

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

*Actualización de datos de emisiones
en puertos mexicanos*



cec.org

Citar como:

CCA (2018), *Reducción de emisiones generadas por el movimiento de bienes en el transporte marítimo en América del Norte: Actualización de datos de emisiones en puertos mexicanos*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 27 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: 978-2-89700-249-7

Available in English – ISBN: 978-2-89700-248-0

Disponible en français (sommaire de rapport) – ISBN : 978-2-89700-250-3

Depósito legal — Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2018

Depósito legal — Library and Archives Canada, 2018

Detalles de la publicación

Categoría del documento: Documento de apoyo

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; QA2018.0335

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



Comisión para la Cooperación Ambiental

Índice

Comisión para la Cooperación Ambiental	2
Siglas, acrónimos y abreviaturas.....	iii
Sinopsis	1
Advertencia	1
Resumen ejecutivo	1
1. Introducción.....	3
3. Emisiones de buques llegando, saliendo y maniobrando en puerto.....	11
4. Emisiones de buques en muelle	14
5. Resultados	16
Apéndice A - Emisiones asociadas con equipo para el manejo de carga	A-1
Apéndice B - Carga total anual y emisiones de buques asociadas.....	B-1

Lista de cuadros

Cuadro 1. Estimación de emisiones generadas en puertos mexicanos para 2011 y 2030.....	Error! Bookmark not defined.
Cuadro 2. Porcentaje de tonelaje de carga, por puerto y por tipo	3
Cuadro 3. Características de motores de los equipos de manejo de carga en operación en el puerto de Long Beach, California (2012).....	4
Cuadro 4. Equipo de manejo de carga y códigos de clasificación de fuentes correspondientes	5
Cuadro 5. Valores estimados de potencia y actividad del equipo para manejo de carga	7
Cuadro 6. Factores de emisión basados en el tonelaje de carga para equipos de manejo de carga, 2011	9
Cuadro 7. Factores de emisión basados en el tonelaje de carga para equipos de manejo de carga, 2030	10
Cuadro 8. Comparación de factores de emisión.....	11
Cuadro 9. Comparación del inventario de emisiones por puerto en México (2008).....	12
Cuadro 10. Factores de emisión basados en datos originales del movimiento de buques en 2008.....	13
Cuadro 11. Factores de emisión de buques con base en el consumo de combustible.....	14
Cuadro 12. Demanda de energía de buques en muelle.....	15
Cuadro 13. Emisiones totales en muelle para puertos mexicanos para 2010.....	15
Cuadro 14. Emisiones totales en muelle para puertos mexicanos correspondientes a 2011 y 2030.....	16
Cuadro 15. Estimación de emisiones generadas en puertos mexicanos para 2011 y 2030.....	16
Cuadro 16. Comparación de emisiones generadas por buques atracados y equipo para el manejo de carga en puertos estadounidenses.....	17

Siglas, acrónimos y abreviaturas

CO	monóxido de carbono
CO ₂	dióxido de carbono
COV	compuestos orgánicos volátiles
EPA	Agencia de Protección Ambiental (<i>Environmental Protection Agency</i>) de Estados Unidos
g/l	gramos por litro
GREET	sistema Gases de Efecto Invernadero, Emisiones Reguladas y Consumo de Energía en el Transporte (<i>Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation</i>), del Laboratorio Nacional de Argonne
HC	hidrocarburo
HP	caballo de fuerza
kg	kilogramo
kW	kilovatio
kWe	kilovatio eléctrico
kWh	kilovatio-hora
gas LP	gas licuado del petróleo
MWe	megavatio eléctrico
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
SCC	códigos de clasificación de fuentes (sistema de la EPA: <i>Source Classification Codes</i>)
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SO ₂	dióxido de azufre
SO _x	óxidos de azufre
ZCE	zona de control de emisiones

Sinopsis

Resultado de un trabajo conjunto llevado a cabo entre la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y la empresa de consultoría Eastern Research Group, Inc. (ERG), en el contexto de un proyecto de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), la presente actualización de estimaciones de emisiones de puertos mexicanos se basa en un informe inédito de la CCA, el Inventario nacional de emisiones de fuentes de área, 2008 (CCA, 2011), preparado con el propósito de respaldar el Inventario Nacional de Emisiones de México. Datos más recientes sobre emisiones de motores marinos y equipo para manejo de carga fueron identificados, mismos que se aplicaron a los datos aportados por la Semarnat, para generar un inventario de emisiones portuarias más actualizado y exhaustivo. Así, se elaboraron un inventario revisado de puertos mexicanos para el año 2011, con proyecciones hasta 2030.

Advertencia

Los datos presentados en este informe se obtuvieron de bases de datos y otras fuentes consultadas con anterioridad a diciembre de 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, mismos que, en algunos casos, podrían perder validez.

Resumen ejecutivo

En 2008 se adoptaron nuevas enmiendas al Anexo VI del Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques (Convenio Marpol), componente del Convenio 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), área de amortiguamiento a cierta distancia 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, con miras a reducir la contaminación atmosférica transportada hacia áreas pobladas y disminuir 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) enviaron a la Organización Marítima Internacional (OMI) una propuesta para el establecimiento de una zona de control de emisiones conjunta, conocida como ZCE de América del Norte. Desde su creación, el gobierno mexicano ha manifestado su compromiso de establecer una ZCE mexicana. Para apoyar esta iniciativa, la Semarnat integró un inventario nacional de emisiones portuarias que abarcó tanto operaciones de embarcaciones marítimas atracadas en puertos como el uso de equipo para manejo de carga. Los datos reunidos se incluyeron en un informe inédito de la CCA titulado Inventario nacional de emisiones de fuentes de área, 2008 (CCA 2011).

Para el presente proyecto, a los datos de actividades locales proporcionados por la Semarnat se aplicaron factores de emisión más recientes, lo mismo de motores marinos que de equipo para manejo de carga, con lo que se obtuvo un inventario de emisiones portuarias más actualizado y exhaustivo. Con el propósito de calcular las emisiones generadas por equipos de manejo de carga, se evaluó el tipo de mercancía manejado en puertos mexicanos, con la premisa de que éstos tienden a manejar una cantidad considerable de productos líquidos, a diferencia de muchos de los puertos en Estados Unidos donde se manejan principalmente mercancías en contenedor y a granel. Esta información resultó de suma utilidad para equiparar los puertos mexicanos a puertos similares en Estados Unidos, lo que, a su vez, permitió generar un perfil de equipo para manejo de carga más representativo del utilizado en México. La Semarnat llevó a

cabo una depuración ulterior tras observar que era poco factible que los puertos más pequeños contaran con algunos de los equipos disponibles en puertos más grandes. En ese sentido, la dependencia recomendó eliminar tipos específicos de equipo en los casos de puertos que manejan menos de un millón de toneladas de carga. Así, utilizando la versión más reciente del modelo NONROAD (para motores y vehículos no-carreteros) de la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency, EPA*) de Estados Unidos, se estimaron las emisiones de equipos de manejo de carga correspondientes a 2011 y 2030.

En el estudio original se estimaron las emisiones de buques que estuviesen entrando, maniobrando o saliendo de un puerto, así como también mientras se encontraban anclados en muelles. El inventario de 2008 aportó datos detallados sobre el consumo de combustible para buques individuales en tránsito en aguas portuarias mexicanas, a los cuales se aplicaron factores de emisión obtenidos recientemente mediante el sistema 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. Las emisiones de buques atracados en muelles para los trece puertos originales incluidos en el inventario de 2008 se ajustaron primero aplicando una actualización de las tasas de consumo diario de combustible y los factores de emisión recientes. Tales tasas de consumo de combustible se interrelacionaron con datos proporcionados por la Semarnat sobre los días que las embarcaciones permanecieron atracadas en puerto. Luego, a los datos revisados de consumo de combustible se aplicaron los factores de emisión GREET, lo que permitió obtener estimaciones revisadas de las emisiones tanto de buques en movimiento como de aquellos anclados en muelle.

Debido a que se decidió expandir el nuevo inventario de puertos mexicanos a efecto de incluir 35 puertos, fue necesario formular un factor de ajuste con base en datos de manejo de carga para aproximar las emisiones portuarias del nuevo conjunto de 35 puertos mexicanos. De esta manera, el inventario revisado de emisiones de buques en puertos mexicanos de 2008 también se expandió para reflejar la actividad y las emisiones correspondientes a 2011 y 2030. Además, las emisiones estimadas se ajustaron para dar cuenta de los nuevos estándares mundiales en materia de combustibles de la OMI a adoptarse en 2020.

