

Generación del Inventario Nacional de Compuestos Orgánicos Volátiles: relación con los forzantes climáticos de vida corta, salud ambiental, cambio climático y medidas de mitigación. Año Base 2014.

Informe Final



Derechos Reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella pueden ser reproducidas, almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El análisis y las conclusiones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva, de sus Estados Miembros, o del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por **Saran Estudios y Proyectos Ambientales S. de R.L. de C.V.** Número de contrato: CSP-2016-066.

Para mayor información sobre este estudio, consultar con la Coordinación General de Contaminación y Salud Ambiental del INECC.

Citar como:

INECC-PNUD México. 2017. *Generación del Inventario Nacional de Compuestos Orgánicos Volátiles: relación con los forzantes climáticos de vida corta, salud ambiental, cambio climático y medidas de mitigación. Año Base 2014.* Proyecto 85488 "Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", Saran Estudios y Proyectos Ambientales S. De R.L. De C.V. 110 pp, México.

Índice

Acrónimos y abreviaturas	6
Objetivos	8
1 Introducción.....	9
2 Metodología.....	11
3 Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles.....	18
3.1 Emisiones de COV por entidad	19
3.2 Emisiones de COV por municipio	21
3.3 Análisis de incertidumbre de la estimación de las emisiones de COV	24
4 Emisiones de Compuestos Orgánicos Peligrosos	29
4.1 Emisiones de COV tóxicos por entidad	29
4.2 Emisiones de COV tóxicos por municipio.....	31
5 Emisiones de las principales especies formadoras del forzante climático ozono	35
5.1 Emisiones de COV por entidad de las principales especies formadoras del forzante climático ozono.....	36
5.2 Emisiones de COV por municipio de las principales especies formadoras del forzante climático ozono.....	37
6 Potencial de emisiones de ozono con base al Índice de Reactividad Incremental de cada especie	41
6.1 Potencial de generación del forzante climático ozono por entidad	43
6.2 Potencial del forzante climático ozono por municipio	44
7 Zonas críticas de mayor emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles	48
8 Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles por sector.....	64
9 Estrategias de mitigación y medidas de control de las principales fuentes de emisión de COV ⁶⁷	
9.1 Control de emisiones de COV por el uso comercial y doméstico de solventes.....	69
9.2 Control de emisiones de COV por la limpieza de superficies industriales.....	69
9.3 Control de emisiones de COV de los vehículos que utilizan gasolina como combustible (autos particulares, taxis y vagonetas).....	70
9.4 Control de emisiones de COV por el manejo y distribución del gas licuado de petróleo	72
9.5 Control de emisiones de COV por las quemas agrícolas	72

9.5.1 Alternativas o incentivos para evitar las quemas agrícolas.....	74
9.6 Control de emisiones de COV por el manejo y distribución de combustibles	74
9.7 Medidas de control de COV en la industria	74
9.7.1 Técnicas integradas al proceso (Medidas de prevención)	75
10 Métodos de control de emisiones en la industria	78
10.1 Separación por membranas.....	78
10.1.1 Aplicaciones	79
10.2 Condensación	79
10.3 Condensación criogénica.....	80
10.3.1 Aplicación	80
10.4 Adsorción	81
10.5 Depuración o lavado húmedo de gases.....	82
10.5.1 Aplicación	84
10.6 Biofiltración.....	84
10.6.1 Aplicación	86
10.7 Biolavado o biodepuración.....	86
10.7.1 Aplicación	86
Cuadro 10.6 Aplicaciones típicas del biolavado	87
10.8 Biotrickling	87
10.8.1 Beneficios alcanzados	87
10.8.2 Aplicación	88
10.9 Oxidación térmica.....	88
10.9.1 Aplicación	89
10.10 Oxidación catalítica	90
10.10.1 Aplicación	90
10.11 Ionización	91
10.11.1 Aplicación	91
10.12 Foto/UV Oxidación.....	92
10.12.1 Aplicación	92
11 Normatividad mexicana relacionada con la generación de emisiones de COV.....	93
11.1 Normatividad para reducir COV en fuentes fijas.....	95
11.2 Experiencia internacional sobre la normativa de COV	96
11.3 Normatividad para reducir COV en fuentes móviles	97

12	Propuesta de normatividad para reducir las emisiones de COV.....	98
12.1	Enfoque para diseñar normatividad.....	100
13.1.1	Regular el contenido de COV en los productos y solventes.....	100
13.1.2	Normatividad que fomente la utilización de nuevos productos con menos contenido de COV.....	101
13.1.3	Normatividad que fomente la utilización de técnicas de aplicación, equipos y buenas prácticas que reduzcan las emisiones de COV.....	102
13.1.4	Normatividad que fomente la aplicación de las mejores tecnologías disponibles.....	102
13.1.5	Proyecto de Norma Oficial Mexicana inmediata	103
12.2	Vehículos ligeros a gasolina	103
13	Referencias.....	106
13.1	Revisión de la normatividad nacional e internacional.....	108
13.2	Estadísticas y datos	109

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AP42	Compilation of Air Pollutant Emission Factors/ Compendio de factores de emisión publicado por la EPA
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CEIDARS	Modelo California Emission Inventory And Reporting System/ Modelo de Inventario de Emisiones y Sistema de Informes de California
COV.	Compuestos Orgánicos Volátiles
COT	Compuestos Orgánicos Totales
CARB	California Air Resources Board
DATGEN2013	Base de Datos General de Fuentes Fijas del año 2013
DATGEN2014	Base de Datos General de Fuentes Fijas del año 2014
EPA	Environmental Protection Agency/ Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América
U.S. o EE. UU	Estados Unidos de América
FAEED	Stands for FAA (Federal Aviation Administration) Aircraft Engine Emissions Database/ Base de datos de emisiones de motores de aviones
GAC	Por sus siglas en español, carbón activado granular
GOT	Gases Orgánicos Totales
HCT	Hidrocarburos totales
HC	Hidrocarburos
H ₂ O	Agua
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEMCOV2014	Inventario Nacional de Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles con año base 2014
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
LANDFILL	Landfill Gas Emissions Model (LandGEM)/ Modelo para estimar emisiones en Rellenos Sanitarios
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
MIR	Reactividad Incremental Máxima, por sus siglas en inglés
MLED	Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México

MOVES.	MOTOR Vehicle Emission Simulator/ Simulador de emisión de vehículos automotores
MOVES2014a	Latest Version of MOTOR Vehicle Emission Simulator/ Última versión del simulador de emisión de vehículos automotores
MOVES-México	MOTOR Vehicle Emission Simulator-Mexico/ Software (MOVES2014a) para simular la generación de emisiones de vehículos automotores de la EPA que incorpora una base de datos con información para México
NADF	Norma Ambiental del Distrito Federal
NOM	Norma Oficial Mexicana
N ₂	Nitrógeno
NH ₃	Amoniaco
O ₂	Oxígeno
PAMS	Photochemical Assessment Monitoring Stations
PEMEX	Petroleos Mexicanos
PMFO ₃	Potencial Máximo de Formación de Ozono
TANKS	TANKS Emissions Estimation Software/ Programa para calcular las emisiones de COV en tanques de almacenamiento
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
SPECIATE 4.5	Version 4.5 SPECIATE Database/ Base de Datos de perfiles de especiación de gases orgánicos volátiles y partículas de fuentes de contaminación del aire de la EPA
SRV FII	Sistema de Recuperación de Vapores Fase II
USAID	U.S. Agency for International Development/ Agencia de los Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional
WebFire	Web Factor Information Retrieval System/ Repositorio, recuperación y herramienta de desarrollo de factor de emisión en línea de la EPA.
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
ZM	Zona Metropolitana

OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto fueron los siguientes

- Determinar las emisiones másicas totales de COV en toneladas por categoría de emisión (fuentes de área, móviles, fijas y biogénicas) para el año base 2014 para cada entidad o zona geográfica a nivel de municipio o en su caso a nivel de AGEB u otro tipo de área geográfica, donde exista información.
- Establecer métodos de cálculo para utilizar la información existente y generar la información para determinar las emisiones de COV totales y en caso de existir la información emisiones de COV por especie.
- Elaborar y aplicar procedimientos de calidad para generar la información y los resultados con un nivel de incertidumbre aceptable, con base en metodologías existentes aprobadas.
- Establecer con base en estudios científicos para la estimación del Reactividad Máxima Incremental (MIR) la escala potencial de especies formadoras de ozono para las ciudades medias y zonas metropolitanas de México.
- Identificar los COV con mayor impacto en la salud humana, así como aquellos que más inciden en la formación de compuestos secundarios y sus principales fuentes de emisión en México.
- Analizar la situación de la normatividad existente en México con relación al contenido y emisión de COV e identificar las áreas de oportunidad para mejorar el marco regulatorio vigente.
- Hacer una revisión de las mejores prácticas y tecnologías a nivel internacional para el control de las emisiones de COV y a partir de la misma definir una propuesta de medidas de control para el caso mexicano.

1 Introducción

El crecimiento poblacional de varias localidades de México, ha traído como consecuencia un aumento en la generación de emisiones contaminantes que seguramente han incrementado los niveles tóxicos del aire de cada uno de los asentamientos poblacionales del país, por lo que, para fortalecer las bases legales y normativas para la toma de decisiones en materia de reducción de emisiones contaminantes, es fundamental el desarrollo y actualización de los Inventarios Nacionales de Emisiones Contaminantes.

A nivel nacional y en algunas localidades de México se han elaborado inventarios de emisiones, donde se estima la cantidad de cada contaminante criterio que se genera, y para el caso específico de las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles (COV) no se ha realizado inventario donde se desagreguen e identifiquen los COV por su toxicidad y reactividad para formar o generar ozono. A nivel local, sólo se tienen los inventarios de contaminantes tóxicos del aire que ha publicado la Secretaría del Medio Ambiente del gobierno de la Ciudad de México.

De ahí la importancia del desarrollo del presente proyecto, debido a que sus resultados proporcionan, a nivel municipal y estatal, la estimación másica por especie de las emisiones de los COV que se emiten al aire, se identifican y cuantifican los compuestos que mayor impacto tienen en la salud humana (tóxicos), además de aquellos que más inciden en la formación del compuesto secundario ozono y la estimación del potencial máximo que se tiene para formar ozono, así como la identificación de las principales fuentes de emisión en México que generan estos contaminantes y las recomendaciones de control y propuestas de elaboración de normatividad.

Una de las primeras actividades de este proyecto, fue consultar diferentes fuentes de información y bases de datos, para llevar a cabo la selección nacional de las principales fuentes generadoras de emisión de compuestos orgánicos volátiles.

Posteriormente, tomando como base la metodología mexicana y la publicada por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés), se realizó la estimación de las emisiones de COV a nivel municipal de las fuentes seleccionadas, así como la especiación para identificar los principales compuestos tóxicos, los precursores de ozono y para obtener la Máxima Reactividad Incremental (MIR por sus siglas en inglés) de cada COV, para determinar la cantidad máxima que tendría cada especie en la formación de ozono al considerar una atmósfera saturada de óxidos de nitrógeno (NOx) y energía solar suficiente.

Como era de esperarse, los resultados del presente proyecto muestran que varios de los municipios que son parte de las grandes zonas metropolitanas o que en ellos se ubican algunas de las ciudades más pobladas del país, es donde se generan la mayor cantidad de COV y que seguramente sus habitantes son los que están expuestos a una concentración mayor de contaminantes tóxicos. Por ejemplo los 18 municipios en orden de importancia donde se generan las mayores cantidades másicas de contaminantes tóxicos provenientes de los COV son: **Tijuana, Juárez, Mexicali, Zapopan, Iztapalapa, Chihuahua, Reynosa, León, San Nicolás de los Garza, Querétaro, Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, Puebla, Aguascalientes, Gustavo A. Madero, Culiacán y Hermosillo**; por otro lado en orden de importancia los 18 municipios que tienen el mayor potencial en la generación de ozono son: **Tijuana, Juárez, Mexicali, Iztapalapa, Aguascalientes, Saltillo, Zapopan, León, Guadalajara, Monterrey, Chihuahua, Puebla, Gustavo A. Madero, Reynosa, Hermosillo,**

Culiacán, Querétaro y Ecatepec de Morelos. Tanto en emisiones de compuestos tóxicos como en potencial de generación de ozono, estos 18 municipios aportan el 20% de esta generación de contaminantes a nivel Nacionales.

Para proponer las posibles medidas de control o estrategias de mitigación de COV en las principales fuentes de emisión, además de identificar las Zonas Críticas de generación de COV, se elaboró el Inventario Nacional de Emisiones de COV por sector, y se identificaron las principales fuentes o sectores que los generan.

2 Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto, se analizaron y utilizaron las metodologías disponibles de acuerdo a las condiciones actuales de la información existente en México.

En específico para estimar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles para el año 2014, así como su especiación y clasificación en compuestos tóxicos y por su potencial de especie formadora del forzante climático ozono en cada una de las categorías seleccionadas, primero se establecieron las técnicas metodológicas con base en el análisis de la información contenida en: los manuales y guías de estimación de emisiones contaminantes elaboradas para México, las publicaciones de varios de los inventarios de emisiones que se han elaborado en México, y las publicaciones sobre el tema que ha elaborado la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés).



Figura 2.1 Manuales, guías y fuentes de factores de emisión para elaborar el INEMCOV-2014

La base metodológica del presente proyecto es la descrita en los manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México, mismos que a falta de información local o nacional, recomiendan el uso de factores de emisión y/o modelos internacionales para realizar el cálculo; principalmente se utilizaron datos procedentes de las publicaciones de la EPA.

Es importante hacer énfasis en que, para seleccionar la metodología, se tomó en cuenta la factibilidad de su aplicación en función de la información necesaria y la disponible. Asimismo, a falta de información o datos medidos en fuente, la estimación de emisiones de COV y su especiación se realizó mediante el uso de factores de emisión y modelos de emisión mexicanos o de la EPA. Entre las principales fuentes de información está el compendio de factores de emisión

denominado “AP42”, la Base de Datos del Speciate, el modelo MOVES-México que, aunque fue diseñado para utilizarse en Estados Unidos de América, a este modelo se le incorporó una base de datos con información para México, entre otros.

- AP42, publicado por la EPA de los EE. UU.
- Web Factor Information Retrieval System (WebFire), publicado por la EPA de los EE. UU.
- Software TANKS, LANDFILL y FAEED (publicados por EE. UU.)
- *MOVES 2014^a México* [Software de computadora que incorpora datos para México]
- Manuales de Inventario de Emisiones de México.
- Otras que se mencionan en las Memorias de Cálculo

En algunos casos, cuando así lo permitió la metodología y se contó con datos locales o nacionales, esta información se incorporó en la determinación del factor de emisión o en el de actividad. Como ejemplo tenemos la estimación de las emisiones evaporativas de la gasolina en las estaciones de servicio, en donde el factor de emisión utilizado está determinado en función de la temperatura media de cada municipio y en los parámetros de calidad de la gasolina como lo son: la presión de vapor Reid, el contenido de benceno y de oxígeno. Para esta categoría, como en otras, fue necesario el procesamiento previo de gran cantidad de información para obtener el factor de emisión local y por municipio. Otro caso específico por la importancia en la generación de COV fue el de la actualización del factor de emisión de pinturas y tintas.

En un marco general, el esquema metodológico de aplicación de factores de emisión utilizado en este proyecto, que requirió de la búsqueda previa de información de datos de actividad, se presenta en el Diagrama 2.1, en el cual se puede observar que se le dio prioridad a la utilización de información nacional.

