



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA**  
**INGENIERÍA AMBIENTAL – AIRE**

**“REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES**  
**ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL**  
**RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO”**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA

P R E S E N T A:

I. A. LEIDY MAGALY TAMI PIMIENTO

**TUTORES PRINCIPALES**

DR. HUMBERTO BRAVO ÁLVAREZ, CENTRO DE CIENCIAS DE LA  
ATMÓSFERA, UNAM

DR. RODOLFO SOSA ECHEVERRÍA, CENTRO DE CIENCIAS DE LA  
ATMÓSFERA, UNAM

**COMITÉ TUTOR**

DR. PEDRO MARTÍNEZ PEREDA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM  
M. en C. VICENTE FUENTES GEA, FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

DRA. LEONOR PATRICIA GÜERECÁ HERNÁNDEZ, INSTITUTO DE  
INGENIERÍA, UNAM

MÉXICO, D. F. JUNIO 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO:**

- Presidente:** DR. MARTÍNEZ PEREDA PEDRO
- Secretario:** M. C. FUENTES GEA VICENTE
- Vocal:** DR. BRAVO ÁLVAREZ HUMBERTO
- 1er Suplente:** DRA. GÜERECÁ HERNÁNDEZ LEONOR PATRICIA
- 2do Suplente:** DR. SOSA ECHEVERRÍA RODOLFO

## **Lugares donde se realizó la Tesis:**

SECCIÓN DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL-CENTRO DE  
CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA-UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

ADMINISTRACIÓN PORTUARIA INTEGRAL DE VERACRUZ, S.A de  
C.V. (APIVER)

## **TUTORES DE TESIS**

DR. HUMBERTO BRAVO ALVAREZ

DR. RODOLFO SOSA ECHEVERRÍA

---

**FIRMA**

---

**FIRMA**

## *RECONOCIMIENTO*

Se otorga un reconocimiento especial a la ADMINISTRACIÓN PORTUARIA INTEGRAL DE VERACRUZ S.A de C.V. (APIVER) por el apoyo y la autorización proporcionada para obtener la información necesaria en la realización de este trabajo, en particular al Arq. Francisco Liaño Carrera Gerente de Ingeniería de APIVER y al personal a su cargo.

## *AGRADECIMIENTOS*

A la Universidad Nacional Autónoma de México, institución de alto prestigio, por darme la oportunidad de realizar este estudio de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología por el apoyo económico para realizar esta tesis.

Al posgrado de Ingeniería Ambiental por haberme brindado docentes de excelencia académica.

Se agradece al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM por el apoyo a los proyectos: "Inventario preliminar de fuentes de emisión en el sistema portuario de la Ciudad de Veracruz. Primera etapa del proyecto Puertos Verdes" (IT111911) y "Aplicación del diagnóstico de la caracterización de la deposición ácida en la zona costera del Golfo de México, para la evaluación de sus efectos y estrategias de control" (IT109711).

A la Sección de Contaminación Ambiental del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Administración Portuaria Integral de Veracruz, lugares donde se realizó el presente trabajo.

Un gran agradecimiento al Dr. Humberto Bravo Álvarez y al Dr. Rodolfo Sosa Echeverría por brindarme la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis de

maestría en el grupo de investigación de contaminación ambiental, por apoyarme en la orientación del desarrollo del trabajo y por compartirme sus valiosos conocimientos profesionales y éticos.

Al Ing. Ricardo Nazario Pérez y a los maestros en ingeniería Gilberto Fuentes García y Candi Ashanti Domínguez Manjarrez por su participación y apoyo en la realización del proyecto.

Agradezco a los miembros del Jurado, al Dr. Pedro Martínez Pereda, al M. C. Vicente Fuentes Gea y a la Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández, por sus aportaciones que permitieron enriquecer mi trabajo de tesis.

Se agradece al Arq. Francisco Liaño Carrera, Gerente de Ingeniería de APIVER y al personal a su cargo.

Se agradece a la Téc. Nohemí Delgado Grajales del Departamento de Planeación de la Gerencia de Ingeniería de APIVER su colaboración como enlace del proyecto y al Ing. Roberto Salazar Jefe del Departamento de Estadística y Productividad en APIVER por su apoyo en la realización del proyecto.

## ***AGRADECIMIENTOS PERSONALES***

Este trabajo y todos los días de mi vida van dedicados a Dios y a la Virgen, por acompañarme y protegerme a lo largo de este sendero, darme la salud y la sabiduría para conseguir otro triunfo más de mi vida.

A mis padres, Ramiro Tami y Carmen Pimiento, por su inmenso amor, apoyo, fraternidad y compañía, al igual, por darme la oportunidad de realizarme como profesional.

A mis hermanas Nayibe Tami, Yamile Tami y Mirella Moya, tías, sobrinos y primos por su apoyo incondicional y por darme día a día la fortaleza y el amor para conseguir esta meta. Gracias familia son mi gran tesoro.

A los del CCA: Candi Domínguez, Ana Alarcón, Diana Castellanos, Anakaren Puentes, Gabriela Salgado por ser mis angelitos y vivir cada momento con emoción y alegría, a Gilberto Fuentes, Ricardo Nazario, Rocío Bautista, Cecilia Vargas, Ángeles López, Roberto, Pablo, por hacer parte de mi formación profesional y personal.

A mis amigos de la maestría en especial a Sandra Carlos y Mónica Antúnez por ofrecerme su apoyo incondicional; a Iván Chávez y Mario Villanueva por brindarme su valiosa amistad y estar presente siempre.

A mis colombianos Ingrid Martínez, Miguel Laverde, Maribel Espinosa, Lucero Cobos-Becerra que hicieron parte de este proceso y estuvieron siempre a mi lado acompañándome y apoyándome en todo momento.

A todos mis amigos mexicanos y de otros países Margarita Cisneros, Alejandra Ríos, Rodo Salinas, Constanza Gómez, Mafe Domínguez, Paulina González, Ricardo Montes de Oca, Arturo Coco, Miguel Jiménez, Carlos Becerra, Juan Botarga, Pietro Villalobos, Isaac Cruz quienes hicieron que mi estancia en México fuera agradable y por ofrecerme siempre su amistad incondicional. A Antonio Badillo, John Díaz, Alexis Solórzano (entrenador de Box), Rogelio Espinosa por estar siempre a mi lado acompañándome y apoyándome con sus palabras y acciones.

A mis familias adoptivas, Arellano Marín, González Arrollo, Flores Durán y a mis padres adoptivos Alexandra Cerón y Cesar Gutiérrez por brindarme amor familiar en este país.

A mi mejor teraparcerita Tania Gómez y mi murallita Daniel Arellano por ser personas incondicionales y estar conmigo en todo momento.

Estoy muy feliz y satisfecha de culminar esta etapa en México, infinitas gracias a Dios por poner en mi camino cada una de las personas que de alguna u otra forma me brindaron cariño y aprecio, sin ellas mi estancia en este país no hubiera podido ser tan especial. Sólo me resta decirles GRACIAS a todos por cada momento vivido, por acompañarme siempre, consentirme y enseñarme en todo momento lo valioso de México. Ahora sólo espero que les quede en cada uno de sus corazones un marquita colombiana, los llevaré en mi corazón y en mi mente, **Dios los bendiga.**



# Contenido

	Página
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>TERMINOS GENERALES Y DEFINICIONES</b> .....	<b>xii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>Capítulo 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>2</b>
Justificación.....	4
Meta .....	6
Objetivos .....	6
<b>Capítulo 2. ANTECEDENTES</b> .....	<b>7</b>
<b>2 ANTECEDENTES</b> .....	<b>8</b>
2.1 Definición de contaminación atmosférica.....	8
2.2 Inventario de emisiones atmosféricas.....	10
2.2.1 Fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos .....	11
2.2.2 Modelo básico de cálculo de emisiones atmosféricas .....	12
2.2.3 Contaminantes de interés de un inventario de emisiones atmosféricas	13
2.3 Inventario de Emisiones Atmosféricas en Recintos Portuarios.....	17
2.4 Administración Portuaria Integral de Veracruz, México (APIVER) .....	18
2.4.1 Puertos Verdes .....	24

<b>Capítulo 3. METODOLOGÍA</b> .....	<b>25</b>
<b>3 METODOLOGÍA</b> .....	<b>26</b>
3.1 Reconocimiento del área de estudio e identificación de sus fuentes de emisión.....	28
3.2 Recopilación y evaluación de los datos relacionados con las emisiones atmosféricas.....	28
3.2.1 <i>Datos específicos y cálculos de emisión para fuentes móviles</i> .....	31
3.2.2 <i>Datos específicos y cálculos de emisión para fuentes fijas</i> .....	45
3.3 Procesamiento de información .....	47
3.4 Documentación .....	48
<b>Capítulo 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>49</b>
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>50</b>
4.1 Reconocimiento y generalidades del área de estudio.....	50
4.2 Fuentes de contaminación identificadas y emisiones generadas en el Recinto Portuario de Veracruz .....	55
4.2.1 <i>Movimiento y operación de buques</i> .....	55
4.2.2 <i>Locomotoras</i> .....	84
4.2.3 <i>Equipo de transporte de personal (flota vehicular) perteneciente a         APIVER</i> .....	87
4.2.4 <i>Equipo de transporte de carga dentro del puerto por parte del Centro de         Apoyo Logístico al Transporte (CALT)</i> .....	94
4.2.5 <i>Equipo de manejo de contenedores</i> .....	96
4.2.6 <i>Comedores</i> .....	99
4.2.7 <i>Incinerador</i> .....	103
Análisis global de emisiones.....	110
4.3 Estrategias de prevención, minimización y control de las emisiones atmosféricas generadas por las fuentes existentes dentro del Recinto Portuario de Veracruz. ....	113

<b>Capítulo 5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>118</b>
<b>5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>119</b>
Recomendaciones.....	120
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>122</b>
<b>6 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>123</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Ejemplos de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos en zonas portuaria	12
Tabla 3.1 Categorías consideradas para clasificar los buques	32
Tabla 3.2 Composición de los motores marítimos sobre 88,660 buques	34
Tabla 3.3 Clasificación motores diesel según velocidad del cigüeñal (RPM)	35
Tabla 3.4 Diferencia de 11076 buques según tipo, Gross Tonnage (GT) y velocidad cigüeñal	35
Tabla 3.5 Tipo de motor diesel para motor principal según buque y Gross Tonnage (GT)	36
Tabla 3.6 Clasificación de combustible en buques	37
Tabla 3.7 Factores de solicitud durante maniobra para motores auxiliares por tipo de buque	40
Tabla 3.8 Factores de solicitud de los motores en hotelling por tipo de buque	40
Tabla 3.9 Consumo específico de combustible [g/kWh] por tipo de motor y combustible para los motores principales durante la fase Maniobra	41
Tabla 3.10 Consumo específico de combustible [g/kWh] por tipo de motor y combustible para los motores auxiliares durante la fase Maniobra/Hotelling	41
Tabla 4.1 Actividades para el desarrollo del proyecto	51
Tabla 4.2 Movimiento de carga para el año 2011	53
Tabla 4.3 Características generalizadas para cada tipo de buque operado en el Recinto Portuario de Veracruz (Motor Principal ME y Motor Auxiliar AE)	58

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

---

Tabla 4.4 Características para cada tipo de buque operado en el Recinto Portuario de Veracruz (Factor de sollicitación, tiempos y consumo de combustible).	58
Tabla 4.5 Factores de emisión para motores principales según motor y combustible	59
Tabla 4.6 Factores de emisión para motores auxiliares según motor y combustible	59
Tabla 4.7 Factores de emisión para locomotoras	85
Tabla 4.8 Emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por las locomotoras(T/año)	86
Tabla 4.9 Factores de emisión para la flota vehicular APIVER	90
Tabla 4.10 Emisión de contaminantes atmosféricos generados por la flota vehicular a cargo de APIVER en el año 2011	93
Tabla 4.11 Factores de emisión para vehículos de carga pesada	95
Tabla 4.12 Emisión anual de contaminantes generadas por los vehículos de carga pesada	95
Tabla 4.13 Características y factores de emisión de las grúas de marco de las cesionarias Corporación Integral de Comercio Exterior S.A de C.V. (CICE) e Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz (ICAVE)	97
Tabla 4.14 Emisión de contaminantes atmosféricos generados por el manejo de contenedores.	98
Tabla 4.15 Información de comedores del Recinto Portuario de Veracruz	99
Tabla 4.16 Factores de emisión para gas LP	100
Tabla 4.17 Emisión de contaminantes generados por el comedor 1	101
Tabla 4.18 Emisión de contaminantes generados por el comedor 2	101
Tabla 4.19 Emisión de contaminantes generados por el comedor 3	101
Tabla 4.20 Características técnicas del incinerador INCIMEX Modelo UMCC 2T 500/Dual	104

Tabla 4.21 Eventos de incineración en el periodo de junio a octubre del año 2012	108
Tabla 4.22 Factores de emisión para incinerador de dos cámaras con equipo de control primario	109
Tabla 4.23 Emisión de contaminantes atmosféricos generados por la actividad de incineración	109
Tabla 4.24 Emisión global de contaminantes generados por las fuentes evaluadas en el estudio	110
Tabla 4.25 Análisis del principal contaminante emitido por cada fuente de emisión a la atmosfera	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Contaminantes primarios y secundarios	9
Figura 2.2 Ubicación del Estado de Veracruz	19
Figura 2.3 Ubicación del recinto portuario	19
Figura 2.4 Poligonal del Recinto Portuario de Veracruz	20
Figura 2.5 Localización del Recinto Portuario de Veracruz	21
Figura 2.6 División por áreas de actividad del Recinto Portuario de Veracruz, México	23
Figura 3.1 Diagrama general de la metodología para el desarrollo del Inventario de Emisiones (IE) Atmosféricas del Recinto Portuario de Veracruz	26
Figura 4.1 Reunión de inicio del proyecto con el personal de la Universidad Veracruzana y la Administración Portuaria Integral de Veracruz	50
Figura 4.2 Internacional de Contenedores de Veracruz, S.A. de C.V. (ICAVE)	54
Figura 4.3 Corporación Integral de Comercio Exterior, S.A. de C.V. (CICE)	55
Figura 4.4 Movimiento de buques por cesionaria en los años 2010 y 2011	56
Figura 4.5. Zona de tráfico marítimo, Veracruz	57
Figura 4.6 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2007	61
Figura 4.7 Emisión de NOx y CO por tipo de buque en el año 2007	61
Figura 4.8 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2007	62

Figura 4.9 Emisión de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2007	62
Figura 4.10 Emisión de SO <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2007	63
Figura 4.11 Emisión de CH <sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2007	63
Figura 4.12 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2007	64
Figura 4.13 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2007	64
Figura 4.14 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2008	65
Figura 4.15 Emisión de NO <sub>x</sub> y CO por tipo de buque en el año 2008	65
Figura 4.16 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2008	66
Figura 4.17 Emisión de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2008	66
Figura 4.18 Emisión de SO <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2008	67
Figura 4.19 Emisión de CH <sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2008	67
Figura 4.20 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2008	68
Figura 4.21 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2008	68
Figura 4.22 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2009	69
Figura 4.23 Emisión de NO <sub>x</sub> y CO por tipo de buque en el año 2009	69
Figura 4.24 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2009	70
Figura 4.25 Emisión de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2009	70
Figura 4.26 Emisión de SO <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2009	71
Figura 4.27 Emisión de CH <sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2009	71



Figura 4.28 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2009	72
Figura 4.29 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2009	72
Figura 4.30 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2010	73
Figura 4.31 Emisión de NO <sub>x</sub> y CO por tipo de buque en el año 2010	73
Figura 4.32 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2010	74
Figura 4.33 Emisión de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2010	74
Figura 4.34 Emisión de SO <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2010	75
Figura 4.35 Emisión de CH <sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2010	75
Figura 4.36 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2010	76
Figura 4.37 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2010	76
Figura 4.38 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2011	77
Figura 4.39 Emisión de NO <sub>x</sub> y CO por tipo de buque en el año 2011	77
Figura 4.40 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2011	78
Figura 4.41 Emisión de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2011	78
Figura 4.42 Emisión de SO <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2011	79
Figura 4.43 Emisión de CH <sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2011	79
Figura 4.44 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2011	80
Figura 4.45 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2011	80
Figura 4.46 Movimiento de buques en los años 2007 al 2011	82

Figura 4.47 Emisión anual de contaminantes atmosféricos generados por el movimiento de buques.	82
Figura 4.48 Emisión total de contaminantes atmosféricos generados por tipo de buque en los años 2007 al 2011.	83
Figura 4.49 Emisión anual de contaminantes generados por las locomotoras	86
Figura 4.50 Estructura de la flota vehicular 2011	87
Figura 4.51 Estructura de la flota vehicular por tipo de servicios 2011	87
Figura 4.52 Edades de la flota vehicular	88
Figura 4.53 Consumo anual de combustible por tipo de unidad 2011	89
Figura 4.54 Consumo anual de combustible por tipo de servicio 2011	89
Figura 4.55 Emisión total de contaminantes generados por la flota vehicular de APIVER en el año 2011	93
Figura 4.56 Centro de Apoyo Logístico al Transporte (CALT)	94
Figura 4.57 Emisión anual de contaminantes generadas por los vehículos de carga pesada	96
Figura 4.58 Emisión anual de contaminantes atmosféricos generados por el equipo de manejo de contenedores	98
Figura 4.59 Comedores existentes dentro del Recinto Portuario de Veracruz	99
Figura 4.60 Emisión anual de los contaminantes por comedor	102
Figura 4.61 Emisión total anual de los contaminantes generados por los tres comedores	102
Figura 4.62 Ubicación del Centro de Incineración y Manejo de Residuos en el Recinto Portuario de Veracruz	103
Figura 4.63 INCISOFT Sistema de control para el proceso de incineración	104
Figura 4.64 Sistema de quemadores	104

Figura 4.65 Cámara de ignición y chimenea	105
Figura 4.66 Esquema del sistema de operación del incinerador del Centro de Incineración y Manejo de Residuos	105
Figura 4.67 Emisión total de contaminantes generados por el Centro de Incineración y Manejo de Residuos	110
Figura 4.68 Emisión global de contaminantes generados por las fuentes evaluadas en el inventario de emisiones atmosféricas.	111

## TERMINOS GENERALES Y DEFINICIONES

- **APIVER.** Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A de C.V.
- **TEU´s.** (Twenty-foot Equivalent Unit) Representa la unidad de medida de capacidad del transporte marítimo en contenedores.
- **Arqueo Bruto (Gross Tonnage, GT):** Es una medida adimensional que mide el tamaño del buque a partir de su volumetría. Volumen moldeado de todos los espacios cerrados del buque (Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques de 1969).
- **Carga general:** Se refiere a carga de productos como café, atún, plátano, ganado, madera, acero, planchón, varilla, tubería, Ro-Ro
- **Carga de granel:** Conjunto de bienes que se transportan sin empaquetar, ni embalar en grandes cantidades. Esta carga usualmente es depositada o vertida con una pala, balde o cangilón, como líquido ó sólido, en un depósito para material a granel, carro de ferrocarril o en la caja de un camión.
- **Carga de fluidos:** Gas, Gasolina Premium y Magna, Diesel, aceites.
- **Carga Ro-Ro (Roll on – Roll off):** se denomina a todo tipo de buque o barco, que transporta cargamento rodado, tanto automóviles como camiones.
- **Carga contenerizada:** Se refiere a carga de frutas tropicales, perecederos, carga general, maíz quebrado.
- **Contaminante del aire:** Un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia que al ser emitida a la atmósfera altera la composición natural del aire.
- **Convenio MARPOL.** Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los buques, 1973.
- **CO.** Monóxido de carbono

- **CO<sub>2</sub>**. Bióxido de carbono
- **COV**. Compuestos Orgánicos Volátiles.
- **g**. gramos.
- **Granel agrícola**: Se refiere a carga de maíz, trigo, soya.
- **Granel mineral**: Hace referencia a carga de barita, magnetita, limenita, cemento, fertilizantes, hierro.
- **H**. Hora.
- **Factor de emisión**: Es un valor representativo cuyo objetivo es establecer la relación entre la cantidad de contaminación producida y la cantidad de materia prima procesada o número de unidades de producto producido. Normalmente se expresan como el peso del contaminante (g, kg, etc.) partido entre unidad de peso, distancia o duración de la actividad (U.S-EPA 1995).
- **kg**. Kilogramos
- **NMCOV**. Compuestos Orgánicos Volátiles diferentes al metano
- **NO<sub>x</sub>**. Óxidos de nitrógeno.
- **Obras de protección**.- Las áreas de navegación al interior del puerto y sus muelles se encuentran abrigadas por los Rompeolas, noreste, sureste y norte.
- **SO<sub>2</sub>**. Bióxido de azufre.
- **T**. Tonelada
- **THB**. Tonelada hora buque.

## RESUMEN

La operación de los puertos marítimos de México es una de las actividades más importantes para el desarrollo económico del país, ya que son los encargados de facilitar el comercio marítimo a nivel mundial. No obstante, las actividades realizadas durante la operación portuaria pueden causar impactos negativos que contribuyen al deterioro ambiental, ocasionando daños a la salud pública y a los ecosistemas.

El Proyecto “Puertos Verdes” reúne un conjunto de actividades y tecnologías que aplicadas inter, multi y transdisciplinariamente mejorarán el manejo de operaciones portuarias y ambientales, haciéndolo más sustentables y eficiente ante nuevos desarrollos portuarios. La primera etapa de este proyecto consistió en la realización de Inventario de Emisiones Atmosféricas (IEA) generadas por el Recinto Portuario de Veracruz.

La estimación de emisiones se llevó a cabo por medio del método de factores de emisión. Las fuentes de emisión que se incorporaron al IEA fueron las siguientes: buques, locomotoras, equipo de transporte de personal (flota vehicular) perteneciente a la Administración Portuaria de Veracruz (APIVER), equipo de manipulación de contenedores, equipo de transporte de carga pesada dentro del puerto por parte del Centro de Apoyo Logístico al Transporte (CALT), incinerador y comedores.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el IEA, el gas que más se emite es el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) con un valor de 323,373.33 T/año, seguido de los contaminantes óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) registrando valores de 5,531.44 y 3,693.50 T/año, respectivamente. En relación a los

contaminantes: monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles no metano (NMCOV), partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 2.5 y 10 micrómetros (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) registraron niveles de emisión muy similares entre sí, pero las cantidades no son representativas en comparación con las generadas por los contaminantes CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>). Por otra parte, el contaminante metano (CH<sub>4</sub>) contribuyó con una emisión total 4.57 T/año.

Finalmente, se recomendaron estrategias de prevención, minimización y control de las emisiones atmosféricas, con base en los resultados obtenidos en el estudio, orientadas principalmente a los aspectos de operación; por ejemplo: el mantenimiento de equipos y optimización del tiempo en el proceso de carga y descarga de mercancía de importación y exportación.

**Palabras clave:** Recinto Portuario de Veracruz, emisión atmosférica, fuentes de emisión, contaminante atmosférico, factor de emisión.

## ABSTRACT

The seaports operation in Mexico is one of the most important activities for the economic development, because they facilitate global seatriade. However, seaports activities may have negative impacts that contribute to environmental degradation, causing public health and ecosystems damages.

The “Green Ports” Project (Proyecto Puertos Verdes) gathers a set of activities and technologies, that inter, multi and transdisciplinary applied, will improve seaports operations management; in this way, seaports will be more sustainable and efficient compared to new ports developments. In the first stage of the project, the Atmospheric Emission Inventory (AEI) generated by the Veracruz Seaport (Recinto Portuario de Veracruz).

The emission estimation was made by the methodology of emission factors. The emissions sources incorporated to the AEI were: ships, locomotives, Veracruz Port Administration’s (VPA) personnel transportation equipment (vehicles), the Logistic Service Center for Transport’s (LSCT), container handling equipment, cargo handling equipment, incinerator and cafeteria.

According to the obtained results in the AEI, carbon dioxide ( $\text{CO}_2$ ) is the most generated pollutant, with a value of 323,373.33 T/year, followed by nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ) and sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ), who had values of 5,531.44 and 3,693.50 T/year, respectively. In regard to the pollutants: carbon monoxide (CO), Non-Methane Volatile Organic Compounds (NMVOC), Total Suspended Particles (TSP), and Particle Matter ( $\text{PM}_{10}$ ) and ( $\text{PM}_{2.5}$ ), they obtained similar emissions, but quantities are not representative comparing to emission generated by the  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  and sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) pollutants. On the other hand, the methane pollutant ( $\text{CH}_4$ ) contributed with a total emission of 4.57 T/year.



Finally, prevention, minimization and control atmospheric emissions strategies were recommended, based on the results obtained in the study. These strategies were oriented to the operation aspects, for example: equipment maintenance and time optimization in the cargo process and unload of importation and exportation goods.

**Keywords:** Veracruz Seaport, atmospheric emission, emission sources, atmospheric pollutant, emission factor.

# **Capítulo 1. INTRODUCCIÓN**

---

---

# INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas ambientales que se ha ido incrementando a través de los años es el aumento de las emisiones de contaminantes a la atmósfera como resultado de actividades humanas e industriales causando efectos adversos al ambiente y a la salud humana. El incremento de las emisiones en la atmósfera no sólo depende de las operaciones diarias del sector sino también de los factores meteorológicos del área.

En México, una de las principales fuentes generadoras de emisiones atmosféricas que está cobrando importancia en la actualidad son los puertos, los cuales, son responsables de facilitar el comercio marítimo a nivel mundial. Actualmente, en el estado de Veracruz, operan cuatro puertos de altura y cabotaje: Tuxpan, Veracruz, Coatzacoalcos y Pajaritos; y cuatro puertos de actividades pesqueras, turísticas y cabotaje: Tecolutla, Nautla, Alvarado y Tlacotalpan.

El puerto de Veracruz, es el principal puerto comercial del país, moviliza aproximadamente un total de 22 millones de toneladas de carga, es decir el 35.7% del movimiento de carga comercial nacional (APIVER, 2012a). Dada la importancia de la operación del Recinto Portuario en México en su desarrollo económico se propuso llevar a cabo un proyecto ambiental integral sobre “Puertos Verdes”, en el cual, se reúne un conjunto de actividades y tecnologías que aplicadas inter, multi y transdisciplinariamente mejoran el manejo de operaciones portuarias y ambientales, haciéndolo más sustentables y eficiente ante nuevos desarrollos portuarios mediante la identificación de impactos ambientales significativos.

La realización del proyecto “Puertos Verdes” en el Recinto Portuario de Veracruz propone medidas de prevención, minimización y control de los posibles impactos

dentro de la mejor factibilidad técnica económica, es decir, relaciona la reducción de impactos negativos al ambiente, los riesgos y los costos en la operación portuaria, por lo que debe ser prioritario en el desarrollo del país de México.

La primera fase de este proyecto consta de la realización del inventario de emisiones a la atmósfera generadas por las actividades realizadas en el Recinto Portuario de Veracruz, teniendo en cuenta que dentro de éste se localizan fuentes de emisión fija, móvil y de área, las cuales contribuyen a posibles afectaciones al entorno y al ser humano.

El inventario de emisiones atmosféricas tiene por objetivo organizar la información que permita aportar un diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las emisiones que ocurren en el área de estudio, identificando las fuentes emisoras, la distribución geográfica, los principales contaminantes generados, para implementar la planeación de estrategias de prevención, minimización y control de emisiones a la atmósfera.

En la actualidad, no se cuenta con un inventario de emisiones en el Recinto Portuario de Veracruz, por lo que hace importante su realización al formular políticas equitativas, en relación con otros “Puertos Verdes”, para atender la contaminación atmosférica y ofrecer a la ciudadanía información comparable sobre las fuentes emisoras de contaminantes y permitir que esta herramienta pueda ser interpretada con facilidad para dar respuesta positiva a las problemáticas en materia de contaminación atmosférica.

## Justificación

Es importante destacar que el Puerto de Veracruz, en la actualidad, tiene una importancia estratégica en el intercambio comercial de mercancías vía marítima por el Golfo de México, es líder a nivel nacional en el movimiento de granel agrícola y automóviles; así como, en el manejo de contenedores, lo cual representa para el país el primer lugar de recaudación de impuestos por pago de aranceles al comercio exterior vía marítima.

Debido a las actividades realizadas en el puerto, probablemente, se presentan impactos negativos que contribuyen al deterioro ambiental y pueden ocasionar daños a la salud pública y a los ecosistemas. En el futuro atendiendo a la globalización y a las nuevas tecnologías, la actividad portuaria se incrementará y los impactos ambientales se harán mayores sí no se toman las medidas pertinentes.

El uso cada vez más creciente de contenedores para el transporte, el flujo más activo del transporte marítimo y un mayor intercambio de bienes y servicios ha modificado los sistemas de operación y los problemas ambientales inherentes a estos están afectando la forma tradicional de gestión portuaria. Además, del cambio en el diseño de los barcos, en el equipamiento para el manejo y en el almacenamiento de la carga, de las adecuaciones de las instalaciones portuarias, han aparecido también nuevos controles y exigencias ambientales para el trabajo portuario, por lo que los aspectos ambientales de los puertos han llegado a ser parte integral del gerenciamiento portuario.

Por lo anterior, se consideró el proyecto “Puertos Verdes”, el cual recomendará al Recinto Portuario de Veracruz la mejor tecnología aplicable, considerando la

operación como un todo, es decir, contempla la minimización en la emisión, descarga, generación de residuos y contaminantes, garantizando una adecuada gestión ambiental, seguridad y protección de los buques e instalaciones portuarias. Además esta política verde se encuentra orientada bajo los siguientes aspectos:

- Distinguir el recinto portuario como un líder en la administración y acatamiento medioambiental con responsabilidad social.
- Proteger a la comunidad de impactos ambientales negativos por las operaciones portuarias.
- Fomentar la sustentabilidad actual y futura del Recinto Portuario.
- Emplear la mejor tecnología disponible para evitar o reducir los impactos medioambientales.
- Comprometer y educar a la comunidad.

El proyecto “Puertos Verdes” se encuentra dividido en varias etapas; la primera fase consta de esta tesis, es la realización de inventario de emisiones atmosféricas generadas por el Recinto Portuario de Veracruz, mediante el cual se obtenga un diagnóstico cualitativo y cuantitativo de las emisiones que allí se generan.

## Meta

- Realizar el inventario de emisiones atmosféricas por combustión en el Recinto Portuario de Veracruz, México.

## Objetivos

- Identificar las fuentes potenciales de contaminación atmosférica, evaluando las operaciones que se llevan a cabo en el Recinto Portuario de Veracruz mediante vistas de reconocimiento del área de estudio a evaluar.
- Obtener la información necesaria para la realización del inventario de emisiones atmosféricas empleando listas de verificación específicas para cada actividad del Recinto Portuario.
- Estimar cuantitativamente las emisiones de los contaminantes atmosféricos de interés en las fuentes del Recinto Portuario de Veracruz, utilizando la literatura existente e información relacionada con las operaciones del área de estudio.
- Recomendar estrategias de prevención, minimización y control de las emisiones atmosféricas, con base en los resultados obtenidos en el estudio.

## **Capítulo 2. ANTECEDENTES**

---

---



## 2 ANTECEDENTES

### 2.1 Definición de contaminación atmosférica

Se considera contaminación atmosférica a la presencia de sustancias en la atmósfera en determinadas concentraciones y en un tiempo determinado como resultado de actividades humanas o procesos naturales, que pueden alterar las condiciones naturales de la atmósfera.

Estas sustancias reciben el nombre de contaminantes los cuales se definen como fenómenos físicos, sustancias, o elementos en estado sólido, líquido o gaseoso, que modifican el estado natural del ambiente, los recursos naturales renovables y la salud humana; los contaminantes son emitidos al aire como resultado de actividades humanas, de causas naturales, o de una combinación de éstas en su forma más simple, en combinación o como productos de reacción, (MAVDT 2005).

Estos contaminantes son clasificados como primarios y secundarios; los contaminantes primarios son aquellos que son emitidos a la atmósfera directamente y proceden de diversas fuentes, como por ejemplo:

1. Óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ )
2. Monóxido de carbono (CO)
3. Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )
4. Hidrocarburos
5. Bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )
6. Aerosoles

Los contaminantes secundarios no son emitidos a la atmósfera directamente desde la fuente, sino que son causados por la interacción o reacciones químicas entre dos o más contaminantes primarios.

Entre los ejemplos de contaminantes secundarios se encuentran: el ozono, que se forma cuando hidrocarburos (HC) reactivos en la atmósfera como los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los óxidos de nitrógeno (NOx) reaccionan en presencia de radiación (U.V.B.  $\lambda$  320-280 nm). Así mismo, la lluvia ácida, que se forma cuando el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) o los óxidos de nitrógeno (NOx) reaccionan con la humedad atmosférica (lluvia o en nubes)(Figura 2.1).



Figura 2.1 Contaminantes primarios y secundarios (EDUCARCHILE 2012).

La contaminación atmosférica es un problema ambiental que pueden tener efectos en la salud, ecosistemas y materiales.

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica dependen principalmente de la concentración y del tipo de contaminantes presentes, del tiempo de exposición y de las fluctuaciones temporales de sus concentraciones y factores meteorológicos del área y la sensibilidad de los receptores.

## 2.2 Inventario de emisiones atmosféricas

Un inventario de emisiones es un conjunto de datos que caracterizan y consolidan, mediante sumatoria, las emisiones de contaminantes atmosféricos, de acuerdo con la fuente, el tipo y cantidad de contaminantes emitidos en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinado. Los inventarios de emisiones son instrumentos indispensables en los procesos de gestión de calidad del aire y toma de decisiones, ya que son el punto de partida para la implementación, evaluación y ajuste de programas y estrategias de prevención, minimización y control para mejorar la calidad del aire.

Un inventario de emisiones debe ser completo y preciso. Estas dos características son importantes, ya que la información obtenida se convierte en la base para el establecimiento y evaluación de estrategias de prevención, minimización y control de la contaminación atmosférica. El inventario debe mejorar estas características en la medida en que se hace dinámico y periódicamente se ajusta y complementa.

El propósito de un inventario de emisiones puede abarcar desde un resumen de emisiones estimadas procedentes de datos previamente publicados, hasta un extenso y profundo inventario de una instalación concreta, empleando datos específicos obtenidos directamente de sus fuentes. Consecuentemente, al realizar un inventario de emisiones se identifica las principales fuentes de contaminación dentro de la zona de estudio.

Las sustancias emitidas a la atmósfera por las actividades humanas y fuentes naturales son la causa de varios problemas actuales y futuros, como:

- Deterioro de la calidad del aire.
- Acidificación de la deposición atmosférica (lluvia).
- Daño sobre materiales y suelos.
- Destrucción de la capa de ozono estratosférico.
- Exposición de seres humanos y ecosistemas a sustancias peligrosas.

Los alcances de los inventarios de emisiones tienen trascendencia en las actividades económicas, industriales, energéticas y de transporte en el país, además de influir en la salud pública y la política ambiental local, regional, nacional e internacional (MAVDT 2008).

### *2.2.1 Fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos*

Las fuentes de emisiones se clasifican en términos generales como fuentes móviles y fijas (fuentes puntuales, fuentes de área, por ejemplo, agroindustria y fuentes naturales, por ejemplo erosión del suelo).

Las fuentes de emisiones atmosféricas relacionadas con las emisiones en Recintos Portuarios son generadas por la actividad portuaria (embarcaciones marinas y por fuentes terrestres). Las emisiones portuarias provienen principalmente de los motores Diesel que operan en los buques oceánicos (OGVs), remolcadores, dragas, remolques y demás barcos que operan dentro de una zona portuaria, en la Tabla 2.1 se presenta algunas fuentes de emisión en puertos (US-EPA 2009).

Las fuentes terrestres de emisiones que operan dentro de una zona portuaria incluyen equipos de manejo de carga (CHE), tales como tractores de terminal, grúas, manipuladores de contenedores y carretillas elevadoras; así como, camiones de servicio pesado y locomotoras. Las fuentes fijas de emisiones en los puertos también deben ser incluidas en las emisiones totales del puerto (US-EPA 2009).

La estimación de emisiones de los inventarios de emisiones atmosféricas generalmente consiste en aplicar factores de emisión a la actividad portuaria a través de una amplia gama de sectores (US-EPA 2009). Un factor de emisión es un valor representativo que relaciona la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada con la emisión de dicho contaminante.

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

Tabla 2.1 Ejemplos de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos en zonas portuaria (US-EPA 2009).

Buques oceánicos	Buques de puerto	Equipo de manejo de carga	Locomotoras	Vehículos
Buques oceánicos	Remolcadores	Terminal tractores	Locomotora de línea de acarreo	Transporte de carga
Buques portacontenedores	Ferries	Máquinas de carga superior y lateral	Locomotoras de cambio de patio	Autobuses
Buques petroleros	Barcos de excursión	Montacargas		Otros vehículos del puerto
Buques de transporte de granel	Buques de pesca	Grúas de muelle		
Cruceros	Equipos de dragado	Grúas pórtico		
Buques frigoríficos		Cargadores deslizantes		
Buques de transbordo rodado				
Buques de transporte de vehículos				

### 2.2.2 Modelo básico de cálculo de emisiones atmosféricas

Para determinar el método de la estimación de la emisión se debe tener en cuenta la actividad y la disponibilidad de la información. De acuerdo a lo anterior se tienen las siguientes metodologías:

- Métodos basados en datos de emisiones observadas (mediciones continuas ó a intervalos periódicos).
- Métodos basados en factores y variables de emisión y actividad.