1. Introducción

Las emisiones portuarias generadas por equipos de manejo de carga y buques atracados en muelles pueden alcanzar proporciones considerables, con los consiguientes impactos negativos en la calidad del aire de la localidad, sobre todo para comunidades aledañas a instalaciones portuarias. Entre los contaminantes de mayor preocupación se incluyen SO_x, NO_x, PS y contaminantes atmosféricos peligrosos. Para este proyecto, personal de ERG revisó un informe inédito de la CCA titulado Inventario nacional de emisiones de fuentes de área, 2008 (CCA 2011), el cual comprende estimaciones de emisiones para buques en puertos mexicanos (entrando, maniobrando, anclados y partiendo), además de las emisiones generadas por los equipos de manejo de carga requeridos para cargar y descargar fletes de estos buques. La revisión permitió concluir que los datos de actividad utilizados en el inventario de 2008 eran apropiados y de buena calidad. Estos datos se actualizaron aplicando datos más recientes sobre combustible y emisión de buques y equipo de manejo de carga, lo que permitió generar inventarios de emisiones más actualizados y completos para 2011 y 2030.

2. Equipo para manejo de carga

Dada la falta de disponibilidad de inventarios de equipos de manejo de carga en tierra para puertos mexicanos, ERG decidió delinear un perfil predeterminado a partir del cual estimar las emisiones por puerto asociadas con estas fuentes. Para ello, ERG reunió algunos inventarios de emisiones de Estados Unidos con datos de equipos de tierra asociados con distintos tipos de carga como contenedores, a granel y líquidos. Se identificaron siete inventarios de puertos de Estados Unidos que incluían datos sobre el tonelaje total por tipo de carga, así como las emisiones asociadas con el equipo para su manejo. La información sobre tonelaje de carga por tipo para 40 diferentes puertos mexicanos correspondiente al año 2010 se obtuvo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2014) (véase el apéndice B). A fin de identificar puertos estadounidenses que guardaran mayor similitud con las actividades de puertos mexicanos, se procedió a comparar la información desglosada por tipo de carga. Del análisis de estos datos se desprende que numerosos puertos mexicanos manejan cantidades considerables de mercancía líquida, mientras que en muchos puertos de Estados Unidos se maneja primordialmente carga en contenedores y a granel. Dada esta diferencia significativa, se decidió comparar la carga total nacional de México con la correspondiente a puertos estadounidenses (véase el cuadro 1), con el propósito de crear un perfil único de equipo de manejo de carga que razonablemente pudiese representar el equipo empleado en puertos mexicanos.

Cuadro 1. Porcentaje de tonelaje de carga, por puerto y por tipo

Tipo de carga	A granel	Contenedor	Líquidos	Otro
México (a escala nacional)	30.72	13.20	49.42	6.65
Zona oeste de Sacramento, California (2010)	100	0	0	0
Long Beach, California (2012)	23.35	14.38	62.27	0.00
San Diego, California (2006)	61.93	17.93	5.80	14.34
Nueva York-Nueva Jersey (2010)	38.15	36.83	0	25.02
Houston, Texas (2007)	31.79	56.07	0	12.14
Autoridad Portuaria de Georgia (2012)	14.85	85.15	0	0
Puerto de Virginia (2011)	2.23	97.77	0	0

Con base en su composición similar de tipos de carga, se seleccionó el puerto de Long Beach, California, como el más apropiado para utilizarse como “sucedáneo” o indicador. EGR tomó de la página web del puerto de Long Beach los datos del inventario de emisiones portuarias más reciente disponible al momento de elaborar el presente informe, correspondiente al año calendario 2012 (Puerto de Long Beach, 2013).¹ El inventario está plasmado en el informe *2012 Engine Characteristics for All CHE Operating at the Port of Long Beach* [Características de motores de todos los equipos de manejo de carga en operación en el puerto de Long Beach, 2012] y en él se distinguen todos los componentes del equipo que operaba en el puerto en 2012 (véanse los datos correspondientes en el cuadro 2).

Cuadro 2. Características de motores de los equipos de manejo de carga en operación en el puerto de Long Beach, California (2012)

Equipo	Tipo de motor	Cant.	Potencia (caballos de fuerza)			Modelo			Horas anuales en operación		
			Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
Tractor de patio	Gasolina	91	335	335	335	2011	2011	2011	2	3,659	1,654
Montacarga	Propano	125	43	122	89	1976	2010	1997	0	1,500	368
Tractor	Propano	6	101	101	101	1996	1996	1996	764	764	764
Barredora	Propano	7	50	135	77	1982	2005	1999	0	750	165
Misceláneo	Propano	3	101	101	101	1997	1998	1997	246	621	416
Tractor de patio	Propano	8	173	173	173	2009	2009	2009	0	0	0
Excavadora	Diésel	4	322	371	347	2002	2010	2005	222	891	453
Grúa	Diésel	2	177	334	256	1985	1991	1988	25	1,334	680
Grúa tipo RTG*	Diésel	65	515	1,043	719	1998	2011	2004	0	4,975	1,735
Camión	Diésel	18	165	525	274	1981	2011	2002	0	1,547	401
Apilador de alcance	Diésel	3	330	330	330	1994	1998	1995	0	0	0
Cargadora	Diésel	14	50	430	289	1985	2012	2003	0	2,403	1,063
Tractor	Diésel	1	59	59	59	2009	2009	2009	80	80	80
Buldócer	Diésel	4	92	285	194	1995	2012	2004	0	1,500	444
Cargador de dirección deslizante	Diésel	3	49	76	65	2006	2008	2007	141	2,114	800
Cesta elevadora	Diésel	6	48	100	67	1997	2009	2005	0	121	54
Montacargas	Diésel	110	31	210	126	1979	2012	2003	0	3,157	619
Carretilla contenedores lateral	Diésel	19	120	240	205	1982	2011	2002	93	2,375	1,143
Carretilla contenedores frontal	Diésel	169	174	375	295	1979	2012	2005	0	6,760	1,841
Barredora	Diésel	11	39	230	152	1999	2009	2004	0	540	237
Manipulador de materiales	Diésel	8	268	717	377	2000	2008	2006	0	1,177	618
Misceláneo	Diésel	3	13	110	45	2007	2010	2009	191	1,531	1,001
Tractor de patio, todoterreno	Diésel	136	173	245	179	2003	2012	2004	0	2,242	1,287
Encarrilador	Diésel	2	100	300	200	1997	2003	2000	678	1,099	889
Tractor de patio, que circula en superficies pavimentadas	Diésel	388	173	250	206	2004	2012	2008	0	3,338	1,828
Grúa	Eléctrico	2	n-d	n-d	n-d	1980	2006	1993	79	359	219

¹ Disponible en: <www.polb.com/environment/air/emissions.asp>, sitio donde a la fecha de hoy es posible encontrar inventarios más recientes (hasta 2015).

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

Cuadro 2. Características de motores de los equipos de manejo de carga en operación en el puerto de Long Beach, California (2012)

Equipo	Tipo de motor	Potencia (caballos de fuerza)				Modelo			Horas anuales en operación		
		Cant.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.
Transpaleta eléctrica	Eléctrico	3	n-d	n-d	n-d	1997	1997	1997	300	300	300
Montacarga	Eléctrico	9	n-d	n-d	n-d	1995	2007	2001	0	600	333
Manipulador de materiales	Eléctrico	1	n-d	n-d	n-d	1995	1995	1995	326	326	326
Misceláneo	Eléctrico	6	n-d	n-d	n-d	1994	2008	2002	0	1,268	233
Barredora	Eléctrico	1	n-d	n-d	n-d	n-d	n-d	n-d	n-d	n-d	n-d
Camión	Eléctrico	5	n-d	n-d	n-d	2008	2009	2008	0	100	44
Camión	Gasolina	1	n-d	n-d	n-d	1977	1977	1977	n-d	n-d	n-d

A cada componente del equipo de carga se asignó el correspondiente código de clasificación para fuentes que no circulan en carretera conforme al sistema *Source Classification Code* (SCC), disponible en el modelo NONROAD de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) de Estados Unidos. La asignación de códigos SCC se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Equipo de manejo de carga y códigos de clasificación de fuentes correspondientes

Equipo	Tipo de motor	Código SCC	Descripción SCC
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
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

Cuadro 3. Equipo de manejo de carga y códigos de clasificación de fuentes correspondientes

Equipo	Tipo de motor	Código SCC	Descripción SCC
Encarrilador	Diésel	2285002015	Equipo de diésel para mantenimiento de ferrocarriles
Tractor de patio, que circula en superficies pavimentadas	Diésel	OMITIR	Vehículo que circula en superficies pavimentadas
Grúa	Eléctrico	OMITIR	Eléctrico
Transpaleta eléctrica	Eléctrico	OMITIR	Eléctrico
Montacarga	Eléctrico	OMITIR	Eléctrico
Manipulador de materiales	Eléctrico	OMITIR	Eléctrico
Misceláneo	Eléctrico	OMITIR	Eléctrico
Barredora	Eléctrico	OMITIR	Eléctrico
Camión	Eléctrico	OMITIR	Eléctrico
Camión	Gasolina	OMITIR	No se incluyen camiones de gasolina en el modelo NONROAD

En los casos en que se establecieron equivalencias para múltiples tipos de equipo con un mismo código SCC, las respectivas cantidades se sumaron y se calculó una potencia promedio ponderada por agregado (en caballos de fuerza: HP, por sus siglas en inglés). En algunos casos, la potencia promedio estimada resultó mayor que el valor máximo especificado en el sistema SCC para el código asignado. En tales casos, en lugar del promedio calculado, se utilizó el valor máximo conforme al SCC.