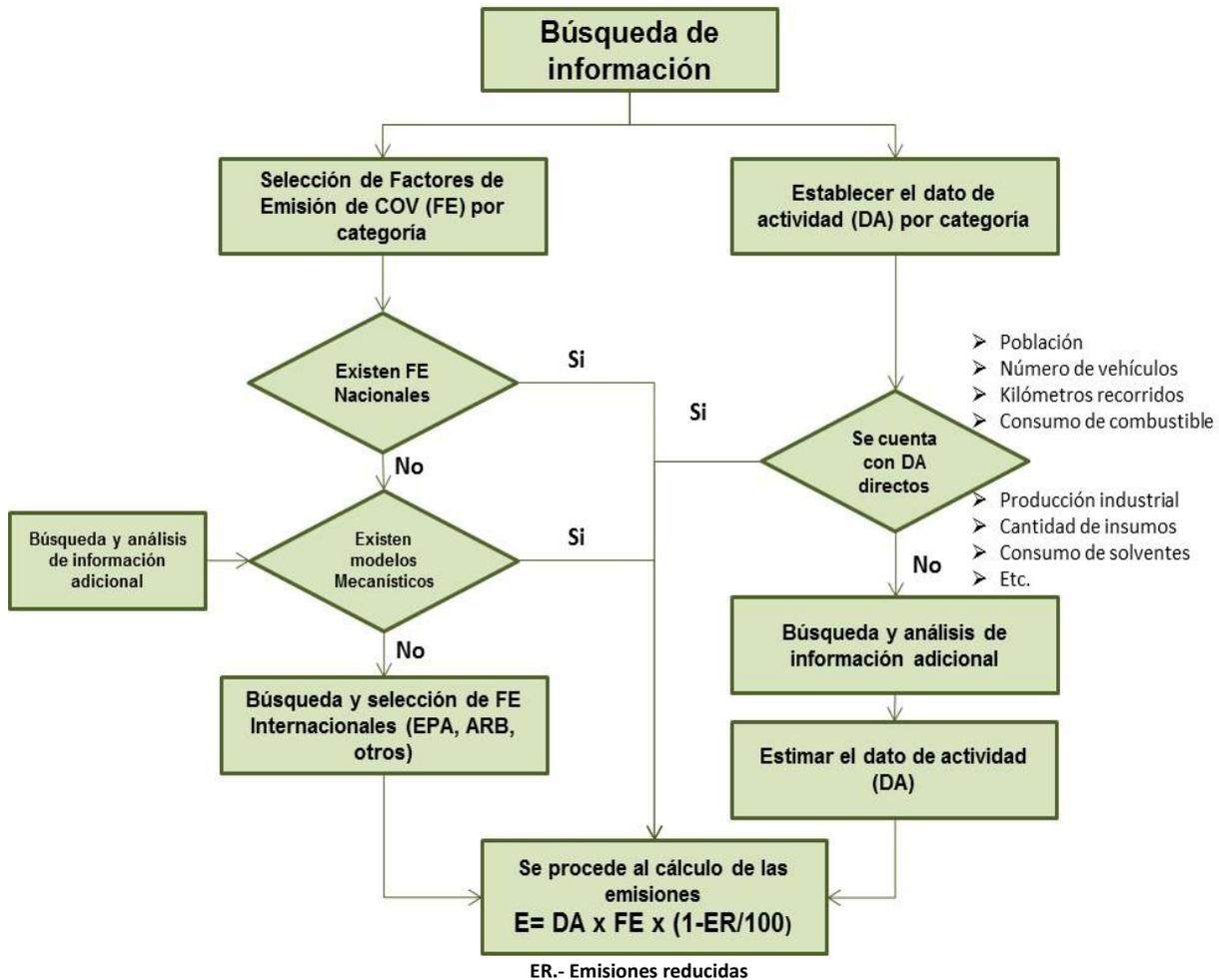


Diagrama 2.1 Esquema metodológico para estimar emisiones de COV mediante Factores de Emisión

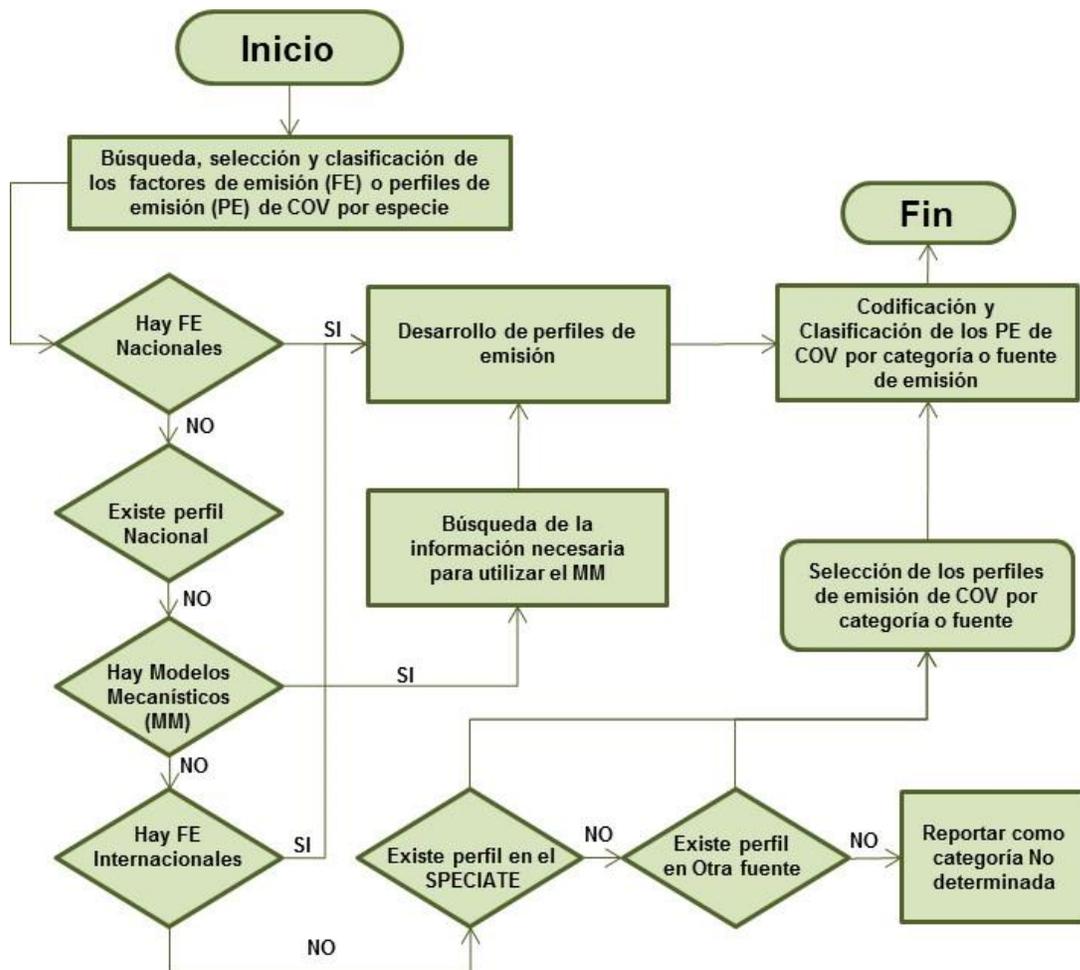
El esquema metodológico mostrado en el Diagrama 2.1 se aplicó de manera individual en cada categoría o fuente de emisión seleccionada y para cada entidad y municipio del país.

Parte importante para el desarrollo de este proyecto fue el de contar con información relevante generada por la SEMARNAT, como la base de datos del inventario nacional de emisiones de fuentes fijas (DATGEN2013) y las bases de datos de fuentes de área y naturales, así también como la base de datos nacional que se incorpora al modelo MOVES.

Una vez estimadas las emisiones de COV totales, se procedió a estimar su especiación.

La metodología que se utilizó para estimar las emisiones de COV por especie química dio prioridad a usar como primera alternativa la información nacional disponible, ya sea como factor de emisión por especie química o como fracción de los COV o de los compuestos orgánicos totales. El Diagrama 2.2 muestra el esquema general de selección o estimación de los perfiles de emisión de las especies que integran los COV.

Diagrama 2.2 Clasificación de los perfiles de emisión de COV por categoría o fuente de emisión



Las principales fuentes de información de factores de emisión y de perfiles de especiación que se utilizaron fueron el *SPECIATE* y el *MOVES 2014^a México*.

De la revisión y análisis de los documentos seleccionados, el más completo y que se utilizó como base para los objetivos del Proyecto, fue la Base de Datos del *SPECIATE* versión 4.5, que es el repositorio de perfiles de especiación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y partículas de fuentes de contaminación del aire de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, que se puede consultar en el siguiente vínculo: <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate-version-45-through-40>

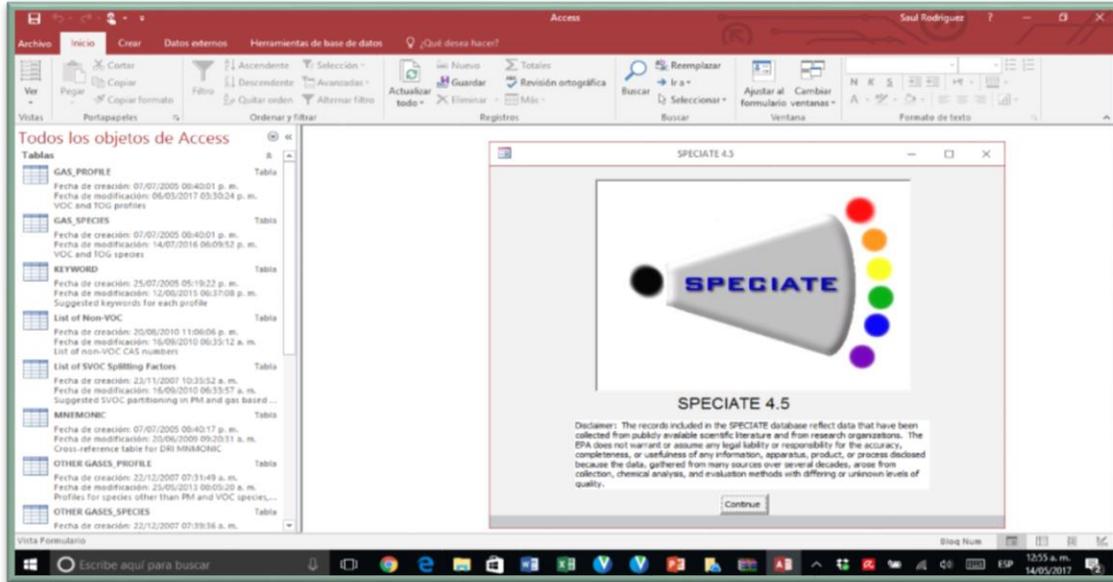


Figura 2.2 SPECIATE Versión 4.5

Entre los usos que se le dio al SPECIATE, fue la utilización de los porcentajes de masa que tiene cada una de las diferentes especies químicas respecto al total de compuestos orgánicos totales de cada una de las categorías o fuentes emisoras seleccionadas para la realización del Proyecto. Ver Figura 2.3.

P_NUMB	NAME	CONTROL	QUALIF	P_DATE	NOTES	
* 0000	Overall Average	Not Applicable	1	03/10/1994	Profile based on average of all profiles in	
* 0001	External Combustion Boiler - Residual Oil	Uncontrolled	4	05/01/1989	Information based on stack sample for re	
* 0002	External Combustion Boiler - Diesel/Oil	Uncontrolled	4	05/01/1989	Information based on stack sample for re	
* 0003	External Combustion Boiler - Natural Gas	Uncontrolled	4	05/01/1989	Information based on stack sample for re	
	VOCTO TOG - WEIGHT_PER - PAM - HAP - SPECIES_PROPERTIES - SPEC_MW - NonVOCTOG					
2 272727	4	<input checked="" type="checkbox"/>		78.11184	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	1	<input type="checkbox"/>		84.15948	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	8	<input checked="" type="checkbox"/>		30.02598	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	56	<input type="checkbox"/>		16.04246	<input checked="" type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	9	<input checked="" type="checkbox"/>		58.1222	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	6	<input checked="" type="checkbox"/>		72.14878	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	4	<input checked="" type="checkbox"/>		44.05662	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	2	<input checked="" type="checkbox"/>		92.13842	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	1	<input type="checkbox"/>		86.17536	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
2 272727	8	<input type="checkbox"/>		72.14878	<input type="checkbox"/>	Compilation of Air Pollutant
* 0004	External Combustion Boiler - Heavy Oil	Uncontrolled	3	05/01/1989	Information based on stack sample for re	
* 0005	External Combustion Boiler - Coke Oven Gas	Uncontrolled	4	05/01/1989	Information based on stack sample anal	
* 0007	Natural Gas Turbine	Uncontrolled	3	05/01/1989	Composite profile developed using data I	
* 0008	Reciprocating Diesel Engine	Uncontrolled	3	05/01/1989	Composite profile developed using data I	
* 0009	Reciprocating Distillate Oil Engine	Uncontrolled	2	05/01/1989	Composite profile developed using data I	
* 0011	By Product Coke Oven Stack Gas	Uncontrolled	3	05/01/1989	Composite profile based on test samples	
* 0012	Blast Furnace Ore Charging and Agglomerate Charging	Uncontrolled	3	05/01/1989	Information based on one grab sample fr	
* 0013	Iron Sintering	Uncontrolled	3	05/01/1989	Information based on one grab sample fr	
* 0014	Open Hearth Furnace With Oxygen Lance	Electrostatic	3	05/01/1989	Information based on two samples at pre	
* 0016	Basic Oxygen Furnace	Electrostatic	3	05/01/1989	Information based on one sample at prec	
* 0023	Asphalt Roofing - Spraying	Uncontrolled	2	05/01/1989	Information based on composite survey c	
* 0024	Asphalt Roofing Tar Kettle	Uncontrolled	3	05/01/1989	Information based on one sample taken	
* 0025	Asphaltic Concrete - Natural Gas Rotary Dryer	Uncontrolled	2	05/01/1989	Information based on test data	

Figura 2.3 Base de Datos en Access del SPECIATE versión 4.5

Se identificaron y extrajeron de la Base de Datos en Access del SPECIATE cada una de las categorías seleccionadas para generar una base de datos en Excel (Ver Figura 2.4) que posteriormente, mediante un modelo de cálculo, con los perfiles de emisión se estimaron las emisiones en toneladas de cada especie química que integran los COV, por categoría de emisión.

Categoría de Fuente de Emisión	COV en COT	Acetone	Acetylene (or ethyne)	Acrolein	Acrylonitrile	Acrylonitrile Oxide	Benzene	Benzyl chloride (2-butoxyethanol) (EGEBE)	1-butene	2,2-butene	2-butoxyethoxy ethanol	Butoxyethoxy ethanol	1,3-butadiene	Cyclohexane	Cyclopentane	Cis-1,3-butadiene	Cis-2-butene	C1-C6 Alkyl benzene	C5 Ester	C4 Substituted	C6 Substituted	C8 Substituted	C-7 Cycloparaffins	C-8 Cycloparaffins	C-9 Cycloparaffins
Es COV	No																								
Contaminante Peligroso				HAP	HAP	HAP								HAP											
Caldera de Combustión Externa - Aceite Residual	1.639	28																							
Caldera de Combustión Externa - Aceite de Destilación	1.000																								
Caldera de Combustión Externa - Gas Natural	2.273						4								1										
Caldera de Combustión Externa - Gas de Refinería	1.399																								
Caldera de Combustión Externa - Gas del Horno de Coque	6.803	0.8					1.9																		
Turbina de gas natural	3.333																								
Motor diesel alternativo	1.168	11.3					7.9		13.4					7											
Motor de aceite destilado alternativo	1.168	11.3					7.9		13.4					7											
Por producto Coke Oven Stack Gas	2.141	1.2					14.1		0.1					0.5											

Figura 2.4 Base de Datos de la especiación de los COV por categoría de fuentes de emisión

Para el caso específico de la especiación de los COV generados por las fuentes móviles carreteras, se estimaron algunos tóxicos y su porcentaje en peso referente a las emisiones totales de COV a través del uso del modelo MOVES-México, con las mismas indicaciones ya mencionadas para calcular los COV, sólo que le indicamos que la corrida de MOVES fuera a nivel nacional y que nos estimara además de las emisiones de COV las emisiones de los contaminantes tóxicos como el Benceno, Etanol, Metil-terbutil-eter, 1-3 Butadieno, Formaldehído, Acetaldehído, Acroleína y tóxicos adicionales. Esto para cada uno de los tipos de vehículos seleccionados.