En la gran mayoría de los casos, no se dispone de datos obtenidos de mediciones a través de un monitoreo continuo de emisiones. Por lo cual, el método más común se basa en combinar la información de la actividad de la fuente conocido

como Factor de Actividad (FA) con el coeficiente que cuantifica las emisiones por unidad de actividad Factor de Emisión (FE), (Ecuación 1).

$$E_{i,j} = FA_{i,j} * FE_{i,j} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

**$E_{i,j}$** : Emisión atmosférica del contaminante (*i*) debido a la actividad (*j*): *Masa de contaminante / Tiempo (Mc/T)*

**$FA_{i,j}$** : Nivel de la actividad (*j*) que produce la emisión del contaminante (*i*): *Masa de producto / Tiempo (Mp/T)*

**$FE_{i,j}$** : Cantidad del contaminante (*i*) a causa de la actividad (*j*): *Masa de contaminante por masa de producto (Mc/Mp)*

### 2.2.3 Contaminantes de interés de un inventario de emisiones atmosféricas

Los propósitos que se establezcan para un inventario de emisiones van a determinar los contaminantes que deben ser incluidos. Por ejemplo, un inventario de contaminantes criterio incluiría monóxido de carbono (CO), bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), partículas, plomo (Pb) y ozono (O<sub>3</sub>) (SEMARNAT 2009). En cambio, un inventario para el estudio del ozono se enfocaría en las emisiones de sus precursores; es decir, Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), CO y Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Finalmente, un inventario para el estudio de la visibilidad incluiría las emisiones de SO<sub>x</sub>, de NO<sub>x</sub>, de partículas finas (de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micrómetros - PM<sub>2.5</sub>), de carbono elemental (CE), de carbono orgánico (C<sub>org</sub>) y de amoníaco (NH<sub>3</sub>).

Una vez que se ha determinado cuales son los contaminantes que deben ser incluidos en el inventario de emisiones es importante definir claramente a cada uno de ellos tal como los menciona la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

Los principales contaminantes atmosféricos que se tendrán en cuenta en el presente inventario de emisiones se describen a continuación (U.S-EPA 1997):

- Compuestos Orgánicos Volátiles: existen muchas fuentes que emiten compuestos orgánicos a la atmósfera. Sin embargo, en general los COV son emitidos por fuentes de combustión o de evaporación. De manera colectiva, los compuestos comprendidos en las emisiones de hidrocarburos se conocen como COV. Este concepto incluye a todos los compuestos carbonáceos excepto carbonatos, carburos metálicos, CO, bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y ácido carbónico. A veces se conoce a los COV como compuestos orgánicos totales (COT) aunque sólo en el contexto de calidad del aire.
  
- Monóxido de Carbono: es un gas incoloro e inodoro que resulta de la combustión incompleta de combustibles fósiles. Una cantidad significativa del CO emitido en áreas urbanas es producida por los vehículos automotores. Los niveles de exposición al CO inferiores a 15-20 ppm no producen efectos adversos sobre la salud, niveles superiores a éstos la carboxihemoglobina en la sangre se eleva causando efectos adversos en el sistema nervioso y en el cardiovascular.
  
- Óxidos de Nitrógeno: el término óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) es un concepto amplio que incluye el óxido nítrico (NO), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y otros óxidos de nitrógeno menos comunes. En general estos compuestos son formados durante los procesos de combustión y son precursores de ozono.

No se considera que el NO cause efectos adversos sobre la salud en concentraciones ambientales; sin embargo, la exposición al NO<sub>2</sub> puede ocasionar irritación del tracto respiratorio y, si la exposición se prolonga, puede causar decrementos en la función pulmonar. El NO<sub>x</sub> más importante

que se produce en la combustión es el NO. Sin embargo, al mismo tiempo es común que se emitan NO<sub>2</sub> y otros óxidos de nitrógeno los que pueden o no distinguirse en los datos disponibles de muestreos.

En general, estos compuestos evolucionan constantemente siendo el NO<sub>2</sub> uno de los productos de oxidación emitido o formado corriente abajo del proceso de combustión. La convención general que se sigue consiste en reportar las distinciones de los contaminantes siempre que esto sea posible pero reportar los NO<sub>x</sub> totales con base en el peso molecular del NO<sub>2</sub>.

Los NO<sub>x</sub> se forman en la combustión de dos maneras principales: los NO<sub>x</sub> térmicos y los NO<sub>x</sub> provenientes del combustible. Los NO<sub>x</sub> térmicos se forman cuando el nitrógeno y el oxígeno en el aire de combustión reaccionan a altas temperaturas en la flama. Los NO<sub>x</sub> del combustible se forman por la reacción de nitrógeno contenido en el combustible con el aire de combustión.

Los NO<sub>x</sub> térmicos son la fuente principal de NO<sub>x</sub> en la combustión de gas natural y de aceites ligeros y el factor más significativo que afecta su formación es la temperatura de la flama. Un nivel excesivo de aire y la temperatura del aire de combustión también son factores que influyen en la formación de los NO<sub>x</sub> térmicos.

La formación de los NO<sub>x</sub> del combustible depende de su contenido de nitrógeno y puede constituir hasta el 50% de las emisiones de NO<sub>x</sub> de la combustión de productos ricos en nitrógeno, sobre todo carbón y aceites pesados.

- Bióxido de Azufre: es un gas incoloro de olor fuerte que se forma en la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre, es irritante del



sistema respiratorio que puede ocasionar una respuesta similar al asma o agravar una condición asmática preexistente.

Las plantas termoeléctricas que usan carbón o combustóleo con alto contenido de azufre pueden ser fuentes importantes de  $\text{SO}_2$ . El  $\text{SO}_2$  puede oxidarse a trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) y después a ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) o a sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) como aerosoles. Las emisiones de  $\text{SO}_2$  de fuentes de combustión dependen del contenido de azufre del combustible usado.

- Partículas: el término partículas se refiere a cualquier sustancia en fase sólida o líquida que se encuentren suspendidas en el aire. Pueden ser hollín, polvos, aerosoles, humos o neblinas. Algunas clasificaciones de las partículas incluyen a las partículas totales; partículas primarias y secundarias; partículas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas (PS),  $\text{PM}_{10}$  y  $\text{PM}_{2.5}$ .

Las partículas primarias incluyen a los materiales sólidos o líquidos emitidos directamente del proceso. Las partículas secundarias son aerosoles que se forman en el aire a partir de gases por medio de reacciones químicas atmosféricas. Todas las referencias sobre factores de emisión de partículas (e.g., el AP-42) son primarias por lo que el término "partículas totales" se usa para describir las emisiones que representan sólo a las partículas primarias.

Las PST es la materia emitida como sólida, líquida y vapores pero que están "suspendidas" en el aire como partículas sólidas o líquidas. Las PST incluyen a todas las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a  $100\ \mu\text{m}$ . Las partículas con más de  $100\ \mu\text{m}$  tienden a depositarse rápidamente y las partículas de diámetro entre  $30$  y  $100\ \mu\text{m}$  sedimentan con dificultad. El término  $\text{PM}_{10}$  se refiere a las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a  $10\ \mu\text{m}$  y  $\text{PM}_{2.5}$  se refiere a las partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a  $2.5\ \mu\text{m}$ .

El pequeño tamaño de las  $PM_{10}$  y las  $PM_{2.5}$  les permite entrar fácilmente en los alvéolos pulmonares donde se pueden depositar causando efectos adversos sobre la salud. Las partículas pueden causar tos y cambios tanto en la función respiratoria, como en el pulmón mismo. Sin embargo, ha sido difícil establecer los niveles en los que se presentan efectos adversos debido a la presencia de otros compuestos químicos que podrían ser responsables de algunos de los efectos observados. Además, las emisiones de  $PM_{2.5}$  también son un problema para la visibilidad.

### **2.3 Inventario de Emisiones Atmosféricas en Recintos Portuarios**

Recientemente, un número de autoridades portuarias han hecho estimaciones detalladas de sus inventarios de emisiones. La mayoría de los inventarios recientes representan las mejores prácticas actuales en la elaboración de inventarios de emisiones. Otros puertos están en el proceso de elaboración de inventarios detallados. De acuerdo a la U.S-EPA los siguientes puertos son los que han realizado estimaciones de emisiones atmosféricas.

- ✓ Alaska, Estados Unidos de América
- ✓ Arthur, Texas-Estados Unidos de América
- ✓ Charleston, Estados Unidos de América
- ✓ Corpus Christi, Estados Unidos de América
- ✓ Houston/Galveston, Texas-Estados Unidos de América
- ✓ Lago de Michigan, Estados Unidos de América
- ✓ Los Ángeles, California-Estados Unidos de América
- ✓ Long Beach, Estados Unidos de América
- ✓ San Diego, Estados Unidos de América
- ✓ New York/New Jersey, Estados Unidos de América
- ✓ Oakland, Estados Unidos de América
- ✓ Portland, Estados Unidos de América

Para llevar a cabo el presente inventario de emisiones atmosféricas se tomó como referencia trabajos realizados a nivel nacional e internacional como el Inventario Nacional de Emisiones de México 2005, generado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el cual cubrió todo el territorio nacional, y se presentan resultados de las estimaciones de emisiones del Distrito Federal y los 31 estados, entre los que se encuentra Veracruz.

En el Inventario Nacional de Emisiones de México 2005 hacen una estimación por cada tipo de fuente, incluye las actividades de los buques en el Recinto Portuario y locomotoras, como precursoras de emisiones de contaminantes a la atmósfera y presentan como resultado que el estado de Veracruz es uno de los estados que presentan las principales fuentes generadoras de contaminantes como el SO<sub>2</sub>, lo cual es debido al uso de combustibles residuales con un alto contenido de azufre de hasta el 4% en comparación con el contenido de azufre del Diesel que es de 0.04%. Tanto las embarcaciones marinas, como las locomotoras de arrastre presentan importantes emisiones de NO<sub>x</sub>, lo cual es probablemente debido a la intensidad de combustión de dichas máquinas (SEMARNAT 2005).

Por otro lado, se hizo una revisión bibliográfica relacionada con la elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas (IE) en puertos de otros países como por ejemplo el de España y San Diego, debido a que fueron los trabajos que reportan metodologías más aplicables para la realización del presente estudio y que se relacionan más con la meta del presente IE.

#### **2.4 Administración Portuaria Integral de Veracruz, México (APIVER)**

En la ciudad de Veracruz se encuentra el Recinto Portuario de Veracruz, el cual está delimitado por el trazo de una línea poligonal imaginaria que une los puntos siguientes: Arranque de la Escollera del Sureste con Isla de Sacrificios, extremos sur de Isla Pájaros, Isla Verde y Anegada de Adentro, continuando con el extremo norte de la Anegada de Adentro y extremo norte del Arrecife de la Galleguilla y

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

finalizando en el extremo del muro de la escollera de protección de Playa Norte (APIVER 2009). (Figura 2.2 y 2.4)



Figura 2.2. Ubicación del Estado de Veracruz (MÉXICO PICTURES 2012)



Figura 2.3 Ubicación del Recinto Portuario (MÉXICO PICTURES 2012)

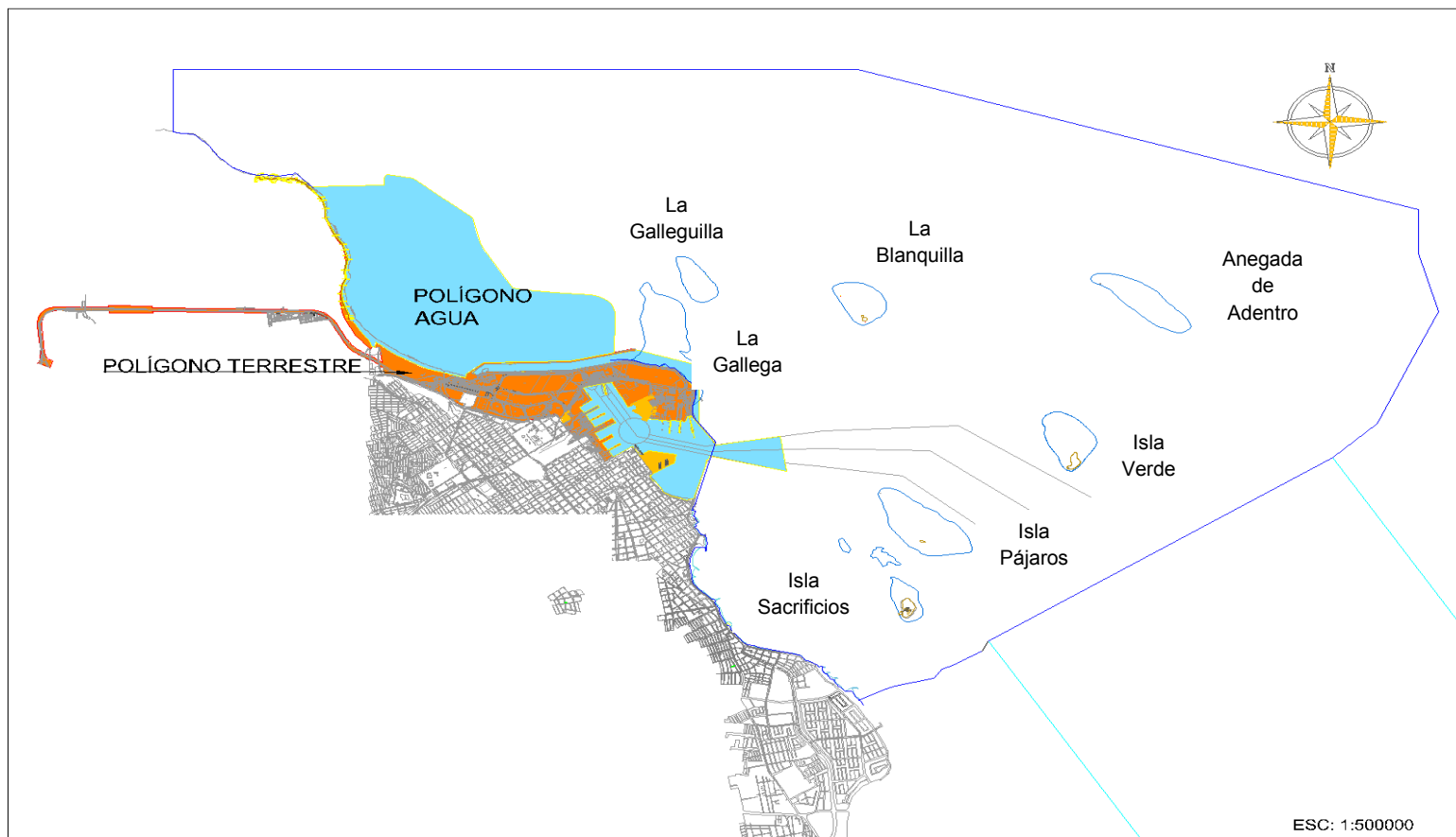


Figura 2.4. Poligonal del Recinto Portuario de Veracruz.

El Recinto Portuario de Veracruz es el lugar de la costa o ribera habilitado por el Ejecutivo Federal para tráfico de altura y cabotaje, para la recepción, abrigo y atención de embarcaciones, compuesto por el Recinto Portuario y, en su caso, por la zona de desarrollo, así como por accesos y áreas de uso común para la navegación interna, para su operación cuenta con servicios, terminales e instalaciones públicas y particulares (Figura 2.5)



Figura 2.5 Localización del Recinto Portuario de Veracruz (GOOGLE EARTH 2012)

En el año 1991, se inicia la reforma portuaria con la restructuración del Puerto de Veracruz, considerado el Puerto más importante por su localización estratégica y capacidad de acomodar flujos comerciales. Actualmente la infraestructura del puerto de Veracruz y su comunidad portuaria está integrada principalmente por los cesionarios, prestadores de servicios, líneas navieras, autoridades portuarias, agentes aduanales, transportistas, instituciones y organismos vinculados con la actividad portuaria (APIVER 2009).

Durante el periodo de enero a agosto del año 2012 se movilizaron 15,017,189 toneladas de carga (8.6% más que el movimiento registrado en el mismo periodo del año 2011), los tipos de carga excepto granel mineral, petróleo y derivados, registraron incrementos; en cuanto a la carga comercial. El movimiento acumulado es 10.2% superior al del mismo periodo del año 2011 (APIVER 2012c).

En la Figura 2.6, se observa cómo está conformado, actualmente, el recinto portuario de acuerdo a las distintas áreas especializadas para cada actividad, como por ejemplo las instalaciones para carga de granel, fluidos, automóviles y muelles.

REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO

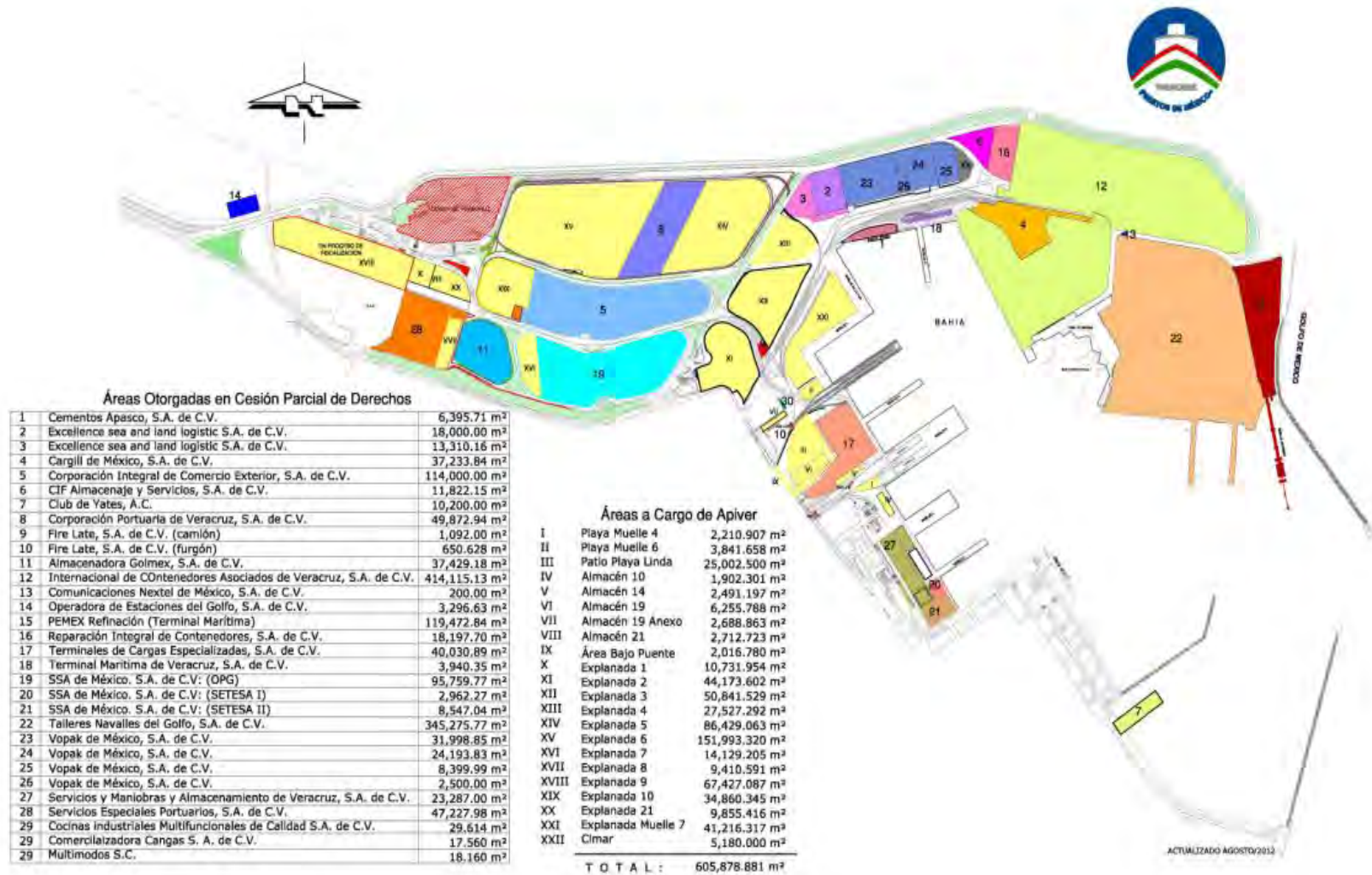


Figura 2.6 División por áreas de actividad del Recinto Portuario de Veracruz, México (APIVER 2012b).



#### 2.4.1 Puertos Verdes

Un proyecto verde ó proyecto sustentable se refiere a la administración eficiente y racional de los bienes y servicios ambientales del Recinto Portuario, por lo tanto implica el bienestar de la población actual aledaña y evita comprometer la satisfacción de las necesidades básicas y la calidad de vida de las generaciones futuras.

“Puertos Verdes” es un concepto sustentable aplicable al manejo de actividades marítimas y portuarias y que buscan mejorar su competitividad a nivel internacional para ofrecer prácticas sustentables a las líneas comerciales de transporte.

Como ejemplo de estas compañías se tiene la de Sídney Corp., la cual ha mostrado el camino para proteger dos de sus más preciados recursos naturales: Sídney Harbor y Botany Bay, además, protegiendo a la población y estableciendo compromiso para minimizar y evitar al máximo los impactos potenciales negativos al ambiente. Al igual, otros puertos como Los Ángeles, San Francisco, California y Singapur, se encuentran desarrollando la tecnología para la operatividad de estos puertos que conjuntamente con su eficiencia protejan la calidad ambiental y los ecosistemas, para conservar una calidad de vida adecuada para la comunidad.

El Recinto Portuario de Veracruz, ha optado por sumarse a la tarea de cumplir con esta “política verde” para obtener beneficios tanto ambientales como económicos y de esta manera incrementar su competitividad a nivel internacional. Como primera fase del proyecto se realiza un inventario de emisiones atmosféricas generadas por sus actividades, debido a que actualmente no dispone de esta herramienta como punto de partida ó referencia para su desarrollo sustentable.

## **Capítulo 3. METODOLOGÍA**



### 3 METODOLOGÍA

De acuerdo a la revisión bibliográfica que se tiene de inventarios de emisiones atmosféricas (IE) realizados en puertos de otros países como: San Diego, Charleston y los Ángeles en los Estados Unidos de América, Barcelona en España y Montreal en Canadá, etc. y el Inventario Nacional de emisiones en México, entre otros, se fórmula la siguiente metodología general, representada en la Figura 3.1, para la realización del inventario de emisiones atmosféricas del Recinto Portuario de Veracruz.

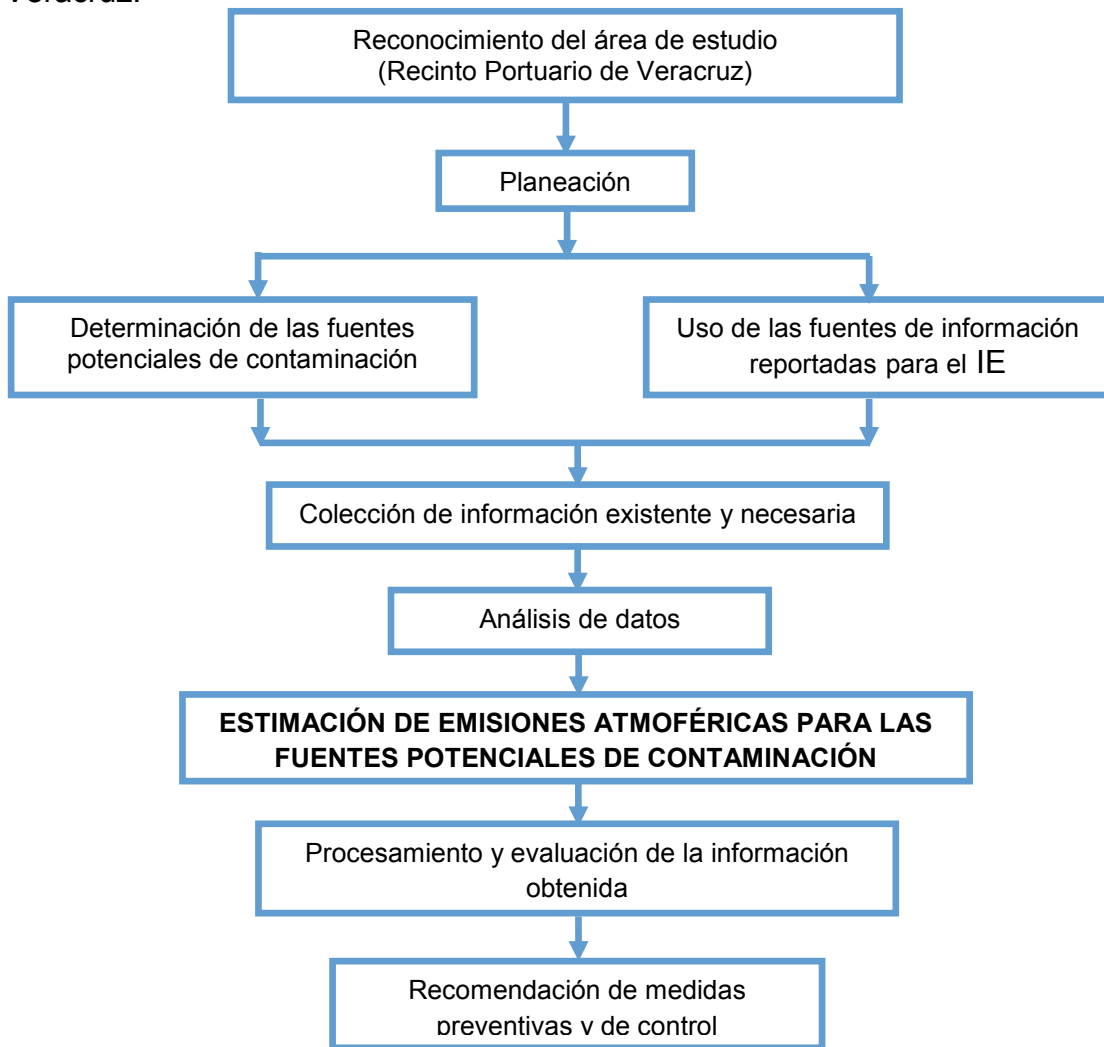


Figura 3.1. Diagrama general de la metodología para el desarrollo del Inventario de Emisiones (IE) Atmosféricas del Recinto Portuario de Veracruz

En este inventario se utilizan métodos basados en factores de emisión obtenidos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA), de organismos europeos como el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) entre otros, realizando un desglose, particular en cada caso, de la expresión general de la ecuación 1.

$$E_{i,j} = FA_{i,j} * FE_{i,j} \quad (1)$$

El método seleccionado se utiliza para hacer el cálculo de las emisiones, debido a que no se cuenta con datos de medición de emisiones en las fuentes consideradas para cada uno de los casos. El nivel de actividad se relaciona con las operaciones llevadas a cabo por las distintas fuentes existentes en la zona de estudio, por lo que es necesario desarrollar metodologías concretas en cada caso y así poder llegar a relacionar las emisiones generadas por cada una de las fuentes existentes.

Existen dos enfoques a investigar para realizar los inventarios de emisiones como son el *Top-Down (Arriba-Abajo)* en el cual se utilizan estadísticas generales y posteriormente se desagregan espacialmente entre las distintas celdas que conforman el área de estudio, mediante parámetros que indican densidad de actividad y el *Bottom-Up (Abajo-Arriba)* en el que se divide el área de estudio en distintas celdas mediante parámetros particulares obteniendo, mediante sumatoria, el total de las emisiones del área (Guevara 2010).

El enfoque que se le da al presente inventario es el *Bottom-up* debido a la factibilidad de sus características y a la ventaja de obtener las emisiones de forma detallada, lo cual permite tener un mejor conocimiento del origen y valoración de las emisiones.

Un aspecto importante en la realización del inventario, es identificar las tres operaciones de tráfico marítimo que realiza un buque como es crucero, maniobra y hotelling.

Considerando los aspectos anteriores, el proceso de inventario de emisiones se realiza teniendo en cuenta las siguientes etapas principales:

- Reconocimiento del área de estudio e identificación de sus fuentes de emisión.
- Recopilación y evaluación de los datos relacionados con las emisiones
- Procesamiento y evaluación de la información obtenida.
- Documentación.

### ***3.1 Reconocimiento del área de estudio e identificación de sus fuentes de emisión***

Se realizarán visitas de reconocimiento al sitio, las cuales tienen como finalidad hacer una recopilación de información de las principales fuentes asociadas a áreas específicas como: móviles, fijas y de área.

Para lo anterior, se debe describir el área de estudio, en este caso, el Recinto Portuario de Veracruz.

### ***3.2 Recopilación y evaluación de los datos relacionados con las emisiones atmosféricas.***

En esta etapa se obtiene la información necesaria para calcular las emisiones atmosféricas generadas por las diferentes operaciones portuarias por medio de las visitas a la zona de estudio y se solicitaron los datos correspondientes a las autoridades del Recinto Portuario y a los organismos relacionados con las actividades del Recinto Portuario.

Entre la información requerida para la estimación de emisiones se encuentran los factores de emisión, tipo de actividad, cantidad de combustible empleado, características del combustible, entre otros. El tipo de información requerida depende de la fuente que será evaluada. Las fuentes potenciales emisoras de contaminación identificadas y evaluadas dentro del Recinto Portuario de Veracruz fueron las siguientes:

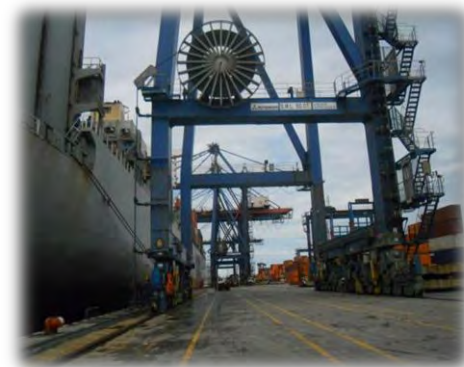
*Movimiento y operación de  
buques*



*Locomotoras*



*Equipo de transferencia de carga  
(manejo de contenedores)*



*Equipo de transporte de personal  
de APIVER y de carga del Centro  
de Apoyo Logístico al Transporte  
(CALT) dentro del Recinto  
Portuario*



*Incinerador*



*Comedores*



Debido a que no se tiene la disponibilidad total de la información necesaria para realizar el cálculo completo de emisiones de todas las fuentes generadoras de contaminantes atmosféricos mencionadas anteriormente. Esta tesis considera las fuentes de emisión por operación marítima, fuentes de carga/descarga de contenedores; así como las emisiones del incinerador, comedores, locomotoras y equipo de transporte APIVER y de carga CALT del Recinto Portuario.

A continuación se especifica la información por cada tipo de fuente:

### 3.2.1 Datos específicos y cálculos de emisión para fuentes móviles

Las fuentes móviles incluyen a las diversas formas de transporte tales como automóviles, camiones, buques, etc. En esta sección se presentan las estimaciones de las emisiones generadas por la operación de este tipo de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos, teniendo en cuenta la disponibilidad de datos en este primer estudio.

En este caso las fuentes que corresponden a esta categoría son los buques, locomotoras, equipo de transferencia de contenedores y equipo de manejo de carga y equipo de transporte de personal dentro del puerto ya que son las fuentes generadoras de contaminantes debido a su importancia en la operación del puerto de acuerdo a la información disponible en este primer estudio. El desarrollo del cálculo de estas fuentes se describe a continuación:

#### 3.2.1.1 Movimiento y operación de buques

Para determinar el procedimiento y la información necesaria para la estimación de emisiones relacionadas con los buques se tomó como referencia bibliográfica la metodología planteada en el *Inventario de Emisiones Atmosféricas para puertos en España 2008* realizado por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, debido a que las condiciones contempladas en las fases de operación (maniobra y hotelling) del puerto se ajustan a las del presente inventario. Los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta al cuantificar las emisiones de buques son los siguientes:

- ✓ **Operaciones anuales y Gross Tonnage (GT)**

Los distintos barcos que operaron en un periodo de 5 años (2007-2011) se organizaron de acuerdo a la clasificación de Techne (TECHNE 1998) dentro de las categorías señaladas en la Tabla 3.1.



**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

Tabla 3.1 Categorías consideradas para clasificar los buques (TECHNE 1998)

<b>Tipo de buque</b>	<b>Descripción</b>
Tanque	Barcos dedicados al transporte de mercancías líquidas. También se denominan graneleros líquidos
Granelero	Barcos usados para el transporte de productos a granel como minerales, fertilizantes, madera, o grano.
Carga General	Barcos destinados a transportar mercancías como hierro, comida peletizada (empacada con mismo embalaje), y mercancía pesada.
Ro-Ro Mercancía	Barcos destinados a transportar carga rodada así como equipos todo terreno, tráileres o vagones de tren, vehículos automotores (carros).
Crucero	Barcos destinados al transporte de pasajeros, cruceros
Ferries	Buques de alta velocidad que enlazan dos puntos transportando pasajeros en horarios programados (transbordador).
Ro-Ro mixto	Barcos destinados a transportar mercancía rodada y pasajeros.
Portacontenedores	Barcos que transportan mercancías dentro de contenedores de tamaño estandarizado.
Pesqueros	Barcos destinados a la pesca
Remolcadores	Barcos destinados al remolque de otros barcos, principalmente para ayudar en las maniobras de entrada y salida de los puertos.
Barcos de guerras	Barcos con actividades militares
Otros buques de mercancía	Engloba buques mercantes que entran a puerto para su reparación, dragas. Salvación marítima, artefactos flotantes y otras actividades.

Para cada categoría de barcos se identifica el número de entradas y salidas desde el año 2007 al 2011, así como el GT.

El conocimiento más a detalle de la operación en que participan los buques hace necesario conocer algunas características importantes de los mismos para realizar el inventario de emisiones atmosféricas generadas por esta actividad.

✓ **Tipo de motor**

Es importante determinar el tipo de motor ya que influyen directamente en las condiciones de combustión que se producen, al igual determinan consecuentemente, el nivel de emisiones de algunos contaminantes, como es el caso del NO<sub>x</sub>, CO ó compuestos orgánicos volátiles no metano (NMCOV). Por lo general en un buque se encuentran las siguientes fuentes de combustión (Guevara 2010):

- **Motor principal (ME).** Se encarga de la propulsión del buque. Dentro del puerto, normalmente se encuentra apagado, aunque en el caso de algunos buques de carga puede ser utilizado para realizar las maniobras de carga y descarga en caso de que la potencia de los motores auxiliares no sea suficiente.

- **Motor auxiliar (AE).** Se encarga de generar la energía eléctrica necesaria a bordo para hacer funcionar los sistemas de iluminación, ventilación, calefacción y aire acondicionado; así como de equipo de cómputo, sistemas de comunicación y las posibles grúas ó bombas que pueda incorporar el buque. Dentro del puerto el AE se mantiene encendido y participa en las actividades de carga y descarga. Cuando el buque se encuentra en mar abierto se usa con una carga de trabajo pequeña, excepto sí el ME incorpora un eje generador, en cuyo caso permanece inactivo.

- **Motor de emergencia.** Este motor se utiliza durante operaciones de corto término, o cuando se produce algún fallo en el sistema del AE.

- **Caldera.** Se utiliza para la producción de calor abordo.

- **Incineradora.** Se usa para quemar residuos generados a bordo.

En comparación con las emisiones generadas por los ME y AE, desde el punto de vista de emisiones contaminantes; motor de emergencia, caldera e incinerador son focos poco significativos en su contribución al momento de realizar el inventario de emisiones, por lo tanto no se consideran para el cálculo de emisiones.

Según la literatura, aunque los ME, usados para la propulsión de los buques en alta mar, son los que provocan las emisiones más grandes, cuantitativamente hablando, las de los AE, más pequeñas en comparación, no deben ser ignoradas; especialmente cuando los buques están atracados en los muelles de los puertos cercanos a centros de población, puesto que entonces adquieren gran importancia debido a su mayor uso.

