la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency, EPA*) de Estados Unidos. Concebido para trabajar con Windows 98 y versiones más recientes, el modelo NONROAD 2008 sirve principalmente a profesionales de la modelización de fuentes móviles para estimar inventarios de contaminantes atmosféricos. El modelo NONROAD permite calcular inventarios de emisiones (es decir, toneladas de contaminantes) pasados, presentes y futuros para todas las categorías de equipo que no circula por carretera, a excepción de navíos mercantes, locomotoras y aeronaves. Los tipos de combustible incluidos en el modelo son: gasolina, diésel, gas natural comprimido y gas licuado de petróleo. El modelo permite calcular emisiones de combustión y evaporación de hidrocarburos (HC), CO, NO_x, PS, SO₂ y CO₂. Obsérvese que, de ser necesario, las emisiones de HC y PS estimadas a partir del modelo NONROAD pueden especiarse en contaminantes atmosféricos tóxicos.

Es preciso tener en cuenta, asimismo, que para el modelo NONROAD se requieren también entradas sobre el estado del tiempo típico de cada puerto.

5.4 Escalamiento de los resultados de NONROAD a otros puertos

En los casos en que no se pueden obtener datos para cada puerto en específico o para puertos más pequeños (resaltados en color café en el cuadro 7) para los cuales no es razonable levantar un censo del equipo, tal vez se requiera comparar el puerto en cuestión con puertos similares para los cuales no se dispone de datos. Con el objetivo de facilitar tal ejercicio comparativo, es importante compilar también los siguientes datos para asegurar la similitud entre los puertos:

- tipo de carga manejada
- tonelaje manejado anualmente
- tipo y número de buques que visitan el puerto

Con base en información provista por la Semarnat, se anticipa que en los puertos pequeños es poco probable que se cuente con algunos de los tipos de equipo usados en puertos grandes, tales como tractores grandes, excavadoras y equipo para mantenimiento de ferrocarriles. Por ello es necesario examinar la lista del equipo y eliminar las emisiones de equipos específicos del perfil de puertos grandes para generar estimaciones más razonables de las emisiones. Por ejemplo, los puertos que manejan menos de dos millones de toneladas de carga al año probablemente no cuenten con el siguiente equipo:

2265003070 Tractores de terminal de cuatro tiempos
2267003030 Barredoras y depuradores de gas LP

2267003050	Otro equipo de gas LP para manejo de materiales
2270002036	Excavadoras de diésel
2270002051	Camiones todoterreno de diésel
2270002072	Cargador de dirección deslizante de diésel
2270003030	Barredoras y depuradores de diésel
2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales
2270003070	Tractores de terminal de diésel
2285002015	Equipo de diésel para mantenimiento de ferrocarriles

Una vez establecida la correspondencia entre los puertos y creados a la medida los perfiles de equipo, es posible ajustar las emisiones con las relaciones de tonelaje de carga entre los puertos comparados, como se señala en la siguiente ecuación:

$$Es = El \times Ts/Tl$$

Donde:

Es	=	Estimaciones de emisiones de fuentes no-carreteras para puertos sin datos de censos (toneladas)
El	=	Estimaciones de emisiones de fuentes no-carreteras para puertos con datos de censos (toneladas)
Ts	=	Carga total (toneladas) para puertos sin datos de censos
Tl	=	Carga total (toneladas) para puertos con datos de censos

6. Verificaciones de aseguramiento de la calidad

Los procedimientos de aseguramiento de la calidad revisten una gran importancia para garantizar la calidad de los datos. Estos controles comprenden la observancia de requisitos de manejo de datos, verificaciones de los procedimientos de cálculo y evaluaciones del fundamento de los resultados. Por ejemplo, todos los archivos grandes transferidos o descargados habrán de someterse a revisiones con el propósito de asegurar que todos los registros se transfieran y que los archivos no se hayan dañado durante la transferencia.

Los datos compilados de las características de los buques pueden compararse con datos publicados de tipos de buques similares para asegurar que las características de la unidad en cuestión sean razonables. Entre éstos se incluyen datos emanados del estudio sobre los gases de efecto invernadero (GEI) de la Organización Marítima Internacional (OMI); la guía del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC); la guía para la producción de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos del Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación (EMEP, por sus siglas en inglés) y la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), y el Análisis de Impacto Reglamentario (*Regulatory Impact Analysis*) y la guía para el sector portuario de la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency*, EPA) de Estados Unidos.