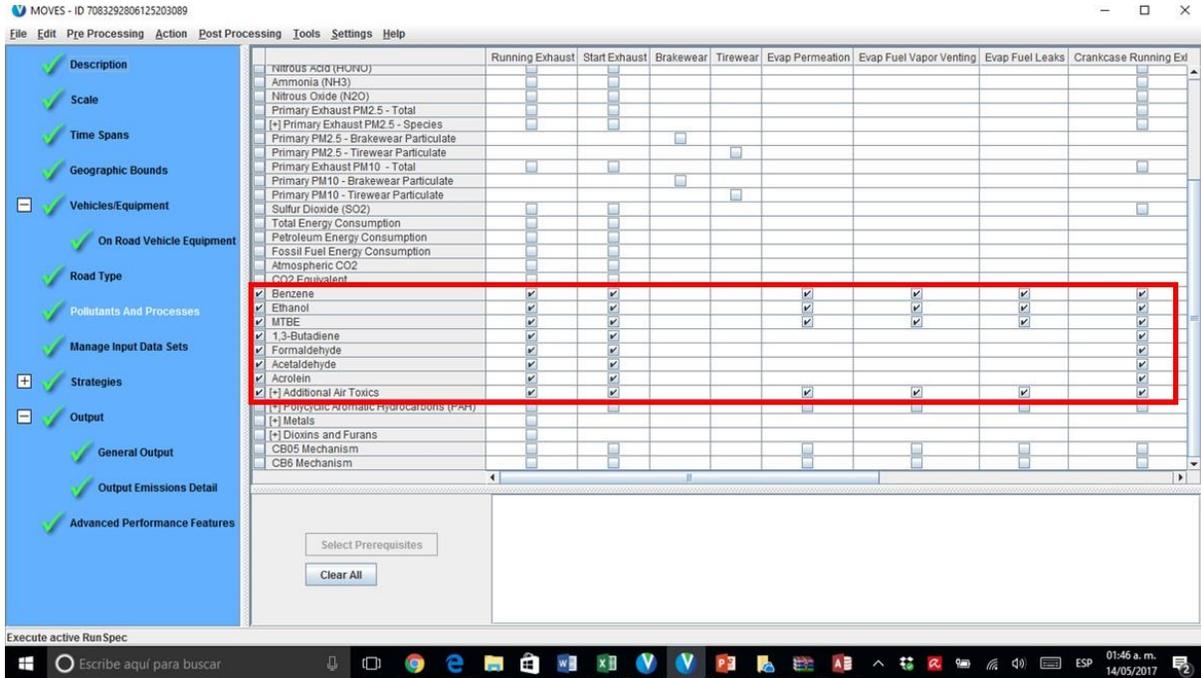


Figura 2.5 Selección de los contaminantes tóxicos en la Interface del Modelo MOVES-México

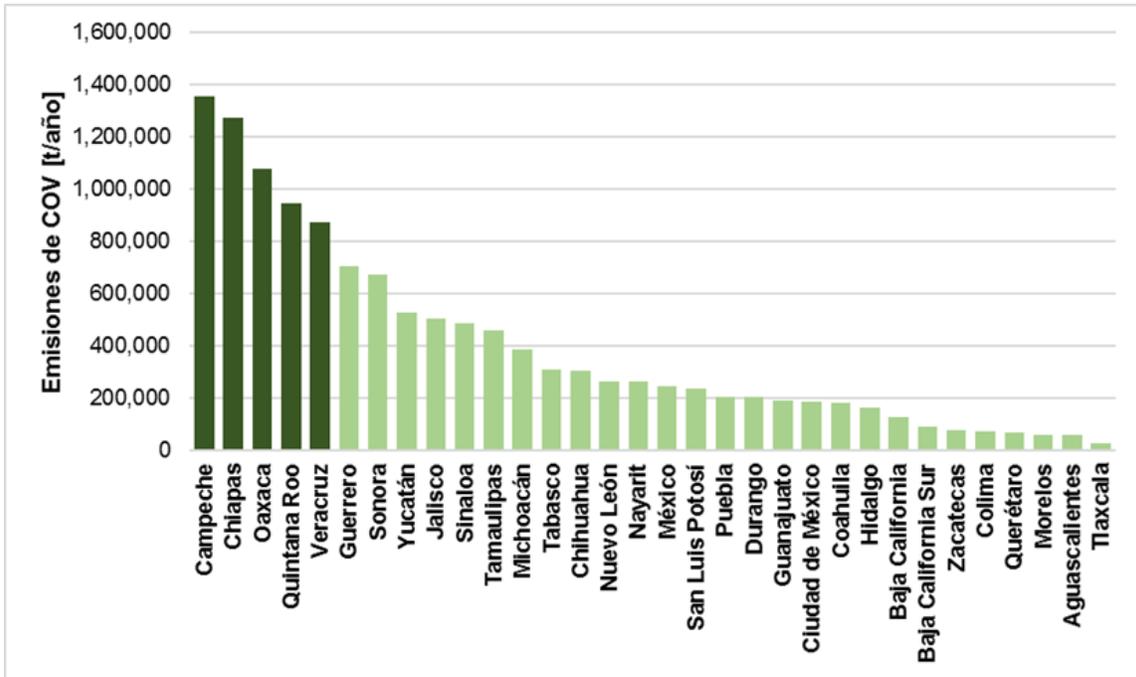
Para un conocimiento más amplio del cómo y qué se utilizó para llegar a los resultados que arrojó el presente proyecto, así como para poder tener los elementos necesarios para realizar análisis comparativo de los resultados del proyecto con los datos de inventarios de emisiones ya desarrollados, se anexan a la presente publicación las memorias de cálculo, en las cuales se pueden identificar la técnicas metodológicas, supuestos, datos de actividad, modelos y factores de emisión que fueron utilizados para su desarrollo o estimación de emisiones. Estas memorias de cálculo están clasificadas en fuentes fijas, fuentes de área y fuentes móviles.

3 Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles

Ya seleccionadas las categorías de fuentes de emisión, así como definidas las metodologías y los datos de actividad, se procedió a estimar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) por entidad y por municipio. Los resultados, muestran que en nuestro país se están generando 12,623,243 toneladas de emisiones de COV, y de estos el 82% son emisiones provenientes de la vegetación y solo el 18% son de origen antropogénico. Esto muestra que los estados con mayor cobertura vegetal como Campeche, Chiapas y Oaxaca, son los que más generan emisiones de COV, tal y como se muestra en el Cuadro 3.1 y en la Gráfica 3.1.

Cuadro 3.1 Emisiones totales de COV por entidad

#	Estado	t/año	#	Estado	t/año
1	Campeche	1,354,628	17	México	246,583
2	Chiapas	1,273,309	18	San Luis Potosí	238,651
3	Oaxaca	1,076,552	19	Puebla	207,023
4	Quintana Roo	948,647	20	Durango	206,057
5	Veracruz	874,717	21	Guanajuato	189,925
6	Guerrero	706,070	22	Ciudad de México	187,000
7	Sonora	675,883	23	Coahuila	181,206
8	Yucatán	526,277	24	Hidalgo	165,350
9	Jalisco	503,971	25	Baja California	128,322
10	Sinaloa	489,403	26	Baja California Sur	89,873
11	Tamaulipas	458,380	27	Zacatecas	76,126
12	Michoacán	386,524	28	Colima	72,203
13	Tabasco	310,000	29	Querétaro	67,365
14	Chihuahua	306,947	30	Morelos	61,229
15	Nuevo León	263,250	31	Aguascalientes	60,333
16	Nayarit	262,535	32	Tlaxcala	28,903



Gráfica 2.1 Emisiones totales de COV por entidad

Por lo anterior, y debido a que las emisiones de COV con mayor impacto en la salud son las de origen antropogénico (2,268,855 toneladas), a continuación sólo se analizarán y presentarán los resultados sin considerar las emisiones de COV generadas por la vegetación.

3.1 Emisiones de COV por entidad

De las más de 2.26 millones de toneladas de emisiones antropogénicas de COV, es el Estado de México la entidad en donde se generan las mayores emisiones de este contaminante (más de 238 mil toneladas (10.5% del total nacional). Le sigue la Ciudad de México con casi 184 mil t/año (8.1%) y Jalisco con cerca de 164 mil t/año (7.3%). En suma, estas tres entidades junto con los estados de Nuevo León, Veracruz, Guanajuato, Tamaulipas y Baja California, generan cerca del 50% de las emisiones de COV del país. (Ver Cuadro 3.2).

En los Anexos I, II y III de Fuentes Móviles, se presentan: la flota vehicular y las emisiones de COV estatales y desagregadas por año, modelo y tipo de vehículo, y el número de vehículos y emisiones de COV por municipio.

Cuadro 3.2. Inventario de emisiones de COV por entidad

Estado	Emisiones	Aporte porcentual	
	[t/año]	Individual	Acumulado
México	238,682	10.5%	10.5%
Ciudad de México	183,974	8.1%	18.6%
Jalisco	164,886	7.3%	25.9%
Nuevo León	121,605	5.4%	31.3%
Veracruz	116,135	5.1%	36.4%
Guanajuato	109,730	4.8%	41.2%
Tamaulipas	100,010	4.4%	45.6%
Baja California	97,600	4.3%	49.9%
Puebla	97,198	4.3%	54.2%
Chihuahua	96,069	4.2%	58.4%
Michoacán	88,255	3.9%	62.3%
Coahuila	82,918	3.7%	66.0%
Sonora	71,669	3.2%	69.1%
Sinaloa	61,345	2.7%	71.8%
Chiapas	60,285	2.7%	74.5%
Hidalgo	54,844	2.4%	76.9%
Oaxaca	54,214	2.4%	79.3%
San Luis Potosí	52,545	2.3%	81.6%
Guerrero	51,855	2.3%	83.9%
Aguascalientes	44,136	1.9%	85.9%
Querétaro	43,892	1.9%	87.8%
Durango	35,357	1.6%	89.3%
Yucatán	33,972	1.5%	90.8%
Tabasco	32,699	1.4%	92.3%
Morelos	32,346	1.4%	93.7%
Zacatecas	28,913	1.3%	95.0%
Quintana Roo	22,787	1.0%	96.0%
Tlaxcala	21,252	0.9%	96.9%
Nayarit	20,397	0.9%	97.8%
Baja California Sur	19,090	0.8%	98.7%
Colima	15,645	0.7%	99.4%
Campeche	14,547	0.6%	100.0%
Total	2,268,855	100%	

3.2 Emisiones de COV por municipio

El análisis por municipio muestra que de las más de 2.26 millones de toneladas de emisiones antropogénicas de COV, es en el municipio de Tijuana en donde se generan las mayores emisiones de estos contaminantes, con el 2% del aporte nacional. Le siguen el municipio de Juárez con el 1.7%, Iztapalapa con el 1.5%, Aguascalientes con el 1.4% y Mexicali con el 1.3%. En suma, de los municipios de mayor emisión de COV, 87 de ellos generan un poco más del 50% de las emisiones nacionales de COV (Ver Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Inventario de emisiones de COV por municipio

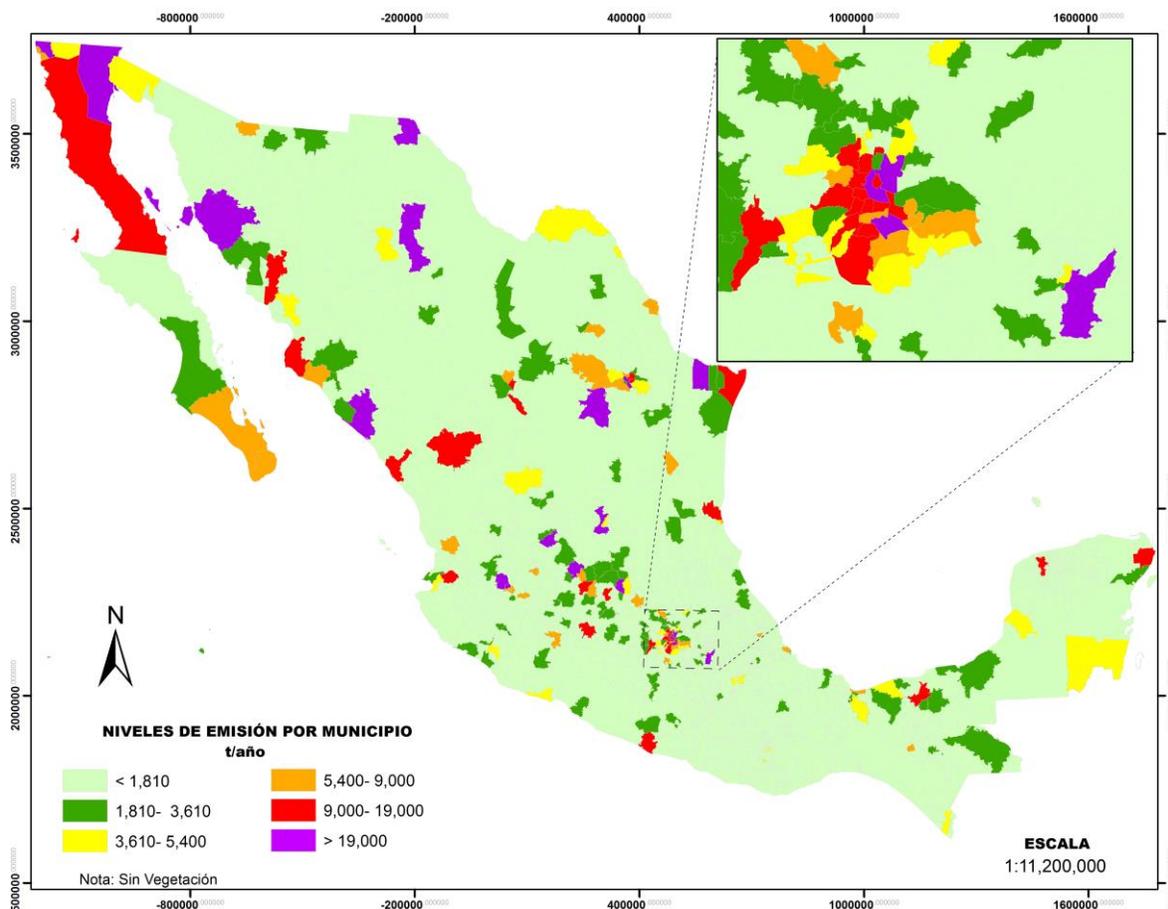
#	Estado	Municipio	Emisiones de COV	Aporte porcentual [%]	
			[t/año]	Individual	Acumulado
1	Baja California	Tijuana	46,095	2.0%	2.0%
2	Chihuahua	Juárez	38,568	1.7%	3.7%
3	Ciudad de México	Iztapalapa	33,198	1.5%	5.2%
4	Aguascalientes	Aguascalientes	32,400	1.4%	6.6%
5	Baja California	Mexicali	29,652	1.3%	7.9%
6	Guanajuato	León	28,124	1.2%	9.2%
7	Coahuila	Saltillo	27,015	1.2%	10.4%
8	Puebla	Puebla	25,130	1.1%	11.5%
9	Jalisco	Guadalajara	25,003	1.1%	12.6%
10	Jalisco	Zapopan	24,729	1.1%	13.7%
11	Nuevo León	Monterrey	23,344	1.0%	14.7%
12	México	Ecatepec de Morelos	22,387	1.0%	15.7%
13	Chihuahua	Chihuahua	21,875	1.0%	16.6%
14	Ciudad de México	Gustavo A. Madero	21,465	0.9%	17.6%
15	San Luis Potosí	San Luis Potosí	19,953	0.9%	18.5%
16	Querétaro	Querétaro	19,518	0.9%	19.3%
17	Tamaulipas	Reynosa	19,408	0.9%	20.2%
18	Sonora	Hermosillo	19,205	0.8%	21.0%
19	Sinaloa	Culiacán	17,671	0.8%	21.8%
20	Tamaulipas	Altamira	17,550	0.8%	22.6%
21	México	Toluca	17,434	0.8%	23.3%
22	Ciudad de México	Cuauhtémoc	16,973	0.7%	24.1%
23	Nuevo León	Apodaca	15,369	0.7%	24.8%
24	México	Naucalpan de Juárez	14,599	0.6%	25.4%
25	Tamaulipas	Matamoros	14,338	0.6%	26.0%
26	Michoacán	Morelia	14,210	0.6%	26.7%
27	México	Tlalnepantla de Baz	14,180	0.6%	27.3%

#	Estado	Municipio	Emisiones de COV	Aporte porcentual [%]	
			[t/año]	Individual	Acumulado
28	México	Nezahualcóyotl	13,671	0.6%	27.9%
29	Nuevo León	Guadalupe	13,538	0.6%	28.5%
30	Ciudad de México	Tlalpan	13,306	0.6%	29.1%
31	Yucatán	Mérida	13,288	0.6%	29.7%
32	Nuevo León	San Nicolás de los Garza	12,801	0.6%	30.2%
33	Coahuila	Torreón	12,630	0.6%	30.8%
34	Durango	Durango	12,417	0.5%	31.3%
35	Baja California	Ensenada	12,091	0.5%	31.9%
36	Ciudad de México	Álvaro Obregón	11,840	0.5%	32.4%
37	Ciudad de México	Azcapotzalco	11,534	0.5%	32.9%
38	Quintana Roo	Benito Juárez	11,169	0.5%	33.4%
39	Guerrero	Acapulco de Juárez	11,046	0.5%	33.9%
40	Ciudad de México	Coyoacán	10,367	0.5%	34.3%
41	Jalisco	San Pedro Tlaquepaque	10,358	0.5%	34.8%
42	Sonora	Cajeme	10,342	0.5%	35.3%
43	Ciudad de México	Venustiano Carranza	10,307	0.5%	35.7%
44	Sinaloa	Ahome	9,978	0.4%	36.1%
45	Ciudad de México	Miguel Hidalgo	9,803	0.4%	36.6%
46	México	Cuautitlán Izcalli	9,739	0.4%	37.0%
47	Guanajuato	Irapuato	9,694	0.4%	37.4%
48	Guanajuato	Celaya	9,452	0.4%	37.9%
49	México	Tultitlán	9,425	0.4%	38.3%
50	Tabasco	Centro	9,227	0.4%	38.7%
51	Sinaloa	Mazatlán	9,119	0.4%	39.1%
52	Jalisco	Tlajomulco de Zúñiga	8,712	0.4%	39.5%
53	Nuevo León	Santa Catarina	8,697	0.4%	39.8%
54	Ciudad de México	Iztacalco	8,687	0.4%	40.2%
55	Tamaulipas	Ciudad Madero	8,624	0.4%	40.6%
56	Veracruz	Veracruz	8,524	0.4%	41.0%
57	Nuevo León	General Escobedo	8,273	0.4%	41.3%
58	Ciudad de México	Benito Juárez	8,255	0.4%	41.7%
59	Tamaulipas	Nuevo Laredo	8,105	0.4%	42.1%
60	Jalisco	Valle de Guadalupe	7,674	0.3%	42.4%
61	Ciudad de México	Xochimilco	7,488	0.3%	42.7%
62	Durango	Gómez Palacio	7,416	0.3%	43.1%
63	Nayarit	Tepic	7,330	0.3%	43.4%
64	México	Chimalhuacán	7,210	0.3%	43.7%