En cuanto a actividad, para cada código SCC se calculó un promedio ponderado de horas en operación al año. Estos valores se utilizaron para actualizar los correspondientes archivos a utilizar con el modelo NONROAD. Las estimaciones de cantidad, potencia promedio y actividad se presentan en el cuadro 4.

ERG actualizó los archivos de asignación de modo que todo el equipo y las emisiones asociadas se asignaran a un solo sitio de interés. A fin de actualizar los datos de entrada para el modelo NONROAD correspondientes a condiciones climáticas, se utilizaron valores meteorológicos típicos para la Ciudad de México. Así, se tomaron las siguientes temperaturas: mínima típica de 6 °C (43 °F), máxima de 27 °C (81 °F) y promedio de 19 °C (67 °F) (Weather Spark, 2014).

ERG también actualizó el porcentaje de azufre contenido en el combustible diésel a utilizar con el modelo NONROAD. Para obtener las estimaciones de referencia (inventario de 2011), ERG aplicó datos sobre el contenido de azufre en el combustible diésel tomados de TransportPolicy.net (2014), red de información en la que se señala que el límite de azufre en el combustible diésel utilizado por vehículos todoterreno es de 5,000 partes por millón (ppm). Para obtener el modelo correspondiente al año 2030, ERG partió de la hipótesis de que México estaría completamente en consonancia con la norma de 15 ppm aplicada en Estados Unidos.

Una vez actualizadas los datos de entrada correspondientes a cantidad, actividad, código SCC, condiciones meteorológicas y combustible, ERG ejecutó el modelo NONROAD para producir las estimaciones de emisiones anuales (en toneladas por año) correspondientes a los años 2011 y 2030.

Cuadro 4. Valores estimados de potencia y actividad del equipo para manejo de carga

Código SCC	Descripción SCC	Rango de potencia (HP)	Cantidad	Potencia promedio (HP)	Actividad (h/año)
2265003070	Tractores de terminal de cuatro tiempos	175-300	91	300 (HP máx. en NONROAD)	1,654
2267002057	Montacarga de gas LP para terreno escarpado	75-100	125	89	368
2267002066	Tractores, cargadoras y retroexcavadoras de gas LP	75-100	6	100 (HP máx. en NONROAD)	764
2267003030	Barredoras y depuradores de gas LP	75-100	7	77	165
2267003050	Otro equipo de gas LP para manejo de materiales	75-100	3	100 (HP máx. en NONROAD)	416
2267003070	Tractores de terminal de gas LP	100-175	8	173	0
2270002036	Excavadoras de diésel	300-600	4	347	453
2270002045	Grúas de diésel	175-300	2	256	1,704
2270002045	Grúas de diésel	600-750	65	719	
2270002051	Camiones todoterreno de diésel	175-300	18	274	401
2270002057	Montacarga de diésel para terreno escarpado	300-600	3	330	0
2270002060	Tractor de carga de diésel con neumáticos de caucho	175-300	14	289	1,063
2270002066	Tractores, cargadoras y retroexcavadoras de diésel	50-75	1	59	80
2270002069	Tractor de orugas o buldócer de diésel	175-300	4	194	444
2270002072	Cargador de dirección deslizante de diésel	50-75	3	65	800
2270003010	Cesta aérea de diésel	50-75	6	67	54
2270003020	Montacarga de diésel	100-175	110	126	1,345
2270003020	Montacarga de diésel	175-300	188	285.9 (promedio ponderado)	
2270003020	Montacarga de diésel				
2270003030	Barredoras y depuradores de diésel	100-175	11	152	237
2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales	300-600	8	377	722
2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales	25-40	3	40 (no se incluye rango de 40-50 HP en NONROAD)	
2270003070	Tractores de terminal de diésel	175-300	136	179	1,287
2285002015	Equipo de diésel para mantenimiento de ferrocarriles	175-300	2	200	889

El modelo NONROAD se utilizó con el propósito de obtener estimaciones de emisiones para el puerto de Long Beach, y esas emisiones se dividieron entre el tonelaje total de carga correspondiente al puerto, a efecto de determinar las emisiones en función del tonelaje que se muestran en los cuadros 5 y 6 para 2011 y 2030, respectivamente. Ello se expresa en la ecuación:

$$FE = N/C$$

Donde:

FE	=	Factor de emisión (toneladas de contaminante/toneladas de carga)
N	=	Emisiones calculadas con el modelo NONROAD (en toneladas)
C	=	Carga total del puerto en 2010 (toneladas)

Los factores de emisión obtenidos para el puerto de Long Beach se multiplicaron por el tonelaje de carga correspondiente a cada puerto mexicano, a fin de derivar las emisiones por tipo de equipo y por puerto, conforme a la siguiente ecuación:

$$E = T \times FE$$

Donde:

E	=	Emisiones (toneladas)
T	=	Total de carga (toneladas) en 2010 para el puerto
FE	=	Factor de emisión (toneladas de contaminante/tonelada de carga)

Después de una revisión inicial, la Semarnat proveyó información adicional en la que indicó que era poco probable que en puertos más pequeños se dispusiera de algunos de los tipos de equipo disponibles en puertos más grandes, como tractores grandes, excavadoras y equipo para mantenimiento de ferrocarriles. Por lo tanto, se decidió recurrir a un perfil de equipo limitado para puertos que manejaran menos de un millón de toneladas de carga por año. El tipo de equipo adicional que sí se incluyó en los cálculos para puertos más grandes se indica con un asterisco en el cuadro 5. También la SCT aportó información sobre el tonelaje anual de carga para 35 puertos, misma que se utilizó en los cálculos descritos (véase el apéndice A).

**Cuadro 5. Factores de emisión basados en el tonelaje de carga para equipos de manejo de carga, 2011
(toneladas de contaminantes/toneladas de carga)**