En términos de número y magnitud de emisiones, los motores Diesel, tanto para los ME como los AE son los que dominan claramente dentro de la flota mundial. Éstos van seguidos de las turbinas de vapor (Stream Turbine, ST) y turbinas de gas (Gas Turbine, GT). Según Corbett y Koehler (2003), teniendo en cuenta la base de datos de LMIS (Lloyd's Maritime Information System) del año 2002 para buques de GT>100 y los datos de motores específicos, se presentan en la tabla 3.2 (Guevara 2010):

Tabla 3.2 Composición de los motores marítimos sobre 88660 buques (Corbett y Koehler, 2003)

<b>Tipo de Motor</b>	<b>% sobre el total analizado</b>	<b>Subcategoría</b>
Motor Diesel	99%	Motor Diesel 4T
		Motor Diesel 2T
		Motor Diesel 2T ó 4T
Turbina	1%	Turbina de vapor (ST)
		Turbina de gas (GT)

De acuerdo a la Tabla 3.2, los motores a Diesel predominan en comparación con los buques equipados con sistemas de turbinas, ya que

su rendimiento es bastante pobre, con lo que la tendencia es que se vayan reemplazando hasta su desaparición. Dentro de la categoría de motores Diesel, tanto los ME como los AE se subdividen según la velocidad de cigüeñal tal y como muestra la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Clasificación motores Diesel según velocidad del cigüeñal (RPM) (U.S. EPA, 2009)

Tipo de motor Diesel	Velocidad [RPM]
Motor de alta velocidad (High Speed Diesel, HSD)	n>1400
Motor de velocidad media (Medium Speed Diesel, MSD)	130-1400
Motor de baja velocidad (Slow Speed Diesel, SSD)	n<130

Dentro de un marco global, los motores de baja y media velocidad son más abundantes que los de alta en el caso de los ME. En cambio, para los AE, los motores dominantes son los de media y alta velocidad. Mediante la base de datos de Lloyd's Marine Intelligence Unit (LMIU) de características técnicas de distintos buques, Entec UK (2007) establece, para los ME, una diferencia de un total de 11076 buques según su categoría (*tanque, granelero, carga general, Ro-Ro mercancías, porta contenedores, pasajeros, pesca y otros*) rango de GT ( $\leq 5000$  GT,  $5000 - 25000$  GT y  $> 25000$ GT) y tipo de motor a Diesel (*SSD, MSD, HSD*) (Tabla 3.4)

Tabla 3.4 Diferencia de 11076 buques según tipo, Gross Tonnage (GT) y velocidad cigüeñal (Entec UK, 2007)

Tipo de buque	$\leq 5\ 000$ GT			$5\ 000-25\ 000$ GT			$>25\ 000$ GT		
	HSD	MSD	SSD	HSD	MSD	SSD	HSD	MSD	SSD
Tanque	22	420	131	3	197	706	0	7	1232
Granelero	1	60	6	0	38	1034	1	21	1622
Carga General	60	1277	251	0	392	717	0	3	88
Ro-Ro mercancías	2	41	5	0	139	46	0	29	290
Porta contenedores	0	23	3	0	89	243	0	6	765
Pasajeros	91	60	6	12	178	13	1	101	14
Pesca	23	74	5	0	6	4	0	0	0
Otros	207	245	7	8	37	7	0	4	2

Además, Entec UK (2007) incluye a cada categoría, y para cada rango de GT, el tipo de motor Diesel mayoritario, como muestra la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Tipo de motor diesel para motor principal según buque y Gross Tonnage (GT) (Entec UK, 2007)

<b>Tipo de buque</b>	<b>5 000 ≤ GT</b>	<b>5 000 &lt; GT &lt; 25 000</b>	<b>GT &gt;25 000</b>
Tanque	MSD	SSD	SSD
Granelero	MSD	SSD	SSD
Carga General	MSD	SSD	SSD
Ro-Ro mercancías	MSD	MSD	SSD
Porta contenedores	MSD	SSD	SSD
Pasajeros	HSD	MSD	MSD
Pesca	MSD	MSD	MSD
Otros	MSD	MSD	MSD

Teniendo en cuenta la información obtenida anteriormente, se calcula el GT promedio por cada categoría de buque, a partir de la división entre GT total y número de buques por cada categoría. Con estos resultados se establece un tipo de motor ME en cada categoría.

En cuanto a los AE, mayoritariamente son motores MSD y HSD. Así lo expresa Cooper (2003), que afirma que la mayoría de los AE son motores Diesel de 4T que operan a velocidades comprendidas entre 500-2.500 rpm (los conocidos como MSD y HSD). También el California Air Resources Board (CARB) (2007), a partir de un estudio realizado sobre un total de 761 buques que operaron en los puertos de California durante el año 2006, hallaron que del total de AE analizados un 98% era motores Diesel, y que un 99% de éstos eran MDS o HSD.

Según la literatura, no se ha encontrado ninguna referencia en cuanto a porcentajes de MDS y HSD, por lo tanto se decide considerar que, para cada tipo de embarcación, el 50% de sus AE son MDS y el otro 50% HSD.

✓ **Tipo de combustible**

Es importante tener en cuenta el tipo de combustible que consume cada buque, pues los factores de emisión dependen en gran parte de la composición de éste. De acuerdo a la literatura se ha determinado, aproximadamente que los buques consumen básicamente dos tipos de combustibles: Destilado Marino, Marine Destillate (MD) y Combustible Residual, Residual Oil (RO) (Guevara 2010), y de acuerdo a la U.S-EPA se clasifican como se señala en la Tabla 3.6

Tabla 3.6 Clasificación de combustible en buques (U.S-EPA 2009)

Clasificación de combustibles	
CÓDIGO	COMBUSTIBLE
RO	Combustible Residual(Residual oil)
MDO	Diesel Marino (Marine Diesel oil)
MGO	Gas-oleo (Marine gas oil)

La diferencia básica entre los combustibles señalados es a nivel de calidad y, consecuentemente, precio. En la composición de un combustible *MD*, en general el porcentaje de cenizas y contenido de Azufre (S) es menor que en el caso de los *RO* (Cooper 2003). Hay que destacar que dentro del grupo *MD*, se hace una segunda división entre Marine Diesel Oil (MDO) y Marine Gas Oil (MGO). El primero de ellos es un petróleo destilado pesado que contiene trazas de Combustible Residual (Residual Fuel Oil), mientras que el segundo es más liviano y sin contenido de Combustible Residual (Residual Fuel Oil). Sin embargo, durante la realización de este inventario tan sólo se distingue entre *MD* y *RO* (Guevara 2010).

Una vez conocido el tipo de combustible, se calcula el porcentaje por cada tipo de motor y tipo de buque.

✓ **Potencia de los ME y AE**

Es importante determinar las potencias de los ME y AE con los que van equipados cada tipo de buque. A la hora de obtener la potencia de los ME, se recurre a las curvas de tendencia creadas por Entec UK (2007), las cuales relacionan el GT de un buque con la potencia máxima de su ME (kW) para las distintas categorías antes comentadas (tanques, graneleros, carga general, Ro-Ro mercancías, porta contenedores, pasajeros, pesca y otros). Dichas curvas se obtienen a partir la base de datos de Lloyd's Marine Intelligence Unit (LMIU), en la cual se halla la información técnica de más de 120,000 buques. A continuación se presentan las distintas ecuaciones que se desprenden de las curvas de tendencia, con sus respectivos coeficientes de correlación (R<sup>2</sup>) (Guevara 2010).

Tanques

$$\text{ME (kW)} = 14.602 * \text{GT}^{0.6278} \quad R^2 = 0.9012$$

Graneleros

$$\text{ME (kW)} = 47.115 * \text{GT}^{0.504} \quad R^2 = 0.6755$$

Carga General

$$\text{ME (kW)} = 1.2763 * \text{GT}^{0.9154} \quad R^2 = 0.8215$$

Ro-Ro mercancías (Entec 2010)

$$\text{ME (kW)} = 6.608 * \text{GT}^{0.7033} \quad R^2 = 0.8374$$

Porta contenedores

$$\text{ME (kW)} = 1.0839 * \text{GT}^{0.9617} \quad R^2 = 0.9177$$

Pasajeros

$$\text{ME (kW)} = 42.966 * \text{GT}^{0.6035} \quad R^2 = 0.693$$

Otros

$$\text{ME (kW)} = 183.18 * \text{GT}^{0.4028} \quad R^2 = 0.4301$$

En cuanto a la potencia de los AE, Entec UK (2007) calcula la relación entre la potencia total de ME y AE para las distintas categorías, también a partir de la base de datos suministrada por LMIU. Para obtener la potencia de los distintos AE (kW), se debe multiplicar la potencia de ME (kW) por la relación de la categoría correspondiente.

✓ **Factores de sollicitación de los ME y AE en cada operación**

Es necesario conocer los factores de carga para los distintos buques en las distintas operaciones contempladas en este inventario, ya que según la operación que esté realizando el buque, sus factores de emisión variarán, debido a que también cambiará la sollicitación que reciben los distintos motores, tanto los ME como los AE, es decir, en situaciones donde, por ejemplo; se producen cambios rápidos de carga en el motor, mayoritariamente van asociadas a incrementos en las emisiones de contaminantes debido a una combustión incompleta.

Para ello, la US-EPA propone los siguientes factores de sollicitación para cada tipo de motor y fase.

**MANIOBRA**

Para los ME la US-EPA (2000) propone distintos valores según sean graneleros/tanques/Carga general/Otros (20%), pasajeros (10%) y Ro-ro/Porta contenedores (15%).

Por otro lado, la US-EPA (2009) cita los factores de carga para los AE (Tabla 3.7). Estos factores fueron recopilados por Starcrest Group Consulting, derivados de realizar entrevistas a distintos capitanes de buques, jefe de ingenieros y pilotos para el caso concreto del puerto de Los Ángeles, California.



Tabla 3.7. Factores de sollicitación durante maniobra para motores auxiliares por tipo de buque (U.S-EPA 2009).

<b>Tipo de buque</b>	<b>Factor de Sollicitación motores AE en modo de Maniobra<sup>1</sup></b>
Tanque	33%
Granelero	45%
Carga General	45%
Ro-Ro mercancías	45%
Porta contenedores	48%
Pasajeros	80%
Remolques	45%
Otras actividades	45%

<sup>1</sup> Los factores de carga están expresados como el % de la potencia total de cada tipo de buque

### HOTELLING

Se proponen valores de sollicitación para los AE, debido a que en esta etapa, por lo general, solo operan estos motores, tal como se muestra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Factores de sollicitación de los motores auxiliares en hotelling por tipo de buque (Dalsøren et. al. 2008).

<b>Tipo de buque</b>	<b>Factor de Sollicitación AE en modo de Hotelling</b>
Tanque	40%
Granelero	20%
Carga General	20%
Ro-Ro mercancías	20%
Porta contenedores	20%
Pasajeros	20%
Pesca	20%
Otros buques mercantes	20%
Remolques	10%
Otras actividades	20%

✓ **Tiempo medio en cada operación**

Esta información se obtendrá en campo, ya que varía de acuerdo a cada puerto, por lo tanto no es posible obtener un tipo de información tan concreta debido a que el tiempo de ejecución, tanto de la operación de Maniobra como Hotelling varían en función del buque.

✓ **Consumo de combustible**

En función de la energía requerida (kWh), los motores de los buques consumirán una cierta cantidad de combustible. Para poder estimarla, Cooper y Gustafsson (2004) propone una serie de factores de consumo específico de combustible (g/kWh), según el tipo de motor y combustible usado, para los AE y ME. (Tabla 3.9 y 3.10).

Tabla 3.9 Consumo específico de combustible [g/kWh] por tipo de motor y combustible para los ME durante la fase Maniobra (Cooper y Gustafsson 2004)

ME (fase de <i>Maniobra</i> )		
Tipo de motor	Tipo de combustible	Consumo de combustible [g/kWh]
SSD	MD	204
SSD	RO	215
MSD	MD	226
MSD	RO	237

Tabla 3.10 Consumo específico de combustible [g/kWh] por tipo de motor y combustible para los motores auxiliares durante la fase Maniobra/Hotelling (Cooper y Gustafsson 2004)

AE (fase de <i>Maniobra/Hotelling</i> )		
Tipo de motor	Tipo de combustible	Consumo de combustible [g/kWh]
MSD	MD	217
MSD	RO	227
HSD	MD	217
HSD	RO	227

Hay que destacar que para el caso de los AE, el consumo de combustible es independiente del tipo de motor, sólo depende del combustible usado (217 g/kWh para los MD y 227 g/kWh para los RO) (Guevara 2010).

✓ **Factores de emisión**

Los factores de emisión para buques se han desarrollado a partir de conjuntos de datos muy limitados. Para este estudio se tomará en cuenta los factores de emisión propuestos por la US-EPA, los cuales dependen de consideraciones, como el tipo de motor, combustible usado, etc.

Después de obtener y evaluar la información requerida se procede a calcular las emisiones para cada tipo de fuente y contaminante. La técnica seleccionada para la realización del inventario de emisiones del Recinto Portuario de Veracruz es la de factores de emisión y se calculará de la siguiente manera:

El cálculo de las emisiones anuales sigue la ecuación (Ecuación 2)

$$E_i (\text{anual}) = E^{\text{man}}_i (\text{anual}) + E^{\text{hot}}_i (\text{anual}) \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

$E_i$  (anual): Emisiones anuales de contaminante  $i$  [T/año]

$E^{\text{man}}_i$  (anual): Emisiones anuales de contaminante  $i$  debidas a la fase Maniobra [T/año]

$E^{\text{hot}}_i$  (anual): Emisiones anuales de contaminante  $i$  debidas a la fase Hotelling [T/año]

Según la operación, se siguen las siguientes ecuaciones (Ecuación 3 hasta Ecuación 6)

$$E^{\text{man}}_i (\text{anual}) = E^{\text{MEman}}_i (\text{anual}) + E^{\text{AEman}}_i (\text{anual}) \quad (\text{Ec.3})$$

$$E^{\text{hot}}_i (\text{anual}) = E^{\text{AEhot}}_i (\text{anual}) \quad (\text{Ec.4})$$

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

---

$$E_i^{MEman}(anual) = \sum_b P_b^{ME}(GT_{bp}) * N_b * FC_{bo}^{ME} * CC_{cto} * T_{bo} * FE_{icto} \quad (Ec.5)$$

$$E_i^{AEman/hot}(anual) = \sum_b P_b^{ME}(GT_{bp}) * R_b^{AE} * N_b * FC_{bo}^{AE} * CC_{cto} * T_{bo} * FE_{icto} \quad (Ec.6)$$

Donde:

$E_i^{MEman}(anual)$ :	Emisiones anuales del contaminante i debidas a los ME durante la fase Maniobra [T/año]
$E_i^{AEman}(anual)$ :	Emisiones anuales de contaminante i debidas a los AE durante la fase Maniobra [T/año]
$E_i^{AEhot}(anual)$ :	Emisiones anuales de contaminante i debidas a los AE durante la fase Hotelling [T/año]
$P_b^{ME}(GT_{bp})$ :	Potencia máxima de los ME por tipo de buque b [kW].
$R_b^{AE}$ :	Ratio para calcular la potencia de los AE a partir de la de los ME por tipo de buque b
$N_b$ :	Número de operaciones (Ent/Sal) por tipo de buque b
$FC_{bo}^{ME}$ :	Factor de carga de los ME por tipo de buque b y operación o.
$FC_{bo}^{AE}$ :	Factor de carga de los AE por tipo de buque b y operación o
$CC_{cto}$ :	Consumo de combustible por tipo de combustible usado c (RO o MD), motor t (SSD, MSD, HSD) y operación o. A cada tipo de buque b se le ha asignado previamente un tipo de combustible c y motor t [kg/kWh]
$T_{bo}$ :	Tiempo empleado por tipo de buque b y operación o [h]
$FE_{icto}$ :	Factor de emisión por tipo de contaminante i, combustible c, motor t y operación o [T/kg combustible consumido]

### 3.2.1.2 Locomotoras

Para el cálculo de emisiones de esta fuente se considerarán las locomotoras de patio que son responsables de movilizar vagones dentro de un patio de trenes en particular.

Los datos que se necesitan para el cálculo de emisión de contaminantes es el número de locomotoras en servicio en el área de inventario, la cantidad de combustible consumido y los factores de emisión.

Las emisiones se calculan según la ecuación 7:

$$E_p = FE_p * NP * C * T_{op} \quad (Ec.7)$$

$E_p$ : emisiones anuales estimadas para el contaminante p (T/año)

$FE_p$ : factores de emisión para las locomotoras de patio para el contaminante p (kg/L)

$NP$ : número de locomotoras de patio que operan en un área de inventario i

$C$ : consumo de combustible por locomotora (L/día)

$T_{op}$ : tiempo de operación de cada locomotora (días/año)

### 3.2.1.3 Equipo de transporte de personal y de carga dentro del Recinto Portuario por parte de APIVER y del Centro de Apoyo Logístico al Transporte (CALT)

Dentro de esta categoría se encuentra aquellas fuentes móviles que circulan dentro del Recinto Portuario y se encarga del transporte del personal como por ejemplo camiones, camionetas, motocicletas, entre otros, y el transporte de carga pesada como los trailers. La información necesaria para la estimación de las emisiones se encuentra representada en la ecuación 8.

$$E_i = FE * N_e * CC \quad (Ec.8)$$

Donde:

$E_i$ : emisión por tipo de contaminante [T/año]

FE: factor de emisión por contaminante y tipo de combustible [kg/L]

$N_e$ : número de equipo clasificado por tipo

CC: consumo de combustible [L/año]

#### 3.2.1.4 Equipo de manejo de contenedores

La cuantificación de las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por la actividad de manejo de contenedores que realizan las cesionarias Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz, S.A de C.V. (ICAVE) y Corporación Integral de Comercio Exterior S.A de C.V. (CICE) se calcularon con la ecuación 9:

$$E_i = FE * P * H \quad (Ec.9)$$

Donde:

$E_i$ : emisión por tipo de contaminante [T/año]

FE: factor de emisión por contaminante [g/HP\*horas]

P: potencia del motor de cada equipo [HP]

H: horas al año de operación de cada equipo [horas/año]

#### 3.2.2 *Datos específicos y cálculos de emisión para fuentes fijas*

Entre las fuentes fijas existentes en el Recinto Portuario de Veracruz y a su vez son generadoras de emisiones de contaminantes a la atmósfera se encuentran:

- ✓ Comedores
- ✓ Incinerador

### 3.2.2.1 Comedores

Dentro del Recinto Portuario se encuentran tres comedores responsables de vender alimentos a los trabajadores. Estos comedores utilizan el gas LP como combustible para la preparación de los alimentos. Es importante estimar las emisiones de estas fuentes ya que se pueden generar contaminantes como NO<sub>x</sub>, CO, PM y CO<sub>2</sub>.

Para estimar las emisiones se debe tomar en cuenta la cantidad de combustible utilizado y el factor de emisión correspondiente Ecuación 10.

$$Ei = C * FE \quad (Ec.10)$$

Donde:

E: emisión del contaminante (T/año)

C: cantidad de combustible (L/año)

FE: factor de emisión (kg/L)

### 3.2.2.3 Incinerador

En el proceso de incineración de residuos, el horno tiene como función (MAVDT 2009).

- Vaporizar, gasificar el residuo.
- En lo posible realizar la combustión del residuo.
- Garantizar un nivel térmico, mínimo de 850°C, para ello la cantidad de aire ha de ser limitada.
- Proporcionar un tiempo de residencia de sólidos suficiente para evitar que no se quemen en su totalidad los residuos.

Los datos necesarios para el cálculo de emisión de los contaminantes son los siguientes:

- Tipo de Material a Incinerar
- Cantidad de Material a Incinerar (kg/m<sup>3</sup>)
- Frecuencia de incineración (m<sup>3</sup>/h)
- Factor de emisión (kg/t)

El cálculo de la emisión se estimará de acuerdo a la ecuación 11:

$$E_i = CI * F * FE \quad (Ec.11)$$

Donde:

E<sub>i</sub>: emisión de contaminante i (T/año)

CI: cantidad de material a incinerar (T/día)

F: frecuencia de incineración (días/año)

FE: factor de emisión del contaminante i (kg/T)

### **3.3 Procesamiento de información**

El manejo de los datos es una parte fundamental de la presentación de los resultados, ya que va directamente relacionado con la entrega final del estudio. Una vez concluido y analizado el inventario de emisiones del Recinto Portuario de Veracruz, se recomendarán medidas de prevención, minimización y control de la contaminación atmosférica para implementarlas en las siguientes fases del proyecto “Puertos Verdes”.



### **3.4 Documentación**

Se compilará ordenadamente todos los estudios, informes, metodologías, bibliografía, y en general de todos los documentos utilizados para la elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas del Recinto Portuario de Veracruz. Debe incluirse la fuente de la información, de tal forma que se visualice el proceso en cada una de sus etapas.

En general, la documentación provee la información suficiente para permitir que otras partes interesadas reproduzcan, analicen los resultados y sirva como una referencia importante para los futuros inventarios de emisiones atmosféricas en puertos.

## **Capítulo 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

---

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como fase inicial se tuvo la aprobación del proyecto por parte de la Administración Portuaria Integral de Veracruz (APIVER), para lo cual se llevaron reuniones en conjunto con la Universidad Veracruzana (UV), y se mostraron los objetivos y los beneficios del proyecto ante los directivos de APIVER; de ésta manera se consiguió el acceso a las instalaciones y a la información necesaria para el desarrollo del presente inventario de emisiones.



Figura 4.1 Reunión de inicio del proyecto con el personal de la Universidad Veracruzana y la Administración Portuaria Integral de Veracruz

### **4.1 Reconocimiento y generalidades del área de estudio**

Para el desarrollo del proyecto se planearon las actividades de manera detallada que sirvió como guía para optimizar tiempos en su realización. Dichas actividades se muestran en la Tabla 4.1

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

Tabla 4.1. Actividades para el desarrollo del proyecto

<b>REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS (IEA) GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO</b>		
<b>ACTIVIDADES</b>		
Revisión bibliográfica del tema		
Revisión de la información disponible relacionada con el Recinto Portuario		
<b>Planeación</b>		
Delimitación del área de estudio		
Logística de las visitas		
Preparación de la lista de verificación de información general del Recinto Portuario		
Preparación de la lista de verificación para Buques		
Preparación de la lista de verificación para fuentes fijas		
Preparación de la lista de verificación para fuentes móviles		
Preparación de la lista de verificación para otras fuentes		
Reuniones periódicas para coordinación del proyecto		
<b>Desarrollo</b>		
<b>Reconocimiento del área de estudio</b>	<b>Visita diagnóstico</b>	Identificación de las fuentes potenciales de contaminación atmosférica en el Recinto Portuario de Veracruz.
		Verificación de la información obtenida del Recinto Portuario
		Verificación de las instalaciones del Recinto Portuario
		Aplicación de las listas de verificación.
		Obtención la información necesaria para la realización del IEA.
	<b>Visitas periódicas</b>	Obtención y actualización de la información necesaria para la realización del inventario de emisiones atmosféricas.
Identificación de los factores de emisión para cada tipo de fuente		
Procesamiento de los datos obtenidos		
Evaluación de la Información obtenida		
<b>Cálculos</b>		
Estimación cuantitativa de las emisiones de los contaminantes atmosféricos de interés en las fuentes del Recinto Portuario de Veracruz.		
<b>Conclusión</b>		
Conclusión del inventario de emisiones atmosféricas en el Recinto Portuario de Veracruz.		
Recomendaciones estrategias de prevención, minimización y control de las emisiones atmosféricas, con base en los resultados obtenidos en el estudio.		
Presentación del documento final		

Como se observa en la Tabla 4.1, se elaboraron listas de verificación previamente a la realización de la visita diagnóstica para cada una de las posibles fuentes potenciales de contaminación atmosférica existentes dentro del Recinto Portuario, las cuales permitieron obtener información general de sus diferentes áreas: comercialización, ecología, ferrocarril, buques, entre otras áreas.

La primera visita técnica al Recinto Portuario de Veracruz (APIVER), se llevó a cabo la semana del 20 al 24 de agosto de 2012. En esta visita diagnóstica se realizó un recorrido por sus instalaciones, en la cual, mediante una explicación breve por parte del personal encargado de APIVER, mencionaron su infraestructura, el funcionamiento de muelles, cesionarias y de esta forma se hizo el reconocimiento del área de estudio; se identificaron las fuentes potenciales que generan emisiones de los distintos contaminantes atmosféricos, como buques, incinerador, autotransporte de pasajeros y de carga, ferrocarril, calderas y transferencia de mercancía de importación y exportación.

Así mismo, se obtuvo información preliminar que sirvió como base para identificar las fuentes y evaluar de forma detallada cada actividad para calcular sus emisiones.

En la semana del 12 al 16 de noviembre se llevó a cabo la segunda visita, la cual permitió profundizar detalles operativos del puerto y recopilar más información para el cálculo de las emisiones atmosféricas.

La información general que se obtuvo de las actividades del Recinto Portuario está relacionada con conceptos técnicos del puerto como es la terminal portuaria, zona de desarrollo portuario etc. Al igual define a la APIVER es una sociedad mercantil de participación estatal mayoritaria del Gobierno Federal (99%), que cuenta con concesión del gobierno federal para el uso, aprovechamiento y explotación de los bienes y la prestación de los servicios respectivos.

La APIVER es autónoma en su gestión operativa y financiera, por lo que su órgano de gobierno establece su política y normas internas sin más limitaciones que las que determinen las disposiciones legales y administrativas. (Artículos 38, 39 y 40 Ley de Puertos)

Según los datos estadísticos del movimiento de carga reportados por APIVER, para el año 2011 se registró un movimiento total de 21'089,849 toneladas (incluyendo el movimiento de petróleo y derivados), 12.1% más que el registrado en el año 2010. Todos los tipos de carga registraron incrementos. En la Tabla 4.2 se registra el tipo movimiento de carga, la cantidad que se tuvo para el año 2011 y el porcentaje de incremento con respecto al año 2010.

Tabla 4.2 Movimiento de carga para el año 2011 (APIVER 2012)

<b>TIPO DE CARGA</b>	<b>CANTIDAD (Toneladas)</b>	<b>Porcentaje de incremento respecto al año 2010</b>
Carga general suelta	1'660,018	12.3
Vehículos automotores	1'066,760	27.4
Carga general contenerizada (incluye tara de contenedores)	7'232,325	11.9
Granel mineral	2'291,515	3
Granel agrícola	6'393,722	12.9
Fluidos	692,771	7.3
Contenedores	726,368 (TEU's)	9.6

Por otro lado se obtuvo información que describe la infraestructura actual del Recinto Portuario como por ejemplo las vialidades, el número de muelles, áreas de almacenamiento, entre otra.

Con respecto a las cesionarias, se llevó un estudio detallado en relación a la actividad a las que se dedica cada uno en las operaciones dentro del Recinto

Portuario. Entre las principales cesionarias se describen las siguientes con sus características más importantes (APIVER 2012):

***Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz, S.A. de C.V.***

- Opera la Terminal Especializada de Contenedores (TEC), con una extensión total de 414,115.13 m<sup>2</sup>, con una capacidad de almacenamiento de 20,000 TEUS.
- Cuenta con carriles destinados a contenedores de exportación y carriles para importación, área de contenedores refrigerados, área de contenedores especiales, peligrosos o sobredimensionados, área de almacén de contenedores vacíos y área de revisiones previas.
- Cuenta con un muelle de 507.93 m, dos posiciones de atraque y 14 m de profundidad con capacidad para atender a dos buques de hasta 250 m de eslora simultáneamente. Si los buques son de mayor eslora y de cuarta generación (275-305 m) sólo se puede atender una sola embarcación.
- Cuenta principalmente con 5 grúas de muelle, 15 grúas de marco para patio, etc., tiene un rendimiento promedio 25 y 30 contenedores por hora-grúa de muelle, 24 horas al día.



Figura 4.2 Internacional de Contenedores de Veracruz, S.A. de C.V. (ICAVE)

***Corporación Integral de Comercio Exterior, S.A. de C.V. (CICE)***

- Mediante contrato de cesión parcial de derechos, CICE opera una instalación para el manejo y almacenamiento de carga general, granel agrícola, mineral y perecedero, carga contenerizada, con una extensión

total de 119,000.00 m<sup>2</sup>. Asimismo, tiene un contrato de servicios de maniobras para todo tipo de carga excepto fluidos en muelles públicos.

- Cuenta principalmente con 5 grúas de muelle marca Gottwald con capacidad de 100 toneladas, con un rendimiento de 44 contenedores por hora-buque, 24 horas al día. Sin embargo, debido a la saturación de sus patios, utiliza un área adicional de 3.8 hectáreas a cargo de APIVER para el manejo de carga contenerizada.



Figura 4.3 Corporación Integral de Comercio Exterior, S.A. de C.V. (CICE)

## **4.2 Fuentes de contaminación identificadas y emisiones atmosféricas generadas en el Recinto Portuario de Veracruz.**

De acuerdo a la información recopilada en la etapa de reconocimiento del área de estudio se identificaron las fuentes generadoras de contaminantes atmosféricos, y de acuerdo a sus propias características, ya sean fuentes móviles ó fijas, fueron objeto de estudio en el presente inventario de emisiones. A continuación se menciona las fuentes de emisión evaluadas dentro del Recinto Portuario:

### *4.2.1 Movimiento y operación de buques*

En el año 2011 arribaron 2,042 embarcaciones de las cuales realizaron operaciones de carga/descarga un total de 1954. Las restantes realizaron reparaciones, arribaron de manera forzosa, de visita, o fueron buques de la Armada de México. En la Figura 4.4 se muestra un comparativo del movimiento de buques por cada cesionario durante los años 2010 y 2011, y se observa el



aumento del movimiento en el último año y que las cesionarias que más tienen movimiento de buques son ICAVE y CICE.

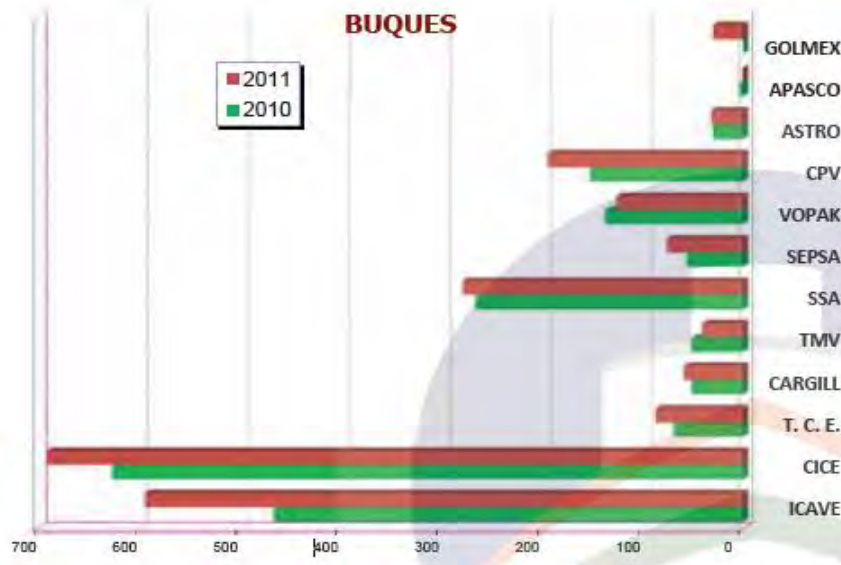


Figura 4.4 Movimiento de buques por cesionaria en los años 2010 y 2011 (APIPER)

Los contaminantes que se consideraron en la cuantificación de las emisiones son los siguientes: NO<sub>x</sub>, CO, NMCOV, SO<sub>2</sub>, PST, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>. Al igual, se estimaron las emisiones de dos de los principales Gases de Efecto Invernadero (GEI's) como son CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.

Es importante aclarar que las categorías de tipos de buques que se manejaron fueron: tanque, carga general, porta-contenedor, crucero, Ro-Ro mercancía y otros (remolcadores y lanchas).

En el presente inventario se determinaron las emisiones de gases de combustión producidas durante las fases de maniobra y hotelling de este puerto. La operación de crucero no se tuvo en cuenta ya que sus emisiones no afectan directamente a las infraestructuras portuarias y sus cercanías.

En la Figura 4.5 se muestra el área de estudio en el cual se evaluaron los buques y se identificó la etapa de maniobra y hotelling.

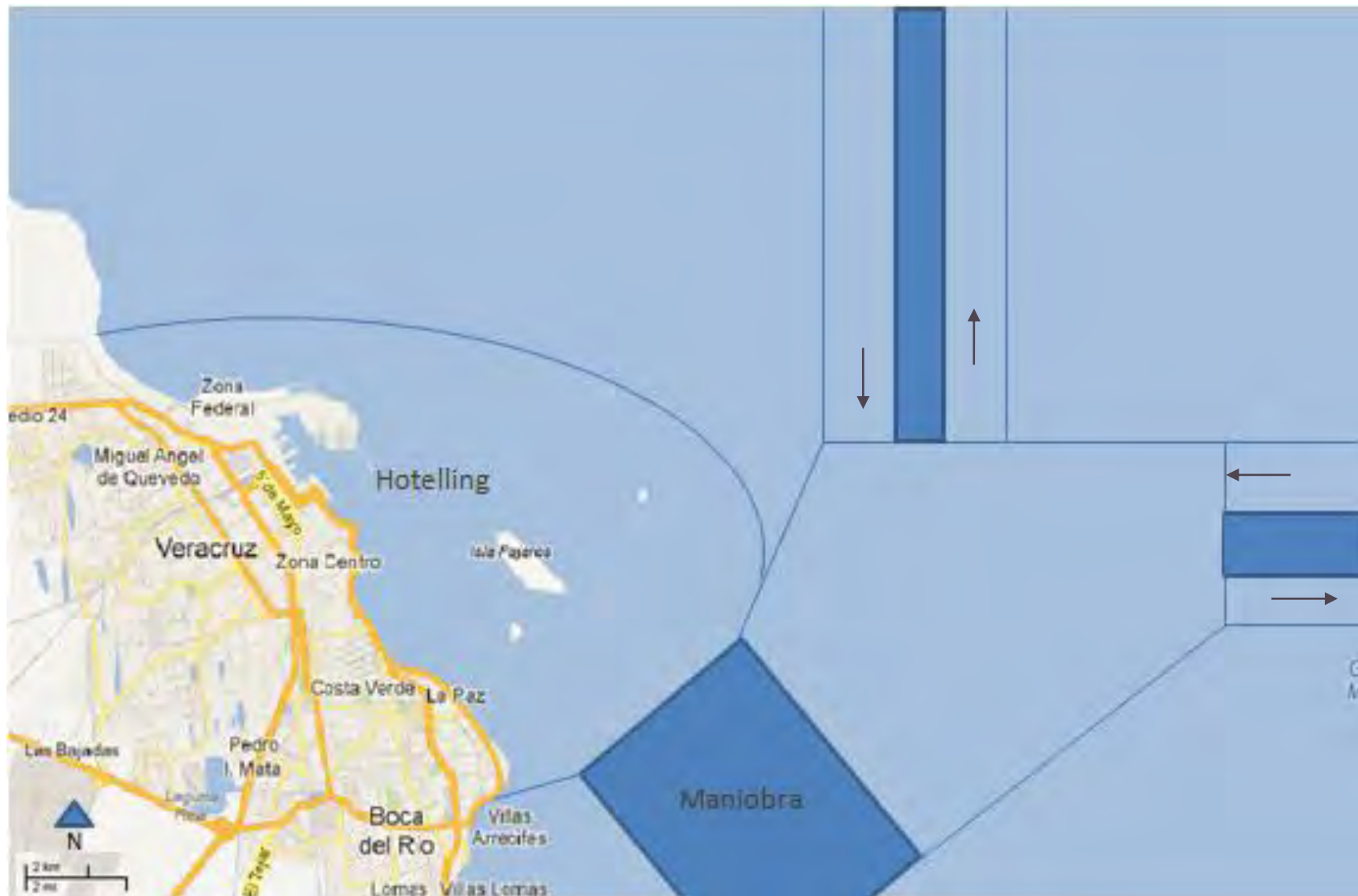


Figura 4.5 Zona de tráfico marítimo, Veracruz

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

Teniendo en cuenta la metodología comentada anteriormente, para la estimación de las emisiones de los buques se determinaron las características necesarias para su cálculo, tal como se muestra en las Tablas 4.3 y 4.4.

Tabla 4.3 Características de cada tipo de buque operado en el Recinto Portuario de Veracruz (Motor Principal ME y Motor Auxiliar AE).

TIPO DE BUQUE	ME			AE			
	TIPO DE MOTOR	COMBUSTIBLE	POTENCIA DEL MOTOR [kW]	TIPO DE MOTOR	COMBUSTIBLE	RATIO AE/ME	POTENCIA DEL MOTOR
TANQUE	SSD	RO	9441.12	MSD/HSD	MD	0.27	2549.10
GRANELERO	SSD	RO	8391.00	MSD/HSD	MD	0.21	1762.11
CARGA GENERAL	SSD	RO	16671.21	MSD/HSD	MD	0.33	5501.50
RO-RO MERCANCÍA	SSD	RO	9514.20	MSD/HSD	RO	0.3	2854.26
CRUCERO	MDS	RO	31298.97	MSD/HSD	RO	0.35	10954.64
PORTA-CONTENEDOR	SSD	RO	23010.78	MSD/HSD	RO	0.22	5062.37
OTROS	MSD	MD	1664.54	MSD/HSD	MD	0.29	482.72

Tabla 4.4 Características para cada tipo de buque operado en el Recinto Portuario de Veracruz (Factor de solicitud, tiempos y consumo de combustible).

TIPO DE BUQUE	FACTOR DE SOLICITACIÓN (%USEPA)			TIEMPOS (H)		CONSUMO DE COMBUSTIBLE (kg/kWh)	
	ME	AE	HOTELLING AE	MANIOBRA	HOTELLING	ME (fase de maniobra)	AE (fase de Maniobra/H otelling)
TANQUE	0.2	0.33	0.4	20.52	30.91	0.215	0.217
GRANELERO	0.2	0.45	0.2	105.28	102.01	0.215	0.217
CARGA GENERAL	0.2	0.45	0.2	50.39	62.07	0.215	0.217
RO-RO MERCANCÍA	0.15	0.45	0.2	18.41	29.86	0.215	0.227
CRUCERO	0.1	0.8	0.2	9.75	9.92	0.237	0.227
PORTA-CONTENEDOR	0.15	0.48	0.2	10.52	13.69	0.215	0.227
OTROS	0.2	0.48	0.1	1.50	0.16	0.226	0.217

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

Como se ha mencionado anteriormente, las emisiones derivadas de las operaciones de los buques marítimos dependen de principalmente del tipo de motor, el combustible usado y tiempo de operación.

Los factores de emisión utilizados por la US-EPA están basados en uno de los análisis más recientes de los datos de emisión publicados en 2002 por Entec y otros organismos europeos. Los factores de este estudio son generalmente aceptados como el conjunto más reciente disponible.