#	Estado	Municipio	Emisiones de COV	Aporte porcentual [%]	
			[t/año]	Individual	Acumulado
65	Veracruz	Coatzacoalcos	7,165	0.3%	44.0%
66	Sonora	Nogales	7,147	0.3%	44.3%
67	Baja California Sur	La Paz	7,043	0.3%	44.6%
68	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	6,934	0.3%	44.9%
69	Ciudad de México	Tláhuac	6,818	0.3%	45.2%
70	Querétaro	San Juan del Río	6,816	0.3%	45.5%
71	México	Atizapán de Zaragoza	6,726	0.3%	45.8%
72	Coahuila	Ramos Arizpe	6,699	0.3%	46.1%
73	Jalisco	Zapotlán del Rey	6,675	0.3%	46.4%
74	Guanajuato	Salamanca	6,400	0.3%	46.7%
75	Baja California Sur	Los Cabos	6,396	0.3%	47.0%
76	Coahuila	Monclova	6,368	0.3%	47.3%
77	Hidalgo	Tula de Allende	6,358	0.3%	47.6%
78	Morelos	Cuernavaca	6,349	0.3%	47.8%
79	Jalisco	Tonalá	6,283	0.3%	48.1%
80	Sinaloa	Guasave	6,271	0.3%	48.4%
81	Veracruz	Xalapa	6,171	0.3%	48.7%
82	Tamaulipas	Victoria	5,876	0.3%	48.9%
83	México	Ixtapaluca	5,614	0.2%	49.2%
84	Guanajuato	Silao de la Victoria	5,582	0.2%	49.4%
85	Jalisco	El Salto	5,516	0.2%	49.7%
86	Baja California	Playas de Rosarito	5,515	0.2%	49.9%
87	Michoacán	Uruapan	5,493	0.2%	50.1%
Los otros (2,377 Municipios)*			1,131,107	49.9%	100%

*Las emisiones de COV de todos los municipios se muestra en el Anexo IV.

Una representación por municipio de los niveles de emisión de COV en toneladas al año, se presenta en el Mapa 3.1, en donde los municipios con **color morado** son donde se generan las mayores emisiones de COV y en orden de importancia son: Tijuana, Juárez, Iztapalapa, Aguascalientes, Mexicali, León, Saltillo, Puebla, Guadalajara, Zapopan, Monterrey, Ecatepec de Morelos, Chihuahua, Gustavo A. Madero, San Luis Potosí, Querétaro, Reynosa y Hermosillo



Mapa 3.1. Emisiones antropogénicas de COV por Municipio

3.3 Análisis de incertidumbre de la estimación de las emisiones de COV

Durante el desarrollo del proyecto, se realizaron los correspondientes chequeos de control y aseguramiento de calidad, tanto a los resultados como en la recopilación y manejo de la información, para lo cual se realizaron actividades tales como el análisis sistemático de la información consultada, revisiones y comprobaciones matemáticas en las metodologías de cálculo y de las hojas de cálculo desarrolladas para la estimación de emisiones, se analizaron los resultados y se comparó la información con otras fuentes de información y documentos similares con información de años anteriores. Se llegó a la conclusión de que la información utilizada fue la más conveniente para los objetivos del inventario, y finalmente con la información utilizada y con base en las directrices del IPCC para un buen control de calidad de Inventarios, se determinó la incertidumbre asociada a las estimaciones de COV del presente inventario.

Se utilizaron diferentes herramientas de calidad para determinar la incertidumbre general del inventario, tales como juicio de expertos, desviaciones estándar, análisis de diferentes parámetros y otras estadísticas fundamentales para estimar la precisión de la información utilizada; se aplicó un

método para determinar la incertidumbre general, el cual conlleva a determinar primero la incertidumbre asociada a las categorías con mayor impacto en las emisiones totales, se identificaron dichas categorías, con la intención de analizar y trabajar en los parámetros clave por separado para cada una de ellas, y de esa forma obtener las áreas de oportunidad en las cuales se puede mejorar la calidad de la información para futuros inventarios de emisiones.

En el Cuadro 3.4 se muestran las categorías con mayores emisiones que contribuyen con más del 90% de las emisiones totales de COV, las cuales se tomaron en cuenta para el cálculo de incertidumbre, y para cada una de ellas se determinó su contribución a las emisiones totales.

Cuadro 3.4 Categorías clave para la determinación de la incertidumbre general del inventario de emisiones.

Fuente	Categoría	Emisiones	Contribución [%]	
		[t/año]	Individual	Acumulado
Área	Manejo y distribución de GLP	425,508	18.75%	18.75%
Área	Uso comercial y doméstico de solventes	379,012	16.71%	35.46%
Área	Limpieza de superficies industriales	348,743	15.37%	50.83%
Móviles	Autos particulares y taxis (gasolina)	210,953	9.30%	60.13%
Móviles	Vagonetas de pasajeros (gasolina)	187,127	8.25%	68.38%
Área	Manejo y distribución de combustibles	68,479	3.02%	71.39%
Área	Quemas agrícolas	60,972	2.69%	74.08%
Área	Recubrimiento de superficies arquitectónicas	58,269	2.57%	76.65%
Área	Artes gráficas	54,025	2.38%	79.03%
Área	Aguas residuales	45,611	2.01%	81.04%
Fijas	Automotriz	42,424	1.87%	82.91%
Área	Combustión doméstica	40,827	1.80%	84.71%
Móviles	Motocicletas	39,556	1.74%	86.45%
Fijas	Química	32,516	1.43%	87.89%

Fuente	Categoría	Emisiones	Contribución [%]	
		[t/año]	Individual	Acumulado
Fijas	Servicios de Almacenamiento de combustible	24,193	1.07%	88.95%
Área	Pintado automotriz	22,468	0.99%	89.94%
Área	Recubrimiento de superficies en la industria	20,215	0.89%	90.83%

Para la determinación cuantitativa de incertidumbre por categoría, se usaron dos diferentes ecuaciones generales de incertidumbre, para lo que fue indispensable identificar primero el modelo matemático usado para determinar las emisiones en cada categoría, y con base al modelo usado, determinar el tipo de ecuación a usar para la incertidumbre.

Las dos ecuaciones generales para la incertidumbre se presentan en el Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5 Tipos de ecuaciones para el cálculo de incertidumbre de acuerdo al modelo de emisiones.

Tipo de Modelo.	Modelo Emisiones (E).	Ecuación Incertidumbre General (U _T).
Suma y/o resta	$E = x_1 + x_2 + \dots + x_n$	$U_T = \pm \sqrt{(U_{x_1})^2 + (U_{x_2})^2 + \dots + (U_{x_n})^2}$
Producto y/o Cociente	$E = x_1 * x_2 / x_3 * \dots * x_n$	$\frac{U_T}{E} = \pm \sqrt{\left(\frac{U_{x_1}}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{U_{x_2}}{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{U_{x_n}}{x_n}\right)^2}$

Donde x_i es el parámetro usado para determinar las emisiones, pudiendo ser factor de emisión, consumo de combustible, población o cualquier otro dato útil para el modelo matemático usado para las emisiones y, por consiguiente, U_{x_i} es su correspondiente incertidumbre.

Para determinar la incertidumbre general del inventario total, se calcularon de la misma manera en la que se calcula la incertidumbre absoluta, considerando la estimación final de emisiones de COV como una suma de las emisiones por cada categoría, de manera que la ecuación para determinar la incertidumbre absoluta general del inventario de emisiones es la siguiente:

$$U_{abs T} = \pm \sqrt{(U_{abs c_1})^2 + (U_{abs c_2})^2 + \dots + (U_{abs c_n})^2}$$

Donde:

$U_{abs T}$: Es la incertidumbre absoluta total del inventario de emisiones en las mismas unidades en que se manejan las incertidumbres absolutas de cada categoría [Mg COV/año].

$U_{abs Ci}$: Es la incertidumbre absoluta de la categoría i en las mismas unidades correspondientes, para este caso [Mg COV/año].

Y de manera similar a las categorías que lo requirieron, se estimó la incertidumbre relativa usando la incertidumbre absoluta y el total de emisiones en el inventario. La ecuación que representa lo anterior es la siguiente:

$$U_{rel T} = \frac{U_{abs T}}{Emi Tot. COV}$$

Donde:

$U_{rel T}$: es la incertidumbre relativa total respecto al valor total de emisiones del inventario (Emi Tot. COV).

El Cuadro 3.6 representa las incertidumbres relativas y absolutas por categoría del 90% representativo de las emisiones totales, en orden descendente de acuerdo a su contribución de incertidumbre absoluta, y el resultado de la incertidumbre general del inventario de emisiones.

Cuadro 3.6 Incertidumbres relativa y absoluta de las categorías involucrados para determinar la incertidumbre general del inventario de emisiones.

Fuente	Categoría	U_{rel} de la Categoría	U_{Abs} [Mg COV/año]
Área	Manejo y Distribución de gas LP	27.40%	116,572.43
Área	Uso Doméstico de Solventes	23.20%	87,855.74
Área	Limpieza de Superficies Industriales	11.40%	39,699.85
Área	Combustión doméstica	51.60%	21,075.72
Área	Aguas Residuales	40.30%	18,386.13
Móviles	Autos Particulares y Taxis (Gasolina)	6.50%	13,711.92
Móviles	Vagonetas de Pasajeros (Gasolina)	6.50%	12,163.24
Área	Artes Graficas	17.60%	9,519.24
Área	Quemas Agrícolas	15.50%	9,432.81
Área	Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas	12.80%	7,485.42
Área	Recubrimiento de Superficies en la Industria	25.70%	5,204.94
Móviles	Motocicletas	6.50%	2,571.15
Área	Pintado Automotriz	9.60%	2,160.42
Fijas	Automotriz	3.60%	1,506.28

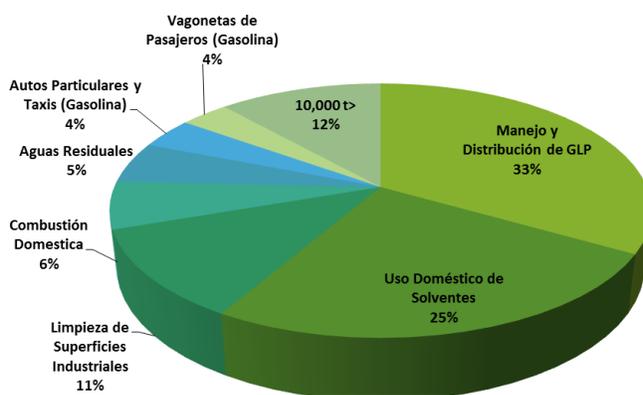
Fuente	Categoría	U _{rel} de la Categoría	U _{Abs} [Mg COV/año]
Fijas	Química	3.60%	1,154.50
Área	Manejo y Distribución de Combustibles	1.30%	887.88
Fijas	Servicios de Almacenamiento de Combustible	3.60%	858.98
Incertidumbre General.		7.60%	155,824.13

Los resultados obtenidos indican una incertidumbre en términos absolutos de 155,824 toneladas de emisiones por año, para todo el inventario, lo cual representa el 7.6% de las emisiones totales. La categoría que más aporta incertidumbre al inventario es la de “Manejo y Distribución de Gas LP”, que presenta una incertidumbre relativa del 27.4%, lo cual representa 116,572 toneladas al año, y dentro de la misma categoría, el sector que tiene mayor peso, es el sector residencial, con el 91.38% de las emisiones en dicha categoría y una incertidumbre relativa del 30% para este sector, que representa una contribución absoluta de 111,016 toneladas de emisiones, con lo cual el sector residencial de la categoría “Manejo y Distribución de Gas LP” representa la mayor incertidumbre absoluta al inventario general.

Por otra parte, en términos de incertidumbres relativas, las categorías que presentan las más elevadas incertidumbres son la categoría de “Combustión doméstica” con una incertidumbre relativa de 51.6%, y la categoría de “Aguas residuales” con una incertidumbre relativa de 40.3%, por lo que contribuyen con una incertidumbre absoluta de 21,076 y 18,386 toneladas de emisiones respectivamente.

Los resultados porcentuales de la contribución a la incertidumbre a nivel general por las categorías más representativas se presenta en Gráfica 3.1, donde se aprecia que el 12% de la contribución general se encuentra repartido en categorías que presentan incertidumbres absolutas de menos de 10,000 toneladas de emisiones al año.

Gráfica 3.1 Contribución porcentual a la incertidumbre absoluta por categoría



4 Emisiones de Compuestos Orgánicos Peligrosos

Dentro de los diferentes COV, hay algunos compuestos peligrosos que también son conocidos como contaminantes tóxicos del aire, y son aquellos contaminantes que se sabe o se sospecha que pueden causar cáncer u otros efectos graves para la salud. La EPA incluye para su reducción 187 compuestos tóxicos atmosféricos, de los cuales dentro de este proyecto se identificaron y cuantificaron dentro de los COV 100 contaminantes tóxicos, resultando que, en suma, anualmente se generan en el país 417,678 toneladas de contaminantes tóxicos provenientes de los COV. De los compuestos tóxicos, el tolueno es el más abundante con una contribución del 37.7% y le sigue el formaldehído con el 10%. Ver Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4 Emisiones tóxicas por tipo de contaminante

#	Compuesto tóxico	Emisión	Aporte porcentual [%]	
		[t/año]	Individual	Acumulado
1	Tolueno	157,636.9	37.7%	37.7%
2	Formaldehído	41,821.4	10.0%	47.8%
3	Benceno	27,226.9	6.5%	54.3%
4	M & p-xileno	27,159.6	6.5%	60.8%
5	P-xileno	24,105.4	5.8%	66.5%
6	O-xileno	22,922.0	5.5%	72.0%
7	N-hexano	16,387.6	3.9%	76.0%
8	Etilbenceno	14,275.4	3.4%	79.4%
9	Isómeros de xileno	13,593.6	3.3%	82.6%
10	2,2,4-trimetilpentano	12,937.5	3.1%	85.7%
11	Alcohol metílico (metanol)	12,073.6	2.9%	88.6%
12	Metil t-butil éter (MTBE)	9,865.4	2.4%	91.0%
13	Etilenglicol	7,114.1	1.7%	92.7%
14	Acetaldehído	5,988.1	1.4%	94.1%
15	Cloroformo	4,390.6	1.1%	95.2%
	Otros 85 tóxicos	20,180.3	4.8%	100%
	Total	417,678.4	100%	

4.1 Emisiones de COV tóxicos por entidad

De las 417,678 toneladas de emisiones tóxicas antropogénicas de COV, es el Estado de México con 35,390 t/año (8.5% del total nacional) la entidad donde se generan las mayores emisiones de compuestos tóxicos, le sigue Jalisco y la Ciudad de México con 32,566 t/año (7.8%) y 32,157 t/año (7.7%) respectivamente. En suma, estas tres entidades junto con los estados de Nuevo León,

Tamaulipas, Chihuahua, Baja California y Veracruz, generan un poco más del 50% de las emisiones tóxicas provenientes de los COV. Ver Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5 Inventario de Emisiones de tóxicos por entidad

#	Estado	Emisiones	Aporte porcentual [%]	
		[t/año]	Individual	Acumulado
1	México	35,390	8.5%	8.5%
2	Jalisco	32,566	7.8%	16.3%
3	Ciudad de México	32,157	7.7%	24.0%
4	Nuevo León	27,951	6.7%	30.7%
5	Tamaulipas	21,940	5.3%	35.9%
6	Chihuahua	21,112	5.1%	41.0%
7	Baja California	20,942	5.0%	46.0%
8	Veracruz	19,859	4.8%	50.7%
9	Guanajuato	19,502	4.7%	55.4%
10	Michoacán	16,943	4.1%	59.5%
11	Coahuila	16,024	3.8%	63.3%
12	Puebla	15,147	3.6%	66.9%
13	Sonora	13,491	3.2%	70.2%
14	Sinaloa	12,846	3.1%	73.2%
15	Hidalgo	10,035	2.4%	75.6%
16	San Luis Potosí	9,341	2.2%	77.9%
17	Oaxaca	9,337	2.2%	80.1%
18	Querétaro	9,134	2.2%	82.3%
19	Chiapas	8,943	2.1%	84.4%
20	Guerrero	8,863	2.1%	86.6%
21	Durango	7,410	1.8%	88.3%
22	Aguascalientes	6,088	1.5%	89.8%
23	Yucatán	5,641	1.4%	91.1%
24	Tabasco	5,496	1.3%	92.5%
25	Morelos	5,240	1.3%	93.7%
26	Zacatecas	5,186	1.2%	94.9%
27	Baja California Sur	4,834	1.2%	96.1%
28	Quintana Roo	3,622	0.9%	97.0%
29	Nayarit	3,556	0.9%	97.8%
30	Tlaxcala	3,430	0.8%	98.6%
31	Colima	2,944	0.7%	99.4%
32	Campeche	2,708	0.6%	100.0%
	Nacional	417,678	100%	

4.2 Emisiones de COV tóxicos por municipio

El análisis por municipio muestra que, de las más de 417,678 toneladas de emisiones tóxicas antropogénicas provenientes de los COV, es en el municipio de Tijuana, en donde se generan las mayores emisiones de contaminantes tóxicos, con un aporte de 9,262 t/año (2.2% del total nacional); le sigue en orden de importancia el municipio de Juárez con 8,529 t/año (2%), el de Mexicali con 6,733 t/año (1.6%), el municipio de Zapopan con 5,486 t/año (1.3%) y la delegación Iztapalapa con 5,256 t/año (1.3%). En suma, de los municipios de mayor emisión de contaminantes tóxicos, son 81 de los 2457 existentes los que generan un poco más del 50% de las emisiones nacionales de tóxicos provenientes de los COV. Ver Cuadro 3.6.