Código SCC	Descripción del equipo	Potencia (HP)	Emisiones de hidrocarburos totales	Emisiones de CO	Emisiones de NO _x	Emisiones de CO ₂	Emisiones de SO ₂	Partículas suspendidas	Consumo de combustible
2265003070	Tractores de terminal de cuatro tiempos*	300	1.85E-05	5.59E-04	4.02E-05	2.90E-03	5.98E-07	2.44E-07	3.02E-01
2267002057	Montacarga de gas LP para terreno escarpado	100	6.23E-07	1.22E-05	3.03E-06	1.69E-04	3.29E-09	1.43E-08	2.53E-02
2267002066	Tractores, cargadoras y retroexcavadoras de gas LP	100	5.35E-08	1.05E-06	2.59E-07	1.44E-05	2.80E-10	1.23E-09	2.16E-03
2267003030	Barredoras y depuradores de gas LP*	100	1.52E-08	2.97E-07	7.41E-08	4.14E-06	8.05E-11	3.48E-10	6.21E-04
2267003050	Otro equipo de gas LP para manejo de materiales*	100	1.60E-08	3.14E-07	7.77E-08	4.34E-06	8.43E-11	3.66E-10	6.50E-04
2267003070	Tractores de terminal de gas LP	175	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2270002036	Excavadoras de diésel*	600	1.90E-08	1.56E-07	3.69E-07	1.91E-05	5.86E-08	5.10E-08	1.69E-03
2270002045	Grúas de diésel	300	3.35E-08	8.47E-08	3.78E-07	1.91E-05	5.84E-08	4.38E-08	1.69E-03
2270002045	Grúas de diésel	750	3.05E-06	7.69E-06	3.44E-05	1.74E-03	5.33E-06	3.95E-06	1.55E-01
2270002051	Camiones todoterreno de diésel*	300	7.27E-08	2.66E-07	1.04E-06	6.01E-05	1.84E-07	9.20E-08	5.33E-03
2270002057	Montacarga de diésel para terreno escarpado	600	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2270002060	Tractor de carga de diésel con neumáticos de caucho	300	1.58E-07	9.99E-07	2.42E-06	1.31E-04	4.00E-07	3.23E-07	1.16E-02
2270002066	Tractores, cargadoras y retroexcavadoras de diésel	75	2.19E-10	8.43E-10	1.06E-09	6.57E-08	2.01E-10	1.34E-10	5.87E-06
2270002069	Tractor de orugas o buldócer de diésel	300	1.89E-08	7.94E-08	1.94E-07	1.04E-05	3.20E-08	2.20E-08	9.28E-04
2270002072	Cargador de dirección deslizante de diésel*	75	1.11E-08	4.00E-08	3.38E-08	2.16E-06	6.62E-09	7.17E-09	1.94E-04
2270003010	Cesta aérea de diésel	75	1.13E-09	3.44E-09	6.79E-09	3.02E-07	9.25E-10	9.05E-10	2.70E-05
2270003020	Montacarga de diésel	175	1.28E-06	5.49E-06	1.43E-05	5.65E-04	1.73E-06	1.74E-06	5.02E-02
2270003020	Montacarga de diésel	300	4.95E-06	2.13E-05	5.53E-05	2.19E-03	6.71E-06	6.74E-06	1.95E-01
2270003030	Barredoras y depuradores de diésel*	175	1.87E-08	5.27E-08	2.32E-07	8.65E-06	2.65E-08	1.97E-08	7.69E-04
2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales*	40	7.44E-09	2.49E-08	1.35E-08	1.20E-06	3.67E-09	3.62E-09	1.08E-04
2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales*	600	1.15E-07	3.64E-07	6.86E-07	2.72E-05	8.35E-08	1.03E-07	2.44E-03
2270003070	Tractores de terminal de diésel*	300	2.14E-06	9.22E-06	2.40E-05	9.48E-04	2.91E-06	2.93E-06	8.43E-02
2285002015	Equipo de diésel para mantenimiento de ferrocarriles*	300	1.61E-08	7.92E-08	8.28E-08	4.45E-06	1.36E-08	1.66E-08	3.98E-04

* Indica un tipo de equipo no calculado para puertos más pequeños.

**Cuadro 6. Factores de emisión basados en el tonelaje de carga para equipos de manejo de carga, 2030
(toneladas de contaminantes/toneladas de carga)**

Código SCC	Descripción del equipo	Potencia (HP)	Emisiones de hidrocarburos totales	Emisiones de CO	Emisiones de NO _x	Emisiones de CO ₂	Emisiones de SO ₂	Partículas suspendidas
2265003070	Tractores de terminal de cuatro tiempos*	300	3.12E-06	1.09E-04	9.06E-06	5.99E-03	1.24E-06	6.16E-07
2267002057	Montacarga de gas LP para terreno escarpado	100	8.83E-08	3.07E-06	5.86E-07	3.46E-04	6.72E-09	3.61E-08
2267002066	Tractores, cargadoras y retroexcavadoras de gas LP	100	7.45E-09	2.56E-07	4.97E-08	2.95E-05	5.73E-10	3.10E-09
2267003030	Barredoras y depuradores de gas LP*	100	7.09E-09	1.90E-07	3.45E-08	8.67E-06	1.68E-10	8.78E-10
2267003050	Otro equipo de gas LP para manejo de materiales*	100	2.33E-09	8.12E-08	1.52E-08	8.87E-06	1.72E-10	9.26E-10
2267003070	Tractores de terminal de gas LP	175	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2270002036	Excavadoras de diésel*	600	1.50E-08	6.06E-08	1.36E-07	4.84E-05	3.54E-10	9.19E-09
2270002045	Grúas de diésel	300	1.10E-06	1.18E-06	2.41E-06	4.42E-03	2.91E-08	9.83E-08
2270002045	Grúas de diésel	750	1.21E-08	6.99E-09	2.57E-08	4.84E-05	3.19E-10	1.09E-09
2270002051	Camiones todoterreno de diésel*	300	4.29E-08	8.25E-08	2.46E-07	1.52E-04	1.05E-09	1.42E-08
2270002057	Montacarga de diésel para terreno escarpado	600	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
2270002060	Tractor de carga de diésel con neumáticos de caucho	300	8.16E-08	7.42E-08	1.74E-07	3.31E-04	2.18E-09	7.33E-09
2270002066	Tractores, cargadoras y retroexcavadoras de diésel	75	9.06E-11	5.10E-10	8.82E-10	1.68E-07	1.25E-12	5.00E-11
2270002069	Tractor de orugas o buldócer de diésel	300	7.11E-09	1.14E-08	3.35E-08	2.65E-05	1.81E-10	1.87E-09
2270002072	Cargador de dirección deslizante de diésel*	75	3.16E-09	1.87E-08	2.93E-08	5.54E-06	4.14E-11	2.34E-09
2270003010	Cesta aérea de diésel	75	4.19E-10	2.33E-09	4.09E-09	7.71E-07	5.76E-12	2.33E-10
2270003020	Montacarga de diésel	175	1.37E-06	1.25E-06	2.92E-06	5.57E-03	3.67E-08	1.24E-07
2270003020	Montacarga de diésel	300	3.54E-07	3.81E-07	7.53E-07	1.44E-03	9.45E-09	3.20E-08
2270003030	Barredoras y depuradores de diésel*	175	8.06E-09	1.89E-08	6.91E-08	2.20E-05	1.63E-10	4.07E-09
2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales*	40	2.93E-08	1.23E-07	1.92E-07	6.97E-05	5.09E-10	1.70E-08
2270003050	Otro equipo de diésel para manejo de materiales*	600	7.67E-10	3.06E-09	1.43E-08	3.08E-06	2.11E-11	3.52E-10
2270003070	Tractores de terminal de diésel*	300	5.94E-07	5.42E-07	1.27E-06	2.41E-03	1.59E-08	5.38E-08
2285002015	Equipo de diésel para mantenimiento de ferrocarriles*	300	5.44E-09	1.84E-08	3.10E-08	1.14E-05	8.31E-11	3.28E-09

* Indica un tipo de equipo no calculado para puertos más pequeños.

3. Emisiones de buques llegando, saliendo y maniobrando en puerto

El 20 de marzo de 2014, ERG recibió de Hugo Landa Fonseca, de la Semarnat, documentación (CCA, 2008) y archivos con datos sobre embarcaciones (*Embarcaciones Marítimas Comerciales 2008.rar*) utilizados para integrar el *Inventario nacional de emisiones de fuentes de área, 2008*. El conjunto de datos incluía estimaciones de emisiones de contaminantes atmosféricos de criterio (CO, NO_x, SO_x, PM₁₀, PM_{2.5} y COV) generadas por buques operando en México para el año calendario 2008. Tales estimaciones estaban basadas en el consumo de combustible por buque individual, y en su cálculo se utilizaron factores de emisión que, para efectos del presente estudio, se decidió comparar con un conjunto de factores de emisión de combustible residual producido recientemente para el modelo GREET (véase el cuadro 7). Cabe precisar que los factores GREET de emisión de combustible residual se generaron bajo la premisa de una concentración de azufre de 27,000 ppm y una tasa de consumo de combustible de 195 g/kWh.

Cuadro 7. Comparación de factores de emisión (g/litro de combustible residual)

	COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
Factores mexicanos	0.99	11.10	112.62	0.34	2.68	2.62
Factores GREET	2.90	6.78	87.62	49.81	6.87	6.34

Se observan diferencias significativas entre los dos conjuntos de factores de emisión: al aplicar los factores GREET, se registra un aumento significativo en las emisiones de COV (122%), SO_x (895%), PM₁₀ (77%), y PM_{2.5} (67%), mientras que las emisiones de CO (53%) y NO_x (41%) se reducen.