Para el presente inventario se utilizaron los F.E propuestos por Cooper y Gustafsson (2004), diferenciando entre el tipo de motor, el combustible utilizado relacionado con el tipo de buque y la fase de maniobra y hotelling de acuerdo a las características específicas mencionadas anteriormente. (Tabla 4.5 y 4.6)

Tabla 4.5 Factores de emisión para motores principales según motor y combustible (Cooper y Gustafsson 2004)

FACTOR DE EMISIÓN (g/kg combustible)										
ME (fase de maniobra)										
TIPO DE MOTOR	COMBUSTIBLE	NO <sub>x</sub>	CO	NMCOV	PST	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	SO <sub>2</sub>
SSD	RO	63.372	4.627	2.773	12.121	9.14408	9.93922	3179	0.056	54
MDS	RO	44.841	9.206	1.671	4.228	3.18960	3.46696	3179	0.034	54
MSD	MD	45.979	9.707	1.764	1.774	1.33830	1.45468	3179	0.036	30

Tabla 4.6 Factores de emisión para motores auxiliares según motor y combustible (Cooper y Gustafsson 2004)

FACTOR DE EMISIÓN (g/kg combustible)										
ME (fase de maniobra)										
TIPO DE MOTOR	COMBUSTIBLE	NO <sub>x</sub>	CO	NMCOV	PST	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	SO <sub>2</sub>
MSD/HSD	MD	58.311	3.907	1.61	1.383	1.043	1.134	3179	0.032	30
MSD/HSD	RO	57.201	4.826	1.537	2.203	1.662	1.806	3179	0.031	54

Consideraciones para el establecimiento de FE:

- Para CH<sub>4</sub> se obtiene a partir de la suposición de que el este representa un 2% de los NMCOVs (Cooper y Gustafsson 2004).
- El contaminante PM<sub>10</sub> equivale al 92% del total de PST para los motores a Diesel (TECHNE 1998).
- El contaminante PM<sub>2.5</sub> equivale al 92% del total de PM<sub>10</sub> (US-EPA 2009).
- Por el método de análisis estequiométrico se calcula el FE para los contaminantes SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> teniendo en cuenta que el combustible tiene un contenido de C (en masa) del 86.7% (PEMEX, 2012), un contenido de azufre de 0.05% (500ppm) en el caso de MD y 4.0% (40000 ppm) en el RO (IFO 180 M Intermedio 15) (SEMARNAT 2012).
- El contenido de S de 0.1% en el caso de MD y 1.5% en el RO. Cooper y Gustafsson (2004) propone la que el FE para el SO<sub>2</sub> sea 20\*S(%).
- Además, se supone que un 97.753% del S se convierte en SO<sub>2</sub> (US EPA 2009).

Se tuvo en cuenta un periodo de operación de buques comprendido desde el año 2007 hasta el año 2011 en el cual se estimaron emisiones por cada año y una emisión total.

A continuación se muestra el número de buques por tipo y el tiempo promedio de operación por fase en cada año. Por otra parte se muestra los resultados de las emisiones para cada contaminante por tipo de buque, emisiones en la fase de hotelling y maniobra, emisión total por tipo de buque y la emisión total por cada año. (Figuras 4.6 a la 4.45)

### **AÑO 2007**

REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO

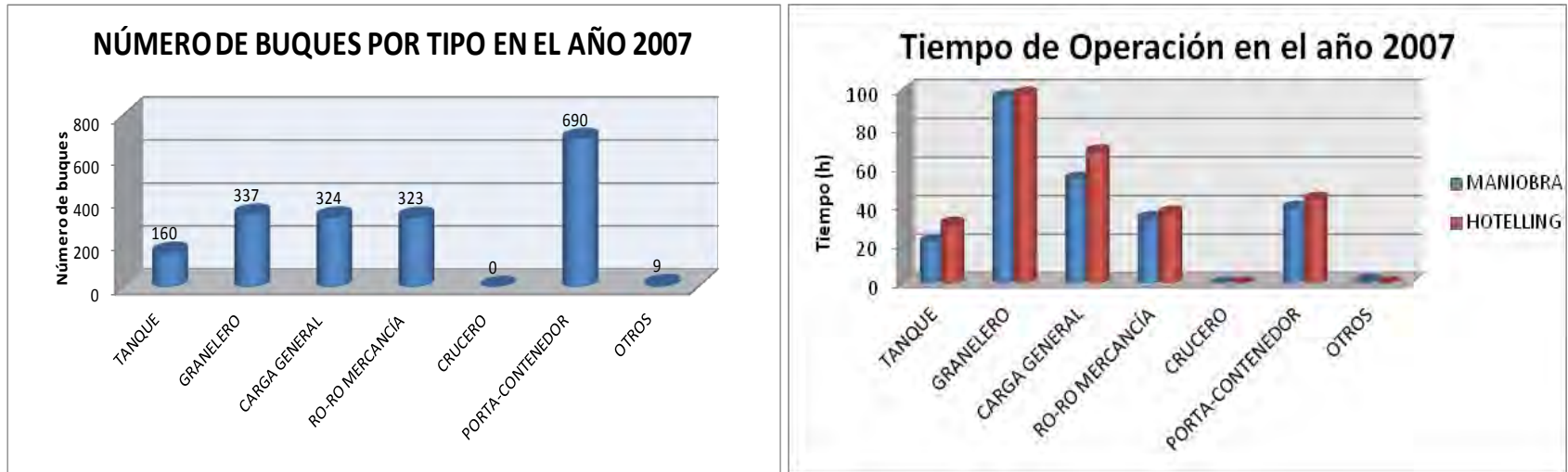


Figura 4.6 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2007

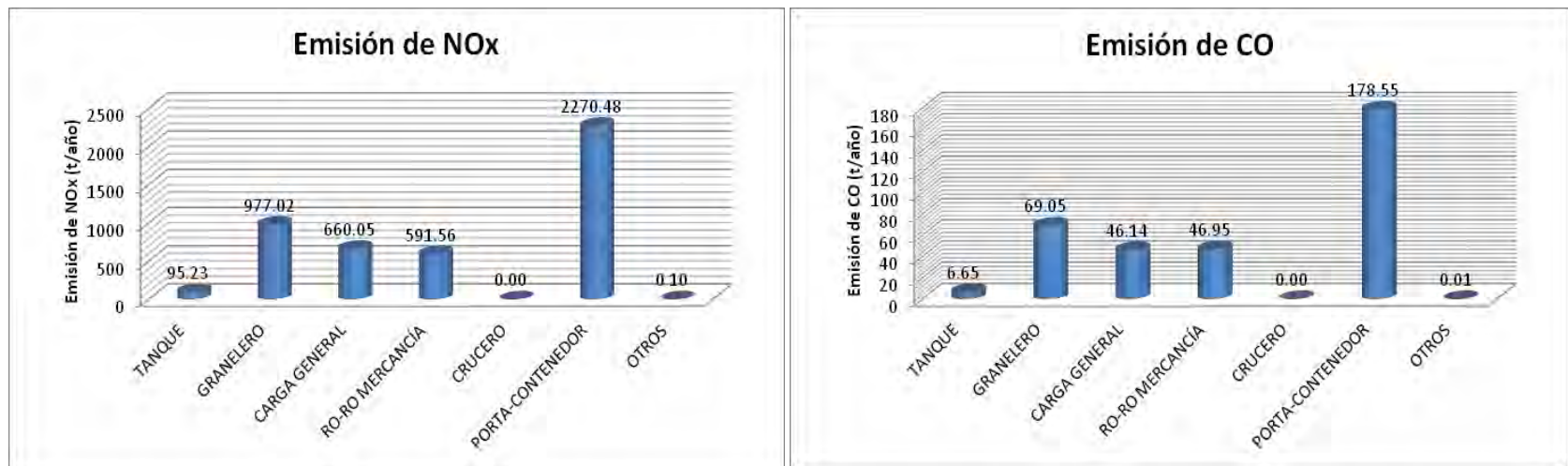


Figura 4.7 Emisión de NOx y CO por tipo de buque en el año 2007

REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO

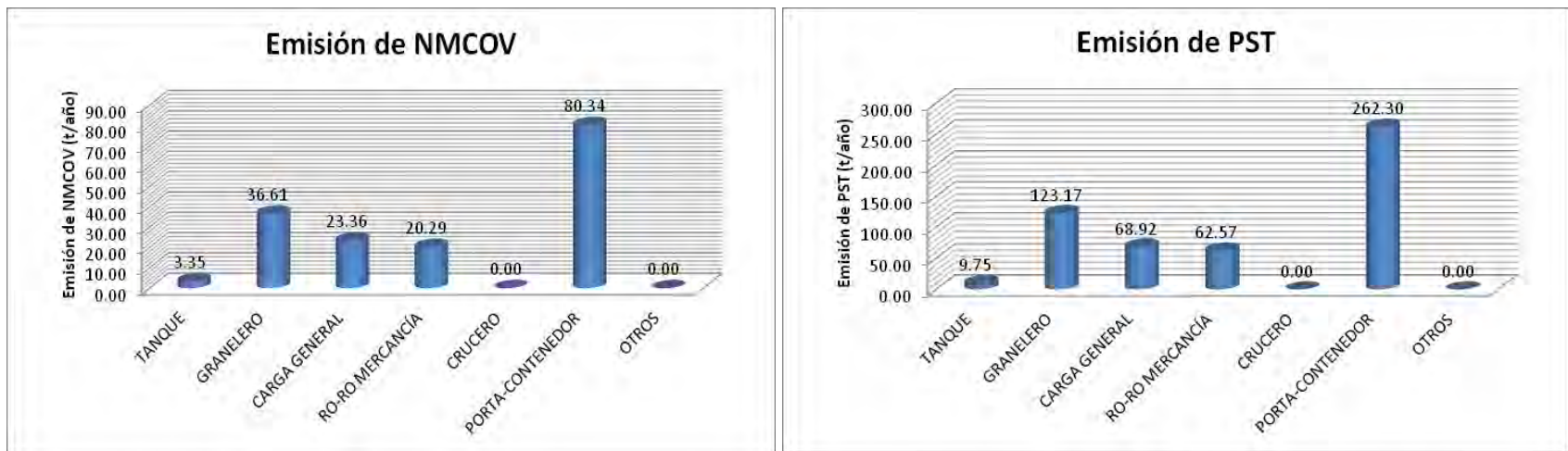


Figura 4.8 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2007

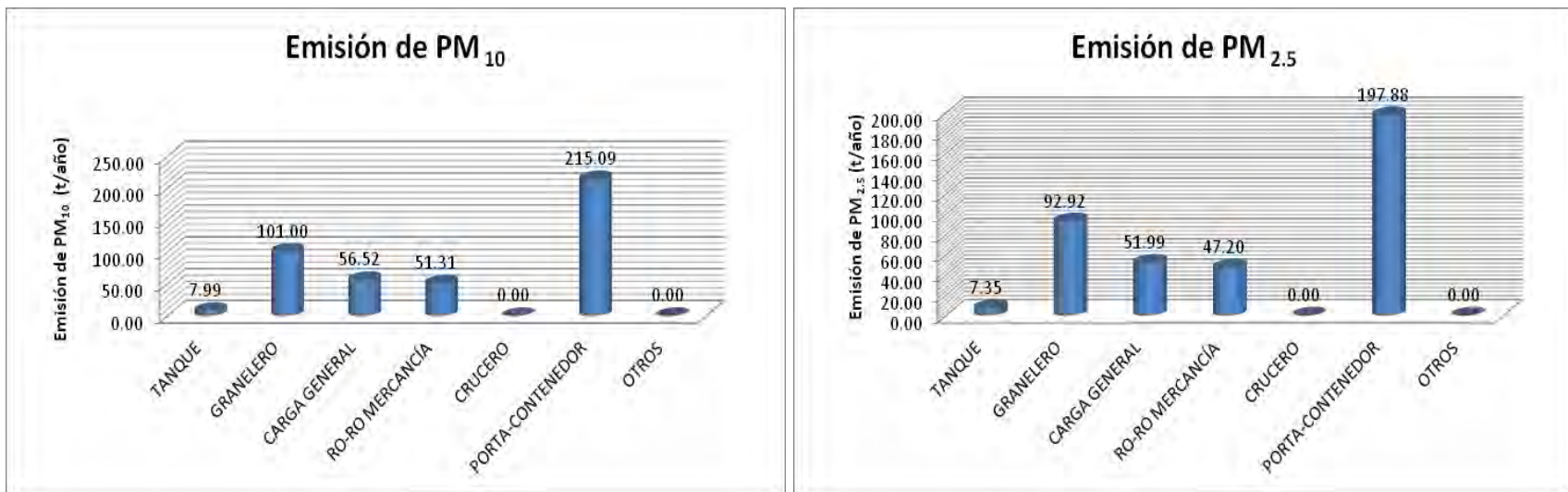


Figura 4.9 Emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2007

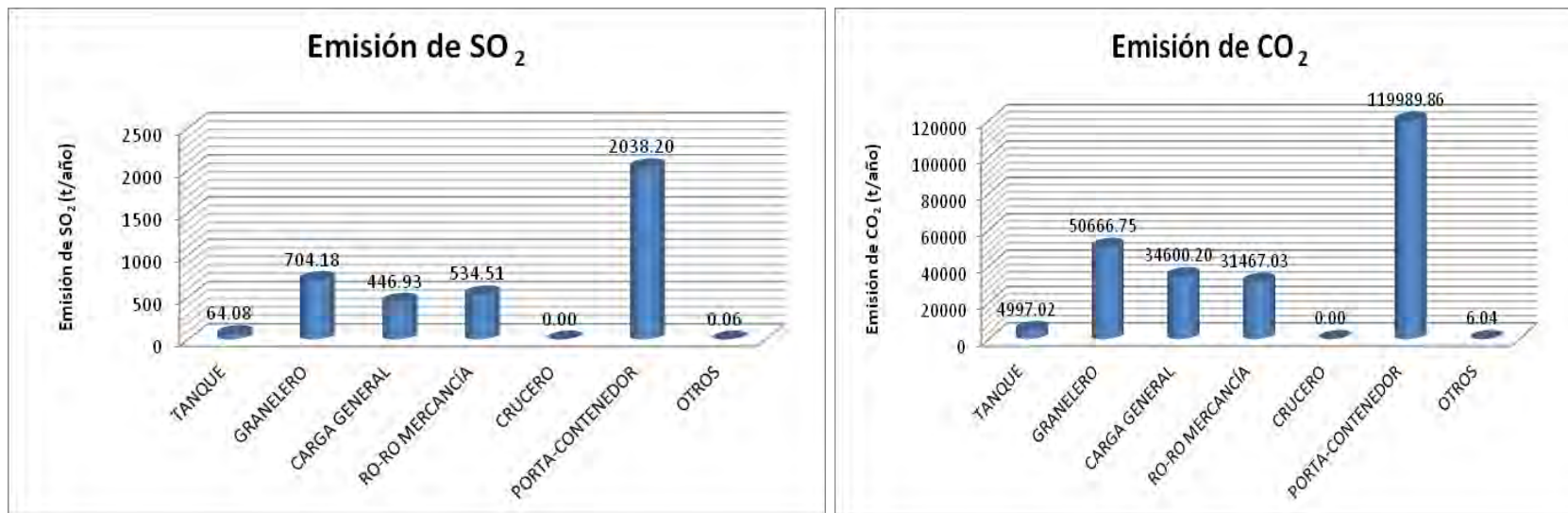


Figura 4.10 Emisión de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2007

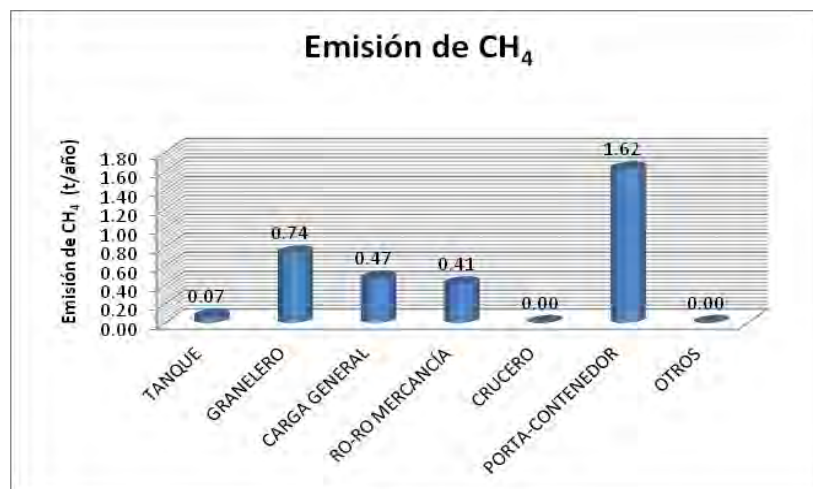


Figura 4.11 Emisión de CH<sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2007



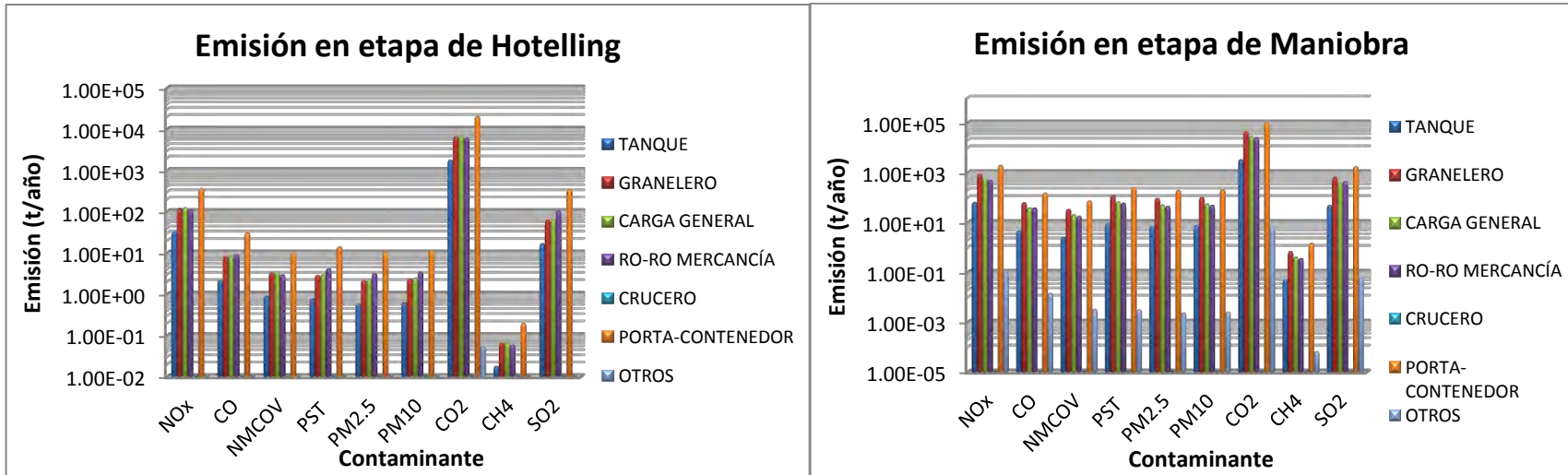


Figura 4.12 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2007

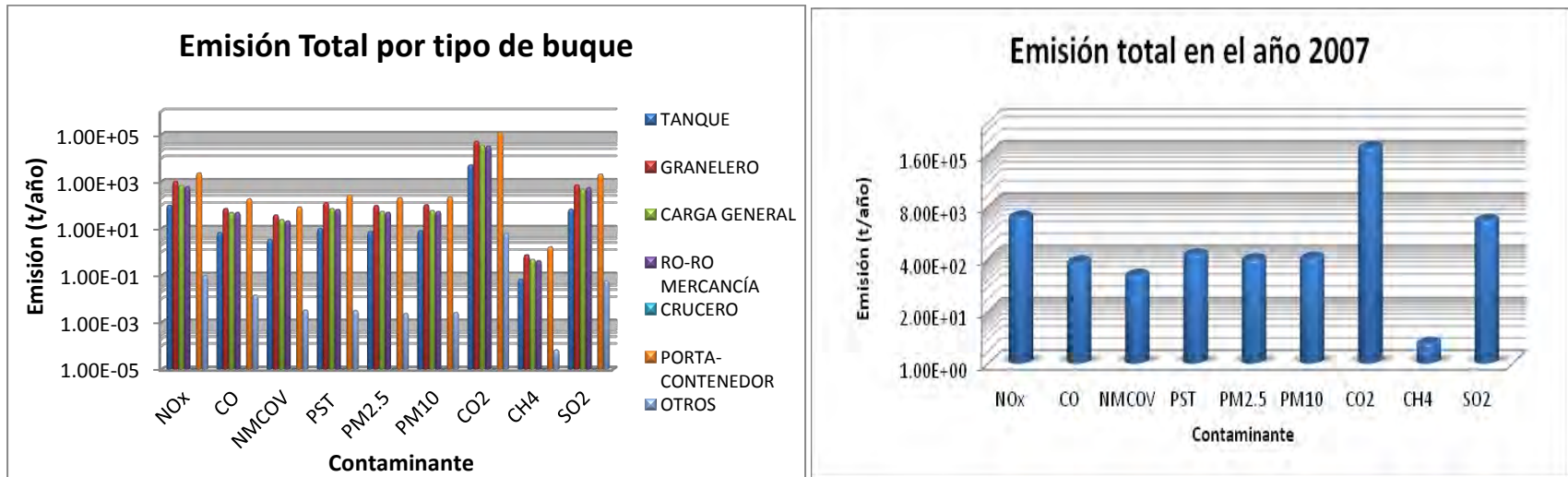


Figura 4.13 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2007

**AÑO 2008**

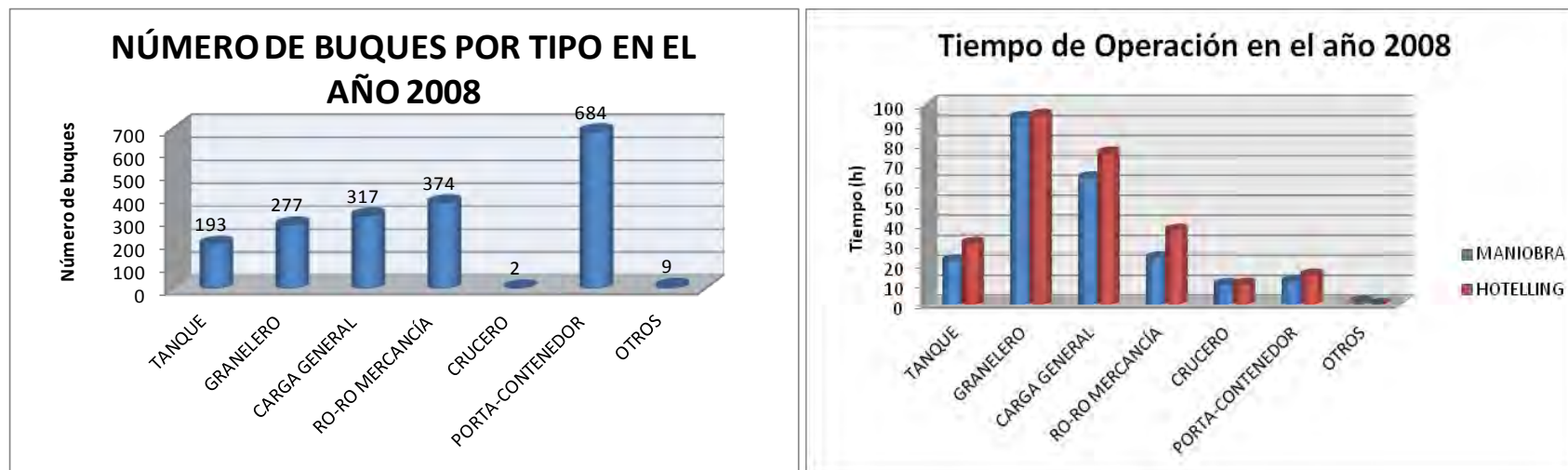


Figura 4.14 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2008

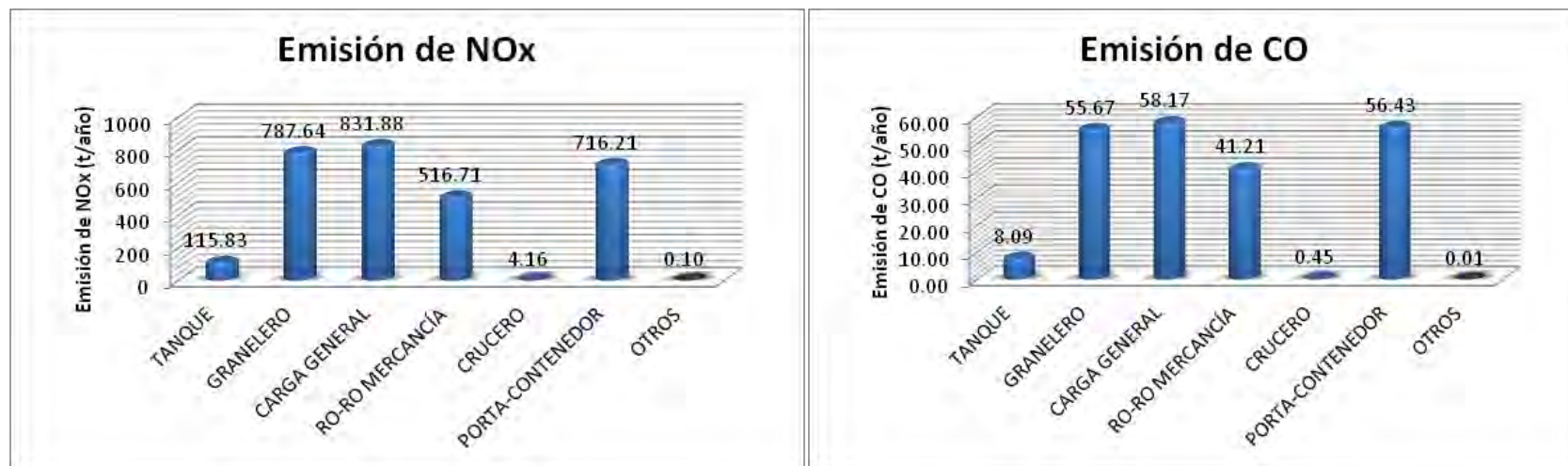


Figura 4.15 Emisión de NOx y CO por tipo de buque en el año 2008

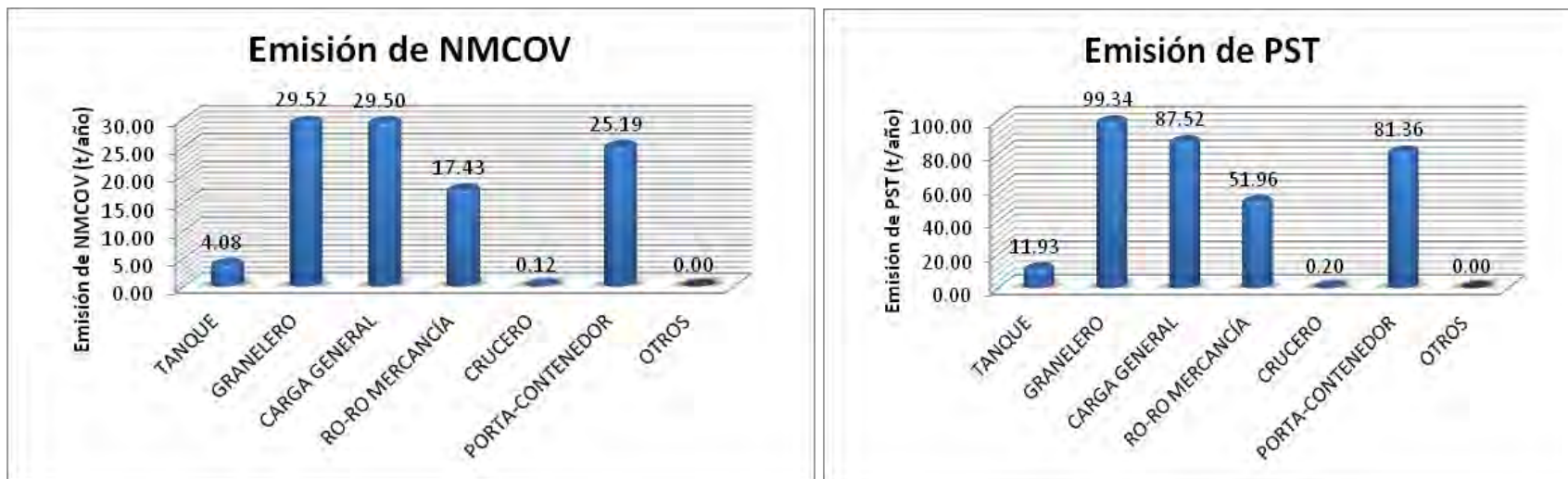


Figura 4.16 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2008

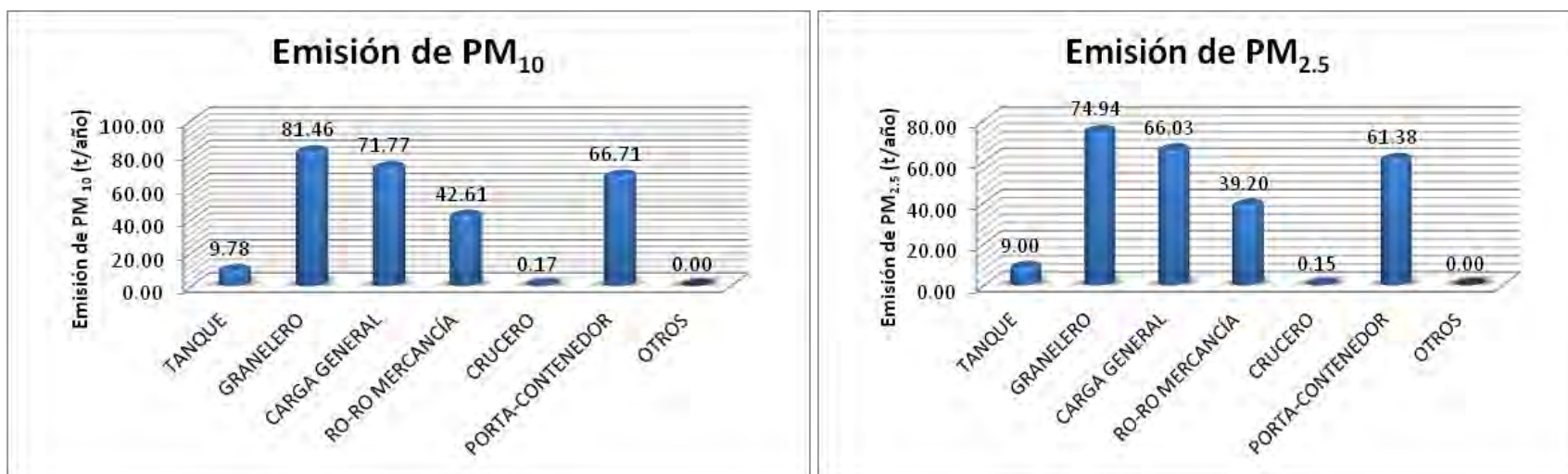


Figura 4.17 Emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2008

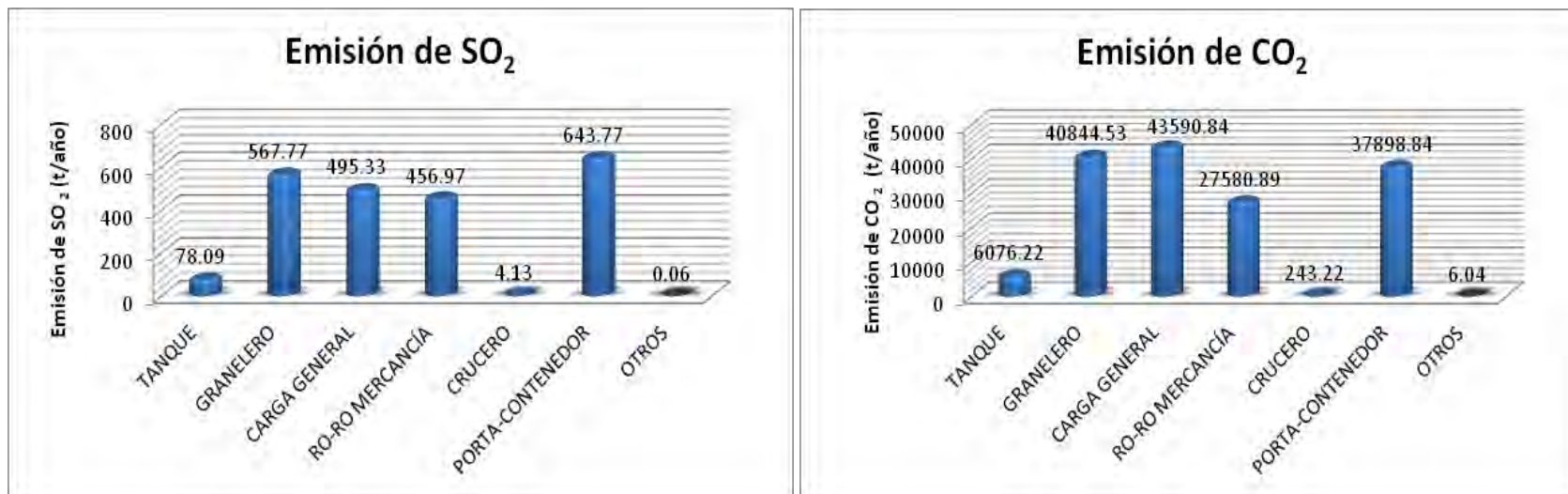


Figura 4.18 Emisión de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2008

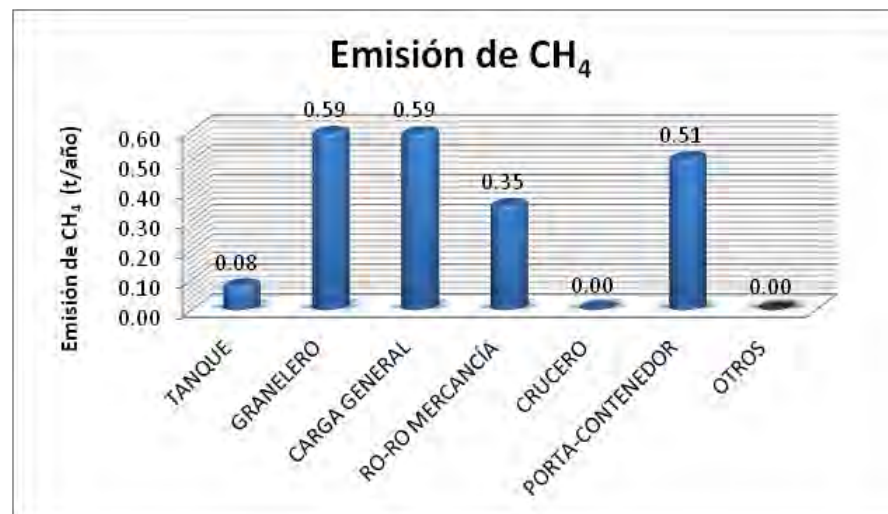


Figura 4.19 Emisión de CH<sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2008