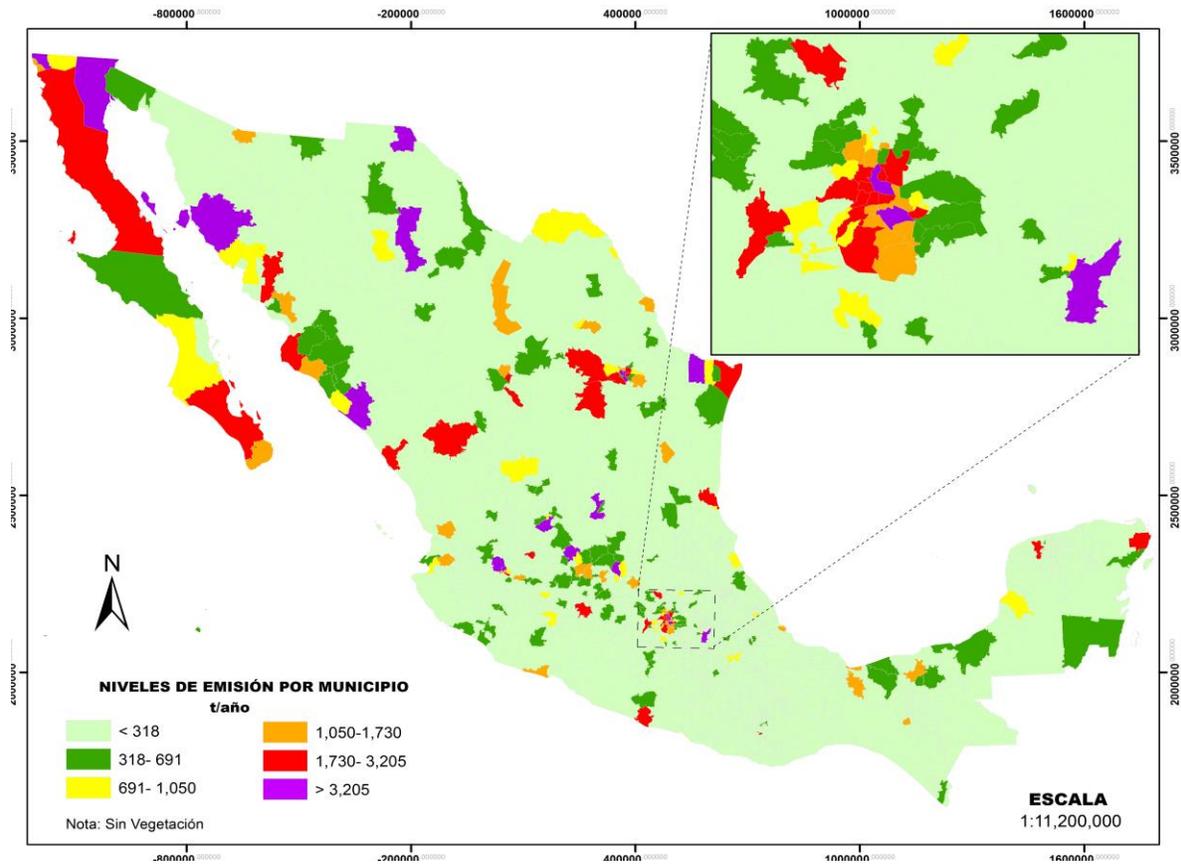
Cuadro 3.6. Inventario de Emisiones de tóxicos por municipio

#	Estado	Municipio	Emisiones	Aporte porcentual [%]	
			[t/año]	Individual	Acumulado
1	Baja California	Tijuana	9,262	2.2%	2.2%
2	Chihuahua	Juárez	8,529	2.0%	4.3%
3	Baja California	Mexicali	6,733	1.6%	5.9%
4	Jalisco	Zapopan	5,486	1.3%	7.2%
5	Ciudad de México	Iztapalapa	5,256	1.3%	8.4%
6	Chihuahua	Chihuahua	4,843	1.2%	9.6%
7	Tamaulipas	Reynosa	4,830	1.2%	10.8%
8	Guanajuato	León	4,646	1.1%	11.9%
9	Nuevo León	San Nicolás de los Garza	4,531	1.1%	13.0%
10	Querétaro	Querétaro	4,294	1.0%	14.0%
11	Nuevo León	Monterrey	4,188	1.0%	15.0%
12	Jalisco	Guadalajara	3,985	1.0%	15.9%
13	San Luis Potosí	San Luis Potosí	3,859	0.9%	16.9%
14	Puebla	Puebla	3,801	0.9%	17.8%
15	Aguascalientes	Aguascalientes	3,575	0.9%	18.6%
16	Ciudad de México	Gustavo A. Madero	3,548	0.8%	19.5%
17	Sinaloa	Culiacán	3,451	0.8%	20.3%
18	Sonora	Hermosillo	3,208	0.8%	21.1%
19	Nuevo León	Apodaca	3,205	0.8%	21.8%
20	Coahuila	Saltillo	3,066	0.7%	22.6%
21	México	Ecatepec de Morelos	3,005	0.7%	23.3%
22	Tamaulipas	Matamoros	2,947	0.7%	24.0%
23	Ciudad de México	Cuauhtémoc	2,886	0.7%	24.7%
24	Tamaulipas	Ciudad Madero	2,881	0.7%	25.4%
25	México	Toluca	2,833	0.7%	26.1%

#	Estado	Municipio	Emisiones	Aporte porcentual [%]	
			[t/año]	Individual	Acumulado
26	Durango	Durango	2,777	0.7%	26.7%
27	Michoacán	Morelia	2,652	0.6%	27.4%
28	Tamaulipas	Altamira	2,640	0.6%	28.0%
29	Nuevo León	Santa Catarina	2,552	0.6%	28.6%
30	Nuevo León	Guadalupe	2,544	0.6%	29.2%
31	Ciudad de México	Azcapotzalco	2,489	0.6%	29.8%
32	Baja California	Ensenada	2,423	0.6%	30.4%
33	Ciudad de México	Tlalpan	2,390	0.6%	31.0%
34	Coahuila	Torreón	2,360	0.6%	31.5%
35	México	Tlalnepantla de Baz	2,358	0.6%	32.1%
36	Sonora	Cajeme	2,301	0.6%	32.6%
37	Sinaloa	Ahome	2,231	0.5%	33.2%
38	Coahuila	Ramos Arizpe	2,161	0.5%	33.7%
39	Jalisco	El Salto	2,142	0.5%	34.2%
40	Yucatán	Mérida	2,091	0.5%	34.7%
41	Baja California Sur	La Paz	2,084	0.5%	35.2%
42	México	Naucalpan de Juárez	1,963	0.5%	35.7%
43	Ciudad de México	Venustiano Carranza	1,961	0.5%	36.1%
44	Ciudad de México	Miguel Hidalgo	1,938	0.5%	36.6%
45	Oaxaca	Salina Cruz	1,920	0.5%	37.1%
46	Ciudad de México	Álvaro Obregón	1,844	0.4%	37.5%
47	Hidalgo	Tula de Allende	1,804	0.4%	37.9%
48	Quintana Roo	Benito Juárez	1,789	0.4%	38.4%
49	Sinaloa	Mazatlán	1,783	0.4%	38.8%
50	Guerrero	Acapulco de Juárez	1,752	0.4%	39.2%
51	México	La Paz	1,741	0.4%	39.6%
52	Jalisco	Valle de Guadalupe	1,729	0.4%	40.0%
53	Guanajuato	Irapuato	1,713	0.4%	40.5%
54	Tamaulipas	Nuevo Laredo	1,661	0.4%	40.9%
55	Guanajuato	Celaya	1,657	0.4%	41.3%
56	Durango	Gómez Palacio	1,649	0.4%	41.6%
57	Ciudad de México	Iztacalco	1,632	0.4%	42.0%
58	Tabasco	Centro	1,600	0.4%	42.4%
59	Nuevo León	General Escobedo	1,598	0.4%	42.8%
60	Michoacán	Lázaro Cárdenas	1,571	0.4%	43.2%
61	Ciudad de México	Coyoacán	1,567	0.4%	43.6%

#	Estado	Municipio	Emisiones	Aporte porcentual [%]	
			[t/año]	Individual	Acumulado
62	Baja California	Playas de Rosarito	1,538	0.4%	43.9%
63	Jalisco	Zapotlán del Rey	1,520	0.4%	44.3%
64	Coahuila	Sierra Mojada	1,513	0.4%	44.6%
65	Veracruz	Coatzacoalcos	1,489	0.4%	45.0%
66	Jalisco	San Pedro Tlaquepaque	1,444	0.3%	45.4%
67	México	Nezahualcóyotl	1,442	0.3%	45.7%
68	Sonora	Nogales	1,419	0.3%	46.0%
69	Guanajuato	Salamanca	1,410	0.3%	46.4%
70	Veracruz	Veracruz	1,397	0.3%	46.7%
71	Nuevo León	Cadereyta Jiménez	1,386	0.3%	47.0%
72	México	Cuautitlán Izcalli	1,362	0.3%	47.4%
73	Sinaloa	Guasave	1,360	0.3%	47.7%
74	Jalisco	Tlajomulco de Zúñiga	1,328	0.3%	48.0%
75	Nayarit	Tepic	1,315	0.3%	48.3%
76	Ciudad de México	Xochimilco	1,297	0.3%	48.6%
77	Baja California Sur	Los Cabos	1,256	0.3%	48.9%
78	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	1,253	0.3%	49.2%
79	Ciudad de México	Benito Juárez	1,247	0.3%	49.5%
80	Ciudad de México	Milpa Alta	1,238	0.3%	49.8%
81	Ciudad de México	Tláhuac	1,223	0.3%	50.1%
Otros 2376 municipios			208,328	49.9%	100%

Una representación por municipio de los niveles de emisión de contaminantes tóxicos provenientes de COV en toneladas al año, se presenta en el Mapa 3.2, en donde los municipios con **color morado** son los mayores generadores de COV. Estos son: Tijuana, Juárez, Mexicali, Zapopan, Iztapalapa, Chihuahua, Reynosa, León, San Nicolás de los Garza, Querétaro, Monterrey, Guadalajara, San Luis Potosí, Puebla, Aguascalientes, Gustavo A. Madero, Culiacán y Hermosillo



Mapa 3.2. Emisiones tóxicas de COV antropogénicos por Municipio

5 Emisiones de las principales especies formadoras del forzante climático ozono

La base de datos del SPECIATE publicada por la EPA de los EE.UU., tiene identificados compuestos orgánicos volátiles como PAMS (Photochemical Assessment Monitoring Stations) los cuales son de utilidad para ubicar sitios y revisar estaciones de monitoreo para la evaluación fotoquímica. Para los fines de este inventario y poder identificar estos compuestos, nos fue de utilidad para establecer una base de datos más completa para evaluar y fortalecer la política de mejoramiento de la calidad del aire para el ozono y sus precursores. Además, los compuestos del PAMS, sirven para proporcionar una base de datos que ayudará a mejorar la operación de los modelos fotoquímicos, como parte esencial dentro de la gestión de la calidad del aire del país.

Como parte de este proyecto y utilizando la base de datos del SPECIATE, se identificaron y cuantificaron 56 compuestos PAMS o especies principales precursoras del forzante climático ozono, resultando que, en suma, anualmente se generan en el país 1.3 millones de toneladas de estos contaminantes, de los cuales, el Propano es el más abundante con una contribución de cerca del 18%, le sigue el N-butano con un poco más del 15% y el tolueno con el 12%. Ver Cuadro 5.1.

Cuadro 5.1 Emisiones de las Principales Especies Formadoras del Forzante Climático Ozono

#	Tipo de Contaminante	Emisiones	Aporte porcentual [%]	
		[t/año]	Individual	Acumulado
1	Propano	232,441	17.7%	17.7%
2	N-butano	197,929	15.1%	32.8%
3	Tolueno	157,637	12.0%	44.8%
4	Isobutano	119,403	9.1%	53.9%
5	N-heptano	101,786	7.8%	61.6%
6	Isopentano	49,857	3.8%	65.4%
7	Etileno	48,265	3.7%	69.1%
8	Formaldehído	41,821	3.2%	72.3%
9	Benceno	27,227	2.1%	74.4%
10	M & p-xileno	27,160	2.1%	76.4%
11	Metilciclohexano	23,975	1.8%	78.3%
12	N-pentano	23,058	1.8%	80.0%
13	O-xileno	22,922	1.7%	81.8%
14	Propileno	22,351	1.7%	83.5%
15	N-hexano	16,388	1.2%	84.7%
16	1,2,4-trimetilbenceno	15,483	1.2%	85.9%
17	Etilbenceno	14,275	1.1%	87.0%
18	Acetileno	13,522	1.0%	88.0%
19	2,2,4-trimetilpentano	12,937	1.0%	89.0%
20	N-nonano	12,466	0.9%	89.9%
	Otros 36 compuestos PAMS	132,120	10.1%	100.0%
	Total	1,313,023	100%	

5.1 Emisiones de COV por entidad de las principales especies formadoras del forzante climático ozono

De las 1.3 millones de toneladas de emisiones antropogénicas de las principales especies formadoras del forzante climático ozono que provienen de los COV, es el Estado de México con el 10.3% del aporte nacional, la entidad con mayor generación de emisiones. En orden de importancia le sigue la Ciudad de México con el 8.3%, Jalisco con el 7.4% y Nuevo León con el 5.5%. En suma, estas cuatro entidades junto con los estados de Veracruz, Guanajuato, Tamaulipas y Baja California, generan un poco más del 50% de los compuestos PAMS del país (Ver Cuadro 5.2).