En la presente evaluación se aplicaron los factores de emisión más recientes del sistema GREET a los datos originales de consumo de combustible proporcionados por México, a fin de calcular las emisiones de embarcaciones mediante la siguiente ecuación:

$$E = F \times FE \times 1,000$$

Donde:

E	=	Emisiones (kg)
F	=	Consumo de combustible (litros)
FE	=	Factor de emisión (g/l)
1,000	=	Factor de conversión de gramos a kilogramos

Ejemplo de cálculo

El 12 de diciembre de 2008, contenedores en el puerto de Ensenada consumieron 102.3 litros de combustible. Al aplicar el factor de emisión para NO_x de 87.62256 kg/1,000 litros, se tiene que:

$$E = 102.3/1,000 \times 87.62256$$

$$E = 8.96 \text{ kg}$$

Las emisiones por contaminante para los trece puertos del inventario mexicano original, comparadas con las emisiones actualizadas utilizando los factores GREET, se presentan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Comparación del inventario de emisiones por puerto en México (2008)

Puerto	Estimaciones actualizadas con base en los factores de emisión GREET (kg)						Emisiones basadas en los factores de emisión mexicanos originales (kg)					
	COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
Altamira	4,912	11,461	148,175	84,239	11,625	10,724	263	825	11,783	59,778	5,216	5,100
Coatzacoalcos	420	980	12,669	7,202	994	917	23	75	1,056	5,095	447	436
Dos Bocas	54,077	126,181	1,631,334	927,427	127,983	118,069	4,134	24,821	286,398	606,211	56,914	55,550
Ensenada,	280	654	8,457	4,808	663	612	36	319	3,375	2,516	288	281
Manzanillo	865	2,018	26,088	14,831	2,047	1,888	52	221	2,825	10,276	915	895
Mazatlán	159	371	4,803	2,730	377	348	16	124	1,355	1,615	164	162
Puerto Vallarta	688	1,605	20,753	11,798	1,628	1,502	36	105	1,545	8,407	732	715
Salina Cruz	183	427	5,525	3,141	433	400	10	30	431	2,232	195	190
Tampico	5,343	12,466	161,173	91,628	12,645	11,665	365	1,898	22,782	61,720	5,075	5,509
Tolobampo	2,679	6,251	80,815	45,944	6,340	5,849	274	2,113	22,982	27,117	2,778	2,719
Veracruz	1,083	2,526	32,656	18,565	2,562	2,364	60	205	2,828	13,098	1,151	1,123
Sauzal	53	123	1,592	905	125	115	18	198	2,008	19	49	48
Lázaro Cárdenas	441	1,030	13,313	7,568	1,044	964	27	113	1,443	5,244	468	457
Total	71,183	166,093	2,147,353	1,220,786	168,466	155,417	5,314	31,047	360,811	803,328	74,392	73,185

Para integrar el inventario actualizado se decidió incluir puertos adicionales a los trece considerados en el inventario original. Esto supuso un problema en el sentido de que no se disponía de datos de actividad de buques para los puertos adicionales. A fin de aproximar las emisiones en los nuevos puertos, los valores revisados de las emisiones en los trece puertos originales se dividieron entre el tonelaje de carga registrado para cada puerto en 2008, con lo que se generaron factores de emisión en toneladas de contaminantes por tonelaje de carga. Estos factores de emisión se combinaron, luego, en dos series de promedios —una para puertos que manejan más de dos millones de toneladas de carga y otra para puertos cuyas operaciones son de menos de dos millones de toneladas de carga— con el propósito de crear perfiles para puertos “grandes” y “pequeños”, como se indica en el cuadro 9.

Cuadro 9. Factores de emisión basados en datos originales del movimiento de buques en 2008

Puerto	Factores de emisión (toneladas/tonelaje de carga)					
	COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
Coatzacoalcos	5.42E-09	1.26E-08	1.64E-07	9.30E-08	1.28E-08	1.18E-08
Manzanillo	1.42E-08	3.31E-08	4.28E-07	2.43E-07	3.36E-08	3.10E-08
Lázaro Cárdenas	2.23E-08	5.20E-08	6.73E-07	3.82E-07	5.28E-08	4.87E-08
Veracruz	6.42E-08	1.50E-07	1.94E-06	1.10E-06	1.52E-07	1.40E-07
Altamira	1.10E-07	2.57E-07	3.33E-06	1.89E-06	2.61E-07	2.41E-07
Salina Cruz	8.75E-09	2.04E-08	2.64E-07	1.50E-07	2.07E-08	1.91E-08
Dos Bocas	5.62E-06	1.31E-05	1.70E-04	9.64E-05	1.33E-05	1.23E-05
Tampico	9.66E-08	2.26E-07	2.92E-06	1.66E-06	2.29E-07	2.11E-07
Topolobampo	1.58E-08	3.68E-08	4.76E-07	2.71E-07	3.73E-08	3.44E-08
Mazatlán	1.75E-08	4.09E-08	5.29E-07	3.01E-07	4.15E-08	3.83E-08
Ensenada	1.03E-07	2.40E-07	3.10E-06	1.76E-06	2.43E-07	2.25E-07
El Sauzal	1.51E-07	3.53E-07	4.56E-06	2.59E-06	3.58E-07	3.3E-07
> 2 millones de toneladas	5.53E-07	1.29E-06	1.67E-05	9.48E-06	1.31E-06	1.21E-06
< 2 millones de toneladas	1.51E-07	3.53E-07	4.56E-06	2.59E-06	3.58E-07	3.30E-07

Estos nuevos factores de emisión de carga se multiplicaron por el tonelaje de carga correspondiente a 2010 provisto por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT, 2014) para cada puerto, utilizando la siguiente ecuación:

$$E2 = T \times FE$$

Donde:

E2	=	Emisiones (toneladas)
T	=	Carga total (toneladas) para el puerto, correspondiente a 2010
FE	=	Factor de emisión (toneladas de contaminante/tonelaje de carga)

Ejemplo de cálculo

En el puerto de Tampico, por ejemplo, se manejaron 4,328,498 toneladas de carga en 2010. El factor de emisión para COV de un puerto grande es de 5.53E-07, de donde se obtiene:

$$\begin{aligned} E2 &= 4,328,498 \times 5.53E-07 \\ E2 &= 2.392408 \end{aligned}$$

Con base en una tasa de crecimiento de 5 por ciento, las estimaciones correspondientes a 2010 se escalaron, a fin de representar las emisiones correspondientes a 2011 (Corbett, 2012). La misma tasa de crecimiento anual se empleó a efecto de generar proyecciones para 2030, presumiendo en este caso que para entonces se utilizaría a escala mundial una mezcla de combustible destilado/residual con una concentración de azufre de 5,000 ppm. Los factores de emisión proyectados se muestran en el cuadro 10. Las emisiones de los movimientos de buques en puerto para 2011 y 2030 se resumen en el apéndice B.

Cuadro 10. Factores de emisión de buques con base en el consumo de combustible (gramos de contaminante/litro de combustible)

Año	COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
2011	2.90	6.78	87.62	49.81	6.87	6.34
2030	2.73	6.36	66.50	8.22	1.39	1.25

4. Emisiones de buques en muelle

Las emisiones en muelle tienen lugar mientras se realizan operaciones de carga o descarga de embarcaciones ancladas en un puerto. Las estimaciones de emisiones de buques en muelle incluidas en el *Inventario nacional de emisiones de fuentes de área, 2008* se proporcionaron como un valor agregado para los trece puertos objeto de estudio. El número de embarcaciones que llegan a puertos mexicanos y el tiempo que permanecen ancladas en muelle parecen ser datos razonables y se utilizaron para la presente actualización.

En la integración del inventario mexicano original se utilizó información sobre el consumo de combustible en muelle (2,498 litros por día) obtenida de la guía para los Planes Estatales de Instrumentación (*State Implementation Plans, SIP*) de la EPA estadounidense (1992). Ahora bien, en la medida en que los puertos empiezan a usar cada vez más la red eléctrica terrestre para alimentar las embarcaciones ancladas, con el propósito de mitigar las emisiones en muelle, hoy día se dispone de nuevos datos que permiten una cuantificación más precisa de la demanda energética de los buques. Así, a partir de un estudio internacional acerca del abastecimiento de energía eléctrica a buques en puerto (Papoutsoglou, 2012), se obtuvieron datos sobre la demanda de energía de buques en muelle para diferentes tipos de embarcación, mismos que se convirtieron a equivalentes de consumo de combustible, para lo cual se presupuso una tasa de conversión de 0.02 kg de combustible por kWh. Los datos de demanda de energía por tipo de buque obtenidos se ponderaron, para efectos del presente análisis, utilizando datos de tráfico por tipo de buque proporcionados por la Semarnat. A su vez, estos datos ponderados de demanda de energía se convirtieron para obtener la tasa diaria de consumo de combustible, como se muestra en el cuadro 11.