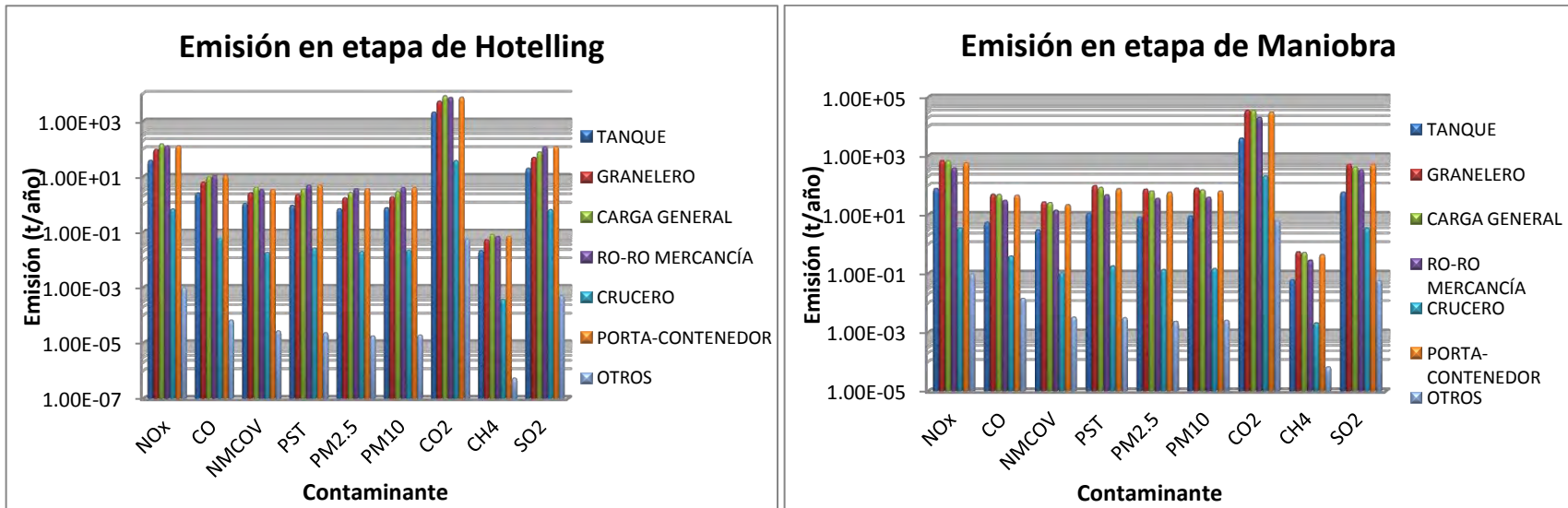


Figura 4.20 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2008

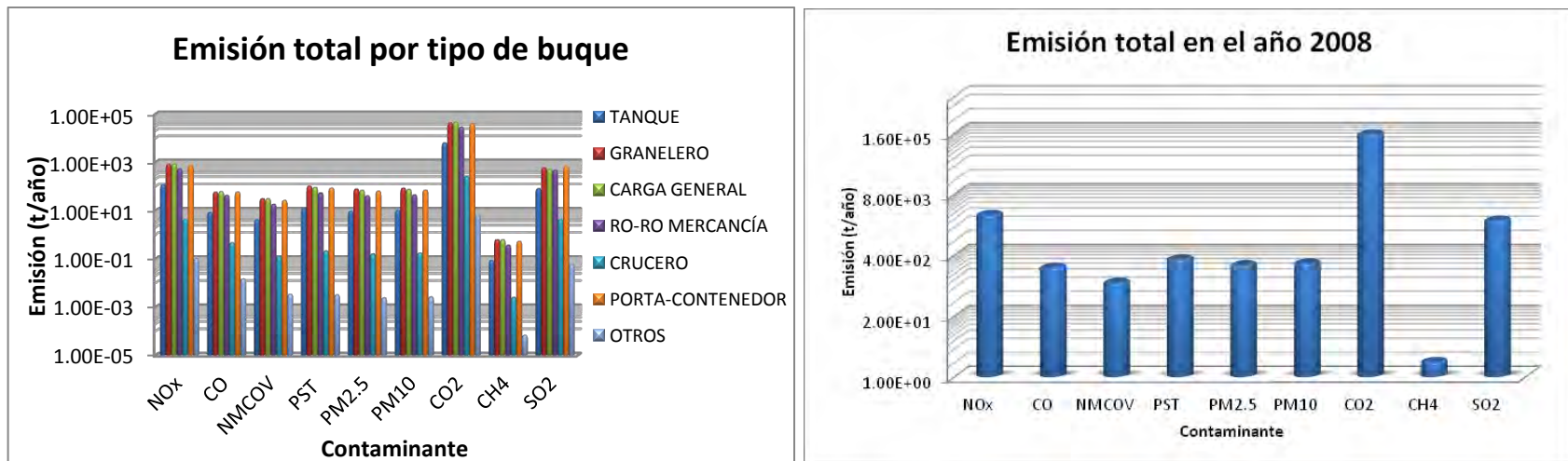


Figura 4.21 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2008

**AÑO 2009**

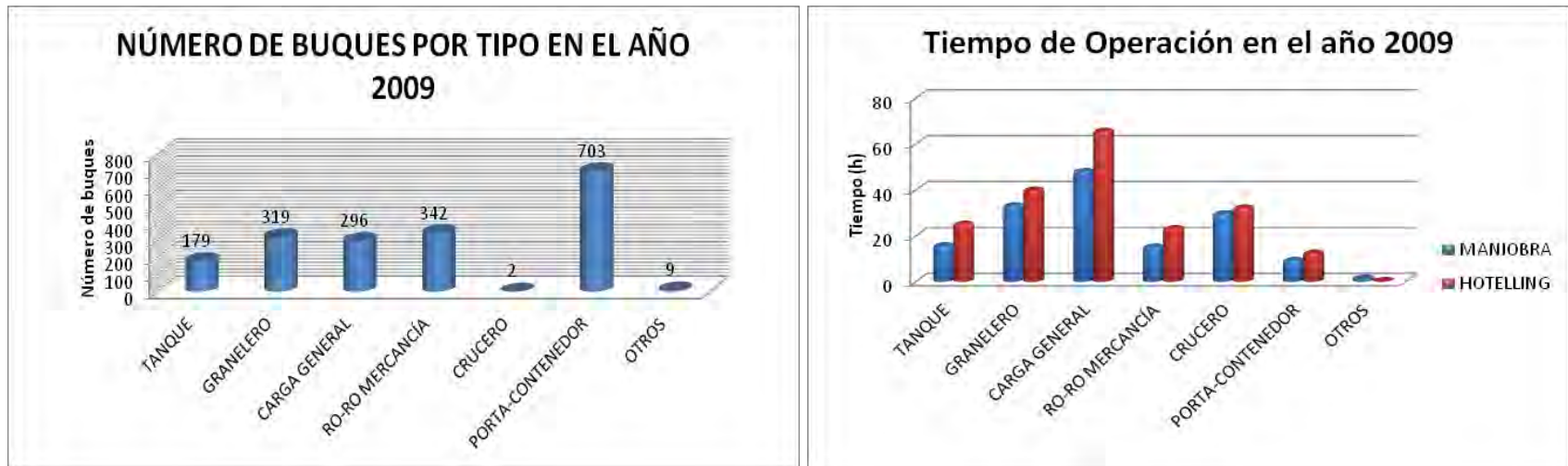


Figura 4.22 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2009

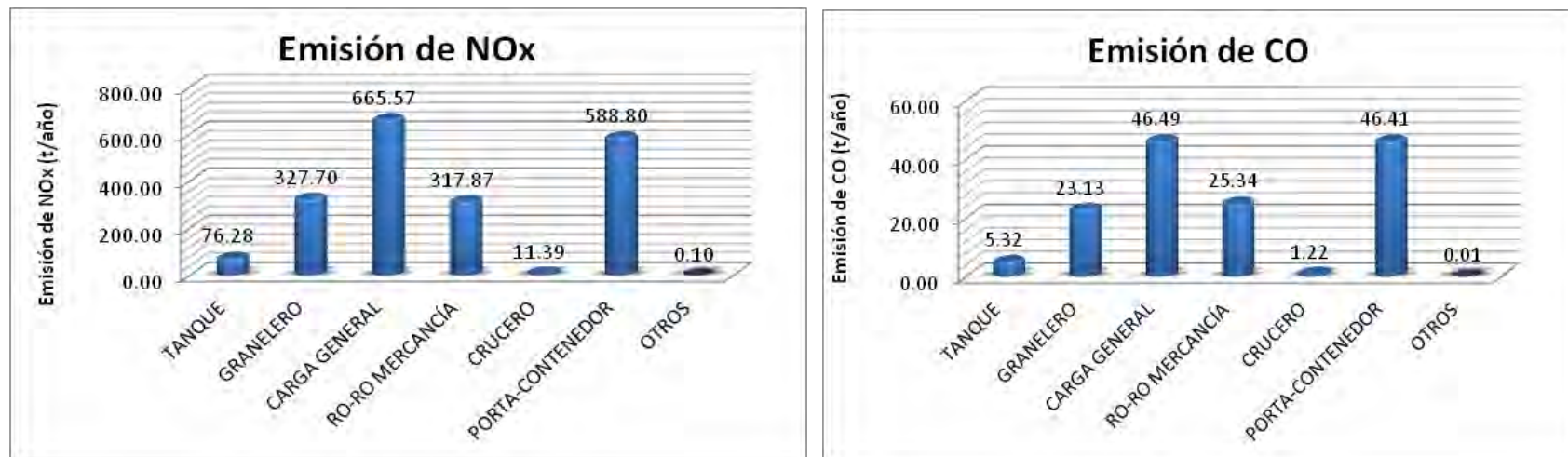


Figura 4.23 Emisión de NOx y CO por tipo de buque en el año 2009

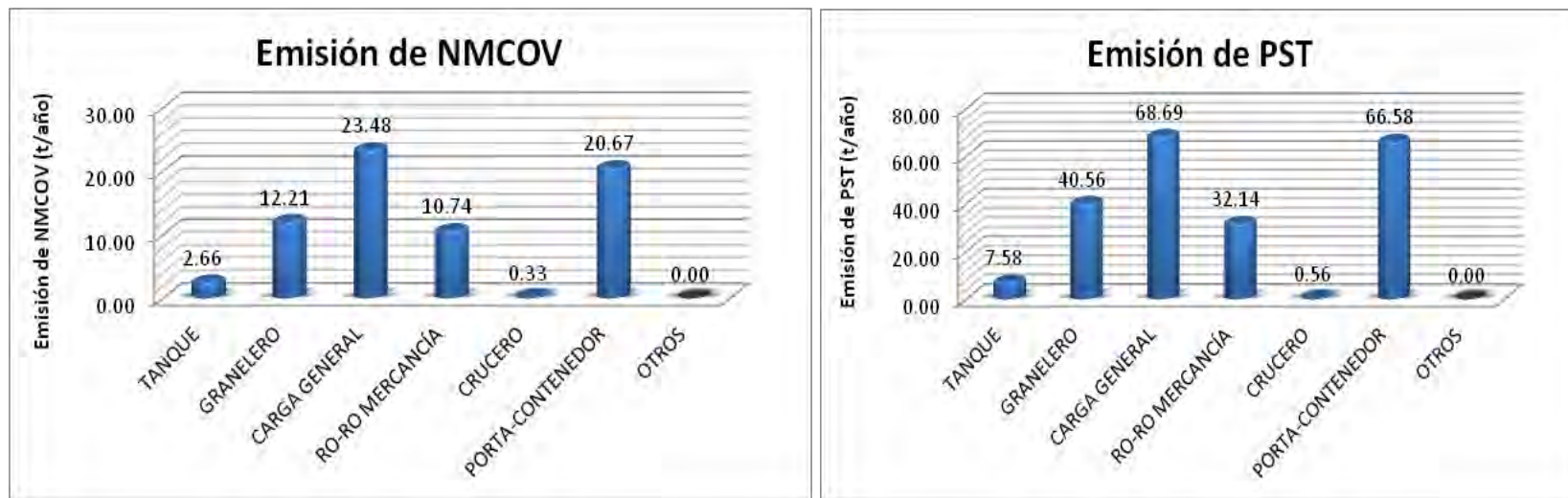


Figura 4.24 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2009

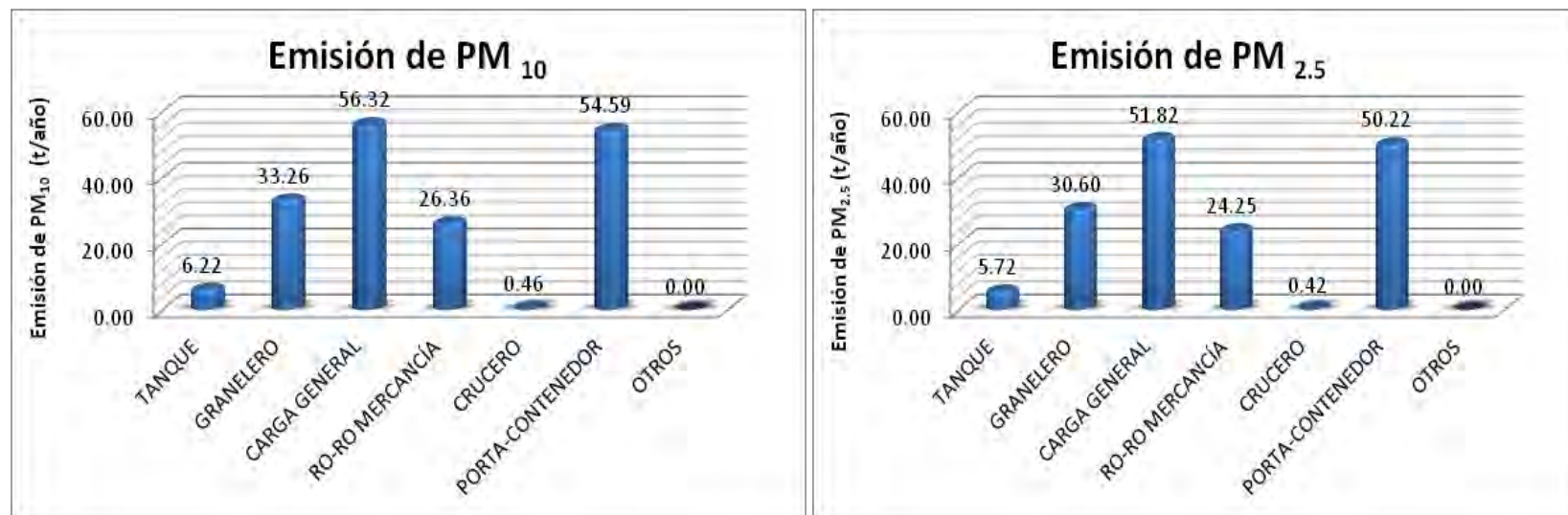


Figura 4.25 Emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2009

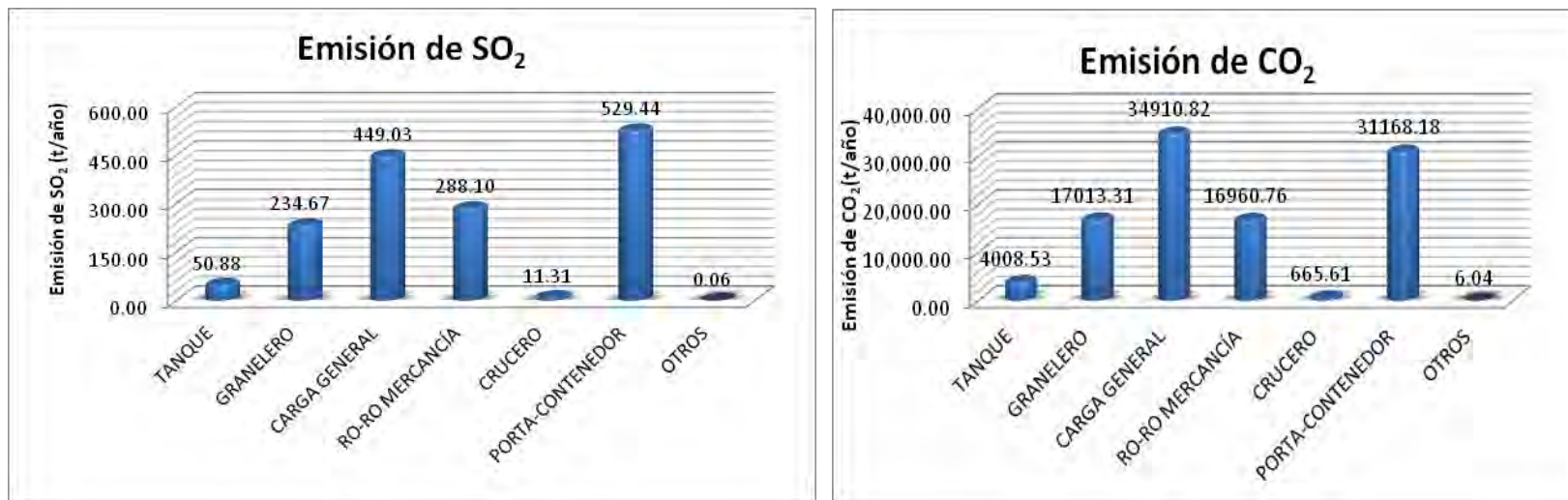


Figura 4.26 Emisión de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2009

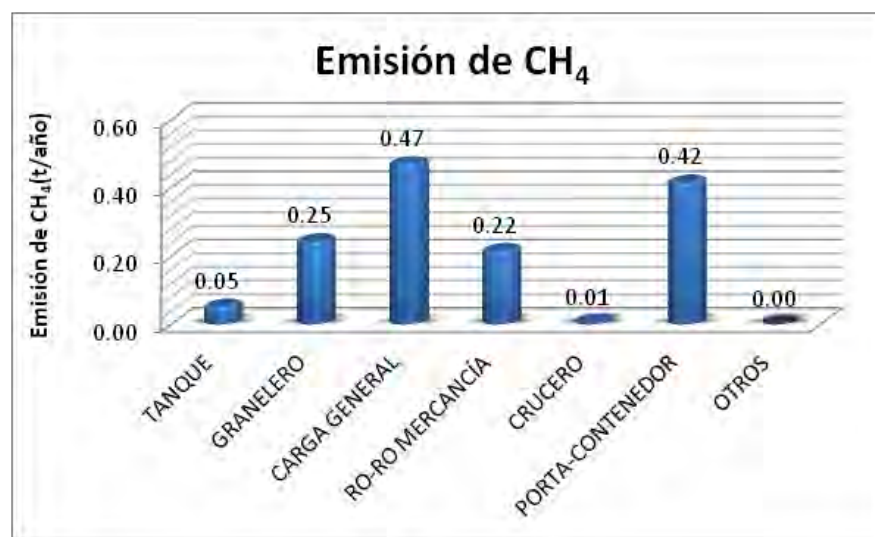


Figura 4.27 Emisión de CH<sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2009



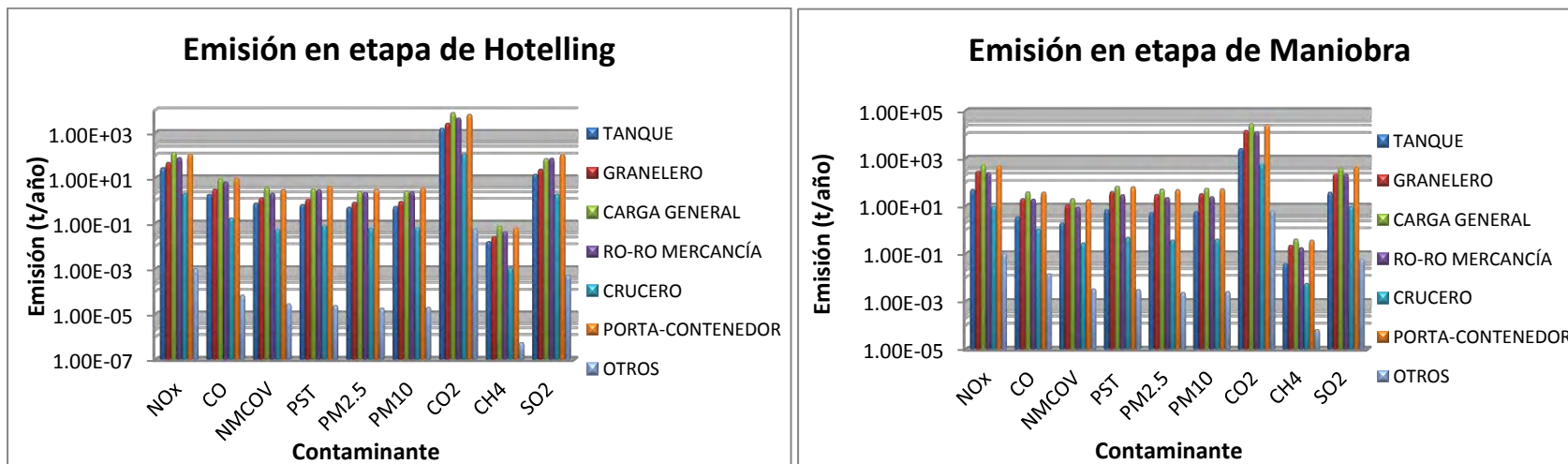


Figura 4.28 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2009

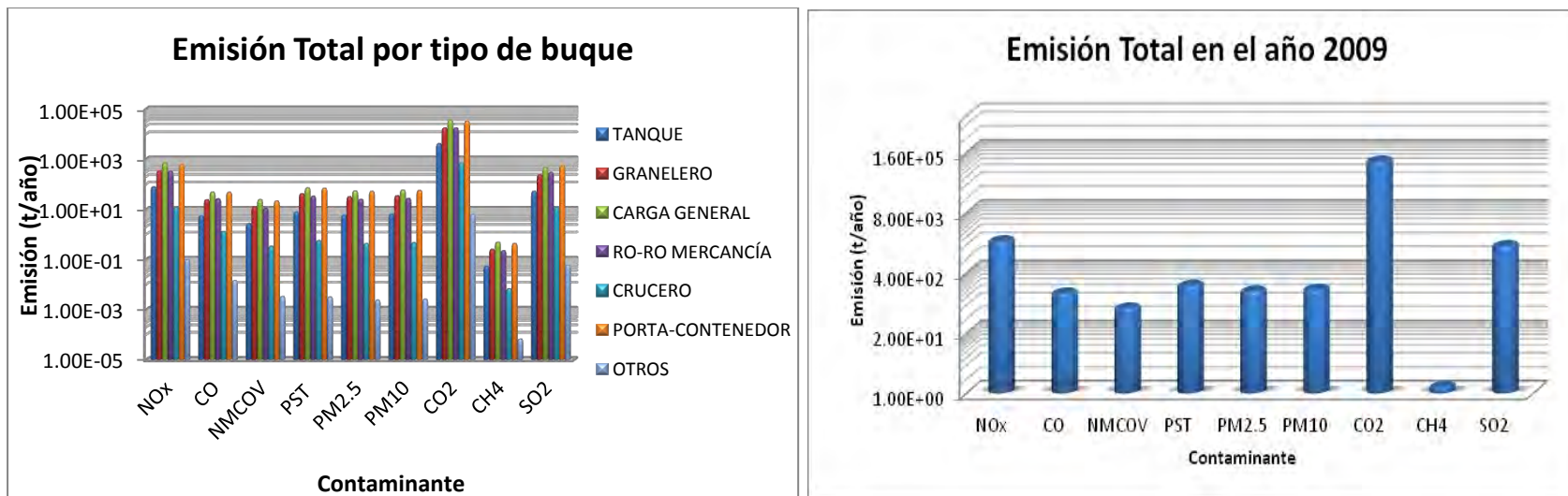


Figura 4.29 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2009

**AÑO 2010**

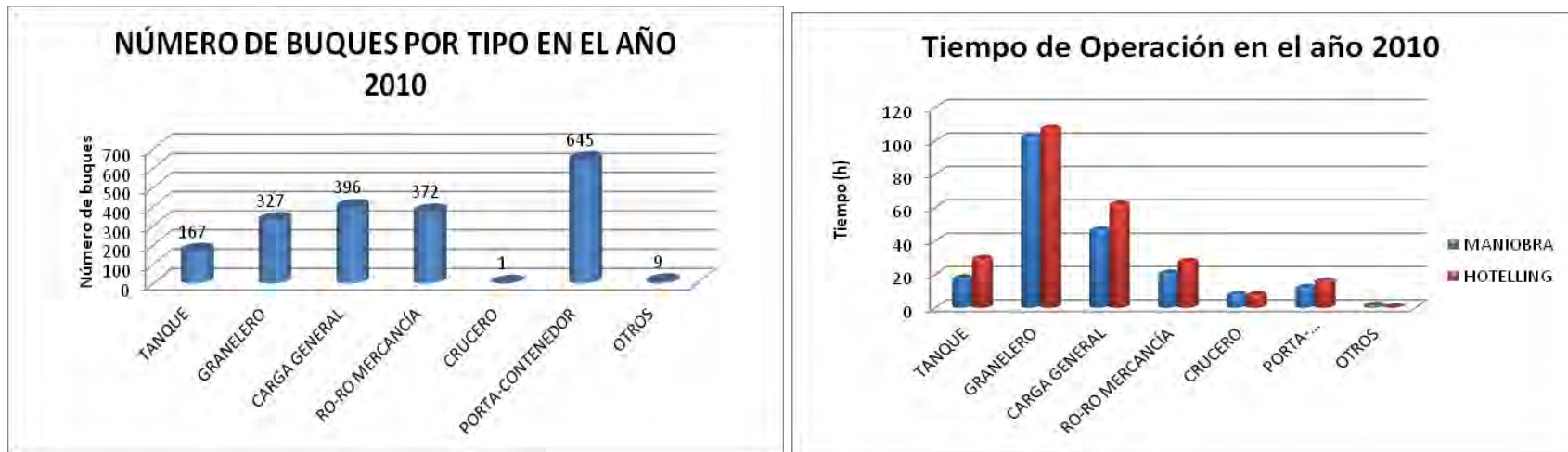


Figura 4.30 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2010

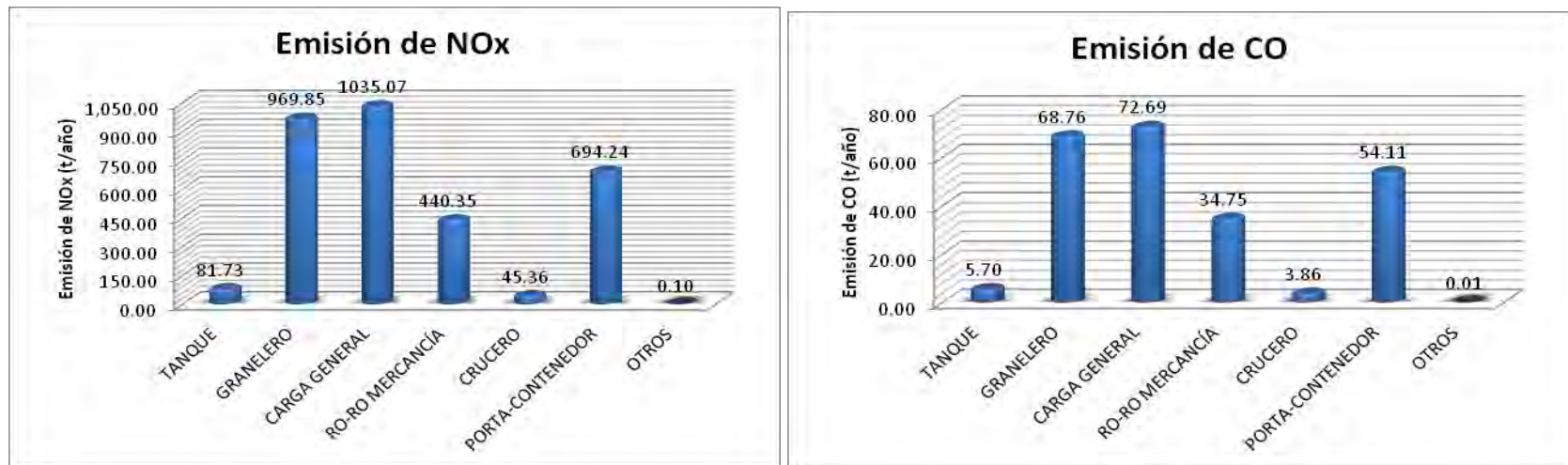


Figura 4.31 Emisión de NOx y CO por tipo de buque en el año 2010

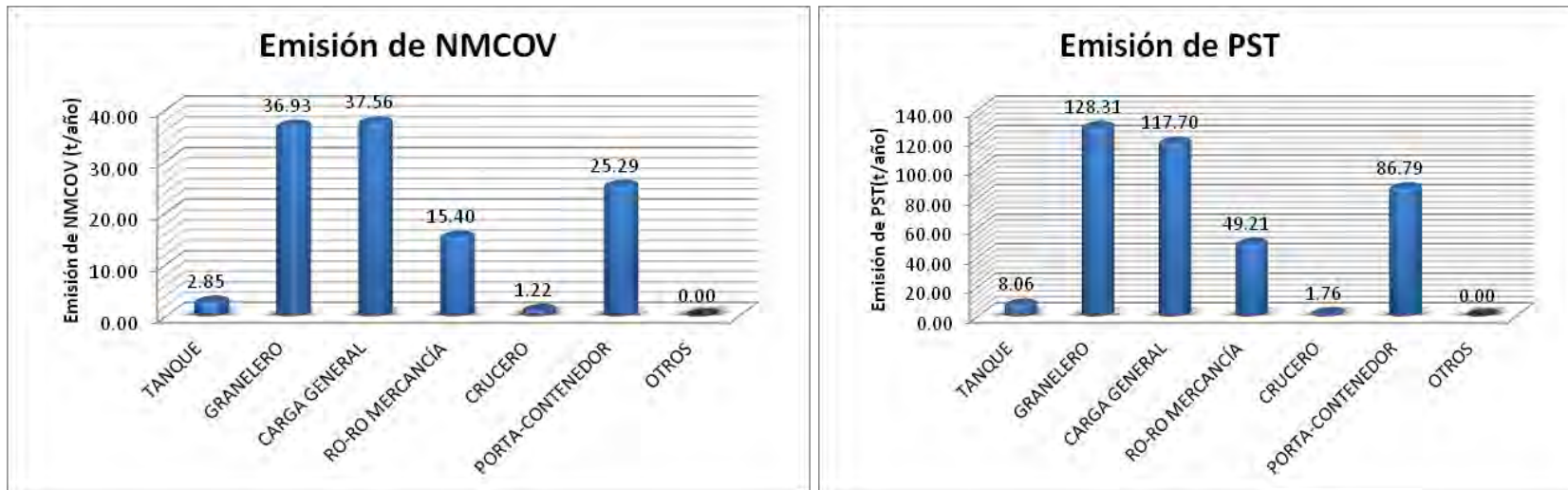


Figura 4.32 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2010

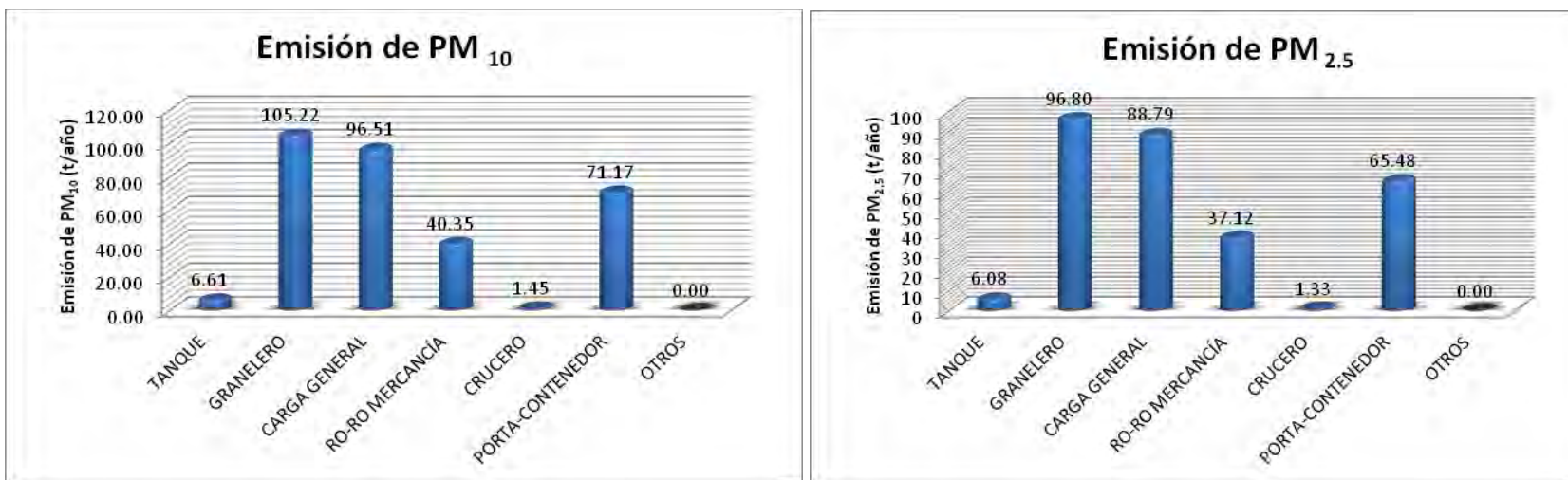


Figura 4.33 Emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2010

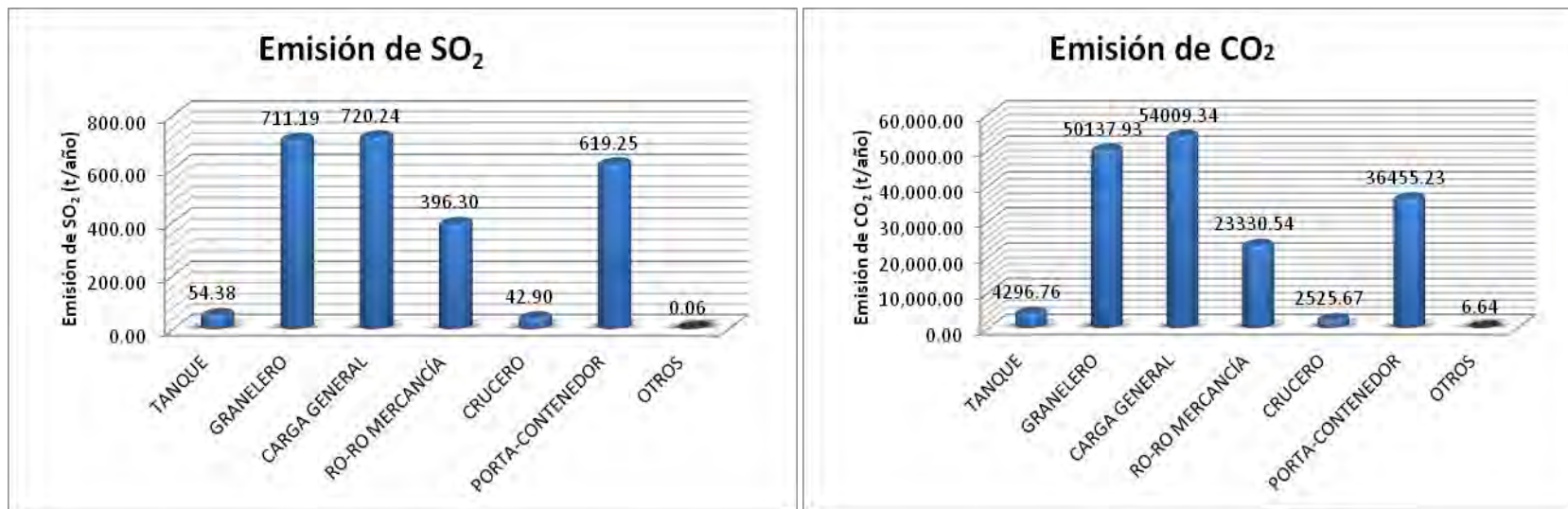


Figura 4.34 Emisión de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2010

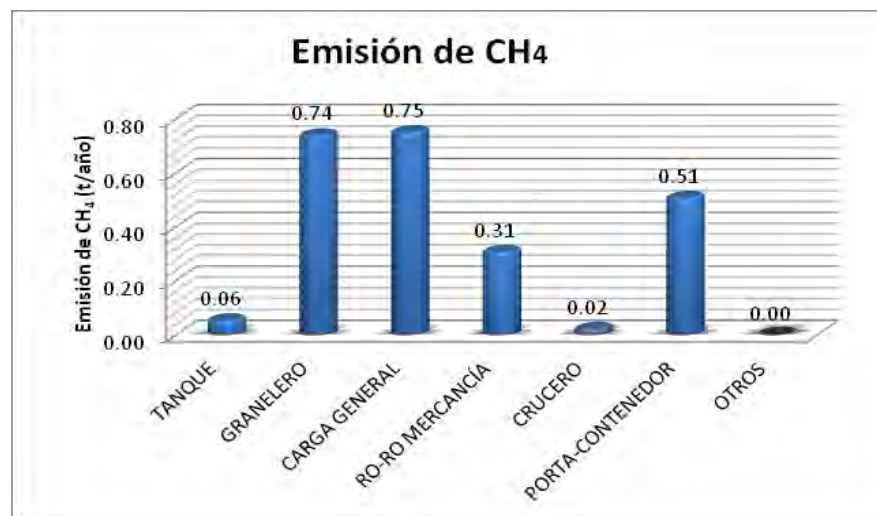


Figura 4.35 Emisión de CH<sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2010

REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO

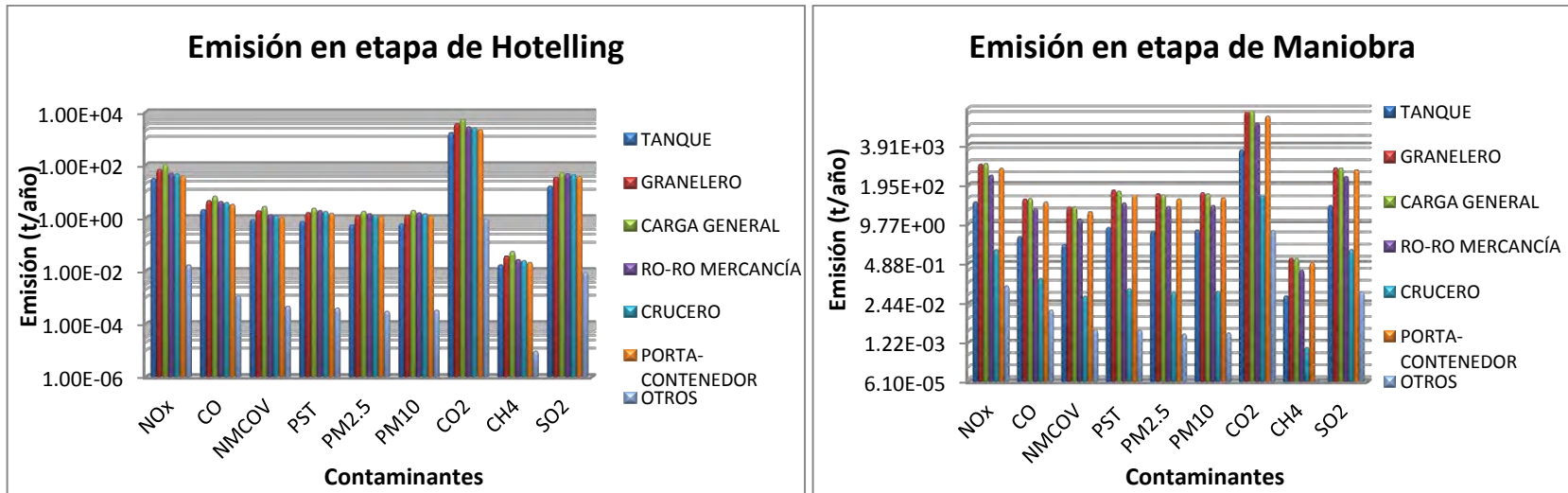


Figura 4.36 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2010

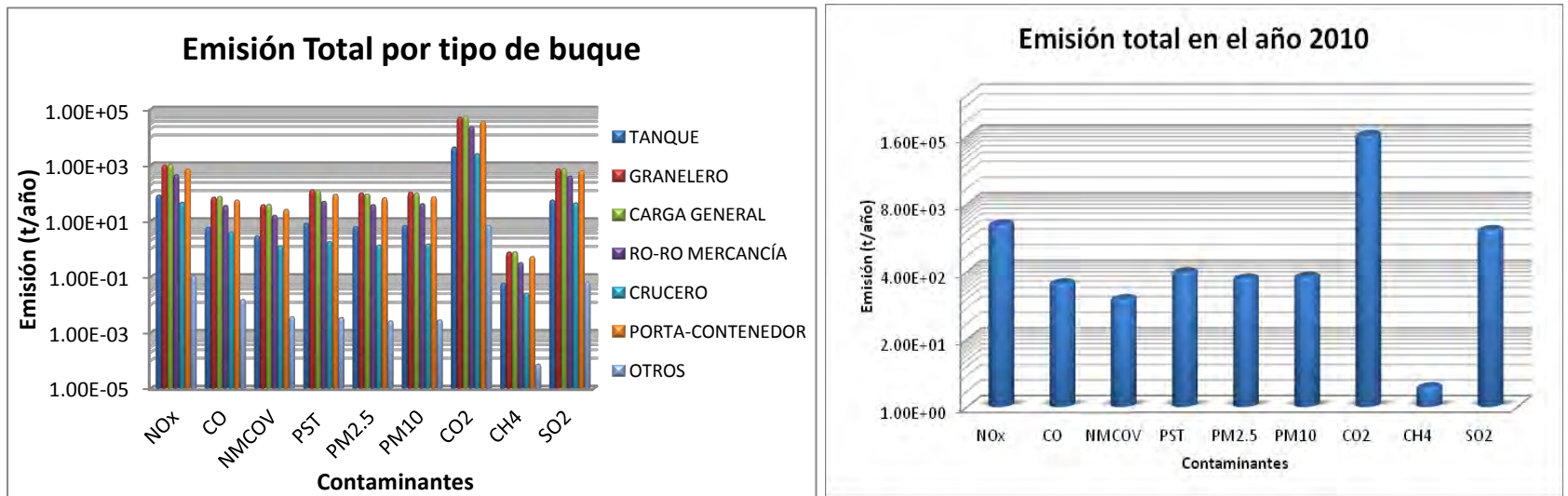


Figura 4.37 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2010

Año 2011

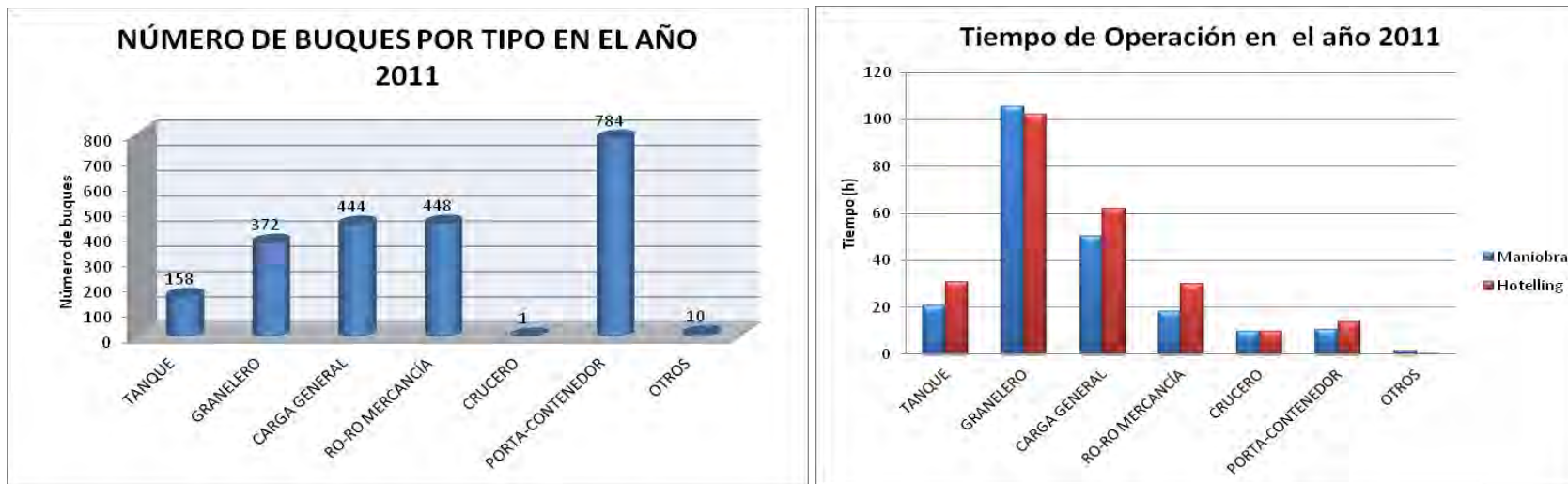


Figura 4.38 Número de buques arribados y tiempo de operación en el año 2011

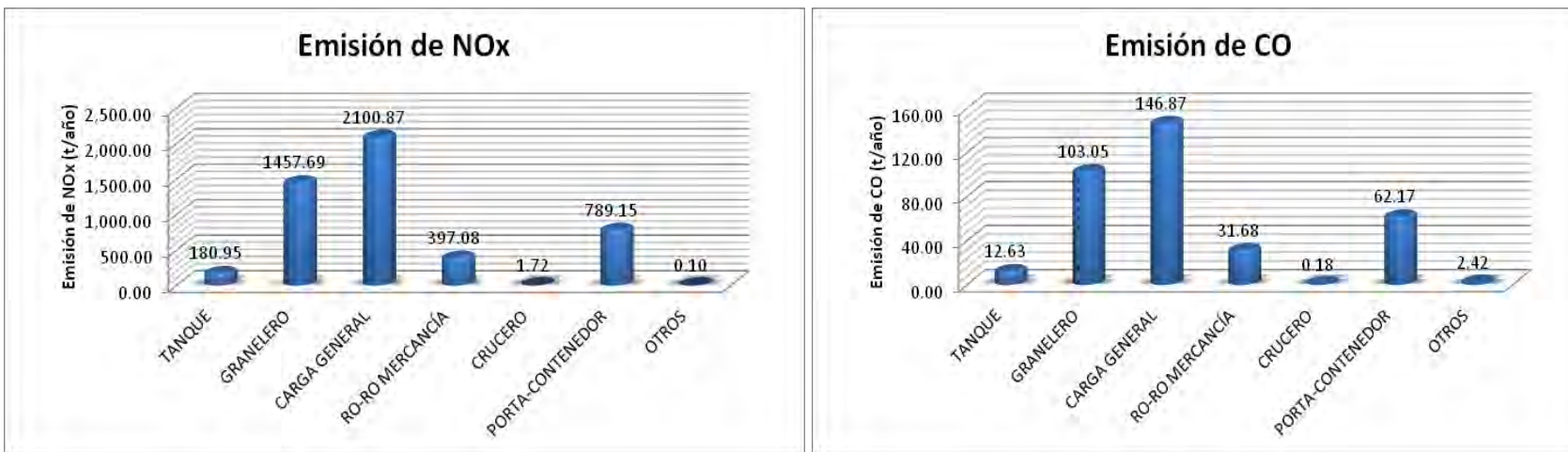


Figura 4.39 Emisión de NOx y CO por tipo de buque en el año 2011

REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO

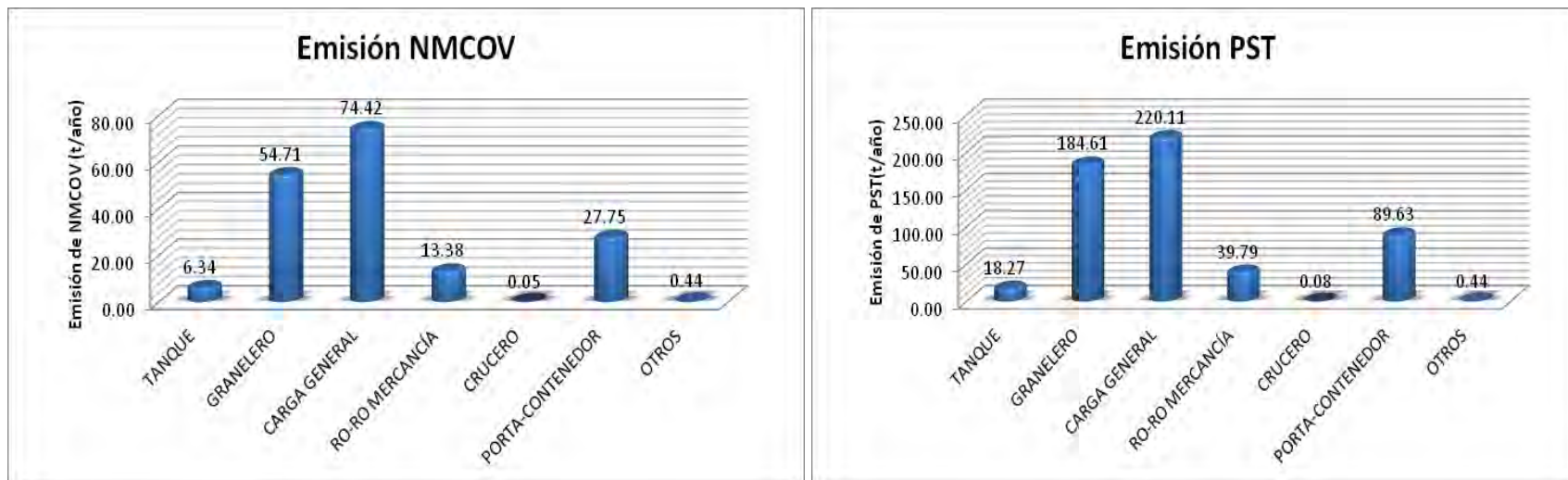


Figura 4.40 Emisión de NMCOV y PST por tipo de buque en el año 2011

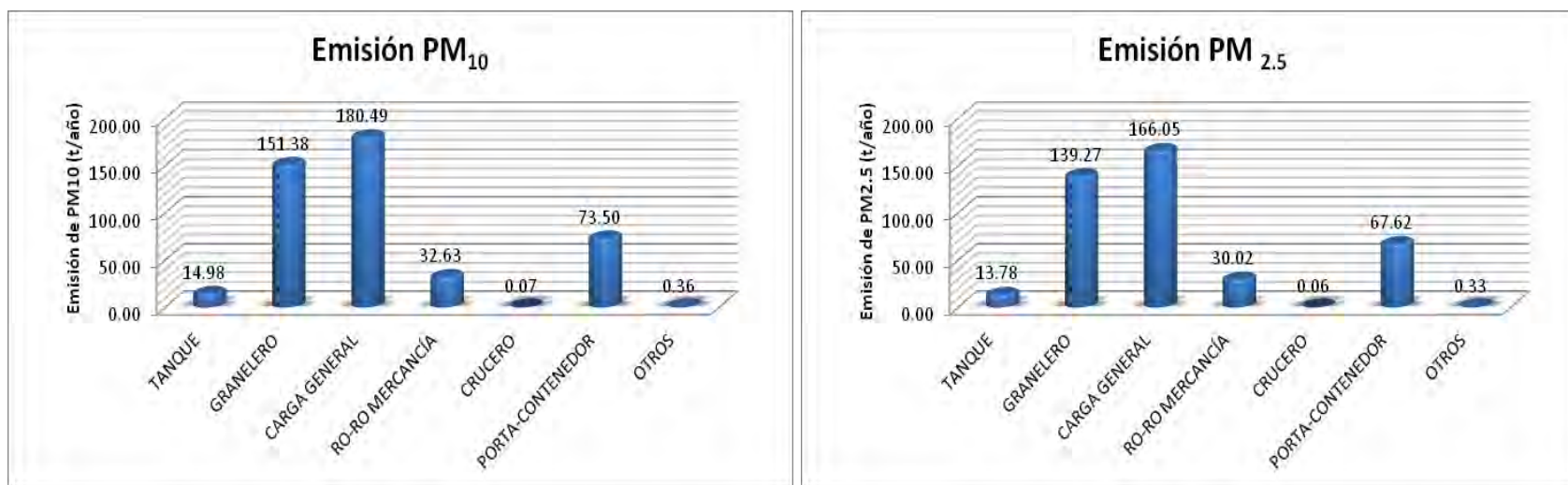


Figura 4.41 Emisión de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por tipo de buque en el año 2011

REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO

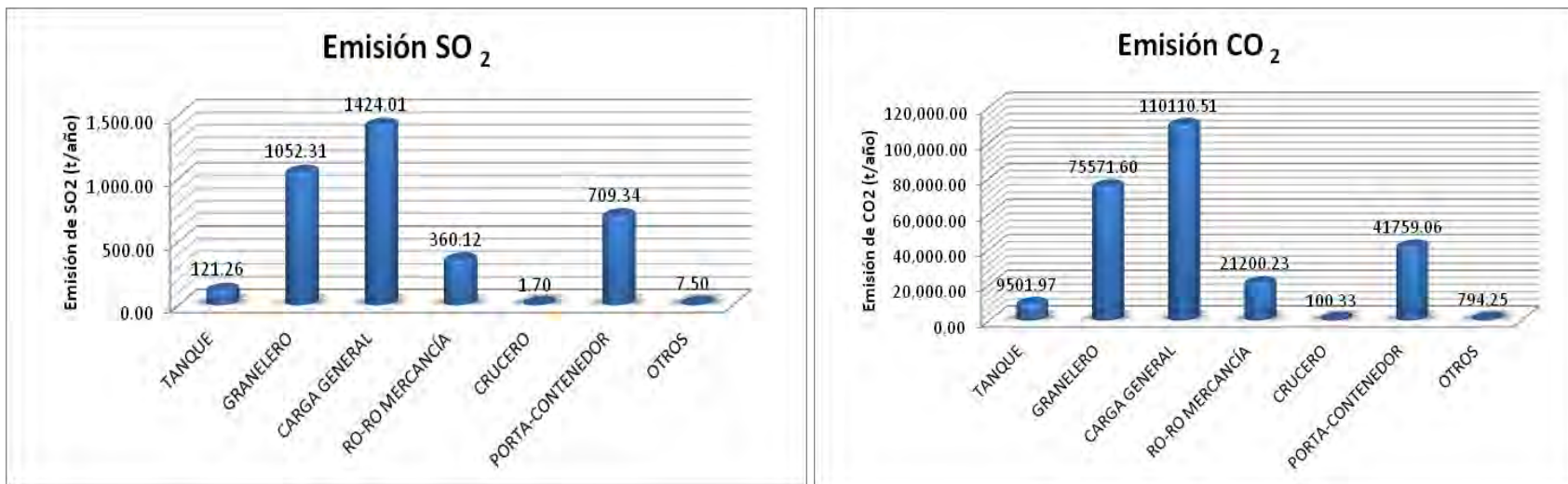


Figura 4.42 Emisión de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> por tipo de buque en el año 2011

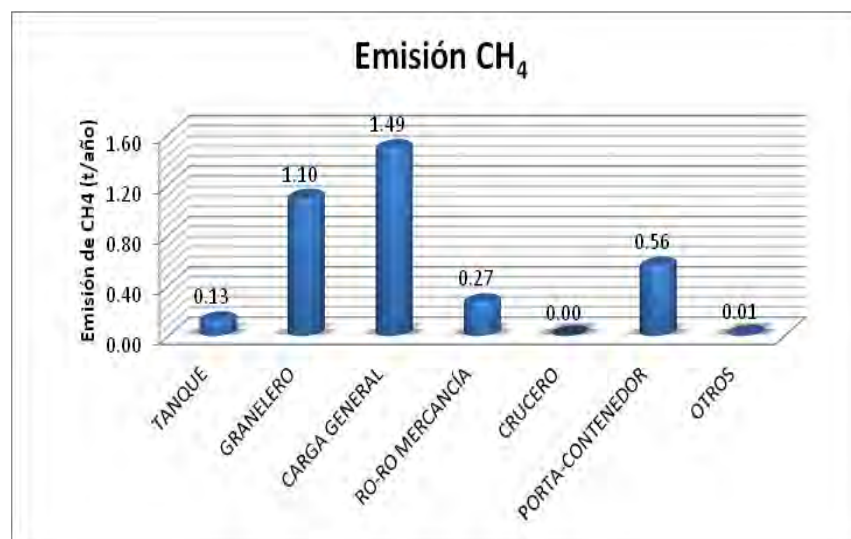


Figura 4.43 Emisión de CH<sub>4</sub> por tipo de buque en el año 2011



REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO

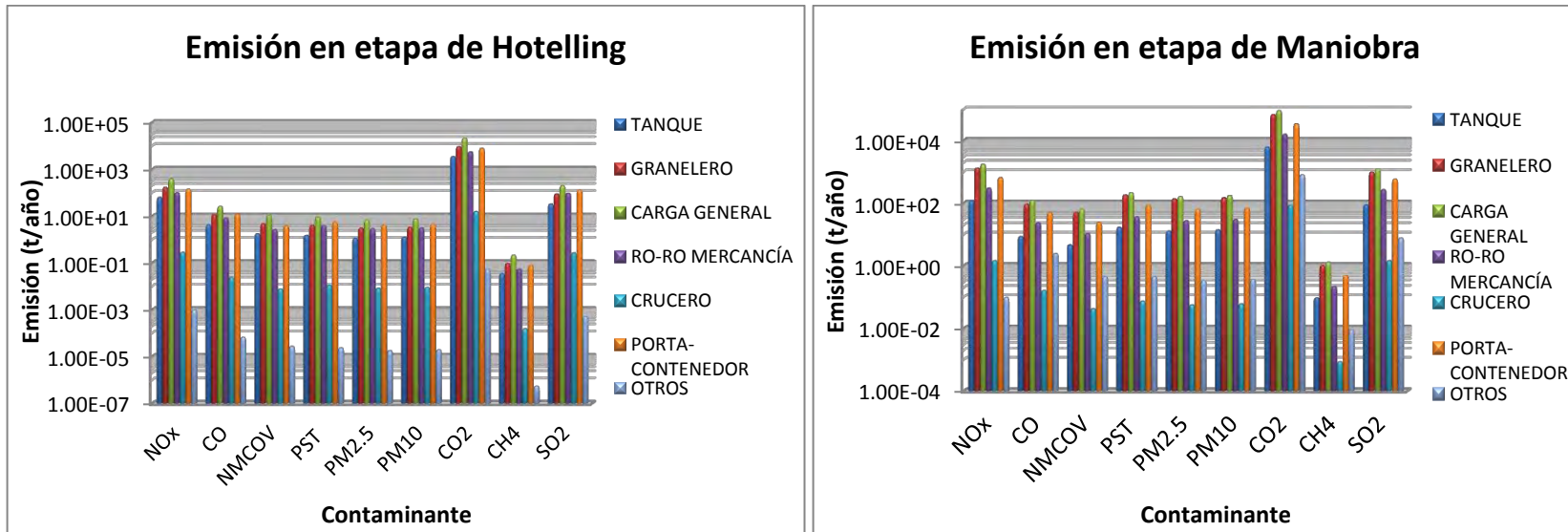


Figura 4.44 Emisión de cada contaminante en las etapas de hotelling y maniobra por tipo de buque en el año 2011

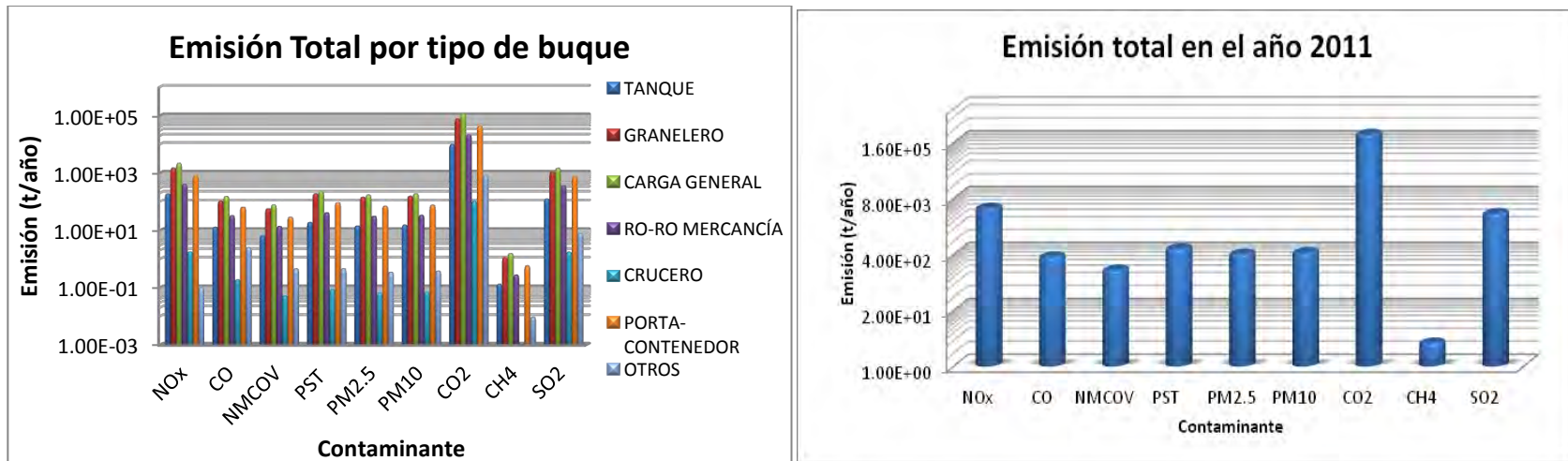


Figura 4.45 Emisión de cada contaminante por tipo de buque y total en el año 2011

De acuerdo al comportamiento de las gráficas de emisión de contaminantes elaboradas año por año y en el periodo total, se observa que el comportamiento de la emisión de cada contaminante es similar.

Por otro lado, se infiere que el buque tipo carga general es el que presenta una mayor emisión de los contaminantes evaluados, seguido de los graneleros y portacontenedores; esto probablemente al tiempo empleado en cada etapa (hotelling y maniobra) y al número de buques registrados (entrada/salida) para estos tipos de buques dentro del Recinto Portuario.

El año que registró mayores emisiones para todos los contaminantes fue el 2011, debido a que en dicho año se presentó un movimiento de buques superior.

De las gráficas de números de buques arribados en cada año se observa que el tipo de buque que más opera es del tipo porta-contenedor y el que mayor tiempo emplea en cada una de las etapas (hotelling y maniobra) es el granelero a excepción del año 2009 que fue el de carga general.

En las Figuras 4.46 a la 4.48 se muestra un análisis global de las emisiones generadas durante el periodo evaluado comprendido entre el año 2007 al 2011.

Según la Figura 4.46 se muestra la cantidad de buques que se evaluaron en el periodo comprendido de 5 años (2007-2011) y se observa un aumento notorio en el último año. A lo largo del periodo evaluado hay una tendencia de aumento del número de buques arribados en el Recinto Portuario registrándose hasta el año 2011 un valor de 2,207 embarcaciones lo que corresponde a un 13.55% más que el año anterior.

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

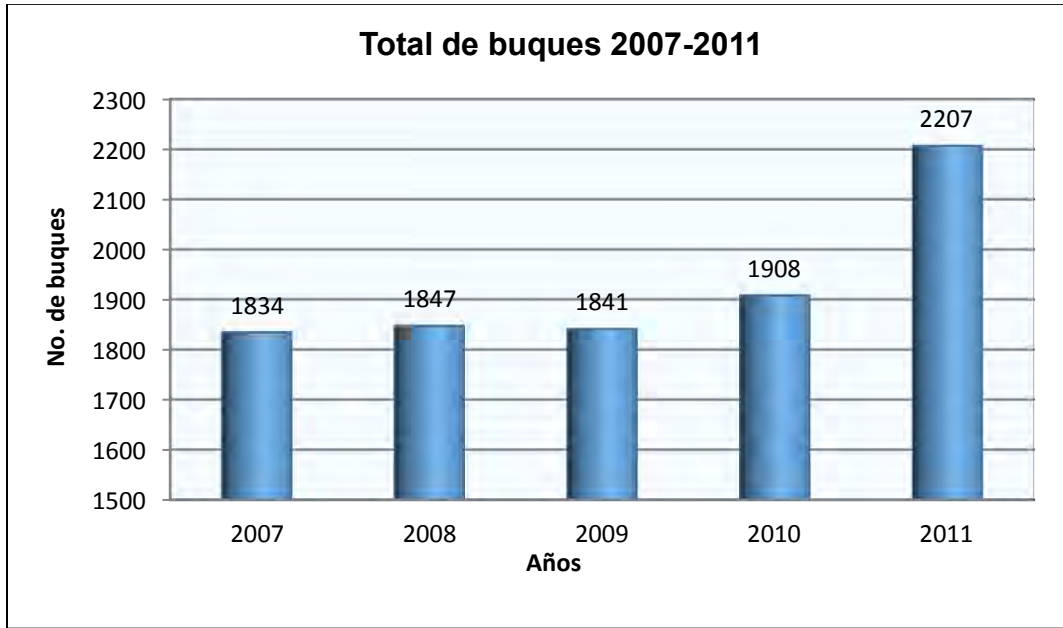


Figura 4.46. Movimiento de buques en los años 2007 al 2011.

En la Figura 4.47 se muestra la emisión total por contaminante en cada año evaluado.

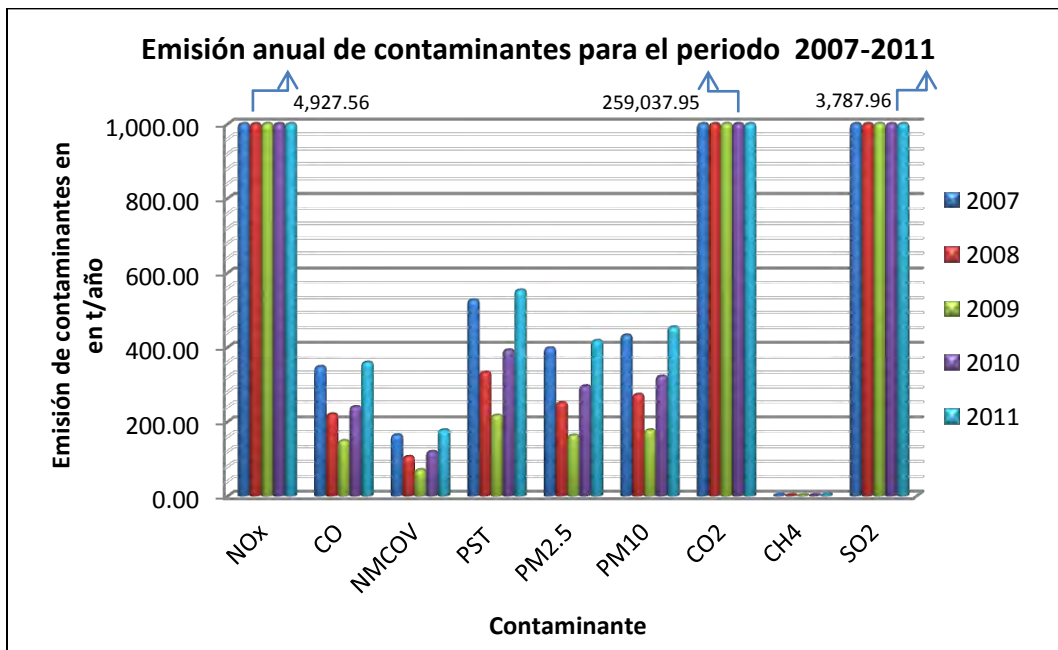


Figura 4.47 Emisión anual de contaminantes atmosféricos generados por el movimiento de buques.

En la Figura 4.47 se observa que el contaminante que más emiten los buques es el CO<sub>2</sub> registrando un valor promedio de 186,500.16 T/año, seguido de los NO<sub>x</sub> con un valor de 3,549.79 T/año, debido a los procesos de combustión y a las condiciones de temperatura y exceso de aire.

El SO<sub>2</sub> presenta un comportamiento similar a los NO<sub>x</sub> registrando un valor promedio de emisión de 2,763 T/año. Las emisiones de SO<sub>2</sub> se relacionan directamente con el contenido de azufre en el combustible.

En la Figura 4.48 se muestra la emisión total de contaminantes por tipo de buque durante el periodo evaluado (2007-2011).

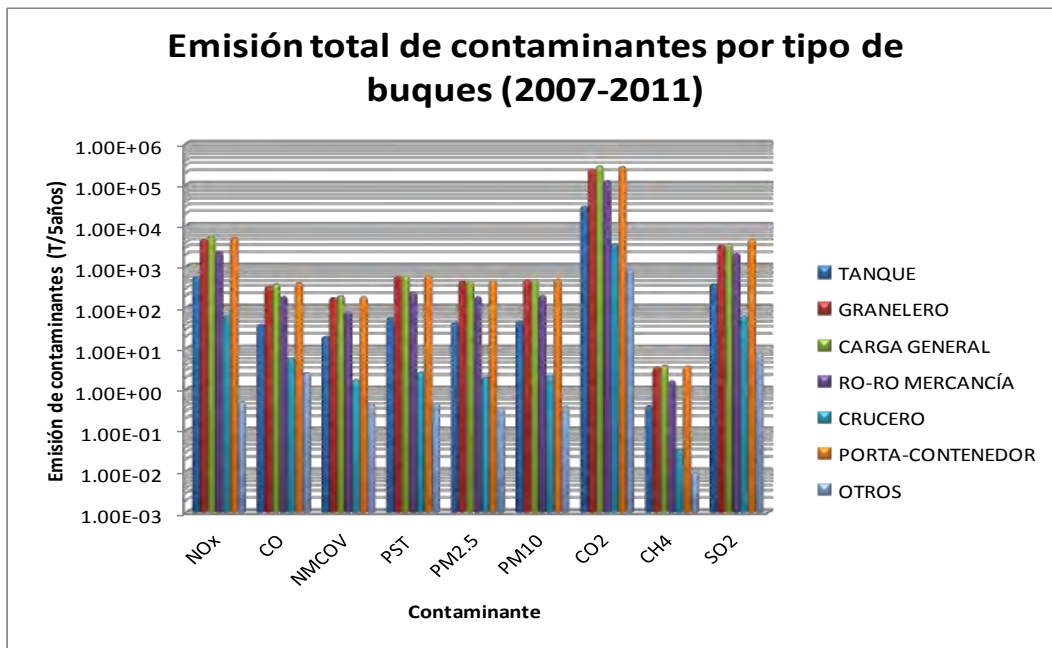


Figura 4.48 Emisión total de contaminantes atmosféricos generados por tipo de buque en los años 2007 al 2011.

De la Figura 4.48 se observa que los tipos de buques que más generan emisión de contaminantes a la atmósfera son los de carga general, porta-contenedores y graneleros.

#### 4.2.2 Locomotoras

Otras de las fuentes evaluadas fueron las locomotoras que circulan dentro del Recinto Portuario de Veracruz, las cuales se presentan a continuación clasificándolas por el tipo de actividad, así como a la empresa a la cual pertenecen. (APIVER 2012).

- Furgón Ferrosur.
- Furgón Compañía GATX.
- Carro Tanque.
- Tolva Ferrosur.
- Tolva Compañía G.E.
- Tolva Compañía GATX.
- Góndola Ferrosur.
- Plataforma Intermodal NKCR Módulo articulado de tres Plataformas.
- Plataforma Intermodal TTX.
- Automax Ferrosur.
- Plataforma Intermodal NKCR Sencilla.
- Coil-Car Compañía CSXT.

Las locomotoras son a Diesel-Eléctrico, es decir, utilizan un motor a Diesel y un generador o un alternador para producir la electricidad necesaria para hacer funcionar sus motores de tracción. Las locomotoras de patio incluyen: carga general, autos, coque, granel agrícola, contenedores y fluidos.

Se realizan 3 turnos en un día y en cada uno de éstos se tienen 5 locomotoras ó servicios regulares de los cuales 3 son asignados al puerto, sin embargo, se puede requerir servicios extra y utilizarlos en el puerto cuando la demanda lo requiere.

El consumo de cada máquina de ferrocarril es de 200 litros de Diesel por día, y el tiempo que trabaja dentro del puerto es en promedio 10 horas al día cada

máquina. La cantidad de equipo que mueve cada máquina es en promedio 45 unidades. Las autoridades han restringido operación los días 1° de enero y 25 de diciembre de los 365 días del año, es decir, se tiene en cuenta para el cálculo de las emisiones 363 días de operación.

La US-EPA ha establecido emisiones estándar para los siguientes contaminantes, teniendo en cuenta que son locomotoras de patio (large switch). (Tabla 4.7)

Tabla 4.7 Factores de emisión para locomotoras (US-EPA 2009)

Contaminante	Factor de Emisión (g/gal)	Factor de Emisión (kg/L)
NO <sub>x</sub>	227	0.05997
PM <sub>2.5</sub>	4.9470	0.00131
PM <sub>10</sub>	5.1	0.00135
HC	13.3	0.00351
VOC	14.0049	0.00370
SO <sub>2</sub>	1.8778	0.00050
CO <sub>2</sub>	10208	2.69667

Las emisiones de los contaminantes SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> son independientes de los parámetros del motor, es decir, dependen fundamentalmente de las propiedades del combustible. En las ecuaciones 12 y 13, se presenta el cálculo del factor de emisión para los contaminantes SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que la densidad del combustible 0.845 kg/L, el porcentaje de azufre del combustible convertido a SO<sub>2</sub> es 97.8 y en contenido de azufre es 300 ppm y carbón es 87% (US-EPA 2009).

$$SO_2 \left( \frac{kg}{L} \right) = (densidad\ del\ comb.) * (factor\ de\ conversi\ n) * \left( \frac{64kgSO_2}{32kgS} \right) * (cont.\ de\ S\ en\ el\ comb.)$$

$$\left( \frac{kgSO_2}{LComb} \right) = (0.845\ kgComb/LComb) * \left( \frac{1.95kgSO_2}{kgS} \right) * \left( 300 * 10^{-6} \frac{kgS}{kgComb} \right) = 0.00050$$

(Ec.12)

$$CO_2 \left( \frac{kg}{L} \right) = (densidad\ del\ comb.) * \left( \frac{44kgCO_2}{12kgC} \right) * (cont.\ de\ C\ en\ el\ comb.)$$

$$CO_2 \left( \frac{kg}{L} \right) = (0.845kgComb/LComb) * (3.66667kgCO_2/kgC) * (0.87) = 2.69667$$

(Ec.13)

En la Tabla 4.8 se presentan las emisiones calculadas anualmente para las locomotoras que operan dentro del Recinto Portuario.

Tabla 4.8 Emisiones de contaminantes atmosféricos generadas por las locomotoras (T/año)

Emisión de contaminantes (T/año)						
NO <sub>x</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	HC	COV	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
39.18	0.85	0.88	2.30	2.42	0.32	1,762.00

En la Figura 4.49 se muestran las emisiones anuales generadas por locomotoras en la zona de operación y se observa que el valor más alto es el del contaminante CO<sub>2</sub> con 1,762 T/año como gas de efecto invernadero, seguido del contaminante NO<sub>x</sub> con un valor de 39.18 (T/año).

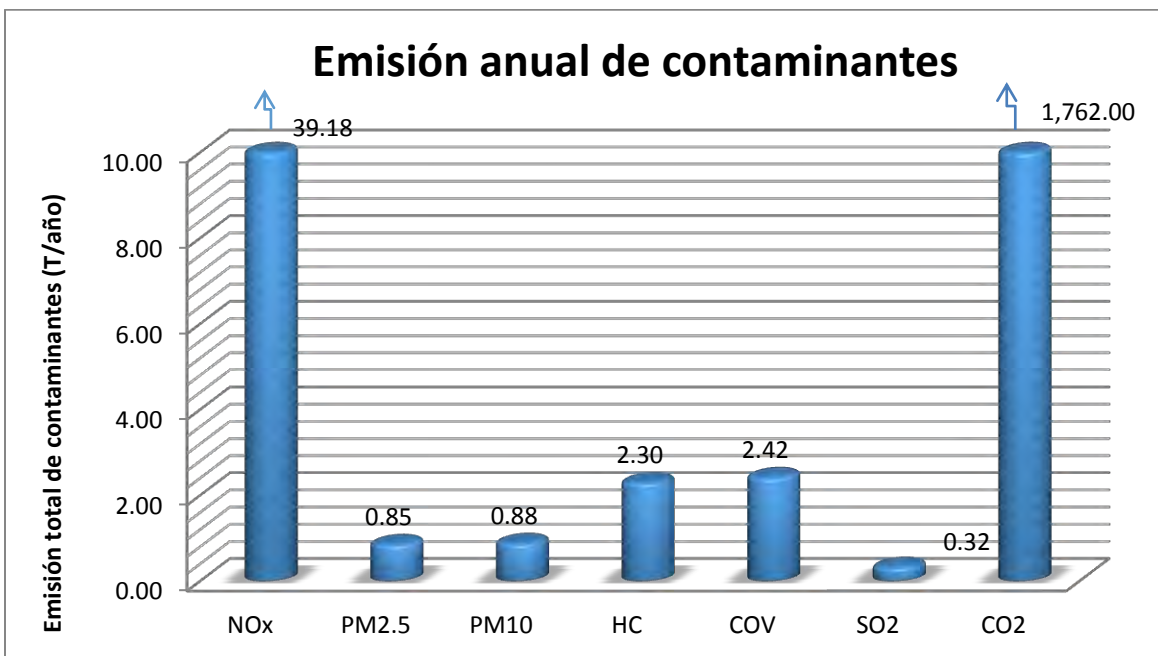


Figura 4.49 Emisión anual de contaminantes generados por las locomotoras

4.2.3 Equipo de transporte de personal (flota vehicular) perteneciente a APIVER.

En las Figuras 4.50 y 4.51 se muestra la distribución de la flota vehicular a cargo de APIVER, por tipo de vehículo y por tipo de servicio, observando que hay, mayoritariamente, 27 automóviles vagoneta seguido de 11 camionetas Pick-Up.