Cuadro 5.2. Inventario de Emisiones por entidad de las principales especies formadoras del forzante climático ozono

#	Estado	Emisiones	Aporte porcentual	
		[t/año]	Individual	Acumulado
1	México	134,817	10.3%	10.3%
2	Ciudad de México	109,475	8.3%	18.6%
3	Jalisco	96,556	7.4%	26.0%
4	Nuevo León	72,739	5.5%	31.5%
5	Veracruz	66,323	5.1%	36.5%
6	Guanajuato	63,358	4.8%	41.4%
7	Tamaulipas	60,423	4.6%	46.0%
8	Baja California	60,161	4.6%	50.6%
9	Chihuahua	57,517	4.4%	54.9%
10	Puebla	54,784	4.2%	59.1%
11	Michoacán	54,115	4.1%	63.2%
12	Coahuila	42,807	3.3%	66.5%
13	Sonora	42,205	3.2%	69.7%
14	Sinaloa	37,552	2.9%	72.6%
15	Hidalgo	33,188	2.5%	75.1%
16	Chiapas	31,586	2.4%	77.5%
17	San Luis Potosí	31,303	2.4%	79.9%
18	Oaxaca	29,853	2.3%	82.2%
19	Guerrero	28,187	2.1%	84.3%
20	Querétaro	25,949	2.0%	86.3%
21	Durango	19,643	1.5%	87.8%
22	Yucatán	19,608	1.5%	89.3%
23	Morelos	18,938	1.4%	90.7%
24	Tabasco	18,389	1.4%	92.1%
25	Zacatecas	17,806	1.4%	93.5%

#	Estado	Emisiones	Aporte porcentual	
		[t/año]	Individual	Acumulado
26	Aguascalientes	17,131	1.3%	94.8%
27	Quintana Roo	13,081	1.0%	95.8%
28	Baja California Sur	12,974	1.0%	96.8%
29	Nayarit	12,054	0.9%	97.7%
30	Tlaxcala	12,017	0.9%	98.6%
31	Colima	10,012	0.8%	99.4%
32	Campeche	8,471	0.6%	100.0%
	Nacional	1,313,023	100%	

5.2 Emisiones de COV por municipio de las principales especies formadoras del forzante climático ozono

El análisis por municipio muestra que de los 1.3 millones de toneladas de emisiones antropogénicas de especies formadoras del forzador climático ozono, es en el municipio de Tijuana en donde se generan las mayores emisiones (28,343 t/año), dado que con respecto a las emisiones nacionales aporta el 2.2%; le siguen en orden de importancia Juárez con el 1.8%, Iztapalapa con el 1.6%, Mexicali con el 1.3% y León con el 1.2%. En suma, de los municipios de mayor emisión de contaminantes tóxicos, son 89 de los 2457 existentes los que generan el 50% de las emisiones nacionales de estos compuestos provenientes de los COV (Ver Cuadro 5.2).

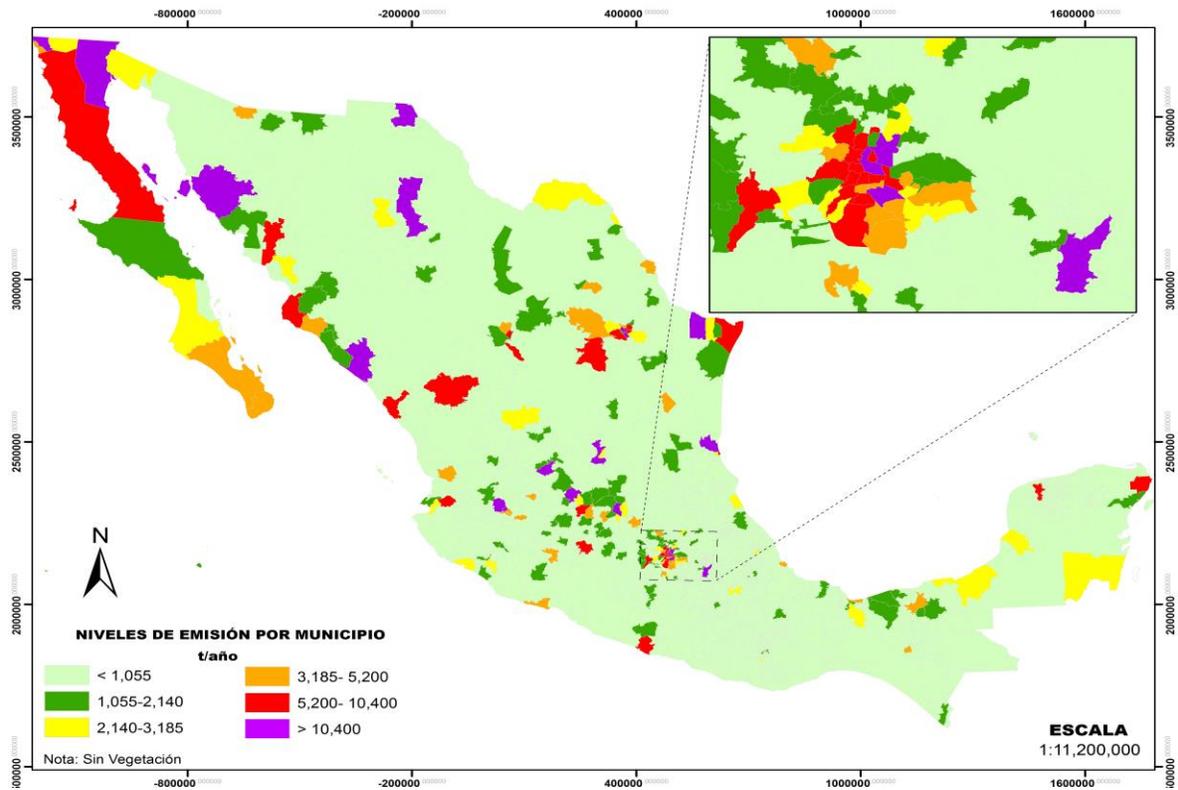
Cuadro 5.2 Inventario de Emisiones por municipio de las especies formadoras del forzador climático ozono

#	Estado	Municipio	Emisiones	Aporte porcentual	
			[t/año]	Individual	Acumulado
1	Baja California	Tijuana	28,343	2.2%	2.2%
2	Chihuahua	Juárez	23,175	1.8%	3.9%
3	Ciudad de México	Iztapalapa	19,392	1.5%	5.4%
4	Baja California	Mexicali	17,548	1.3%	6.7%
5	Guanajuato	León	16,144	1.2%	8.0%
6	Jalisco	Zapopan	14,665	1.1%	9.1%
7	Jalisco	Guadalajara	14,225	1.1%	10.2%
8	Puebla	Puebla	13,807	1.1%	11.2%
9	Nuevo León	Monterrey	13,503	1.0%	12.2%
10	Chihuahua	Chihuahua	13,081	1.0%	13.2%
11	Ciudad de México	Gustavo A. Madero	12,854	1.0%	14.2%
12	México	Ecatepec de Morelos	12,734	1.0%	15.2%
13	Tamaulipas	Reynosa	11,571	0.9%	16.1%
14	San Luis Potosí	San Luis Potosí	11,427	0.9%	16.9%

#	Estado	Municipio	Emisiones	Aporte porcentual	
			[t/año]	Individual	Acumulado
15	Sonora	Hermosillo	11,257	0.9%	17.8%
16	Querétaro	Querétaro	11,226	0.9%	18.7%
17	Sinaloa	Culiacán	10,661	0.8%	19.5%
18	Aguascalientes	Aguascalientes	10,626	0.8%	20.3%
19	Tamaulipas	Altamira	10,339	0.8%	21.1%
20	México	Toluca	9,108	0.7%	21.8%
21	Ciudad de México	Tlalpan	8,706	0.7%	22.4%
22	Michoacán	Morelia	8,667	0.7%	23.1%
23	México	Naucalpan de Juárez	8,621	0.7%	23.7%
24	Nuevo León	San Nicolás de los Garza	8,605	0.7%	24.4%
25	Nuevo León	Apodaca	8,510	0.6%	25.0%
26	Coahuila	Saltillo	8,234	0.6%	25.7%
27	Ciudad de México	Cuauhtémoc	8,208	0.6%	26.3%
28	México	Tlalnepantla de Baz	8,073	0.6%	26.9%
29	Tamaulipas	Matamoros	7,798	0.6%	27.5%
30	México	Nezahualcóyotl	7,745	0.6%	28.1%
31	Baja California	Ensenada	7,639	0.6%	28.7%
32	Nuevo León	Guadalupe	7,564	0.6%	29.2%
33	Yucatán	Mérida	7,479	0.6%	29.8%
34	Ciudad de México	Álvaro Obregón	7,394	0.6%	30.4%
35	Coahuila	Torreón	7,202	0.5%	30.9%
36	Ciudad de México	Coyoacán	6,439	0.5%	31.4%
37	Quintana Roo	Benito Juárez	6,340	0.5%	31.9%
38	Jalisco	San Pedro Tlaquepaque	6,231	0.5%	32.4%
39	Durango	Durango	6,219	0.5%	32.9%
40	Sonora	Cajeme	6,217	0.5%	33.3%
41	Tamaulipas	Ciudad Madero	6,155	0.5%	33.8%
42	Ciudad de México	Azcapotzalco	6,127	0.5%	34.3%
43	Ciudad de México	Venustiano Carranza	5,996	0.5%	34.7%
44	Sinaloa	Ahome	5,949	0.5%	35.2%
45	Ciudad de México	Miguel Hidalgo	5,881	0.4%	35.6%
46	México	Cuautitlán Izcalli	5,801	0.4%	36.1%
47	Sinaloa	Mazatlán	5,781	0.4%	36.5%
48	Nuevo León	Santa Catarina	5,755	0.4%	36.9%
49	Guerrero	Acapulco de Juárez	5,752	0.4%	37.4%
50	Guanajuato	Irapuato	5,472	0.4%	37.8%
51	México	Tultitlán	5,326	0.4%	38.2%
52	Ciudad de México	Iztacalco	5,199	0.4%	38.6%

#	Estado	Municipio	Emisiones	Aporte porcentual	
			[t/año]	Individual	Acumulado
53	Guanajuato	Celaya	5,197	0.4%	39.0%
54	Tabasco	Centro	5,050	0.4%	39.4%
55	Baja California Sur	La Paz	4,995	0.4%	39.8%
56	Ciudad de México	Benito Juárez	4,899	0.4%	40.1%
57	Tamaulipas	Nuevo Laredo	4,894	0.4%	40.5%
58	Ciudad de México	Xochimilco	4,741	0.4%	40.9%
59	Veracruz	Coatzacoalcos	4,610	0.4%	41.2%
60	Jalisco	Valle de Guadalupe	4,536	0.3%	41.6%
61	Veracruz	Veracruz	4,428	0.3%	41.9%
62	Sonora	Nogales	4,278	0.3%	42.2%
63	Nayarit	Tepic	4,248	0.3%	42.5%
64	Coahuila	Monclova	4,240	0.3%	42.9%
65	Nuevo León	General Escobedo	4,229	0.3%	43.2%
66	Baja California Sur	Los Cabos	4,132	0.3%	43.5%
67	Durango	Gómez Palacio	4,123	0.3%	43.8%
68	Guanajuato	Salamanca	4,095	0.3%	44.1%
69	Ciudad de México	Tláhuac	4,085	0.3%	44.4%
70	Coahuila	Ramos Arizpe	4,017	0.3%	44.7%
71	Querétaro	San Juan del Río	3,992	0.3%	45.1%
72	México	Atizapán de Zaragoza	3,968	0.3%	45.4%
73	Jalisco	Zapotlán del Rey	3,932	0.3%	45.7%
74	Jalisco	Tlajomulco de Zúñiga	3,908	0.3%	46.0%
75	México	Chimalhuacán	3,851	0.3%	46.2%
76	Hidalgo	Tula de Allende	3,821	0.3%	46.5%
77	Michoacán	Lázaro Cárdenas	3,798	0.3%	46.8%
78	Baja California	Playas de Rosarito	3,758	0.3%	47.1%
79	Jalisco	Tonalá	3,757	0.3%	47.4%
80	Ciudad de México	Milpa Alta	3,753	0.3%	47.7%
81	Sinaloa	Guasave	3,681	0.3%	48.0%
82	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3,672	0.3%	48.2%
83	Morelos	Cuernavaca	3,562	0.3%	48.5%
84	Tamaulipas	Victoria	3,393	0.3%	48.8%
85	México	Ixtapaluca	3,234	0.2%	49.0%
86	Jalisco	El Salto	3,233	0.2%	49.3%
87	Michoacán	Uruapan	3,189	0.2%	49.5%
88	Veracruz	Xalapa	3,181	0.2%	49.8%
89	Oaxaca	Salina Cruz	3,079	0.2%	50.0%
	Otros 2368		656,696	50.0%	100.0%
	Total		1,313,023	100%	

Una representación por municipio de los niveles de emisión de contaminantes tóxicos provenientes de COV en toneladas al año, se presenta en el Mapa 5.1, en donde los municipios con **color morado** son los mayores generadores de estos contaminantes y en orden de importancia son: Tijuana, Juárez, Iztapalapa, Mexicali, León, Zapopan, Guadalajara, Puebla, Monterrey, Chihuahua, Gustavo A. Madero, Ecatepec de Morelos, Reynosa, San Luis Potosí, Hermosillo, Querétaro, Culiacán y Aguascalientes.



Mapa 5.1. Emisiones antropogénicas de COV por Municipio de las principales especies formadoras del forzante climático ozono

Para una mejor visualización de las áreas de generación de emisiones de los mapas, se anexan de forma magnética al presente documento, los archivos en formato pdf, jpeg y los archivos relacionados con el formato para sistemas de información geográfica shape file.

6 Potencial de emisiones de ozono con base al Índice de Reactividad Incremental de cada especie

En México se generan y emiten a la atmósfera una gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles (VOC), donde sus reacciones en fase gaseosa en presencia de energía solar y de óxidos de nitrógeno (NOx) participan en la formación de ozono troposférico, que es un problema de mala calidad del aire de varias regiones del país, como lo son las Zonas Metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Toluca.

Cada especie de los COV difiere en su efecto sobre la formación de ozono troposférico. Para fines de cuantificación, se utilizó la escala de reactividad incremental máxima (MIR por sus siglas en inglés) desarrollada por William P. L., la cual refleja condiciones de concentraciones relativamente altas de NOx y donde la formación de ozono es más sensible a las emisiones de COV, por lo que la escala del MIR refleja condiciones donde el control de las emisiones de VOC es más efectivo para reducir la generación de ozono y es el que más ampliamente se utiliza en la evaluación de reactividad de compuestos orgánicos y su reglamentación.

Cuadro 6.1 Escalas MIR con el mejor valor desarrollada por William P. L

Compuestos con los valores más altos	MIR (gO ₃ / gCOV)	Compuestos con los valores más bajos	MIR (gO ₃ / gCOV)
2,3-butanedione	20.09	Propano	0.49
2,4-dimetil-furano	19.14	Isómeros de pentadecano	0.48
Carbaryl	19.14	C16 Alcano ramificado	0.47
Metilgloxal	16.56	Hexadecano	0.45
2-butyne	16.32	Isómeros de heptadecano	0.44
Metacrilato de metilo	15.61	Heptadecano	0.42
Trans-2-buteno	15.16	Isómeros de octadecano	0.41
Cis-2-buteno	14.24	Alcohol terc-butílico	0.41
2-metil-2-buteno	14.08	Octadecano	0.40
Pentylidenecyclohexane	13.54	Nonadecano	0.38
2,3-dihidrofurano	13.54	Acetona	0.36
Dimetiloctina	13.54	Clorobenceno	0.32
Piperileno	13.54	Óxido de propileno	0.29
Anhídrido maleico	13.54	1,2-dicloropropano	0.29
Divinil benceno	13.54	Cloruro de etilo	0.29
2-Decenal	13.10	Ethane	0.28
2-undecenal	13.10	Disulfuro de carbono	0.25
Myrcene	12.82	Dicloruro de etileno	0.21
B-felandreno	12.82	P-diclorobenceno	0.18
Cariofileno	12.82	O-diclorobenceno	0.18

Compuestos con los valores más altos	MIR (gO ₃ / gCOV)	Compuestos con los valores más bajos	MIR (gO ₃ / gCOV)
Gamma-Terpinene	12.82	1,3-diclorobenceno	0.18
Diciclopentadieno	12.82	Diclorobenceno	0.18
1,3-butadieno	12.61	Dibromuro de etileno	0.10
Glyoxal	12.50	1,1,2-tricloroetano	0.09
1-metilciclopenteno	12.49	Acetato de metilo	0.07
Isómeros de buteno	12.44	Ácido fórmico	0.07
1,2,3-trimetilbenceno	11.97	Formiato de metilo	0.06
1,3,5-trimetilbenceno	11.76	Nitrobenceno	0.06
Propileno	11.66	Diclorometano	0.04
Acrilato de metilo	11.48	Óxido de etileno	0.04
Ácido acrílico	11.38	Cloruro de metilo	0.04
2-metil-2-penteno	11.00	Percloroetileno	0.03
Trimetilbencenos	10.87	Cloroformo	0.02
Isopreno	10.61	Bromuro de metilo	0.02

Los resultados de la aplicación del MIR a cada especie de COV y considerando que en todo momento se tiene una atmósfera saturada de óxidos de nitrógeno (NOx) y energía solar suficiente para que se forme el ozono, nos indican que los más de 2.26 millones de toneladas de emisiones antropogénicas de COV que se generan en el país, tienen un potencial máximo de generación de ozono de un poco más de 6 millones de toneladas. De estas emisiones, el mayor precursor es el Tolueno que aporta el 10.5%, le sigue en orden de importancia el Etileno con el 7.2% y el formaldehído con el 6.6%; en suma, son 11 compuestos los que generan casi el 50% del ozono. Ver Cuadro 6.2.