La nueva tasa de consumo de combustible fue de 17,214.5 litros por día, comparada con la tasa de 2,498 litros por día obtenida de la guía SIP de la EPA de Estados Unidos. Dada la antigüedad de los datos de los SIP y la mejor calidad de los nuevos datos derivados al respecto, para calcular el consumo de combustible mientras los buques se encuentran atracados en muelle se decidió aplicar la nueva tasa de demanda de combustible al conjunto de datos de conteo de buques en tránsito y número de días anclados en puertos en México.

Cuadro 11. Demanda de energía de buques en muelle

Escalas de buques en México	Fracción	Tipo de buque	Requerimiento de energía	kW	horas	kWh-día	Litros-día	Factores ponderados litros-día
2503	0.484	Contenedor	1 a 4 MWe	2,500	24	60,000	12,128	5,870.73
350	0.068	Crucero	5 a 10 MWe	7,500	24	180,000	36,385	2,462.75
103	0.020	Frigorífico	2 a 5 MWe	2,500	24	60,000	12,128	241.58
81	0.016	RO-RO	700 kWe	700	24	16,800	3,396	53.20
1601	0.310	Tanque	5 a 6 MWe	5,500	24	132,000	26,683	8,261.24
533	0.103	Granelero	300 kWe a 1 MWe	650	24	15,600	3,153	325.04
5171	1.000							17,214.53

kWe = kilovatio eléctrico

MWe = megavatio eléctrico

A los datos actualizados de consumo de combustible se aplicaron los factores de emisión GREET (véase cuadro 8, *supra*), con el fin de obtener las estimaciones de emisiones revisadas para 2008.

Debido a que la nueva lista de puertos se incrementó a 35 sitios, se comparó el tonelaje de carga total de la lista original con el de la nueva lista de puertos para generar un factor de ajuste y obtener una aproximación de las emisiones adicionales para nuevas plataformas. El tonelaje de los trece puertos en la lista original fue de 107,918,357 toneladas, mientras que el tonelaje total para los 35 puertos sumó 210,621,747 toneladas, por lo que los valores de las emisiones en muelle se ajustaron al alza con un factor de 1.9517 para dar cuenta de los puertos adicionales. Los valores de emisiones y tonelaje originales y revisados se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12. Emisiones totales en muelle para puertos mexicanos para 2010 (toneladas)

Emisiones en muelle	COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	Tonelaje de carga
Datos revisados de 13 puertos para 2008	4,678	10,916	141,129	80,233	11,072	10,214	258,501,351
Total de 35 puertos	9,131	21,305	275,439	156,589	21,609	19,935	210,621,747

Estas estimaciones de 2010 se escalaron con base en una tasa de crecimiento de 5 por ciento para representar las correspondientes a 2011 (Corbett, 2012). La misma tasa de crecimiento anual se empleó a efecto de generar proyecciones para 2030, presumiendo en este caso que para entonces se utilizaría a escala mundial una mezcla de combustible destilado/residual con una concentración de azufre de 5,000 ppm. Los factores de emisión proyectados se muestran en el cuadro 13. Las emisiones de los buques atracados en muelle para 2011 y 2030 se resumen en el apéndice B.

Cuadro 13. Emisiones totales en muelle para puertos mexicanos correspondientes a 2011 y 2030

Emisiones en muelle (toneladas)		
	2011	2030
COV	9,131	21,685
CO	21,305	50,520
NO _x	275,439	528,235
SO _x	156,589	65,294
PM ₁₀	21,609	11,041
PM _{2.5}	19,935	9,929

5. Resultados

En el cuadro 14 puede consultarse un resumen del inventario revisado de puertos de México. Se observan aumentos proyectados en la mayoría de los contaminantes de buques de 2011 a 2030, como resultado del incremento anticipado en el tráfico marítimo. Por otro lado, la disminución en las emisiones de SO_x y partículas suspendidas se asocia con el consumo de combustibles con un menor contenido de azufre por embarcaciones previsto a partir de 2020. Se observa una disminución similar en las emisiones de equipo para el manejo de carga gracias al consumo de combustibles con un contenido de azufre ultra bajo y la aplicación de controles para las emisiones de NO_x.

Cuadro 14. Estimación de emisiones generadas en puertos mexicanos para 2011 y 2030 (toneladas al año)

Contaminantes	Buques en movimiento		Buques en muelle		Manejo de carga		Total	
	2011	2030	2011	2030	2011	2030	2011	2030
COV	120	286	9,131	21,685	6,773	1,426	16,024	23,397
CO	281	666	21,305	50,520	134,285	24,064	155,871	75,250
NO _x	3,631	6,963	275,439	528,235	38,865	3,752	317,935	538,950
SO _x	2,064	861	156,589	65,294	3,996	276	162,649	66,431
PM ₁₀	285	146	21,609	11,041	3,589	213	25,483	11,400
PM _{2.5}	263	131	19,935	9,929			20,198	10,060

Las estimaciones de las emisiones generadas lo mismo por buques atracados que por equipo para manejo de carga en puerto, presentadas en el cuadro 14, parecen razonables al compararse con las correspondientes a 2011 para puertos de Estados Unidos, que muestran una tendencia en emisiones de NO_x y PS generadas por equipo para el manejo de carga de entre 10 y 50 por ciento de las emisiones generadas por buques, como se muestra en el cuadro 15.

Cuadro 15. Comparación de emisiones generadas por buques atracados y equipo para el manejo de carga en puertos estadounidenses

Región	Puerto	Emisiones de buques de carga		Emisiones de equipo para el manejo de carga en puerto	
		NO _x	PM ₁₀	NO _x	PM ₁₀
Baltimore	Puerto de Baltimore	2,399	141	916	50
Chicago	Puerto de Chicago	1,901	160	298	13
Detroit	Puerto de Detroit	247	18	221	9
Houston	Puerto de Houston	10,576	694	1,011	74
	Puerto de Galveston	403	21	179	9
	Puerto de Freeport	461	20	228	12
	Puerto de Texas City	1,294	73	200	10
	Subtotal	12,734	808	1,618	106
Los Ángeles	Puerto de Los Ángeles	8,687	614	1,892	113
	Puerto de Long Beach	9,660	647	2,371	147
	Subtotal	18,347	1,261	4,263	260

Las estimaciones portuarias totales parecen razonables al ser considerablemente menores que las calculadas por Corbett para buques transitando en alta mar dentro de la zona de control de emisiones (ZCE) mexicana (es decir: 317,935 toneladas de NO_x para puertos mexicanos, en comparación con las 4,855,000 toneladas de NO_x para la ZCE mexicana).

6. Referencias bibliográficas

- CCA (2011), *Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes de Área, 2008*, anexo 2: “Fuentes móviles no carreteras” (Inédito). Comisión para la Cooperación Ambiental., Montreal, Canadá.
- Corbett, James (2012), “Ship Emission Inventory Scenarios for US-Mexico. Technical Exchange on Reducing Shipping Emissions”, memorando, 17 de diciembre de 2012.
- 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>>.
- EPA (2009), “NONROAD 2008a Model”, U.S. Environmental Protection Agency [Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos].
- Papoutsoglou, Theodoros G. (2012), “A Cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and Benefits Thriving for World Ports”, Escuela de Arquitectura Naval e Ingeniería Marina, Universidad Técnica Nacional de Atenas.
- SCT (2014), *Informe estadístico mensual; Movimiento de carga, buques y pasajeros: Enero-enero, 2013-2014*, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, disponible en: <www.sct.gob.mx/fileadmin/CGPMM/U_DGP/estadisticas/2014/Mensuales/01_enero_2014.pdf> (consulta realizada el 2 de junio de 2014).
- Puerto de Long Beach (2013), “Port of Long Beach Air Emissions Inventory – 2012”, julio de 2013.
- TransportPolicy.net (2014), “Mexico: Fuels: Diesel and Gasoline”, en: <[http://transportpolicy.net/index.php?title=Mexico: Fuels: Diesel and Gasoline](http://transportpolicy.net/index.php?title=Mexico:_Fuels:_Diesel_and_Gasoline)> (consulta realizada en mayo de 2014).
- Weather Spark (2014), “Meterological Data”, en: <<http://weatherspark.com/averages/32574/Mexico-City-Distrito-Federal>> (consulta realizada en junio de 2014).