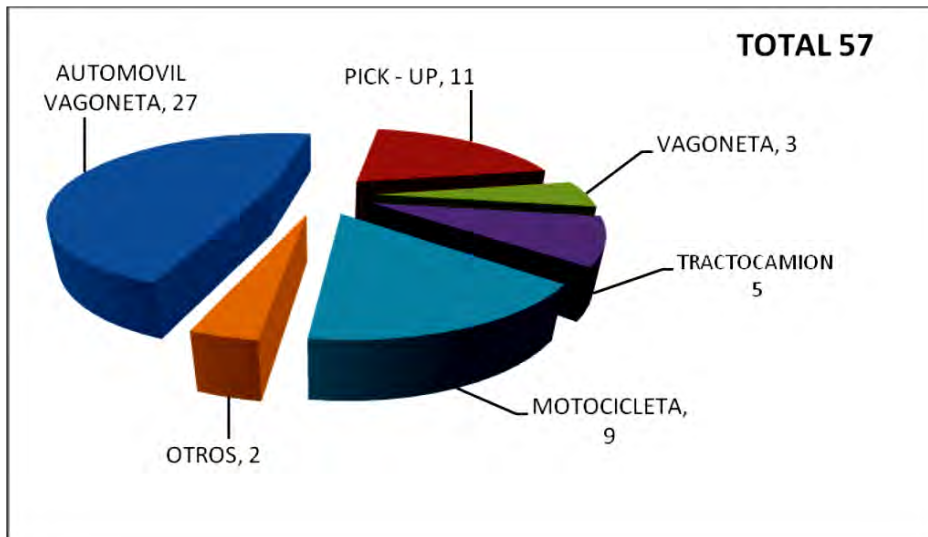


Figura 4.50 Estructura de la flota vehicular 2011 (APIVER 2012)

En la Figura 4.51 se observa que la cantidad de flota destinada a servicios generales y servicios públicos es relativamente igual, registrando un valor 25 y 26 respectivamente.

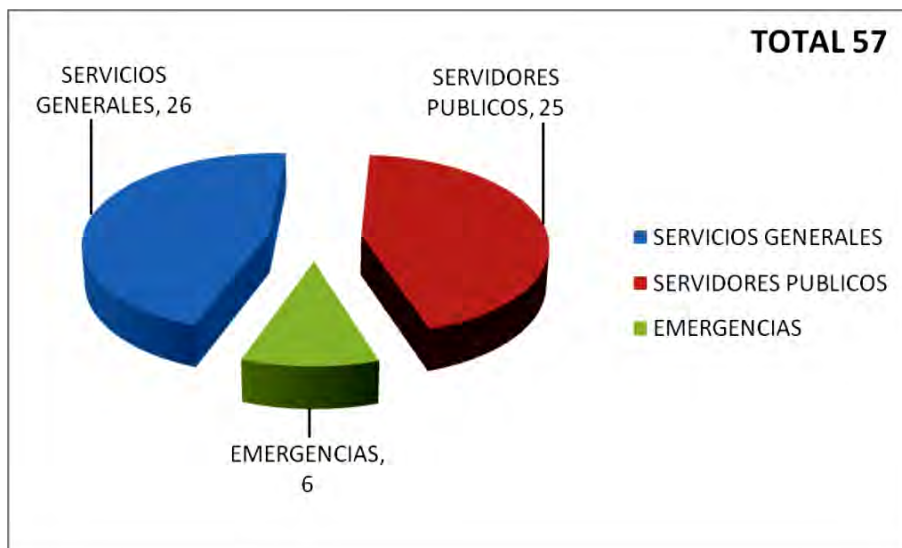


Figura 4.51 Estructura de la flota vehicular por tipo de servicios 2011 (APIVER 2012)



**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

En la pirámide de año/modelo se muestra que el 10% de la flota tiene más de 10 años o más de antigüedad, lo que incrementa el gasto de mantenimiento y consumo de combustible, sin embargo las unidades más antiguas son unidades de respuestas a emergencias por lo que cuentan con equipos especiales para las actividades particulares que tienen que desempeñar, y por lo tanto se ha hecho necesaria su conservación por más años de utilización (Figura 4.52).

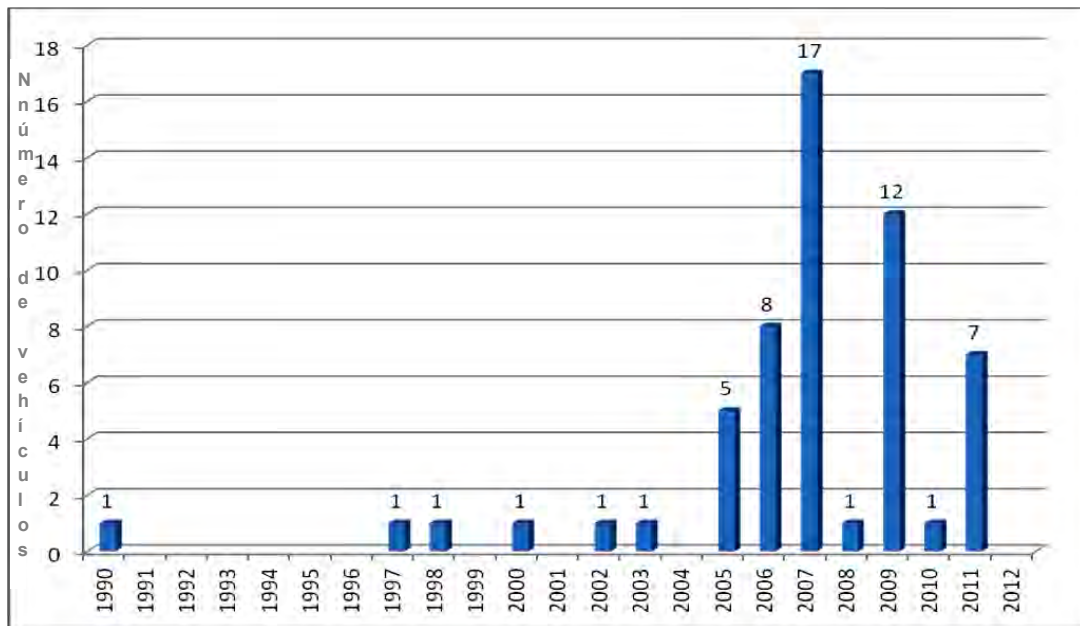


Figura 4.52 Año/modelo y número de la flota vehicular (APIVER 2012)

Excluyendo los vehículos de emergencia, el promedio de edad de la flota vehicular de la Administración Portuaria Integral de Veracruz, S.A. de C.V. es de 4.25 años como se muestra en la pirámide de edades

En relación a la cantidad de combustible que utiliza la flota vehicular se determinó que los automóviles vagoneta son los que más consumen combustible, registrando un valor de 61,456 L/año, lo que coincide con la cantidad existente de este tipo de vehículos (Figura 4.53)

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

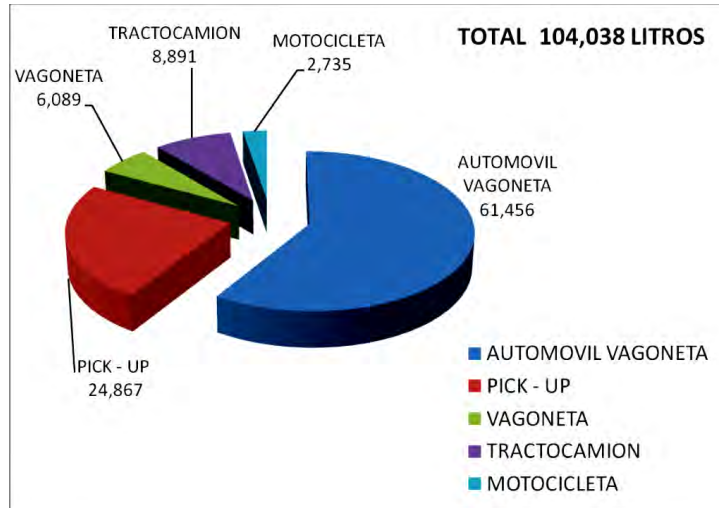


Figura 4.53 Consumo anual de combustible por tipo de vehículo 2011 (APIVER 2012)

En la Figura 4.54 se muestra el consumo de combustible anual de acuerdo al tipo de servicio que presta en el Recinto Portuario y se observa la flota destinada a servicios generales son las que más consumen combustible registrando un valor de 58,962 L.

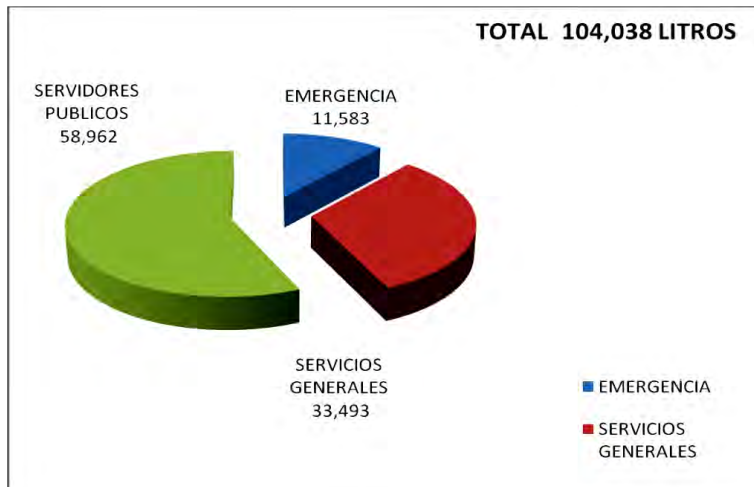


Figura 4.54 Consumo anual de combustible por tipo de servicio 2011 (APIVER 2012)

En la Tabla 4.9 se muestra los factores de emisión que se obtuvieron para la flota vehicular a cargo de APIVER teniendo en cuenta el tipo y cantidad de combustible y el modelo. Estos FE se obtuvieron del documento “Guidelines for National

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ,  
MÉXICO**

Greenhouse Gas inventories: Reference Manual Energy" de IPCC 1996 y están basados en el modelo MOBILE5a de la US-EPA.

Tabla 4.9 Factores de Emisión para la flota vehicular APIVER (IPCC 1996)

DESCRIPCION	TIPO DE VEHICULO	AÑO	EDAD (AÑOS)	DOTACION MENSUAL (L)	TIPO DE COMBUSTIBLE	FE (g/kg de combustible)				
						NOx	CH4	NMCOV	CO	CO2
CAMION MCA. MERCEDES BENZ	TRACTOCAMION	2002	10	225	DIESEL	29.79	0.18	4.70	14.03	3,172.31
CAMION DINA	TRACTOCAMION	1990	22	225	DIESEL	29.79	0.18	4.70	14.03	3,172.31
CAMION EAGLE	TRACTOCAMION	1998	14	225	DIESEL	29.79	0.18	4.70	14.03	3,172.31
CAMION INTERNACIONAL	TRACTOCAMION	1997	15	225	DIESEL	29.79	0.18	4.70	14.03	3,172.31
CAMION MCA. E-ONE	TRACTOCAMION	2000	12	171	DIESEL	29.79	0.18	4.70	14.03	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	150	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	150	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	208	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	150	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	208	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA ECOSPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD 150	PICK-UP	2009	3	225	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ,  
MÉXICO**

DESCRIPCION	TIPO DE VEHICULO	AÑO	EDAD (AÑOS)	DOTACION MENSUAL (L)	TIPO DE COMBUSTIBLE	FE (g/kg de combustible)				
						NOx	CH4	NMCOV	CO	CO2
CAMIONETA FORD 150	PICK-UP	2009	3	313	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD 150	PICK-UP	2009	3	313	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD EDGE	AUTOMOVIL VAGONETA	2009	3	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD EDGE	AUTOMOVIL VAGONETA	2011	1	375	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2009	3	150	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2009	3	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2009	3	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2009	3	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2009	3	208	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2009	3	150	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2011	1	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2011	1	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2011	1	233	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2011	1	375	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD ESCAPE	AUTOMOVIL VAGONETA	2011	1	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD EXPEDITION	VAGONETA	2009	3	386	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD RANGER	PICK-UP	2006	6	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD RANGER	PICK-UP	2006	6	208	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD RANGER	PICK-UP	2006	6	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD RANGER	PICK-UP	2006	6	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD RANGER	PICK-UP	2006	6	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD RANGER	PICK-UP	2006	6	200	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
CAMIONETA FORD RANGER	PICK-UP	2006	6	167	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ,  
MÉXICO**

DESCRIPCION	TIPO DE VEHICULO	AÑO	EDAD (AÑOS)	DOTACION MENSUAL (L)	TIPO DE COMBUSTIBLE	FE (g/kg de combustible)				
						NOx	CH4	NMCOV	CO	CO2
CAMIONETA FORD TRANSIT	VAGONETA	2009	3	200	DIESEL	6.62	0.12	2.39	6.04	3,172.31
FORD F-350	PICK-UP	2003	9	225	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
JEEP WRANGLER	AUTOMOVIL VAGONETA	2007	5	225	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
JEEP WRANGLER SPORT	AUTOMOVIL VAGONETA	2011	1	500	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31
MOTOCICLETA CARABELA	MOTOCICLETA	2005	7	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
MOTOCICLETA CARABELA	MOTOCICLETA	2005	7	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
MOTOCICLETA CARABELA	MOTOCICLETA	2005	7	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
MOTOCICLETA CARABELA	MOTOCICLETA	2005	7	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
MOTOCICLETA HONDA	MOTOCICLETA	2007	5	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
MOTOCICLETA HONDA	MOTOCICLETA	2007	5	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
MOTOCICLETA YAMAHA	MOTOCICLETA	2005	7	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
MOTOCICLETA YAMAHA	MOTOCICLETA	2007	5	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
MOTOCICLETA YAMAHA	MOTOCICLETA	2007	5	33	MAGNA	2.29	3.13	73.33	265.51	3,172.31
VEH.URVAN NISSAN	VAGONETA	2006	6	150	MAGNA	9.76	0.90	42.09	244.14	3,172.31

Los FE del contaminante SO<sub>2</sub> se obtuvieron por medio de un análisis de estequiometria, para esto se tuvo en cuenta que la densidad del Diesel es de 0.83 kg/L y la cantidad de azufre es de 300 ppm (US-EPA 2009) y para la gasolina Magna, es de 0.72 kg/L y 38 ppm, respectivamente.(PEMEX 2012).

El FE para el contaminante SO<sub>2</sub> por la combustión de Diesel es de 0.0005 kg/L y para la gasolina Magna es de 0.00005 kg/L.

En base a los factores de emisión obtenidos para estimar la generación de contaminantes por esta fuente en el año 2011, se obtienen como resultado las siguientes emisiones (Tabla 4.10 y Figura 4.44)

Tabla 4.10 Emisión de contaminantes atmosféricos generados por la flota vehicular a cargo de APIVER en el año 2011.

Emisión (T/año)					
NO <sub>x</sub>	CH <sub>4</sub>	NMCOV	CO	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
1.060	0.077	3.360	18.925	283.247	0.013

De acuerdo a la Figura 4.55 se observa que el contaminante CO<sub>2</sub> es el que más se emitió por dicha fuente en el año 2011 con un valor de 283.25 T/año, debido a que este contaminante es un producto de la combustión seguido del CO con un valor de 18.9 T/año.

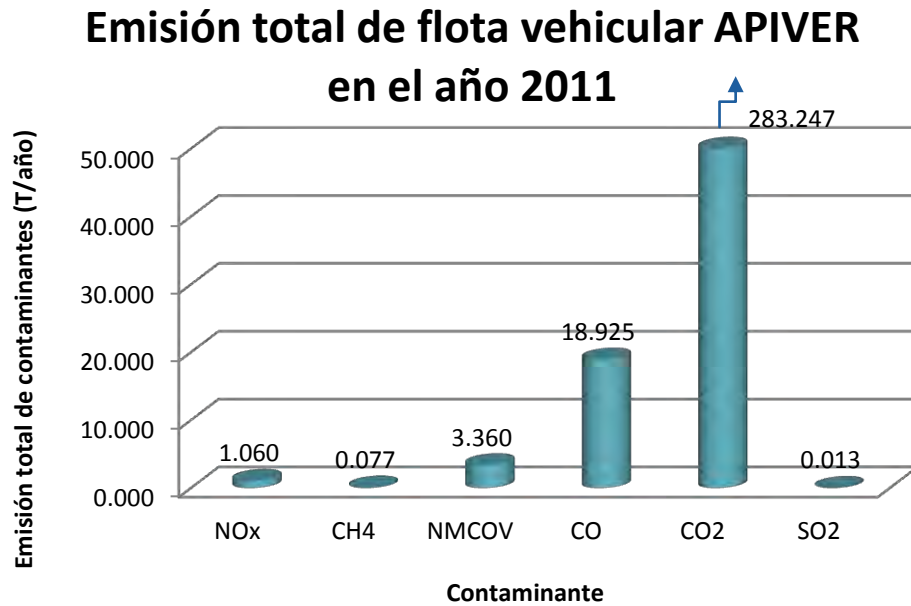


Figura 4.55 Emisión total de contaminantes generados por la flota vehicular de APIVER en el año 2011.

#### 4.2.4 Equipo de transporte de carga dentro del Recinto Portuario por parte del Centro de Apoyo Logístico al Transporte (CALT)

Centro de Apoyo Logístico al Transporte (CALT) tiene como objetivos: simplificar las operaciones del transporte terrestre dentro de las instalaciones del puerto y agilizar la recepción y despacho de las mercancías propiciando un uso óptimo de los recursos.



Figura 4.56 Centro de Apoyo Logístico al Transporte (CALT)

Para estimar las emisiones generadas por esta fuente se tuvo en cuenta la siguiente información:

1. Cantidad de vehículos de carga pesada:

Lunes a viernes: 1600 vehículos/día

Sábados: 1100 vehículos

Domingos: 130 vehículos

Total de vehículos al año: 479,960

2. Tipo de combustible: Diesel

Cantidad de combustible: 13 L/día

3. Tiempo encendido dentro del puerto: 140 minutos

Días de trabajo: 365 días

4. Kilómetros recorridos dentro del puerto: 14 Km/día

En la Tabla 4.11 muestra los FE estipulados para el cálculo del movimiento de vehículos de carga pesada dentro del Recinto Portuario, teniendo en cuenta el consumo de combustible. Estos FE se obtuvieron del documento "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual Energy" del IPCC 1996 y están basados en el modelo MOBILE5a de la US-EPA. El FE del contaminante de SO<sub>2</sub> se obtuvo por medio del método de estequiometría tal como se mostró en los resultados de las emisiones de las locomotoras.

Tabla 4.11 Factores de emisión para vehículos de carga pesada (IPCC 1996)

<b>FE (g/kg combustible)</b>					
<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>NMCOV</b>	<b>CO</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>
29.79	0.18	4.7	14.03	3172.13	0.0005

En la Tabla 4.12 y en la Figura 4.62 se muestran los resultados de emisión calculados para este tipo de fuente.

Tabla 4.12 Emisión anual de contaminantes generadas por los vehículos de carga pesada.

<b>Emisiones de contaminantes (Ton/año)</b>					
<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>NMCOV</b>	<b>CO</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>
154.3	0.9	24.3	72.7	16,427.7	3.1

Si se observa la Figura 4.57 se deduce que el contaminante que más se emite por esta fuente es el CO<sub>2</sub> con un valor de 16,427.7 T/año resultado del proceso de combustión que se lleva a cabo durante la operación, seguido de los NO<sub>x</sub> con un valor de 154.3 T/año y de CO con 72.7 T/año.



### Emisión de contaminante generados por vehículos de carga pesada

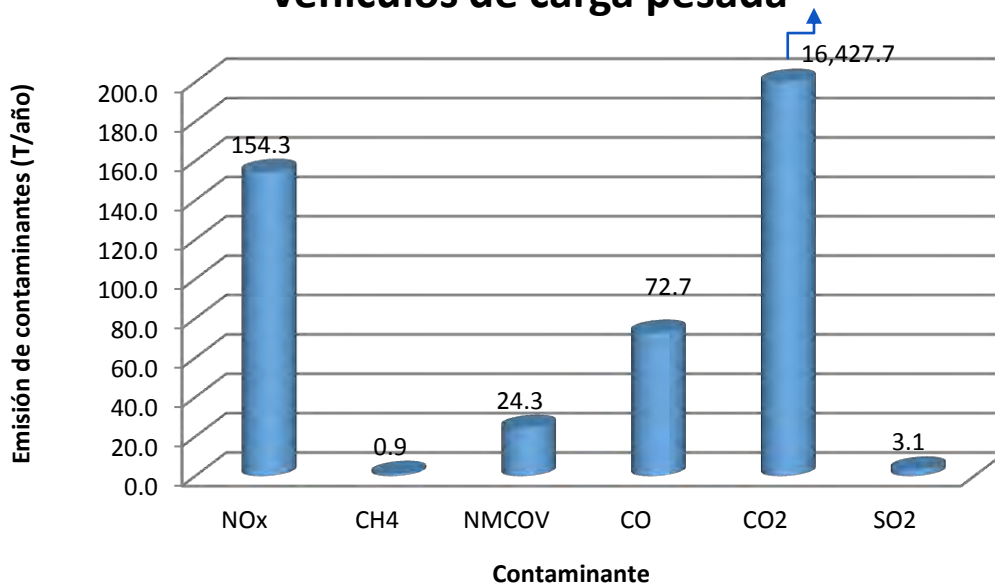


Figura 4.57 Emisión anual de contaminantes generadas por los vehículos de carga pesada.

#### 4.2.5 Equipo de manejo de contenedores

Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz S.A de C.V (ICAVE) y la Corporación Integral de Comercio Exterior S.A de C.V. (CICE) son las cesionarias dedicadas a la prestación de servicios de manejo, almacenamiento, consolidación y desconsolidación de contenedores y servicios relacionados en el Recinto Portuario de Veracruz, siendo esta actividad una de las más importantes en la economía del puerto ya que representa el mayor intercambio comercial vía marítima por el Golfo de México.

Las emisiones de contaminantes atmosféricos que se generan por parte de los equipos relacionados con el manejo de los contenedores como son las grúas de marco presentan las características mostradas en la Tabla 4.13 junto a los factores de emisión que se obtuvieron para dichos equipos.

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

Tabla 4.13 Características y factores de emisión de las grúas de marco de las cesionarias Corporación Integral de Comercio Exterior S.A de C.V. (CICE) e Internacional de Contenedores Asociados de Veracruz (ICAIVE) (US-EPA 2009).

CESIONARIA	EQUIPO	MODELO	CAPACIDAD (T)	POTENCIA (HP)	Tier	HORAS /AÑO	Factores de emisión (g/Hp-hr)						
							HC	CO	NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
CICE	GRUA DE MARCO	1997	40	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
CICE	GRUA DE MARCO	2001	40	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
CICE	GRUA DE MARCO	2005	40	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
CICE	GRUA DE MARCO	2006	40	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
CICE	GRUA DE MARCO	2006	40	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
CICE	GRUA DE MARCO	2011	37	470	4	8760	0.13	0.1	0.3	0.01	0.01	530.6	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	1999	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	1999	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	1999	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2001	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2001	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2001	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2004	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2004	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2004	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2004	40.6	470	1	8760	0.2	1.3	6	0.2	0.19	530.4	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2009	40.6	470	3	8760	0.17	0.8	2.5	0.15	0.15	530.5	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2009	40.6	470	3	8760	0.17	0.8	2.5	0.15	0.15	530.5	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2009	40.6	470	3	8760	0.17	0.8	2.5	0.15	0.15	530.5	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2009	40.6	470	3	8760	0.17	0.8	2.5	0.15	0.15	530.5	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2009	40.6	470	3	8760	0.17	0.8	2.5	0.15	0.15	530.5	0.16
ICAIVE	GRUAS DE PATIO RUBBER TYRED GANTRY CRANES (MARCO)	2009	40.6	470	3	8760	0.17	0.8	2.5	0.15	0.15	530.5	0.16

Los factores de emisión se obtuvieron de las mejores prácticas de la US-EPA (Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories 2009, Cargo Handling Equipment); para seleccionar los factores de emisión se tomó en cuenta un valor de Tier (nivel de tecnología) el cual relaciona el año modelo y la potencia del motor del cada equipo. De acuerdo a las características de las grúas de marco y a los FE se calcularon las emisiones mostradas en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Emisión de contaminantes atmosféricos generados por el manejo de contenedores.

<b>Emisión de contaminantes atmosféricos por manejo de contenedores (T/año)</b>						
HC	CO	NOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
16.26	95.11	408.84	15.27	14.70	45,862.31	13.83

En la Figura 4.58 se observa que el gas que más se emite por la actividad de las grúas de marco pertenecientes a CICE e ICAVE es el CO<sub>2</sub> con un valor de 45,862.31 T/año, seguido del contaminante NOx con un valor de 408.84 T/año.

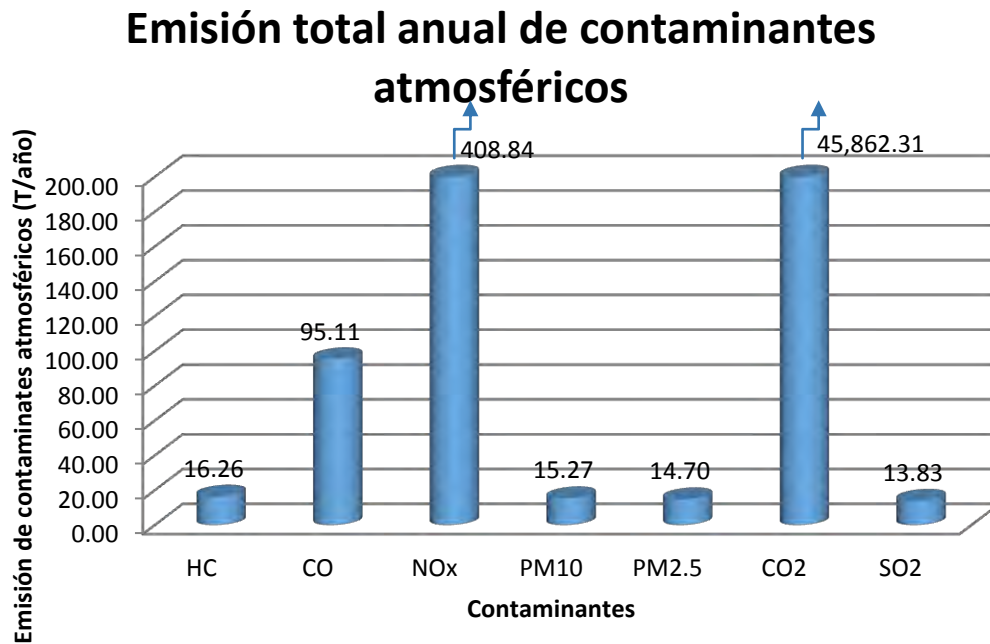


Figura 4.58 Emisión anual de contaminantes atmosféricos generados por el equipo de manejo de contenedores

#### 4.2.6 Comedores

En la Figura 4.59 se muestran los tres comedores pertenecientes al Recinto Portuario.



Figura 4.59 Comedores existentes dentro del Recinto Portuario de Veracruz

La información que se obtuvo para calcular las emisiones generadas por los tres comedores existentes en el área estudiada se observa en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15. Información de comedores del Recinto Portuario de Veracruz

COMEDOR	INFORMACIÓN RECOPIADA
1	Tipo de combustible: Gas L.P. Consumo de combustible: 1308.96 L/mes Tiene una estufa, cuatro quemadores, una plancha y una freidora.
2	Tipo de combustible: Gas L.P. Consumo de combustible: 304 L/mes Tiene ocho hornillas y una parrilla
3	Tipo de combustible: Gas L.P. Consumo de combustible: 185 L/mes Tiene seis parrillas

Teniendo en cuenta que la composición del gas L.P es 61% propano y 39% butano (PEMEX 2007), se utilizaron los factores de emisión que propone la US-EPA (AP-42 Capítulo 1, Sección 1.5 "Liquified Petroleum Gas Combustion") para la estimación de emisiones. (Tabla 4.16).

Tabla 4.16 Factores de emisión para Gas LP (US-EPA. AP-42 2012)

Contaminante	F.E (T/1000L)
CO	3.26E-03
NO <sub>x</sub>	2.40E-02
PM <sub>10</sub>	6.87E-04

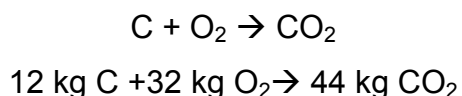
Para obtener la emisión de CO<sub>2</sub> se realizó el cálculo de acuerdo a las ecuaciones 14, 15 y 16.

$$\begin{aligned}
 PM \text{ Gas LP} &= \text{Fracción mol } C_3H_8 * PM \text{ } C_3H_8 + \text{Fracción mol } C_4H_{10} * PM \text{ } C_4H_{10} = \\
 PM \text{ Gas LP} &= 0.61 * 44 + 0.39 * 58 = 49.46 \quad (\text{Ec.14})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 kg \text{ de } C &= \text{Fracción mol } C_3H_8 * PM \text{ } C + \text{Fracción mol } C_4H_{10} * PM \text{ } C \\
 kg \text{ de } C &= 0.61 * 36 + 0.39 * 48 = 40.68 \quad (\text{Ec.15})
 \end{aligned}$$

Donde:

PM: Peso Molecular



Como se puede observar de la reacción química, 12 kg de carbono producen 44 kg de CO<sub>2</sub>.

Teniendo en cuenta que la densidad del Gas LP es de 2.01 kg/m<sup>3</sup> (PEMEX 2007).

$$\begin{aligned}
 \text{Emisión } CO_2 \left( \frac{kg}{año} \right) &: \left( \text{Consumo de gas LP } \frac{kg}{año} \right) * \text{contenido de } C \text{ en Gas LP } \left( \frac{40.68}{49.46} \right) * \left( \frac{44 \text{ kg } CO_2}{12 \text{ kg } C} \right) \\
 & \quad (\text{Ec.16})
 \end{aligned}$$

Ejemplo Comedor 1:

$$\left(31.572 \frac{kg \text{ Gas LP}}{\text{año}}\right) * \left(\frac{40.68 kg \text{ C}}{49.46 kg \text{ GasLP}}\right) * \left(\frac{44 kg \text{ CO}_2}{12 kg \text{ C}}\right) = 95.214 \frac{kg \text{ CO}_2}{\text{año}}$$

De acuerdo a los datos recopilados y la determinación de los factores de emisión se estimaron las emisiones para cada comedor y la emisión total anual generada por esta actividad. (Tablas 4.17 a la 4.19)

Tabla 4.17 Emisión de contaminantes generados por el comedor 1

Contaminante	Consumo de combustible comedor 1 (L/año)	Emisión (T/año)
CO	15,707.52	5.12E-02
NO <sub>x</sub>	15,707.52	3.78E-01
PM <sub>10</sub>	15,707.52	1.08E-02
CO <sub>2</sub>	15,707.52	9,52E-02

Tabla 4.18 Emisión de contaminantes generados por el comedor 2

Contaminante	Consumo de combustible comedor 2 (L/año)	Emisión (T/año)
CO	3,648	1.19E-02
NO <sub>x</sub>	3,648	8.77E-02
PM <sub>10</sub>	3,648	2.51E-03
CO <sub>2</sub>	3,648	2.21E-02

Tabla 4.19 Emisión de contaminantes generados por el comedor 3

Contaminante	Consumo de combustible comedor 3 (L/año)	Emisión (T/año)
CO	2,220	7.24E-03
NO <sub>x</sub>	2,220	5.34E-02
PM <sub>10</sub>	2,220	1.52E-03
CO <sub>2</sub>	2,220	1.35E-02

En la Figura 4.60 se muestran las emisiones de cada contaminante de acuerdo a los tres comedores. El comedor 1 es el que tiene mayor emisión de contaminantes en comparación con los existentes.

### Emisión de contaminantes por cada comedor (T/año)

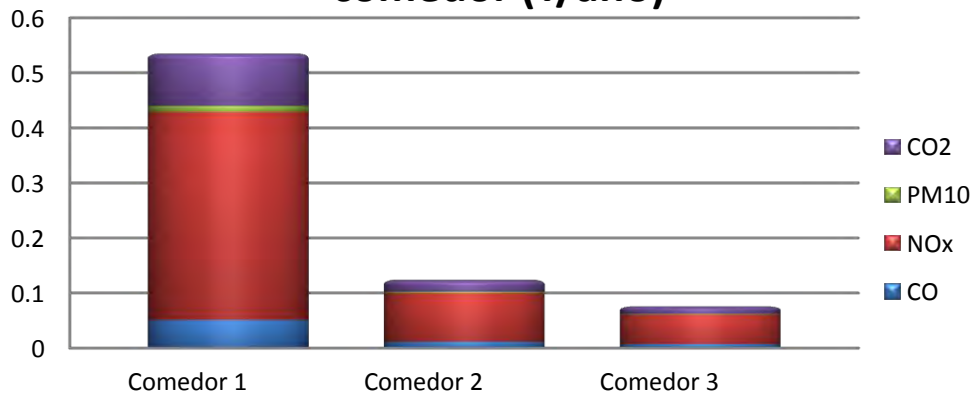


Figura 4.60 Emisión anual de los contaminantes por comedor

De la Figura 4.61 se observa que el contaminante que más se genera son los NOx registrando un valor de 0.5186 Ton/año. Las emisiones de NOx son una función de un número de variables, tipo de quemador, temperatura, exceso de aire y el tiempo de residencia en la zona de combustión.

### Emisión total de contaminantes por comedor (T/año)

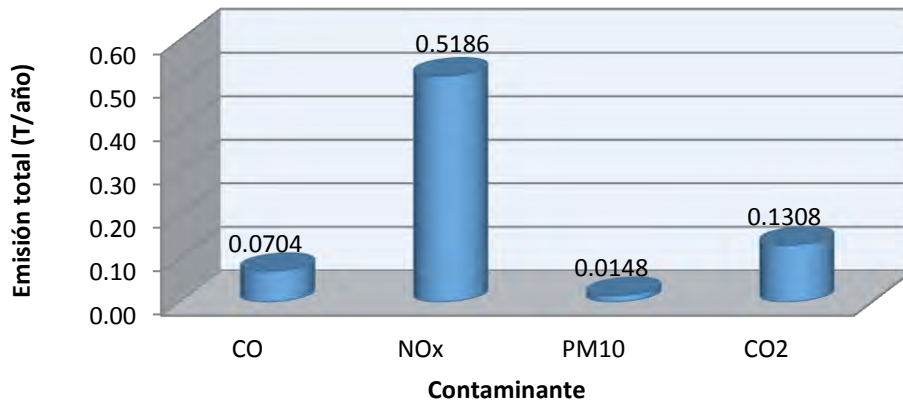


Figura 4.61 Emisión total anual de los contaminantes generados por los tres comedores

#### 4.2.7 Incinerador

##### **Centro de Incineración y Manejo de Residuos (CIMAR)**

Antes del año 2009 la aduana local no permitía la salida de residuos de madera por no cumplir con la normatividad ambiental y sanitaria vigente. APIVER a través de la Gerencia de Operaciones recibió instrucciones para que los residuos antes mencionados se deberían someter al tratamiento final de incineración en las instalaciones del CIMAR, y asimismo, continuar prestando el servicio a los agentes aduanales y agentes navieros para proporcionarle destino final (destrucción) al residuo de madera generado por la actividad naviera, así como hacer extensivo el proceso de incineración a las mercancías embargadas que no cumplieran los requisitos sanitarios para su internación al territorio nacional.

En la Figura 4.62 se muestra la ubicación del CIMAR en el Recinto Portuario de Veracruz el cual, cuenta con un área de 5,148 m<sup>2</sup>.