Cuadro 6.2 Potencial en la generación de ozono por compuesto o contaminante

#	Tipo de Contaminante	Emisiones	Aporte porcentual	
		[t/año]	Individual	Acumulado
1	Tolueno	631,291	10.5%	10.5%
2	Etileno	434,148	7.2%	17.7%
3	Formaldehído	395,457	6.6%	24.3%
4	Propileno	260,716	4.3%	28.6%
5	Dietilenglicol	238,493	4.0%	32.6%
6	N-butano	227,822	3.8%	36.4%
7	M & p-xileno	211,743	3.5%	39.9%
8	O-xileno	175,127	2.9%	42.8%
9	Isobutano	146,868	2.4%	45.2%
10	P-xileno	140,829	2.3%	47.6%
11	1,2,4-trimetilbenceno	137,368	2.3%	49.8%
	Otros	3,018,252	50.2%	100.0%

6.1 Potencial de generación del forzante climático ozono por entidad

Las emisiones anuales de los COV tienen un potencial máximo para formar 6,018,114 toneladas del forzante climático ozono, y es el Estado de México con el 9.4%, la entidad con mayor aporte nacional de precursores de este contaminante. Le sigue en orden de importancia la Ciudad de México con el 8.0% y Jalisco con el 7.4%. En suma, estas tres entidades junto con los estados de Nuevo León, Veracruz, Guanajuato, Tamaulipas y Chihuahua contribuyen con cerca del 50% del aporte Nacional (Ver Cuadro 6.3).

Cuadro 6.3 Inventario del Potencial de Generación del forzante climático ozono

#	Estado	Emisiones	Aporte porcentual	
		[t/año]	Individual	Acumulado
1	México	568,645	9.4%	9.4%
2	Ciudad de México	480,771	8.0%	17.4%
3	Jalisco	446,265	7.4%	24.9%
4	Nuevo León	334,708	5.6%	30.4%
5	Veracruz	302,236	5.0%	35.4%
6	Guanajuato	281,837	4.7%	40.1%
7	Tamaulipas	281,055	4.7%	44.8%
8	Chihuahua	271,460	4.5%	49.3%
9	Baja California	271,291	4.5%	53.8%
10	Michoacán	244,286	4.1%	57.9%
11	Puebla	237,487	3.9%	61.8%
12	Coahuila	222,214	3.7%	65.5%
13	Sonora	200,461	3.3%	68.8%
14	Sinaloa	184,191	3.1%	71.9%
15	Chiapas	153,894	2.6%	74.5%
16	Hidalgo	148,798	2.5%	76.9%
17	Oaxaca	145,138	2.4%	79.3%
18	Guerrero	144,278	2.4%	81.7%
19	San Luis Potosí	134,984	2.2%	84.0%
20	Querétaro	111,268	1.8%	85.8%
21	Aguascalientes	110,054	1.8%	87.7%
22	Durango	96,792	1.6%	89.3%
23	Tabasco	86,767	1.4%	90.7%
24	Yucatán	85,429	1.4%	92.1%
25	Morelos	80,556	1.3%	93.5%
26	Zacatecas	79,397	1.3%	94.8%

#	Estado	Emisiones	Aporte porcentual	
		[t/año]	Individual	Acumulado
27	Baja California Sur	62,706	1.0%	95.8%
28	Quintana Roo	61,547	1.0%	96.8%
29	Nayarit	53,866	0.9%	97.7%
30	Tlaxcala	53,127	0.9%	98.6%
31	Campeche	41,457	0.7%	99.3%
32	Colima	41,149	0.7%	100.0%
	Nacional	6,018,114	100%	

6.2 Potencial del forzante climático ozono por municipio

El análisis por municipio muestra que de las **6,018,114** toneladas como máximo potenciales de formación de ozono, es en el municipio de Tijuana donde se generan los precursores con el mayor potencial de formación de ozono (121,523 t/año), dado que con respecto al total nacional aporta el 2%. En orden de importancia le siguen Juárez, Mexicali, Iztapalapa y Aguascalientes con el 1.7%, 1.4%, 1.4% y 1.3% respectivamente; los municipios de Saltillo, Zapopan, León y Guadalajara con el 1.1% cada uno. En suma, de los municipios de mayor aporte del forzador climático ozono, es en 93 de los 2457 municipios existentes, donde se genera un poco más del 50% de los compuestos formadores de forzante climático ozono. Ver Cuadro 6.4.

Cuadro 6.4 Inventario de Emisiones por municipio del potencial de generación del forzador climático ozono

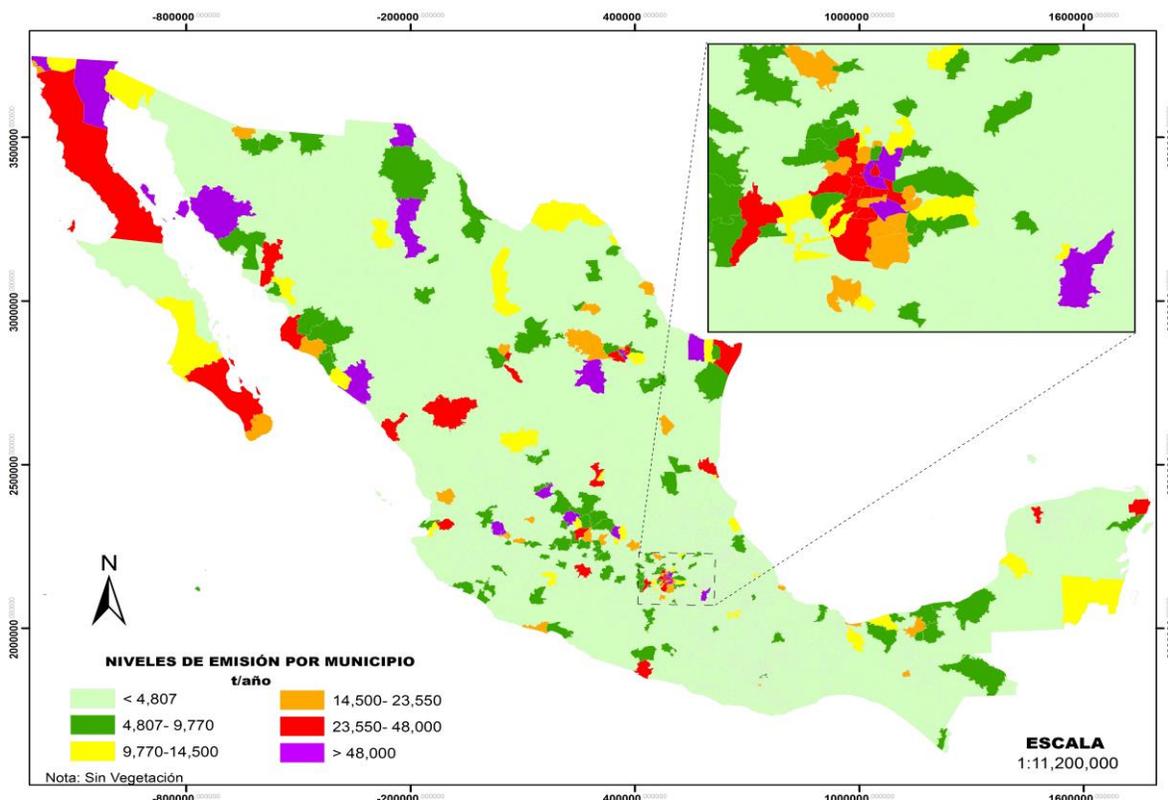
#	Estado	Municipio	MPFO ₃	Aporte porcentual	
			[t/año]	Individual	Acumulado
1	Baja California	Tijuana	121,523	2.0%	2.0%
2	Chihuahua	Juárez	100,033	1.7%	3.7%
3	Baja California	Mexicali	86,678	1.4%	5.1%
4	Ciudad de México	Iztapalapa	85,165	1.4%	6.5%
5	Aguascalientes	Aguascalientes	78,496	1.3%	7.8%
6	Coahuila	Saltillo	64,829	1.1%	8.9%
7	Jalisco	Zapopan	64,313	1.1%	10.0%
8	Guanajuato	León	64,127	1.1%	11.1%
9	Jalisco	Guadalajara	63,887	1.1%	12.1%
10	Nuevo León	Monterrey	59,290	1.0%	13.1%
11	Chihuahua	Chihuahua	56,979	0.9%	14.0%
12	Puebla	Puebla	55,827	0.9%	15.0%
13	Ciudad de México	Gustavo A. Madero	54,409	0.9%	15.9%
14	Tamaulipas	Reynosa	52,644	0.9%	16.8%
15	Sonora	Hermosillo	49,376	0.8%	17.6%

#	Estado	Municipio	MPFO ₃	Aporte porcentual	
			[t/año]	Individual	Acumulado
16	Sinaloa	Culiacán	49,333	0.8%	18.4%
17	Querétaro	Querétaro	49,325	0.8%	19.2%
18	México	Ecatepec de Morelos	48,014	0.8%	20.0%
19	San Luis Potosí	San Luis Potosí	47,978	0.8%	20.8%
20	Tamaulipas	Altamira	45,869	0.8%	21.6%
21	Nuevo León	San Nicolás de los Garza	45,530	0.8%	22.3%
22	Ciudad de México	Cuauhtémoc	40,502	0.7%	23.0%
23	México	Toluca	40,223	0.7%	23.7%
24	Nuevo León	Apodaca	38,559	0.6%	24.3%
25	Tamaulipas	Matamoros	37,517	0.6%	24.9%
26	Ciudad de México	Tlalpan	37,375	0.6%	25.6%
27	Michoacán	Morelia	37,039	0.6%	26.2%
28	México	Naucalpan de Juárez	36,437	0.6%	26.8%
29	Baja California	Ensenada	34,010	0.6%	27.3%
30	Nuevo León	Guadalupe	33,638	0.6%	27.9%
31	Ciudad de México	Venustiano Carranza	33,403	0.6%	28.5%
32	México	Tlalnepantla de Baz	32,935	0.5%	29.0%
33	Durango	Durango	32,673	0.5%	29.5%
34	Yucatán	Mérida	31,689	0.5%	30.1%
35	Coahuila	Torreón	31,622	0.5%	30.6%
36	Quintana Roo	Benito Juárez	31,287	0.5%	31.1%
37	Sinaloa	Ahome	31,077	0.5%	31.6%
38	Ciudad de México	Álvaro Obregón	30,076	0.5%	32.1%
39	Ciudad de México	Azcapotzalco	29,838	0.5%	32.6%
40	Sonora	Cajeme	28,679	0.5%	33.1%
41	Guerrero	Acapulco de Juárez	28,159	0.5%	33.6%
42	México	Nezahualcóyotl	28,104	0.5%	34.0%
43	Tamaulipas	Ciudad Madero	25,446	0.4%	34.5%
44	Jalisco	San Pedro Tlaquepaque	25,357	0.4%	34.9%
45	Ciudad de México	Coyoacán	25,220	0.4%	35.3%
46	Nuevo León	Santa Catarina	24,915	0.4%	35.7%
47	Ciudad de México	Miguel Hidalgo	24,484	0.4%	36.1%
48	Guanajuato	Irapuato	24,187	0.4%	36.5%
49	Sinaloa	Mazatlán	23,754	0.4%	36.9%
50	Baja California Sur	La Paz	23,575	0.4%	37.3%
51	México	Cuautitlán Izcalli	23,570	0.4%	37.7%
52	Tabasco	Centro	23,524	0.4%	38.1%
53	México	Tultitlán	23,117	0.4%	38.5%
54	Guanajuato	Celaya	22,608	0.4%	38.9%
55	Ciudad de México	Iztacalco	21,830	0.4%	39.2%

#	Estado	Municipio	MPFO ₃	Aporte porcentual	
			[t/año]	Individual	Acumulado
56	Tamaulipas	Nuevo Laredo	21,616	0.4%	39.6%
57	Sinaloa	Guasave	21,211	0.4%	39.9%
58	Coahuila	Ramos Arizpe	21,158	0.4%	40.3%
59	Jalisco	Tlajomulco de Zúñiga	20,892	0.3%	40.6%
60	Hidalgo	Tula de Allende	20,872	0.3%	41.0%
61	Jalisco	El Salto	20,631	0.3%	41.3%
62	Nuevo León	General Escobedo	20,456	0.3%	41.7%
63	Veracruz	Veracruz	19,950	0.3%	42.0%
64	Guanajuato	Salamanca	19,934	0.3%	42.3%
65	Ciudad de México	Xochimilco	19,886	0.3%	42.6%
66	Ciudad de México	Benito Juárez	19,267	0.3%	43.0%
67	Durango	Gómez Palacio	19,222	0.3%	43.3%
68	Baja California Sur	Los Cabos	19,093	0.3%	43.6%
69	Nayarit	Tepic	18,207	0.3%	43.9%
70	Sonora	Nogales	17,776	0.3%	44.2%
71	Ciudad de México	Tláhuac	17,767	0.3%	44.5%
72	Ciudad de México	Milpa Alta	17,575	0.3%	44.8%
73	Baja California	Playas de Rosarito	17,281	0.3%	45.1%
74	Veracruz	Coatzacoalcos	17,068	0.3%	45.4%
75	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16,639	0.3%	45.6%
76	Jalisco	Valle de Guadalupe	16,307	0.3%	45.9%
77	Oaxaca	Salina Cruz	15,918	0.3%	46.2%
78	Michoacán	Lázaro Cárdenas	15,894	0.3%	46.4%
79	Coahuila	Monclova	15,765	0.3%	46.7%
80	Jalisco	Tonalá	15,632	0.3%	47.0%
81	México	La Paz	15,401	0.3%	47.2%
82	Tamaulipas	Victoria	15,336	0.3%	47.5%
83	Querétaro	San Juan del Río	15,269	0.3%	47.7%
84	México	Atizapán de Zaragoza	15,200	0.3%	48.0%
85	México	Chimalhuacán	14,972	0.2%	48.2%
86	Jalisco	Zapotlán del Rey	14,951	0.2%	48.5%
87	Morelos	Cuernavaca	14,503	0.2%	48.7%
88	Veracruz	Xalapa	14,161	0.2%	48.9%
89	Michoacán	Uruapan	13,443	0.2%	49.2%
90	Jalisco	Puerto Vallarta	13,418	0.2%	49.4%
91	Sonora	Navojoa	13,411	0.2%	49.6%
92	Veracruz	Minatitlán	13,345	0.2%	49.8%
93	Baja California Sur	Comondú	13,030	0.2%	50.1%
	Otros 2,364 municipios		3,005,608	49.9%	100%

PMFO₃. Potencial Máximo de Formación de Ozono

Una representación por municipio de los niveles máximos de formación de ozono, se presenta en el Mapa 6.1, en donde los municipios con **color morado** son los que aportan los precursores con mayor potencial de generación de ozono. En orden de importancia son: Tijuana, Juárez, Mexicali, Iztapalapa, Aguascalientes, Saltillo, Zapopan, León, Guadalajara, Monterrey, Chihuahua, Puebla, Gustavo A. Madero, Reynosa, Hermosillo, Culiacán, Querétaro y Ecatepec de Morelos.



Mapa 6.1. Potencial del forzante climático ozono por Municipio

Para una mejor visualización de las áreas de generación de emisiones de los mapas, se anexan de forma magnética al presente documento, los archivos en formato pdf, jpeg y los archivos relacionados con el formato para sistemas de información geográfica (shape file).

7 Zonas críticas de mayor emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles

Para identificar las zonas o áreas críticas del país, donde se generan las mayores emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), se procedió a realizar un análisis de la contribución diaria por municipio, resultando que hay 123 municipios que generan, cada uno, desde 10 toneladas, hasta un poco más de 126 toneladas de COV al día. En el municipio de Tijuana es donde se generan más emisiones (126.3 t/día), le siguen el municipio de Juárez e Iztapalapa con casi 106 t/día y 91 t/día respectivamente. En suma, estos 123 municipios que generan las mayores emisiones de COV, contribuyen con un poco más del 57% de las emisiones nacionales de estos contaminantes. Ver Cuadro 7.1.