Los datos sobre combustibles y factores de emisión compilados también habrán de compararse con otros conjuntos de datos similares para asegurar que éstos también son razonables. Los problemas de control de versiones de cálculo de emisiones y consumo de combustible podrán resolverse con el almacenamiento de tablas que integren los datos finales del consumo de combustible y los factores de emisión en un disco de computadora específico compartido, con los conjuntos de datos utilizados en los cálculos, al cual únicamente tendrá acceso el gerente de proyecto. En forma similar, los datos finales agrupados de características de buques, al igual que los datos finales de distancia de rutas, podrán compilarse y almacenarse en un disco compartido de acceso limitado.

Conforme se realizan los cálculos de las emisiones y el consumo de combustible, es importante que éstos estén claramente documentados y se sometan a un revisor técnico para determinar si se aplican en forma adecuada. Igual de importante es realizar cálculos a la inversa de las conversiones para confirmar que éstas se aplicaron correctamente.

Con vistas a asegurar que los procedimientos y las estimaciones son correctos y razonables, la metodología, los archivos de datos y los cálculos deberán someterse un revisor externo independiente.

7. Documentación

A fin de facilitar una revisión independiente de la metodología empleada, es fundamental que en la documentación integrada se señalen con toda claridad las fuentes de datos y los pasos seguidos para el cálculo de las emisiones. Ello comprende las siguientes actividades:

- Documentar la forma en que se recogieron y compilaron los datos de actividad; debe incluirse un resumen de los datos de actividad recopilados de entre los puertos.
- Consultar estudios confiables para cuantificar los datos locales.
- Resumir los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad después de recibir los datos de actividad y proceder a preparar los datos para utilizarlos en la estimación de las emisiones. Es preciso que se incluya la metodología utilizada para identificar datos duplicados y las tareas emprendidas para llenar vacíos en la información faltante.
- Documentar los métodos de cálculo. Deben incluirse ecuaciones, factores de emisión y carga y otros supuestos (a menudo resulta de gran ayuda incluir cálculos de ejemplo).
- Resumir las estimaciones de las emisiones por tipo de buque y contaminante.
- Documentar los procedimientos de aseguramiento y control de la calidad aplicados para la estimación de las emisiones. Deben incluirse comparaciones con estudios similares.
- Presentar mapas de rutas de navegación en límites de aguas territoriales de México, y emisiones espacialmente asignadas.
- Documentar las limitaciones del inventario y las posibles áreas de mejoramiento.

8. Archivos de datos

Al compilar los conjuntos de datos del inventario es importante congrega los datos utilizados para calcular las emisiones. Por lo general, los inventarios de las emisiones generadas por grandes buques marinos se integran a partir de bases de datos relacionales tales como Access de Microsoft®. La ventaja de utilizar bases de datos relacionales —más que hojas de cálculo— reside en la posibilidad de compilar datos independientes como características de los buques, factores de carga y emisión, y rutas de navegación en tablas de datos por separado, y asociarlos utilizando consultas que puedan revisarse con toda facilidad. Debido a que los archivos de datos no necesariamente son transparentes, es importante proporcionar un archivo README que documente claramente la estructura de la base de datos, para lo cual deberán indicarse las tablas de datos utilizadas en la estimación de emisiones. También es importante incluir en el archivo README una tabla en la que se presenten las definiciones de cada campo de datos, incluidas las unidades utilizadas en los datos. Si se busca utilizar los datos de emisiones con fines de modelización, podrá crearse una base de datos que arroje resultados en un formato compatible con el modelo a utilizar.