Apéndice A - Emisiones asociadas con equipo para el manejo de carga

	Emisiones en 2011 (toneladas)						Emisiones en 2030 (toneladas)					
	Emisiones de hidrocarburos totales	CO	NO _x	CO ₂	SO ₂	PS	Emisiones de hidrocarburos totales	CO	NO _x	CO ₂	SO ₂	PS
Acapulco, Gro.	6.3241	30.4329	68.6532	3,011.0530	8.8776	7.9888	1.7918	3.6909	4.1220	7,233.7134	0.0505	0.1801
Altamira, Tamps.	491.6069	9,799.3918	2,803.3773	139,640.9904	287.2319	258.0011	103.2885	1,757.0059	272.0426	315,627.8880	20.1777	15.4610
Campeche, Camp.	9.2002	44.2733	99.8756	4,380.4323	12.9151	11.6219	2.6067	5.3695	5.9966	10,523.4919	0.0734	0.2621
Cayo Arcas, Camp.	1,587.3027	31,640.3221	9,051.5576	450,873.4819	927.4157	833.0350	333.4983	5,673.0288	878.3724	1,019,100.7983	65.1499	49.9206
Ciudad del Carmen, Camp.	0.0993	0.4780	1.0783	47.2915	0.1394	0.1255	0.0281	0.0580	0.0647	113.6124	0.0008	0.0028
Coatzacoalcos, Ver.	143.5558	2,861.5539	818.6238	40,777.0431	83.8756	75.3398	30.1616	513.0693	79.4401	92,167.5787	5.8922	4.5148
Cozumel, Q. Roo	8.1926	39.4246	88.9375	3,900.7029	11.5006	10.3491	2.3212	4.7814	5.3398	9,370.9963	0.0654	0.2334
Dos Bocas, Tab.	301.1320	6,002.5821	1,717.1986	85,536.5851	175.9429	158.0376	63.2690	1,076.2476	166.6387	193,336.7245	12.3598	9.4706
El Sauzal, B.C.	3.8071	18.3205	41.3289	1,812.6416	5.3443	4.8092	1.0787	2.2219	2.4814	4,354.6658	0.0304	0.1084
Ensenada, B.C.	162.5258	3,239.6894	926.7995	46,165.4607	94.9592	85.2954	34.1473	580.8680	89.9376	104,346.9171	6.6708	5.1114
Frontera, Tab.	0.0014	0.0066	0.0148	0.6505	0.0019	0.0017	0.0004	0.0008	0.0009	1.5627	0.0000	0.0000
Guaymas, Son.	184.7304	3,682.3037	1,053.4211	52,472.6984	107.9327	96.9487	38.8126	660.2276	102.2251	118,603.0472	7.5821	5.8098
Guerrero Negro, B.C.S.	225.0619	4,486.2463	1,283.4104	63,928.8533	131.4973	118.1151	47.2864	804.3725	124.5435	144,497.1773	9.2375	7.0782
Isla Cedros, B.C.	444.6833	8,864.0444	2,535.7962	126,312.3218	259.8158	233.3750	93.4296	1,589.3005	246.0762	285,501.3505	18.2518	13.9853
Isla Holbox, Q. Roo	0.3070	1.4772	3.3324	146.1533	0.4309	0.3878	0.0870	0.1792	0.2001	351.1168	0.0024	0.0087
Isla San Marcos, B.C.S.	9.7841	47.0830	106.2139	4,658.4234	13.7347	12.3595	2.7721	5.7102	6.3771	11,191.3341	0.0781	0.2787
La Paz, B.C.S.	139.6673	2,784.0423	796.4495	39,672.5059	81.6036	73.2990	29.3446	499.1717	77.2883	89,671.0142	5.7326	4.3925
Lázaro Cárdenas, Mich.	261.4391	5,211.3667	1,490.8504	74,261.7927	152.7514	137.2063	54.9293	934.3847	144.6736	167,852.5247	10.7306	8.2222
Manzanillo, Col.	580.3026	11,567.3964	3,309.1621	164,834.9938	339.0542	304.5496	121.9238	2,074.0046	321.1245	372,573.4170	23.8182	18.2505
Mazatlán, Sin.	103.5264	2,063.6319	590.3569	29,406.6822	60.4875	54.3319	21.7513	370.0039	57.2888	66,467.3672	4.2492	3.2559
Playa del Carmen, Q. Roo	276.6436	5,514.4444	1,577.5538	78,580.6393	161.6350	145.1858	58.1239	988.7258	153.0874	177,614.3318	11.3547	8.7004
Progreso, Yuc.	142.0513	2,831.5632	810.0441	40,349.6760	82.9965	74.5502	29.8455	507.6920	78.6075	91,201.6091	5.8304	4.4675

*Reducción de emisiones generadas por el movimiento de bienes en el transporte marítimo en América del Norte:
actualización de datos de emisiones en puertos mexicanos*

	Emisiones en 2011 (toneladas)						Emisiones en 2030 (toneladas)					
	Emisiones de hidrocarburos totales	CO	NO _x	CO ₂	SO ₂	PS	Emisiones de hidrocarburos totales	CO	NO _x	CO ₂	SO ₂	PS
Puerto Chiapas, Chis.	0.4715	2.2691	5.1189	224.5100	0.6619	0.5957	0.1336	0.2752	0.3073	539.3598	0.0038	0.0134
Puerto Libertad, Son.	6.2706	30.1755	68.0726	2,985.5880	8.8026	7.9212	1.7767	3.6597	4.0871	7,172.5366	0.0500	0.1786
Puerto Morelos, Q. Roo	0.6737	3.2421	7.3139	320.7801	0.9458	0.8511	0.1909	0.3932	0.4391	770.6378	0.0054	0.0192
Rosarito, B.C.	82.4684	1,643.8753	470.2743	23,425.1650	48.1840	43.2804	17.3269	294.7426	45.6359	52,947.4572	3.3849	2.5936
Salina Cruz, Oax.	429.3975	8,559.3471	2,448.6294	121,970.3961	250.8847	225.3528	90.2180	1,534.6690	237.6175	275,687.3781	17.6244	13.5045
San Carlos, B.C.S.	1.8258	8.7863	19.8210	869.3276	2.5631	2.3065	0.5173	1.0656	1.1901	2,088.4611	0.0146	0.0520
San Felipe, B.C.	0.0055	0.0266	0.0599	2.6273	0.0077	0.0070	0.0016	0.0032	0.0036	6.3118	0.0000	0.0002
Santa Rosalía, B.C.S.	0.3830	1.8432	4.1580	182.3664	0.5377	0.4838	0.1085	0.2235	0.2496	438.1146	0.0031	0.0109
Tampico, Tamps.	141.1849	2,814.2925	805.1034	40,103.5696	82.4903	74.0955	29.6635	504.5954	78.1281	90,645.3395	5.7948	4.4403
Topolobampo, Sin.	167.1401	3,331.6687	953.1127	47,476.1629	97.6552	87.7171	35.1168	597.3597	92.4910	107,309.4724	6.8602	5.2565
Tuxpan, Ver.	360.8985	7,193.9292	2,058.0152	102,513.2395	210.8627	189.4037	75.8261	1,289.8531	199.7119	231,708.7353	14.8129	11.3502
Veracruz, Ver.	499.9512	9,965.7209	2,850.9601	142,011.1741	292.1072	262.3802	105.0416	1,786.8283	276.6601	320,985.1693	20.5202	15.7234
Total	6,773	134,285	38,865	1,932,856	3,996	3,589	1,426	24,064	3,752	4,372,001	276	213

Apéndice B - Carga total anual y emisiones de buques asociadas

Datos proporcionados por la Semarnat a ERG, en el archivo “Puertos de altura y cabotaje final.xlsx”