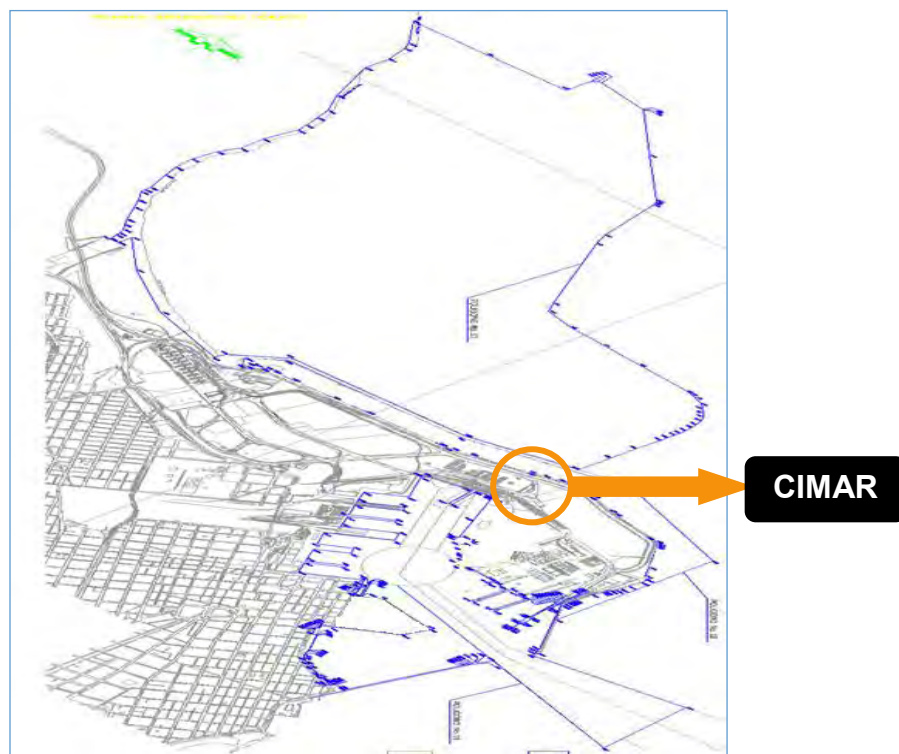


Figura 4.62 Ubicación del Centro de Incineración y Manejo de Residuos en el Recinto Portuario de Veracruz



**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

En la Tabla 4.20 se describen las características más importantes del sistema de incineración CIMAR.

Tabla 4.20 Características técnicas del incinerador INCIMEX Modelo UMCC 2T 500/Dual.

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL INCINERADOR INCIMEX Modelo UMCC 2T 500/Dual</b>	
<b>TEMPERATURA CÁMARA DE IGNICIÓN:</b> 850 °C	<b>TEMPERATURA CÁMARA DE RETENCIÓN:</b> 950 °C
<b>CAPACIDAD DE CARGA CÁMARA IGNICIÓN:</b> 500kg/h	<b>TEMPERATURA DE SALIDA EN CHIMENEA:</b> 250-300°C
<b>VOLUMEN CÁMARA PRIMARIA:</b> 6.50 m <sup>3</sup> (230 ft <sup>3</sup> )	<b>VOLUMEN CÁMARA SECUNDARIA:</b> 10 m <sup>3</sup> (353 ft <sup>3</sup> )
<b>CONSUMO DE COMBUSTIBLE:</b> 45 kg/h	<b>CONSUMO DE AGUA:</b> 1000 l/día

En las Figuras 4.63 a la 4.65 se muestra la configuración del sistema de incineración.



Figura 4.63 INCISOFT Sistema de control para el proceso de incineración



Figura 4.64 Sistema de quemadores



Figura 4.65 Cámara de ignición y chimenea

En la Figura 4.66 se muestra el esquema del sistema de operación del incinerador del CIMAR.

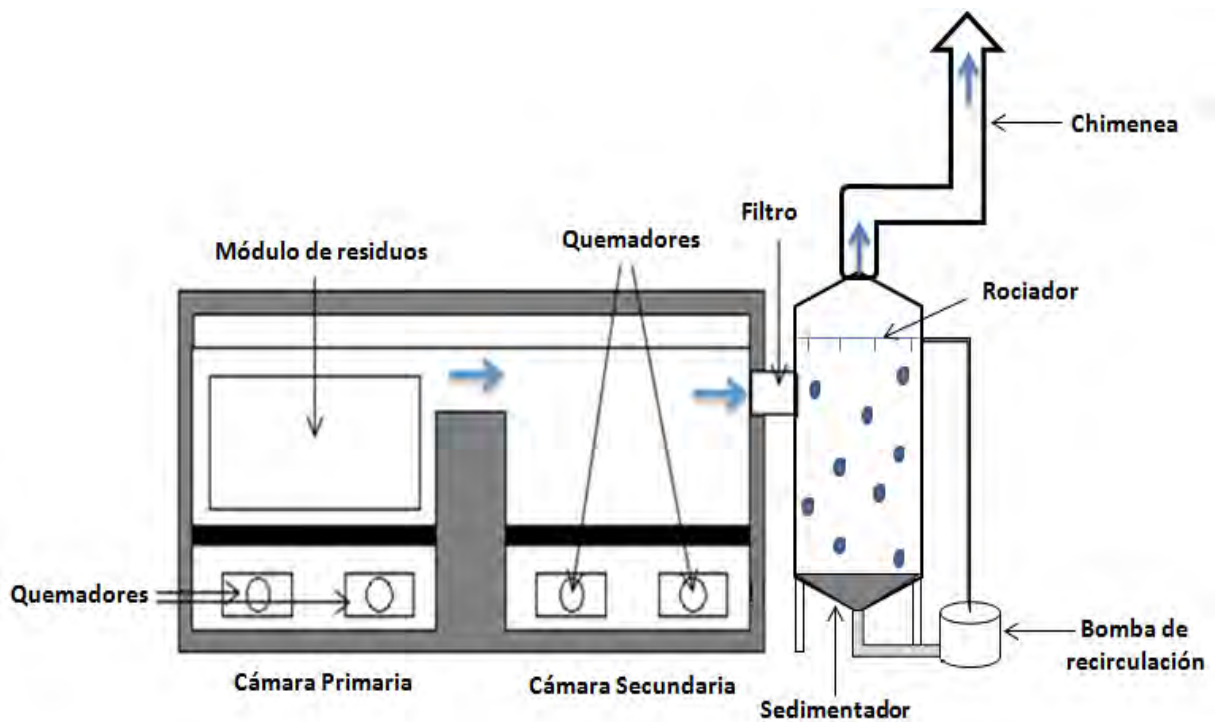


Figura 4.66 Esquema del sistema de operación del incinerador del Centro de Incineración y Manejo de Residuos

### Operación del sistema de incineración

A continuación se enumera los pasos que se realiza al momento de llevar a cabo el proceso de incineración.

1. Revisión visual del sistema
2. Limpieza de cámaras y áreas de trabajo
3. Preparación del sistema
4. Pre calentamiento
5. Carga de desechos
6. Proceso de incineración
7. Tiempo de protección posterior al tiempo programado de incineración
8. Apagado del sistema
9. Apagado general y revisiones finales

El incinerador INCIMEX Modelo UMCC 2T 500/Dual cuenta con las siguientes características (INCIMEX 2011):

- Cámara primaria. Es el módulo donde se cargan los residuos sólidos y trabaja a una temperatura aproximada de 800 °C
- Cámara secundaria. Es el módulo que realiza la reacción térmica para permitir que las emisiones provenientes de la cámara de incineración primaria pasen a una cámara de incineración secundaria para eliminar el exceso de partículas y olores.
- Filtro. Retiene las partículas gruesas que provienen de la cámara secundaria.
- Sistema de Enfriamiento y Retención de Partículas (SERP). Permite que el flujo de gases sea enfriado y lavado por agua para que las partículas tengan una mayor retención y sean enviadas a un tanque de sedimentación. Esta sesión tiene una bomba de recirculación del agua de enfriamiento que se inyecta a los rociadores (scrubbers) encargados de bajar la temperatura e impactar las partículas para suspenderlas en el sedimentador.
- Sedimentador. Estructura en el cual las partículas se depositan.
- Chimenea. Es el ducto calculado para la descarga final de las emisiones.

El equipo de incineración está diseñado para procesar desechos fitosanitarios, su función principal es la de destruir de manera eficaz productos que por cuestiones sanitarias principalmente no pueden ingresar al país. Los siguientes desechos son los que se pueden someter al proceso de incineración:

1. Servicio proveniente de buques
  - 1.1. Residuos orgánicos
  - 1.2. Embalaje de madera
2. Servicio proveniente de Cesionarias, Recintos Fiscalizados ó Terminales.
  - 2.1. Papel, cartón ó archivo histórico
  - 2.2. Residuos de madera
3. Servicio a comercio exterior.
  - 3.1. Productos de origen animal, vegetal, perecederos, textil de algodón ó embalaje de madera
4. Servicio Interno para la Entidad.
  - 4.1. Mercancía propiedad del Fisco Federal
  - 4.2. Archivo histórico

A partir del mes de junio de 2012 se lleva el registro de los eventos y de la cantidad incinerada.

En la Tabla 4.21 se muestra el registro que se tiene de los eventos de incineración desde el mes de junio hasta octubre del 2012.

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

Tabla 4.21 Eventos de incineración en el periodo de junio a octubre del año 2012.

<b>MATERIAL A INCINERAR</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL INCINERADO [kg]</b>
<b>JUNIO</b>	
BULBOS DE PLANTAS	340.00
BULBOS DE PLANTAS	350.00
ARCHIVO MUERTO API	200.00
ARCHIVO MUERTO API	260.00
ARCHIVO MUERTO API	250.00
ARCHIVO MUERTO API	208.00
ARCHIVO MUERTO API	250.00
ARCHIVO MUERTO API	258.00
<b>JULIO</b>	
ARCHIVO MUERTO API	264.00
ARCHIVO MUERTO API	277.00
ARCHIVO MUERTO API	284.00
ARCHIVO MUERTO API	287.00
ARCHIVO MUERTO API	240.00
ARCHIVO MUERTO API	248.00
GAFETES DE LA ADUANA	30.00
ARCHIVO MUERTO API	260.00
ARCHIVO MUERTO API	280.00
ARCHIVO MUERTO API	268.00
ARCHIVO MUERTO API	280.00
ARCHIVO MUERTO API	254.00
ARCHIVO MUERTO API	278.00
ARCHIVO MUERTO API	256.00
ARCHIVO MUERTO API	304.00
ARCHIVO MUERTO DE LA ADUANA	254.00
<b>AGOSTO</b>	
HUACALES DE MADERA	524.00
HUACALES DE MADERA	262.00
ARCHIVO MUERTO DE LA ADUANA	290.00
TARIMAS (SILCA FOL 060/12)	470.00
PRODUCTOS ORGÁNICOS	153.55
HUACALES DE MADERA	460.00
HUACALES DE MADERA	490.00
<b>OCTUBRE</b>	
RESIDUOS DE PELLETS DE MADERA	260.00
RESIDUOS DE PELLETS DE MADERA	260.00

**REALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LAS  
ACTIVIDADES DEL RECINTO PORTUARIO DE VERACRUZ, MÉXICO**

Continuación Tabla 4.21 Eventos de incineración en el periodo de junio a octubre del año 2012.

<b>MATERIAL A INCINERAR</b>	<b>CANTIDAD DE MATERIAL INCINERADO [kg]</b>
SACOS DE CAFÉ (ABANDONOS)	140.00
SACOS DE CAFÉ (ABANDONOS)	160.00
TRINCA DE BUQUE (MADERA)	260.00
TRINCA DE BUQUE (MADERA)	330.00
TRINCA DE BUQUE (MADERA)	230.00
TRINCA DE BUQUE (MADERA)	315.00
TRINCA DE BUQUE (MADERA)	260.00
TRINCA DE BUQUE (MADERA)	350.00
TRINCA DE BUQUE (MADERA)	350.00

De acuerdo a la US EPA (AP 42 Capítulo 2, Sección 2.1 "Refuse Combustion") se determinaron los factores de emisión para la estimación de las emisiones de contaminantes generadas por esta fuente tomando en cuenta las características del incinerador y el equipo de control (Tabla 4.22).

Tabla 4.22 Factores de emisión para incinerador de dos cámaras con equipo de control primario (US-EPA. AP 42 2012a)

<b>Contaminante</b>	<b>Factor de Emisión (kg/T)</b>
NO <sub>x</sub>	1.1203673
Partículas	0.08119261
SO <sub>2</sub>	0.6486337

Tomando como base los factores de emisión mencionados en la Tabla 4.27, se determinó la emisión de los contaminantes de interés para el total de los meses de junio, julio, agosto y octubre del año 2012.

Tabla 4.23 Emisión de contaminantes atmosféricos generados por la actividad de incineración.

<b>Contaminante</b>	<b>PST</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>
<b>Emisión (T/4 meses)</b>	0.01344951	0.000974681	0.00778656

En la Figura 4.67 se muestra los resultados obtenidos de las emisiones calculadas y se observa que el contaminante que más se genera son las partículas con un valor de 0.01345 T/4meses, seguido de los NOx con un valor de 0.00779 T/4 meses, siendo estos los contaminantes más frecuentes que se derivan del proceso de incineración.

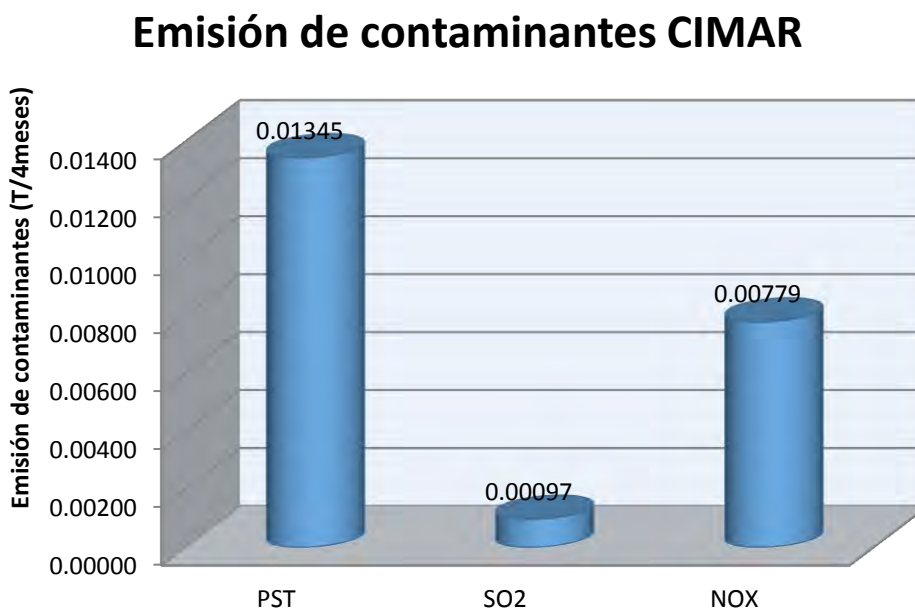


Figura 4.67 Emisión total de contaminantes generados por el Centro de Incineración y Manejo de Residuos

***Análisis global de emisiones***

Es importante analizar las emisiones generadas por las fuentes evaluadas en el área de estudio y de acuerdo a esto se muestra la Tabla 4.24 y la Figura 4.68.

Tabla 4.24 Emisión global de contaminantes generados por las fuentes evaluadas en el estudio.

Emisión de contaminante (T/año)								
NOx	CO	NMCOV	PST	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	SO <sub>2</sub>
5,531.44	545.77	204.79	553.24	432.69	469.56	323,373.37	4.57	3,693.5

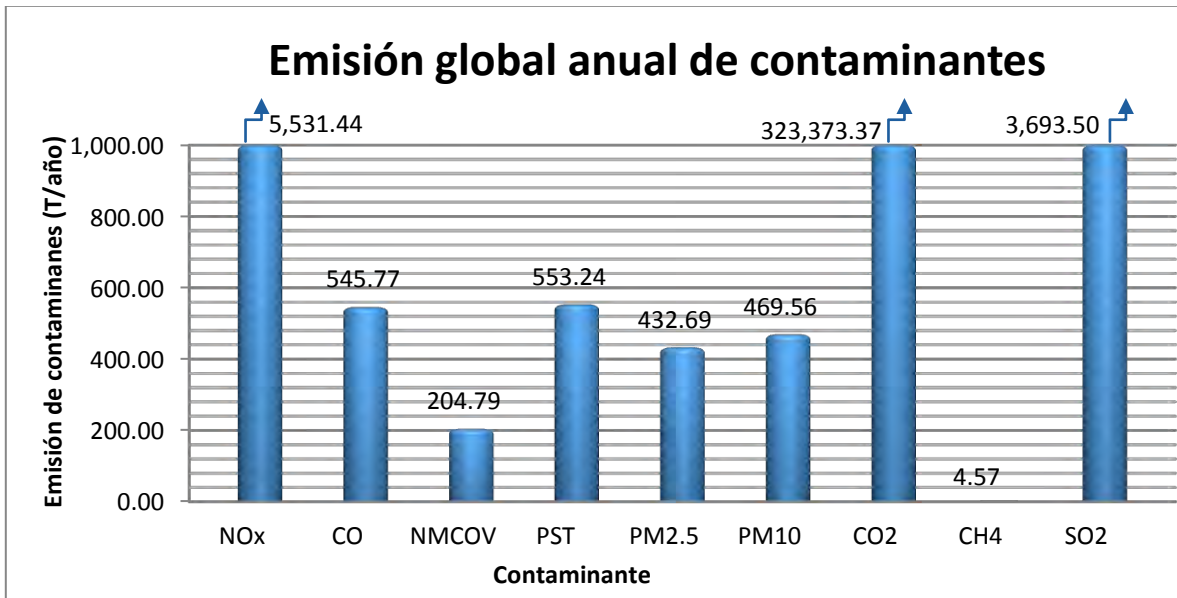


Figura 4.68 Emisión global de contaminantes generados por las fuentes evaluadas en el inventario de emisiones atmosféricas.

Como resultado final, se obtuvieron las emisiones a la atmósfera generadas por las fuentes potenciales de contaminación incluidas en el presente inventario de emisiones.

De acuerdo a la Figura 4.68 se observa que el contaminante que más se emite es el CO<sub>2</sub> con un valor de 323,373.33 T/año debido a los procesos de combustión de las fuentes evaluadas, seguido de los contaminantes NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> registrando valores de 5,531.44 y 3,693.50 T/año, respectivamente. Estas emisiones son generadas por a las condiciones en las que se lleva a cabo la combustión, como por ejemplo una combustión incompleta.

Con respecto a los contaminantes como NMCOV, PST, PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> registran niveles de emisión muy similares entre sí, pero son muy bajos sí se comparan con los contaminantes CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y SO<sub>2</sub>, y. Por su parte, el contaminante CH<sub>4</sub> se observa que su valor de emisión (4.57 T/año) es poco significativa en relación con los demás contaminantes indicando que las actividades del Recinto Portuario de Veracruz no presenta emisiones importantes este gas de efecto invernadero.



Las consecuencias de las emisiones de NO<sub>x</sub> y compuestos orgánicos volátiles (COV) contribuyen a la formación de ozono superficial que puede perjudicar a la salud y al ambiente. Otra de las consecuencias de las emisiones de NO<sub>x</sub> es la contribución a una eutrofización nociva en medios acuáticos. Por otra parte, las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) hacen parte de los gases de efecto invernadero, responsables de retener parte de la energía que la superficie terrestre emite por haber sido calentada por la radiación solar.

En la Tabla 4.25 se muestra un resumen de las fuentes evaluadas en el presente inventario de emisiones atmosféricas del Recinto Portuario de Veracruz, identificando el contaminante que mayor emisión presenta con su respectivo valor en toneladas por año exceptuando el CO<sub>2</sub> como gas de efecto invernadero.

Tabla 4.25 Análisis del principal contaminante emitido por cada fuente de emisión a la atmosfera.

<b>Fuente</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Emisión (T/año)</b>
Buques	NO <sub>x</sub>	4,927.56
Locomotoras	NO <sub>x</sub>	39.18
Equipo transporte de personal. (APIVER)	CO	18.93
Equipo de transporte de carga pesada (CALT)	NO <sub>x</sub>	154.3
Equipo de transferencia de contenedores	NO <sub>x</sub>	408.84
Comedores	NO <sub>x</sub>	0.52
Incinerador	PM	0.01

En relación con las fuentes de emisión atmosféricas evaluadas en el presente inventario, se observa que el contaminante que más se emite son los NO<sub>x</sub> por fuentes como buques, locomotoras, vehículos de carga pesada CALT, equipo de transferencia de contenedores y comedores, tal como se muestra en la Tabla 4.25. La operación de buques es la fuente que más emite este contaminante registrando un valor de 4,927.56 T/año.

### **4.3 Estrategias de prevención, minimización y control de las emisiones atmosféricas generadas por las fuentes existentes dentro del Recinto Portuario de Veracruz.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente inventario de emisiones atmosféricas del Recinto Portuario de Veracruz, se recomiendan las siguientes estrategias de prevención, minimización y control de las fuentes identificadas y evaluadas en el área de estudio:

#### *1. Movimiento y operación de buques:*

- Optimizar los tiempos de carga y descarga de mercancía (buque-muelle) empleando mayor número de maquinaria.
- Realizar cambio de combustible más limpio en el momento que el buque se encuentra arribando al Recinto Portuario; así mismo, con la maquinaria que se encuentra en actividad dentro del puerto como camiones, motocicletas, etc.
- Realizar visitas de inspección a los buques que arriban al puerto para evaluar si cumplen con los requisitos internacionales, como el convenio de MARPOL, en materia de prevención, minimización y control de la contaminación atmosférica, firmado el 2 de 1973 por la Organización Marítima Internacional (IMO).
- Establecer un área de control de emisiones para obligar a los barcos, que operen dentro de la misma, a usar de combustibles cuyo contenido de azufre sea mínimo.

Un ejemplo de esta medida se aplicó en los Estados Unidos de América y Canadá, quienes propusieron al Comité para la Protección de Medio

Ambiente Marino de la IMO el establecimiento de un área de control de emisiones que se extiende 200 millas náuticas de sus costas y que obliga a los barcos el uso de combustible cuyo contenido en azufre no exceda de 1.0% m/m<sup>2</sup> (10,000 ppm) desde el 1° de agosto del 2012, y a partir del 1° de enero del 2015, combustible con un contenido de azufre no mayor a 0.1% m/m (1,000 ppm) (SEMARNAT 2012).

- Implementar fuentes de energía suficientes en cada muelle para que los buques se conecten al mismo y apaguen sus motores durante el proceso de carga y descarga de productos.
- Exigir la reducción de velocidad entrando y saliendo del puerto.

## 2. *Locomotoras*

- Realizar programas de inspección y de mantenimiento periódico a las máquinas que funcionan dentro del puerto.
- Optimizar los tiempos de funcionamiento de las locomotoras cuando se encuentran funcionando a pie de muelle.
- Utilizar combustibles más limpios por ejemplo, combustibles con bajo contenido de azufre, entre otros.
- Cambiar, en la medida de lo posible, la tecnología existente por tecnología más actualizada, optar por tecnología como Genset (generador eléctrico) la cual propone utilizar 16 ruedas en lugar de ocho en contacto con los carriles para crear una tracción más grande o fuerza de empuje utilizando la misma cantidad de energía y dispone de dos pequeños motores Diesel controlados por un ordenador en lugar de un solo motor de mayor tamaño. Al arrancar el segundo motor sólo se utiliza cuando sea necesario, este nuevo sistema

reduce significativamente el consumo de combustible y las emisiones de contaminantes. Por otro lado cuando la locomotora se encuentra al ralenti un motor se apaga automáticamente por señales del ordenador.

### 3. *Incinerador*

- Se sugiere llevar un control estricto de las jornadas de incineración, teniendo en cuenta las características del material que se va a incinerar para no contribuir con la formación de compuestos orgánicos persistentes como dioxinas y furanos, asegurando las mejores condiciones de combustión.
- Realizar mantenimientos periódicos al equipo de combustión del incinerador.

### 4. *Flota vehicular y vehículos de carga pesada (CALT)*

- Vigilar que los vehículos que entren y salgan del Recinto Portuario utilicen combustibles más limpios para garantizar la minimización de emisiones de contaminantes atmosféricos y exigir que el certificado de verificación vehicular se encuentre vigente.
- Coordinar y asegurar la recepción de vehículos de carga pesada a tiempo para evitar congestiones en el momento de cargar y descargar la mercancía de importación y exportación dentro del Recinto Portuario.
- Asegurar que los vehículos de carga pesada apaguen los motores al realizar la carga y descarga de la mercancía para minimizar las emisiones de contaminantes atmosféricos.

5. *Medidas generales para el Recinto Portuario de Veracruz.*

- Fortalecer el departamento ambiental encargado de ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento de las actividades realizadas dentro de la APIVER.
- Crear asambleas en las que participe el personal de APIVER y de cada cesionaria del Recinto Portuario con el objetivo de comunicar los problemas ambientales existentes y buscar soluciones adecuadas a los mismos.
- Fortalecer espacios participativos que puedan aportar la información necesaria para elaborar regulaciones, con el fin de prevenir y controlar la contaminación atmosférica.
- Incentivar el uso de maquinaria híbrida (electricidad-Diesel) en remolcadores, vehículos de transporte de personal y de carga, entre otras.
- Crear zonas de bajas emisiones en las que exista una buena calidad del aire, las cuales se pueden utilizar para el desplazamiento de personal a pie, bicicleta u otro medio no contaminante
- Incentivar el uso de combustibles más limpios en los vehículos y desarrollar sistemas de clasificación de los vehículos de acuerdo con su impacto sobre la calidad del aire, de manera que se puedan desarrollar incentivos al uso de vehículos menos contaminantes.
- De acuerdo con la experiencia en campo, se observaron emisiones de partículas a la atmósfera principalmente por el transbordo de material granel; por lo tanto, se sugiere utilizar lonas o confinar el muelle en el momento de la actividad y utilizarla adecuadamente asegurando que el material que se riega de este proceso no caiga al mar.

- Fortalecer el manejo ambiental en cada cesionaria de APIVER debido a que, al realizar las visitas a algunas éstas, se encontró que la mayoría de éstas no tienen un departamento ambiental consolidado.

## **Capítulo 5. CONCLUSIONES**

---

---

## 5 CONCLUSIONES

- ✓ Mediante visitas periódicas al Recinto Portuario se reconoció el área de estudio y se evaluaron las actividades que allí se llevan a cabo, identificando las fuentes potenciales de contaminación atmosférica incluidas en el presente inventario como: el movimiento y operación de buques, locomotoras, equipo de transporte de personal a cargo de APIVER, equipo de manejo de contenedores, equipo de transporte de carga, comedores e incinerador.
- ✓ Se estimaron cuantitativamente las emisiones de los contaminantes atmosféricos de interés generados por las fuentes del Recinto Portuario de Veracruz, empleando factores de emisión e información específica de cada una de estas.
- ✓ Las operaciones de buques es las fuentes que presentan mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera.
- ✓ El CO<sub>2</sub> es el gas que más se emite como Gas de Efecto Invernadero (GEI) seguido de los contaminantes NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>.
- ✓ El contaminante que más se emite por las actividades evaluadas son los NO<sub>x</sub>, presentando un mayor valor en fuentes como: buques, locomotoras, equipo de transporte de carga pesada (CALT), equipo de transferencia de contenedores y comedores.
- ✓ Se recomendaron estrategias de prevención, minimización y control de las emisiones atmosféricas para cada fuente evaluada, las cuales estuvieron



orientadas principalmente a los aspectos de operación como el mantenimiento de equipos y optimización del tiempo en buques.

## Recomendaciones

- Para posteriores inventarios de emisiones atmosféricas se recomienda incluir la totalidad de las fuentes emisoras identificadas en las actividades del Recinto Portuario como los procesos de carga y descarga de materiales de importación y exportación y tanques de almacenamiento, pues debido a su complejidad para hallar la información y al tiempo requerido para lo mismo no se pudo cuantificar sus aportaciones de contaminantes atmosféricos.
- Para la realización de posteriores inventarios, es necesario contar con datos más específicos de cada actividad realizada en Recinto Portuario de Veracruz, como por ejemplo: datos de potencia de los motores principales y auxiliares de cada buque arribado al Recinto Portuario, consumo de combustible utilizado en la operación de cada vehículo de carga pesada dentro del área de estudio, entre otra.
- Es importante obtener los factores de emisión aplicables a las condiciones de México.
- Se recomienda considerar al Recinto Portuario como una **fuentes de emisión de área**, en la cual se incluyen las fuentes estacionarias y las fuentes móviles que operan dentro del propio recinto, que son muy numerosas y pequeñas y de esta manera permitir que el inventario facilite futuros estudios como realizar la variación espacial y temporal de las emisiones atmosféricas.

- Realizar una comparación con inventarios de emisiones atmosféricas de otros puertos del mundo para determinar el nivel generación de emisiones relacionadas con las actividades del Recinto Portuario de Veracruz.

## **BIBLIOGRAFÍA**



## 6 BIBLIOGRAFÍA

**APIVER (2009).** *Programa maestro de desarrollo portuario 2006-2015 (Modificación 2009)*. Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A DE C.V. y Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México. 240 pp.

**APIVER (2012a).** Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A DE C.V. [En línea] <http://www.apiver.com/apiver/>.

**APIVER (2012b).** Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A DE C.V. [En línea] <http://www.apiver.com/apiver/es/infraestructura/mapa-de-instalaciones>.

**APIVER (2012c).** *Puerto de Veracruz, datos estadísticos del movimiento de carga y buques (enero-agosto 2012)*. Administración Portuaria Integral de Veracruz S.A DE C.V. y Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México. 37 pp.

**ASOCIACIÓN DE GOBERNADORES DEL OESTE DENVER COLORADO, et al. (1997).** *Fundamentos de los Inventarios de Emisiones Final*. Programa de Inventarios de Emisiones de México. *Volumen II*. Diciembre 1997. <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/fundinv.pdf>. Pág. 4-1

**Baldasano J., Güereca L., López E., Gassoá S., Jimenez P. (2008)** *Development of a high-resolution (1 km \_ 1 km, 1 h) emission model for Spain: The High-Elective Resolution Modelling Emission System (HERMES)*. Atmospheric Environment, Journal ScienceDirect, 42 pages 7215–7233.

**COOPER, D.A. (2010).** *Exhaust emissions from ships at berth*. Atmospheric Environment. Vol 37, 2003, p. 3817–3830 [En línea] <http://202.114.89.60/resource/pdf/2160.pdf>.

**COOPER, D.A., GUSTAFSSON, T. (2004).** *Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors.* Suiza, [En línea] <http://westcoastcollaborative.org/files/sectormarine/SMED%20Methodology%20for%20Calculating%20Emissions%20from%20Ships.pdf>.

**CORBETT, J., KOEHLER, H. (2003).** *Updated emissions from ocean shipping. Journal of geophysical research.* Vol.108 (D20), 2003. p.4650–4665 [En línea] <http://www.ceoe.udel.edu/cms/jcorbett/CorbettKoehlerJGR2003.pdf>.

**DALSØREN, S.B. et al, (2008).** *Update on emissions and environmental impacts from the international fleet of ships: the contribution from major ship types and ports.* Atmospheric Chemistry and Physics. Vol. 8, 2008, p. 18323 – 18384 [En línea] <http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/8/18323/2008/acpd-8-18323-2008.pdf>.

**D.O.F (1993).** *Ley de Puertos.* Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 19 de julio de 1993. Última reforma publicada DOF 11-06-2012

**D.O.F (1995).** *Artículo 14 Ley Aduanera.* Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis. Última Reforma DOF 09-04-2012.

**EDUCACIÓN AMBIENTAL (2012).** *Contaminación atmosférica.* [En línea] <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf6.html>

**EDUCARCHILE (2013).** *El portal de la educación.* [En línea]  
<http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?GUID=123.456.789.000&ID=136352>.

**ENTEC UK. (2007).** *Ships emission inventory – Mediterranean Sea.* UK, p. 1–122  
[En línea] [[http://www.entecuk.com/downloads/Concawe\\_Final\\_Report\\_170407\\_v1\\_WEB\\_LOWRES.pdf](http://www.entecuk.com/downloads/Concawe_Final_Report_170407_v1_WEB_LOWRES.pdf)], mayo 2010.

**Tzannatos E. (2010).** *Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus-Greece.* Atmospheric Environment Journal ScienceDirect. Volume 44, Issue 3, January 2010, Pages 400-407.

**Guevara (2010).** *Inventario de emisiones atmosféricas de puertos y aeropuertos de España para el año 2008.* Memoria de Proyecto de fin de carrera. Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona. Barcelona, España. 100 pp.

**INCIMEX (2011).** *Sistema Incimex.* [En línea]  
<http://www.incimex.com.mx/prod01.htm>

**INE-SEMARNAT (2006).** *Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999.* Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición. México.

**IPCC (1996).** *Energy "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual Energy".* Intergovernmental Panel on Climate Change.

**IUPAC (1997).** *Compendium of Chemical Terminology.* Segunda edición 1997. [En línea]: <http://old.iupac.org/publications/compendium/>.

**K2 INGENIERIA LTDA.** *Manual De Fundamentos y Planeación de Inventarios de Emisiones Manual Bases Técnicas para el Programa Inventario de emisiones.*

Borrador Desarrollado para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Impresión ISBN.

**MAVDT (2005).** *Decreto 948 de junio 5 de 1995.* Definiciones. República de Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

**MAVDT (2009).** *Manual de Inventario de Fuentes Puntuales.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. República de Colombia. 2009. pp116.

**MÉXICO PICTURES (2012).** *Imagen estado de Veracruz México.* [En línea]  
<http://www.mexicopic.com/images/veracruz-5.gif>

**PEMEX (2007).** *Hoja de Datos de Seguridad Para Sustancias Químicas Gas Licuado Del Petróleo.* Gas y petroquímica básica, 2000. pp12 [En línea]  
[http://www.gas.pemex.com/NR/rdonlyres/D3D851A9-FDE6-4F68-8FD1-3CC6E50163E4/0/HojaSeguridadGasLP\\_v2007.pdf](http://www.gas.pemex.com/NR/rdonlyres/D3D851A9-FDE6-4F68-8FD1-3CC6E50163E4/0/HojaSeguridadGasLP_v2007.pdf)

**PEMEX (2012).** *Constancia de calidad de PEMEX magna.* Gerencia de operación Marítima Portuaria. Pp1

**SCT (2012).** *Estadísticas de operación de puerto.* [En línea]  
<http://www.sct.gob.mx/despliega-noticias/article/el-puerto-de-veracruz-rompe-marcas-historicas-en-movimiento-de-carga/>.

**SEMARNAT (2001).** *Guía para la correcta selección y empleo de métodos de estimación de emisiones contaminantes.* Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. ISBN 968-817-507-2Primera Edición, Octubre de 2001. [En línea]  
<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelaire/COA/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Correcta%20selecci%C3%B3n%20y%20empleo%20de%20m%C3%A9todos%20de%20estimaci%C3%B3n%20de%20emisiones.pdf>

**SEMARNAT (2005).** *Inventario de Emisiones de Veracruz.* Programa de fomento al cumplimiento de la normatividad ambiental en las industrias de competencia estatal. CGMA. Gobierno del Estado.

**SEMARNAT (2009).** *Contaminantes criterio.* [En línea]  
<http://www.ine.gob.mx/calair-indicadores/523-calair-cont-criterio>

**SEMARNAT (2012).** *Inventario de emisiones.* Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. [En línea]  
<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelair/Paginas/InventarioNacionaldeEmisiones.aspx> 16/10/2012.

**SEMARNAT (2012a).** Subsecretaría de Gestión Ambiental. Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y RETC. Anexo VI de MARPOL: Implicaciones para México. [En línea].

<http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/calidaddelair/Documents/MARPOL/01%20Antecedentes%20MARPOL%20A%20VI-Mexico.pdf>.

**SHANGHÁI (2003).** *Emission Inventory of Marine Vessels in Shanghai Port.* Dongqing (Holly) Yang. Shanghai Environmental Monitoring Center. Shanghai Port Administration Center. December 14th, 2006 [En línea]  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17822077>.

**STARCREST CONSULTING GROUP, LLC (2008).** *The Port of San Diego 2006 Emissions Inventory,* Unified Port of San Diego. March 2008.

**TECHNE (1998).** *Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships.* Trozzi Carlo and Vaccaro Rita. Techne report MEET RF98. Roma, Italia. 48 pp.

**US-EPA.** *Improving Air Quality with Economic, Incentive programs.* Office of Air Radiation. EPA-452/R-01-001. January 2001.



**US-EPA (1973).** *Air Pollution Engineering Manual*. Air pollution control district country of los Angeles. Segunda edición. Editado por John A. Danielson. Pp 460-472.

**US-EPA (2000).** *Analysis of commercial marine vessels. Emissions and fuel consumption data*. Estados Unidos. p. 85–92. [En línea] <http://www.epa.gov/oms/models/nonrdmdl/c-marine/r00002.pdf>, mayo 2010.

**US-EPA (2009).** *Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories*. Final Report. U.S. Environmental Protection Agency Office of Policy, Economics and Innovation Sector Strategies Program Kathleen Bailey, National. Port Sector Lead. ICF International, Virginia. 116 pp.

**US-EPA (2009a).** *Emission Factors for Locomotives*. Technical Highlights. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Transportation and Air Quality. April 2009, pp 9.

**US-EPA (2010).** *Nonroad Engine Population Estimates*. Assessment and Standards Division Office of Transportation and Air Quality EPA-420-R-10-017 NR-006e July 2010 pp. 48 [En línea] <http://www.epa.gov/otaq/models/nonrdmdl/nonrdmdl2010/420r10017.pdf>.

**US-EPA. AP-42 (2012).** *Capítulo 1 Sección 1.5 "Liquified Petroleum Gas Combustion*. EEUU [En línea]. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s05.pdf>.

**US-EPA. AP-42 (2012a).** *Capítulo 2. Sección 2.1 "Refuse Combustion"*. EEUU 2012. [En línea] <http://cfpub.epa.gov/webfire/index.cfm?action=fire.simpleSearch>