9. Referencias

- Bandemehr, Angela (2013), “Marine Fuels in Mexico: Initial Fuel Quality and Availability Analysis”, ponencia dictada el 8 de septiembre de 2013, EPA Office of Global Affairs and Policy [Oficina de Política y Asuntos Globales de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos].
- Boyle, Jeanine (2014), “Battelle Memorial and EERA Memorandum: Information sought as deliverable in the project with Dr. James Corbett”, 20 de mayo de 2014.
- Corbett, James y Jordan Silberman (2013), “Opportunity to Extend North American ECA Benefits to Mexico”, presentación del 30 de mayo de 2013, Energy and Environmental Research Associates (EERA).
- DOE (2013), *The Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation Model*, U.S. Department of Energy, Argonne National Laboratory [Laboratorio Nacional de Argonne del Departamento de Energía de Estados Unidos], en: <<https://greet.es.anl.gov>> (consulta realizada en octubre de 2013).
- Environment Canada (2013), “National Pollutant Release Inventory, Manual for the Compilation of Canada’s 2010 Air Pollutant Emissions, Category 3: Mobile Sources”, ministerio de Medio Ambiente de Canadá, en: <http://ec.gc.ca/Publications/8A08B403-C85E-4612-A958-3F24446A61DB%5C791_NPRI_Manual_for_Compilation_e.pdf>.
- EPA (2013), “AP-42, “Compilation of Air Pollutant Emission Factors”, U.S. Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos], 5a. ed., en: <www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emission-factors>.
- EPA (2009), *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories*, informe final de abril de 2009, U.S. Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos]; disponible en: <<http://epa.gov/cleandiesel/documents/ports-emission-inv-april09.pdf>>.
- Maritime Connector (2014), “Ship Sizes” (consulta realizada el 28 de mayo de 2014).
- Transport Canada (2006), *Marine Emission Inventory Study: Eastern Canada and Great Lakes*, Centro de Desarrollo de Transporte (*Transportation Development Centre*), ministerio de Transporte de Canadá, marzo de 2006, en: <<http://donnees.tc.gc.ca/archive/eng/innovation/tdc-summary-14500-14564e-211.htm>>.
- Wang, C., J.J. Corbett y J. Firestone (2007), “Modeling Energy Use and Emissions from North American Shipping: Application of the Ship Traffic, Energy, and Environment Model”, *Environ. Sci. Technol.*, 41(9): 3226-3232.

Apéndice A. Combustibles y factores de emisión

A-1. Combustibles y factores de emisión para motores no controlados

Motor principal o auxiliar	Tipo de motor	Combustible	Contenido de azufre (ppm)	Factores de emisión (g/kWh)										
				BSFC ¹	NO _x	COV	CO	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Carbono negro
Principal	Turbina de vapor	Fueloil residual fuera de ZCE	27,000	305	2.1	0.1	0.2	16.1	1.47	1.35	971	0.002	0.08	0.0294
Principal	Pequeño o mediano de diésel	Fueloil residual fuera de ZCE	27,000	213	14	0.5	1.1	11.24	1.43	1.32	678	0.004	0.031	0.0286
Principal	Grande de diésel	Fueloil residual fuera de ZCE	27,000	195	18.1	0.6	1.4	10.29	1.42	1.31	621	0.006	0.031	0.0284
Principal	Turbina de vapor	Gas natural	–	10	0.42	0.01	0.13	0.00	0.01	0.01	180	0.003	0.003	0.0007
Auxiliar	Turbina de vapor	Fueloil residual fuera de ZCE	27,000											0
Auxiliar	Pequeño o mediano de diésel	Fueloil residual fuera de ZCE	27,000	227	14.7	0.4	1.1	11.98	1.44	1.32	722.54	0.004	0.031	0.0288
Auxiliar	Grande de diésel	Fueloil residual fuera de ZCE	27,000	227	14.7	0.4	1.1	11.98	1.44	1.32	722.54	0.004	0.031	0.0288

¹ BSFC: *Brake specific fuel consumption* [consumo de combustible específico al freno].

A-2. Combustibles y factores de emisión para motores controlados

Tipo de motor	Combustible	Contenido de azufre (ppm)	Factores de emisión (g/kWh)										
			BSFC ¹	NO _x	COV	CO	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Carbono negro
Turbina de vapor	Diésel para uso marítimo fuera de ZCE	5,000	290	1.93	0.10	0.20	2.82	0.58	0.53	923.32	0.0020	0.0772	0.0116
Pequeño o mediano de diésel	Diésel para uso marítimo fuera de ZCE	5,000	203	8.64	0.38	1.02	0.86	0.20	0.18	646.08	0.0030	0.0203	0.0041
Grande de diésel	Diésel para uso marítimo fuera de ZCE	5,000	185	16.40	0.60	1.39	1.80	0.30	0.27	589.01	0.0060	0.0299	0.0061
Turbina de vapor	Diésel para uso marítimo en ZCE	1,000	290	1.93	0.10	0.20	0.56	0.58	0.53	923.67	0.0020	0.0772	0.0116
Pequeño o mediano de diésel	Diésel para uso marítimo en ZCE	1,000	203	8.64	0.38	1.02	0.17	0.18	0.14	646.33	0.0030	0.0203	0.0036
Grande de diésel	Diésel para uso marítimo en ZCE	1,000	185	12.63	0.60	1.39	0.36	0.19	0.16	589.24	0.0060	0.0299	0.0037
Turbina de vapor	Gas natural	–	10	0.42	0.01	0.13	0.00	0.01	0.01	180	0.003	0.003	0.0007

¹ BSFC: *Brake specific fuel consumption* [consumo de combustible específico al freno].