Puerto	Tonelaje de carga (2010)	Emisiones en 2011 (toneladas)						Emisiones en 2030 (toneladas)					
		COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
Cayo Arcas, Camp.	48,664,121	28.242 044	65.8981 13	851.968 412	484.351 088	66.839 510	61.661 809	67.0759 82	156.26 4861	1633.90 1486	201.96 4523	34.152 276	30.7124 85
Manzanillo, Col.	17,791,133	10.325 019	24.0917 14	311.471 429	177.074 083	24.435 880	22.542 962	24.5223 32	57.128 925	597.338 615	73.836 281	12.485 742	11.2281 88
Veracruz, Ver.	15,327,690	8.8953 69	20.7558 63	268.343 647	152.555 582	21.052 374	19.421 559	21.1268 55	49.218 589	514.628 333	63.612 566	10.756 908	9.67348 1
Altamira, Tamps.	15,071,869	8.7469 04	20.4094 46	263.864 959	150.009 411	20.701 008	19.097 411	20.7742 46	48.397 124	506.039 124	62.550 864	10.577 374	9.51202 9
Isla Cedros, B.C.	13,633,266	7.9120 16	18.4613 73	238.679 169	135.691 082	18.725 106	17.274 572	18.7913 53	43.777 641	457.737 921	56.580 413	9.5677 69	8.60411 1
Salina Cruz, Oax.	13,164,629	7.6400 44	17.8267 72	230.474 687	131.026 766	18.081 439	16.680 767	18.1454 10	42.272 806	442.003 399	54.635 488	9.2388 81	8.30834 8
Tuxpan, Ver.	11,064,560	6.4212 77	14.9829 82	193.708 535	110.124 904	15.197 023	14.019 791	15.2507 89	35.529 295	371.493 426	45.919 839	7.7650 62	6.98297 1
Dos Bocas, Tab.	9,232,219	5.3578 84	12.5017 32	161.629 529	91.8877 24	12.680 328	11.698 050	12.7251 89	29.645 484	309.972 440	38.315 306	6.4791 33	5.82655 9
Playa del Carmen, Q. Roo	8,481,443	4.9221 74	11.4850 75	148.485 607	84.4152 95	11.649 147	10.746 750	11.6903 60	27.234 675	284.765 080	35.199 456	5.9522 41	5.35273 6
Lázaro Cárdenas, Mich.	8,015,297	4.6516 48	10.8538 48	140.324 734	79.7757 72	11.008 902	10.156 101	11.0478 50	25.737 838	269.114 194	33.264 870	5.6251 02	5.05854 6
Guerrero Negro, B.C.S.	6,900,032	4.0044 08	9.34362 1	120.799 661	68.6756 06	9.4771 00	8.7429 60	9.51062 9	22.156 622	231.669 088	28.636 327	4.8424 13	4.35468 9
Guaymas, Son.	5,663,535	3.2868 12	7.66922 9	99.1521 64	56.3688 25	7.7787 88	7.1762 07	7.80630 9	18.186 119	190.153 609	23.504 650	3.9746 45	3.57432 2
Topolobampo, Sin.	5,124,244	2.9738 36	6.93895 2	89.7107 34	51.0012 94	7.0380 80	6.4928 77	7.06298 0	16.454 408	172.046 874	21.266 499	3.5961 73	3.23396 9
Ensenada, B.C.	4,982,776	2.8917 36	6.74738 5	87.2340 37	49.5932 72	6.8437 75	6.3136 24	6.86798 8	16.000 141	167.297 075	20.679 383	3.4968 91	3.14468 7
Coatzacoalcos, Ver.	4,401,188	2.5542 13	5.95983 2	77.0521 09	43.8047 61	6.0449 72	5.5767 00	6.06635 9	14.132 610	147.770 215	18.265 692	3.0887 35	2.77764 0
Progreso, Yuc.	4,355,061	2.5274 44	5.89737 0	76.2445 58	43.3456 62	5.9816 17	5.5182 53	6.00278 0	13.984 492	146.221 497	18.074 257	3.0563 64	2.74852 9
Tampico, Tamps.	4,328,498	2.5120 28	5.86139 9	75.7795 17	43.0812 82	5.9451 33	5.4845 95	5.96616 7	13.899 196	145.329 643	17.964 016	3.0377 22	2.73176 5
La Paz, B.C.S.	4,281,972	2.4850 27	5.79839 7	74.9649 81	42.6182 11	5.8812 30	5.4256 43	5.90203 8	13.749 797	143.767 529	17.770 925	3.0050 70	2.70240 2
Mazatlán, Sin.	3,173,951	1.8419 91	4.29797 9	55.5667 28	31.5901 45	4.3593 79	4.0216 81	4.37480 2	10.191 842	106.565 641	13.172 446	2.2274 65	2.00311 7
Rosarito, B.C.	2,528,348	1.4673 18	3.42374 1	44.2640 82	25.1644 97	3.4726 52	3.2036 44	3.48493 8	8.1187 52	84.8894 72	10.493 082	1.7743 84	1.59566 9
Isla San Marcos, B.C.S.	916,683	0.1456 27	0.33979 8	4.39309 6	2.49751 2	0.3446 52	0.3179 53	0.34587 1	0.8057 65	8.42506 2	1.0414 11	0.1761 03	0.15836 6
Campeche, Camp.	861,980	0.1369 37	0.31952 0	4.13093 8	2.34847 3	0.3240 85	0.2989 80	0.32523 1	0.7576 81	7.92229 7	0.9792 65	0.1655 94	0.14891 6
Cozumel, Q. Roo	767,579	0.1219 40	0.28452 7	3.67853 3	2.09127 6	0.2885 92	0.2662 36	0.28961 3	0.6747 03	7.05467 5	0.8720 20	0.1474 59	0.13260 7
Acapulco, Gro.	592,514	0.0941 29	0.21963 4	2.83955 4	1.61431 0	0.2227 72	0.2055 15	0.22356 0	0.5208 20	5.44568 5	0.6731 34	0.1138 27	0.10236 3
Puerto Libertad, Son.	587,503	0.0933 33	0.21777 7	2.81553 9	1.60065 7	0.2208 88	0.2037 77	0.22166 9	0.5164 16	5.39963 0	0.6674 42	0.1128 65	0.10149 7
El Sauzal, B.C.	356,691	0.0566 65	0.13221 9	1.70940 0	0.97180 8	0.1341 08	0.1237 19	0.13458 2	0.3135 32	3.27828 0	0.4052 24	0.0685 24	0.06162 2

*Reducción de emisiones generadas por el movimiento de bienes en el transporte marítimo en América del Norte:
actualización de datos de emisiones en puertos mexicanos*

Puerto	Tonelaje de carga (2010)	Emisiones en 2011 (toneladas)						Emisiones en 2030 (toneladas)					
		COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV	CO	NO _x	SO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}
San Carlos, B.C.S.	171,066	0.0271 76	0.06341 1	0.81981 4	0.46607 1	0.0643 17	0.0593 35	0.06454 4	0.1503 67	1.57223 6	0.1943 42	0.0328 63	0.02955 3
Puerto Morelos, Q. Roo	63,123	0.0100 28	0.02339 9	0.30251 0	0.17197 9	0.0237 33	0.0218 94	0.02381 7	0.0554 85	0.58015 2	0.0717 12	0.0121 26	0.01090 5
Puerto Chiapas, Chis.	44,179	0.0070 18	0.01637 6	0.21172 3	0.12036 6	0.0166 10	0.0153 24	0.01666 9	0.0388 33	0.40604 1	0.0501 90	0.0084 87	0.00763 2
Santa Rosalía, B.C.S.	35,886	0.0057 01	0.01330 2	0.17197 9	0.09777 2	0.0134 92	0.0124 47	0.01354 0	0.0315 44	0.32982 1	0.0407 69	0.0068 94	0.00620 0
Isla Holbox, Q. Roo	28,760	0.0045 69	0.01066 1	0.13782 9	0.07835 7	0.0108 13	0.0099 75	0.01085 1	0.0252 80	0.26432 8	0.0326 73	0.0055 25	0.00496 9
Ciudad del Carmen, Camp.	9,306	0.0014 78	0.00345 0	0.04459 8	0.02535 4	0.0034 99	0.0032 28	0.00351 1	0.0081 80	0.08553 0	0.0105 72	0.0017 88	0.00160 8
San Felipe, B.C.	517	0.0000 82	0.00019 2	0.00247 8	0.00140 9	0.0001 94	0.0001 79	0.00019 5	0.0004 54	0.00475 2	0.0005 87	0.0000 99	0.00008 9
Frontera, Tab.	128	0.0000 20	0.00004 7	0.00061 3	0.00034 9	0.0000 48	0.0000 44	0.00004 8	0.0001 13	0.00117 6	0.0001 45	0.0000 25	0.00002 2
Punta Santa María, B.C.S.	0	0.0000 00	0.00000 0	0.00000 0	0.00000 0	0.0000 00	0.0000 00	0.00000 0	0.0000 00	0.00000 0	0.0000 00	0.0000 00	0.00000 0
Total	210,621,747	120.3638 97	280.84913 6	3630.9778 84	2064.2409 55	284.8612 45	262.7945 61	285.86905 6	665.9803 90	6963.47432 5	860.7463 69	145.5525 30	130.89259 3