Cuadro 7.1. Contribución de emisiones de los 123 municipios con mayor generación de COV

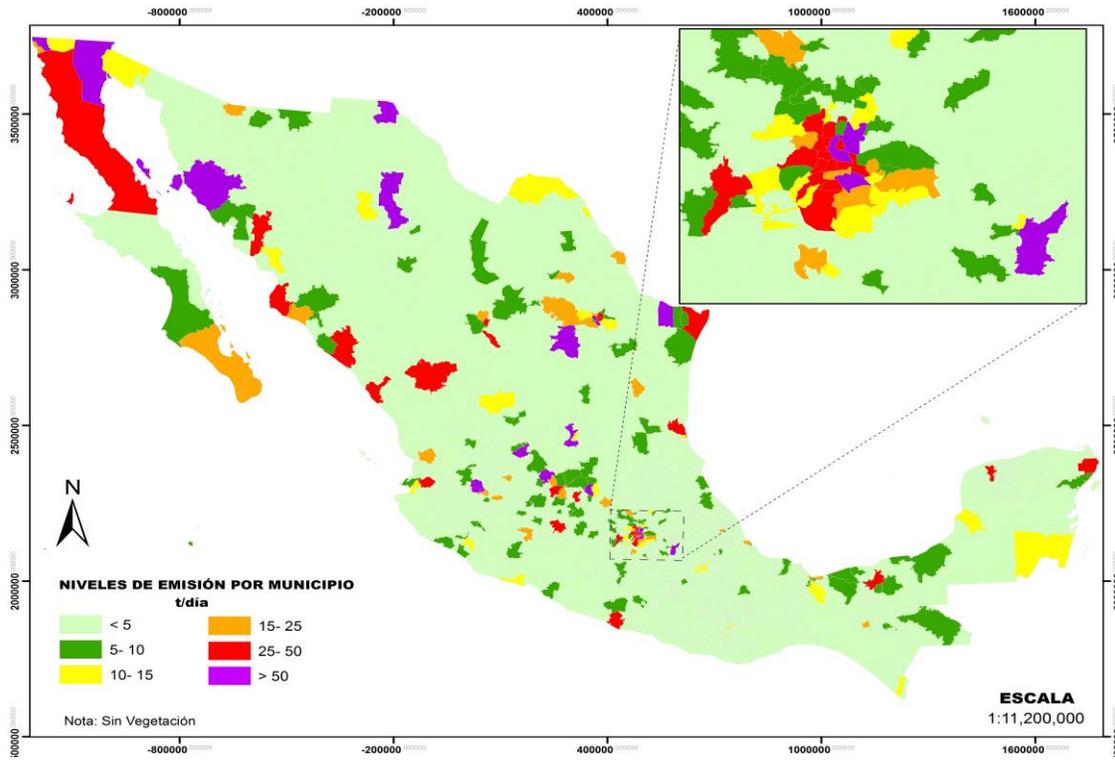
#	Entidad	Municipio	COV	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
1	Baja California	Tijuana	126.3	2.0%	2.0%
2	Chihuahua	Juárez	105.7	1.7%	3.7%
3	Ciudad de México	Iztapalapa	91.0	1.5%	5.2%
4	Aguascalientes	Aguascalientes	88.8	1.4%	6.6%
5	Baja California	Mexicali	81.2	1.3%	7.9%
6	Guanajuato	León	77.1	1.2%	9.2%
7	Coahuila	Saltillo	74.0	1.2%	10.4%
8	Puebla	Puebla	68.8	1.1%	11.5%
9	Jalisco	Guadalajara	68.5	1.1%	12.6%
10	Jalisco	Zapopan	67.8	1.1%	13.7%
11	Nuevo León	Monterrey	64.0	1.0%	14.7%
12	México	Ecatepec de Morelos	61.3	1.0%	15.7%
13	Chihuahua	Chihuahua	59.9	1.0%	16.6%
14	Ciudad de México	Gustavo A. Madero	58.8	0.9%	17.6%
15	San Luis Potosí	San Luis Potosí	54.7	0.9%	18.5%
16	Querétaro	Querétaro	53.5	0.9%	19.3%
17	Tamaulipas	Reynosa	53.2	0.9%	20.2%
18	Sonora	Hermosillo	52.6	0.8%	21.0%
19	Sinaloa	Culiacán	48.4	0.8%	21.8%
20	Tamaulipas	Altamira	48.1	0.8%	22.6%
21	México	Toluca	47.8	0.8%	23.3%
22	Ciudad de México	Cuauhtémoc	46.5	0.7%	24.1%
23	Nuevo León	Apodaca	42.1	0.7%	24.8%
24	México	Naucalpan de Juárez	40.0	0.6%	25.4%
25	Tamaulipas	Matamoros	39.3	0.6%	26.0%
26	Michoacán	Morelia	38.9	0.6%	26.7%

#	Entidad	Municipio	COV	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
27	México	Tlalnepantla de Baz	38.9	0.6%	27.3%
28	México	Nezahualcóyotl	37.5	0.6%	27.9%
29	Nuevo León	Guadalupe	37.1	0.6%	28.5%
30	Ciudad de México	Tlalpan	36.5	0.6%	29.1%
31	Yucatán	Mérida	36.4	0.6%	29.7%
32	Nuevo León	San Nicolás de los Garza	35.1	0.6%	30.2%
33	Coahuila	Torreón	34.6	0.6%	30.8%
34	Durango	Durango	34.0	0.5%	31.3%
35	Baja California	Ensenada	33.1	0.5%	31.9%
36	Ciudad de México	Álvaro Obregón	32.4	0.5%	32.4%
37	Ciudad de México	Azcapotzalco	31.6	0.5%	32.9%
38	Quintana Roo	Benito Juárez	30.6	0.5%	33.4%
39	Guerrero	Acapulco de Juárez	30.3	0.5%	33.9%
40	Ciudad de México	Coyoacán	28.4	0.5%	34.3%
41	Jalisco	San Pedro Tlaquepaque	28.4	0.5%	34.8%
42	Sonora	Cajeme	28.3	0.5%	35.3%
43	Ciudad de México	Venustiano Carranza	28.2	0.5%	35.7%
44	Sinaloa	Ahome	27.3	0.4%	36.1%
45	Ciudad de México	Miguel Hidalgo	26.9	0.4%	36.6%
46	México	Cuautitlán Izcalli	26.7	0.4%	37.0%
47	Guanajuato	Irapuato	26.6	0.4%	37.4%
48	Guanajuato	Celaya	25.9	0.4%	37.9%
49	México	Tultitlán	25.8	0.4%	38.3%
50	Tabasco	Centro	25.3	0.4%	38.7%
51	Sinaloa	Mazatlán	25.0	0.4%	39.1%
52	Jalisco	Tlajomulco de Zúñiga	23.9	0.4%	39.5%
53	Nuevo León	Santa Catarina	23.8	0.4%	39.8%
54	Ciudad de México	Iztacalco	23.8	0.4%	40.2%
55	Tamaulipas	Ciudad Madero	23.6	0.4%	40.6%
56	Veracruz	Veracruz	23.4	0.4%	41.0%
57	Nuevo León	General Escobedo	22.7	0.4%	41.3%
58	Ciudad de México	Benito Juárez	22.6	0.4%	41.7%
59	Tamaulipas	Nuevo Laredo	22.2	0.4%	42.1%
60	Jalisco	Valle de Guadalupe	21.0	0.3%	42.4%
61	Ciudad de México	Xochimilco	20.5	0.3%	42.7%
62	Durango	Gómez Palacio	20.3	0.3%	43.1%
63	Nayarit	Tepic	20.1	0.3%	43.4%
64	México	Chimalhuacán	19.8	0.3%	43.7%
65	Veracruz	Coatzacoalcos	19.6	0.3%	44.0%

#	Entidad	Municipio	COV	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
66	Sonora	Nogales	19.6	0.3%	44.3%
67	Baja California Sur	La Paz	19.3	0.3%	44.6%
68	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	19.0	0.3%	45.0%
69	Ciudad de México	Tláhuac	18.7	0.3%	45.3%
70	Querétaro	San Juan del Río	18.7	0.3%	45.6%
71	México	Atizapán de Zaragoza	18.4	0.3%	45.8%
72	Coahuila	Ramos Arizpe	18.4	0.3%	46.1%
73	Jalisco	Zapotlán del Rey	18.3	0.3%	46.4%
74	Guanajuato	Salamanca	17.5	0.3%	46.7%
75	Baja California Sur	Los Cabos	17.5	0.3%	47.0%
76	Coahuila	Monclova	17.4	0.3%	47.3%
77	Hidalgo	Tula de Allende	17.4	0.3%	47.6%
78	Morelos	Cuernavaca	17.4	0.3%	47.8%
79	Jalisco	Tonalá	17.2	0.3%	48.1%
80	Sinaloa	Guasave	17.2	0.3%	48.4%
81	Veracruz	Xalapa	16.9	0.3%	48.7%
82	Tamaulipas	Victoria	16.1	0.3%	48.9%
83	México	Ixtapaluca	15.4	0.2%	49.2%
84	Guanajuato	Silao de la Victoria	15.3	0.2%	49.4%
85	Jalisco	El Salto	15.1	0.2%	49.7%
86	Baja California	Playas de Rosarito	15.1	0.2%	49.9%
87	Michoacán	Uruapan	15.1	0.2%	50.1%
88	México	La Paz	14.7	0.2%	50.4%
89	Michoacán	Lázaro Cárdenas	14.4	0.2%	50.6%
90	Ciudad de México	Milpa Alta	14.3	0.2%	50.8%
91	Tamaulipas	Tampico	13.5	0.2%	51.1%
92	México	Tecámac	13.3	0.2%	51.3%
93	Jalisco	Puerto Vallarta	13.3	0.2%	51.5%
94	Morelos	Jiutepec	13.3	0.2%	51.7%
95	Sonora	Navojoa	13.1	0.2%	51.9%
96	Puebla	Cuatlancingo	13.0	0.2%	52.1%
97	Puebla	Tehuacán	13.0	0.2%	52.3%
98	Coahuila	Acuña	12.9	0.2%	52.5%
99	Campeche	Campeche	12.5	0.2%	52.7%
100	Hidalgo	Pachuca de Soto	12.4	0.2%	52.9%
101	Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	12.3	0.2%	53.1%
102	Coahuila	Piedras Negras	11.9	0.2%	53.3%
103	México	Nicolás Romero	11.9	0.2%	53.5%
104	México	Lerma	11.8	0.2%	53.7%

#	Entidad	Municipio	COV	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
105	Veracruz	Minatitlán	11.7	0.2%	53.9%
106	Baja California	Tecate	11.6	0.2%	54.1%
107	Querétaro	El Marqués	11.5	0.2%	54.3%
108	Ciudad de México	La Magdalena Contreras	11.5	0.2%	54.5%
109	Zacatecas	Fresnillo	11.3	0.2%	54.6%
110	México	Valle de Chalco Solidaridad	11.3	0.2%	54.8%
111	San Luis Potosí	Soledad de Graciano Sánchez	11.2	0.2%	55.0%
112	Nuevo León	Juárez	10.8	0.2%	55.2%
113	Chihuahua	Cuauhtémoc	10.8	0.2%	55.4%
114	México	Chalco	10.8	0.2%	55.5%
115	Chiapas	Tapachula	10.6	0.2%	55.7%
116	Oaxaca	Salina Cruz	10.4	0.2%	55.9%
117	Oaxaca	Oaxaca de Juárez	10.4	0.2%	56.0%
118	Sonora	San Luis Río Colorado	10.3	0.2%	56.2%
119	México	Cuautitlán	10.2	0.2%	56.4%
120	Nuevo León	García	10.1	0.2%	56.5%
121	Colima	Colima	10.1	0.2%	56.7%
122	México	Tianguistenco	10.1	0.2%	56.8%
123	Nuevo León	Cadereyta Jiménez	10.0	0.2%	57.0%

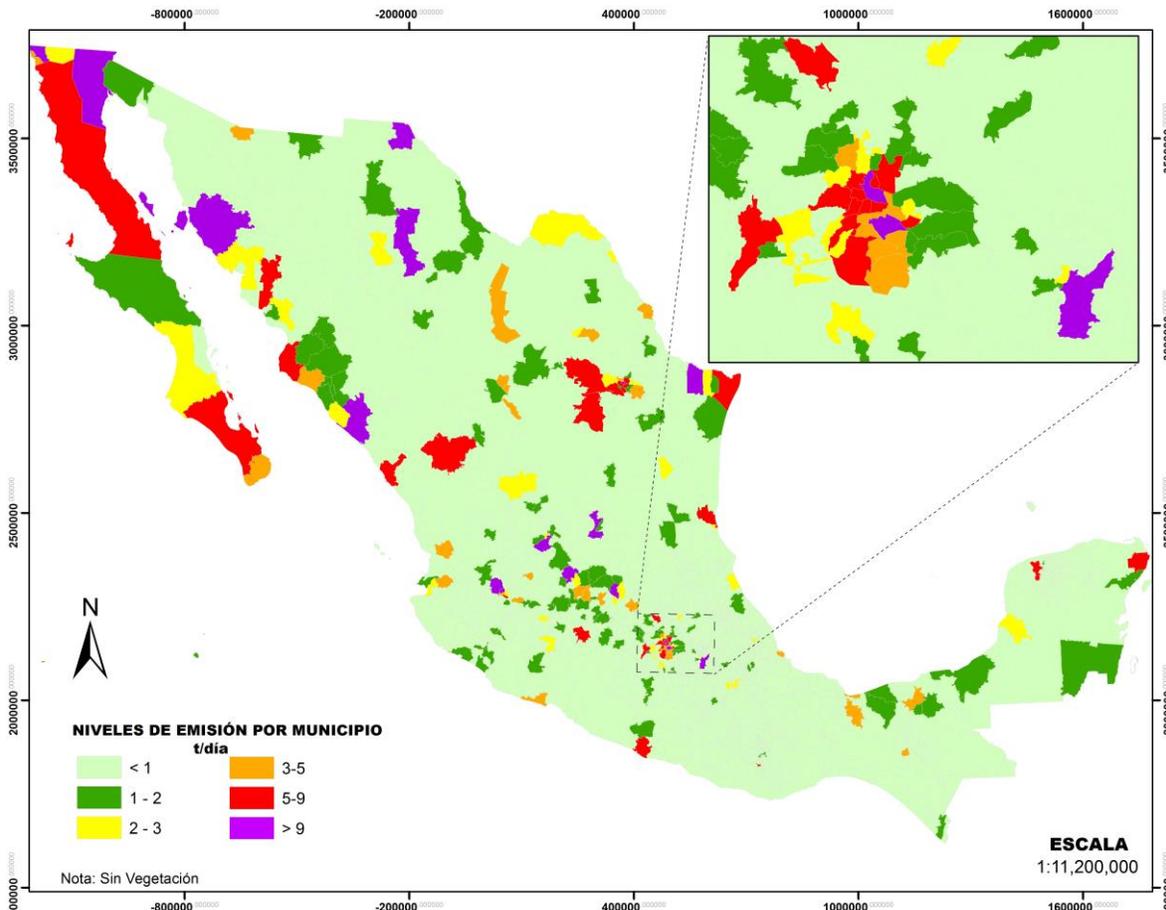
En una representación esquemática, los 123 municipios que generan 10 o más toneladas al día, se identifican en el Mapa 7.1, con los colores **morado**, **rojo**, **anaranjado** y **amarillo**.



Mapa 7.1 Emisiones antropogénicas de COV por Municipio

Los efectos agudos por la exposición de los compuestos orgánicos volátiles (COV) en la salud humana, incluyen daño sobre el sistema nervioso central, irritación de ojos, nariz y garganta, etc. mientras que los efectos crónicos incluyen distintos tipos de tumores, lesiones del sistema nervioso, lesiones en riñón, hígado, corazón, anemia, leucemia, etc.

Con la finalidad de reducir los daños a la salud, mediante la reducción de las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles, parte importante de este proyecto fue la estimación másica por especie de las emisiones de los COV que se emiten al aire y la selección de los compuestos tóxicos que mayor impacto tienen en la salud humana. El aporte másico de estos contaminantes se presenta de manera esquemática en el Mapa 7.2, donde 123 municipios generan 2 o más toneladas al día de compuestos tóxicos y estos se identifican con los colores **morado** (≥ 9 t/día), **rojo** (5-9 t/día), **anaranjado** (3-5 t/día) y **amarillo** (2-3 t/día).



Mapa 7.2 Emisiones antropogénicas de compuestos tóxicos por Municipio

Referente a los 123 municipios que son los mayores emisores de COV, la mayoría de ellos (112) también son los mayores emisores de compuestos tóxicos. Tijuana y Mexicali son el primero y el segundo municipio con mayores emisiones de COV y de Tóxicos. No así la delegación Iztapalapa que es el tercer mayor generador de COV, pero el quinto mayor generador de contaminantes tóxicos. Ver cuadros 7.1 y 7.2.

Cuadro 7.2 Contribución de emisiones de los 123 municipio con mayor generación de contaminantes tóxicos

No.	Entidad	Municipio	COV Tóxicos	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
1	Baja California	Tijuana	25.4	2.2%	2.2%
2	Chihuahua	Juárez	23.4	2.0%	4.3%
3	Baja California	Mexicali	18.4	1.6%	5.9%
4	Jalisco	Zapopan	15.0	1.3%	7.2%
5	Ciudad de México	Iztapalapa	14.4	1.3%	8.4%
6	Chihuahua	Chihuahua	13.3	1.2%	9.6%
7	Tamaulipas	Reynosa	13.2	1.2%	10.8%

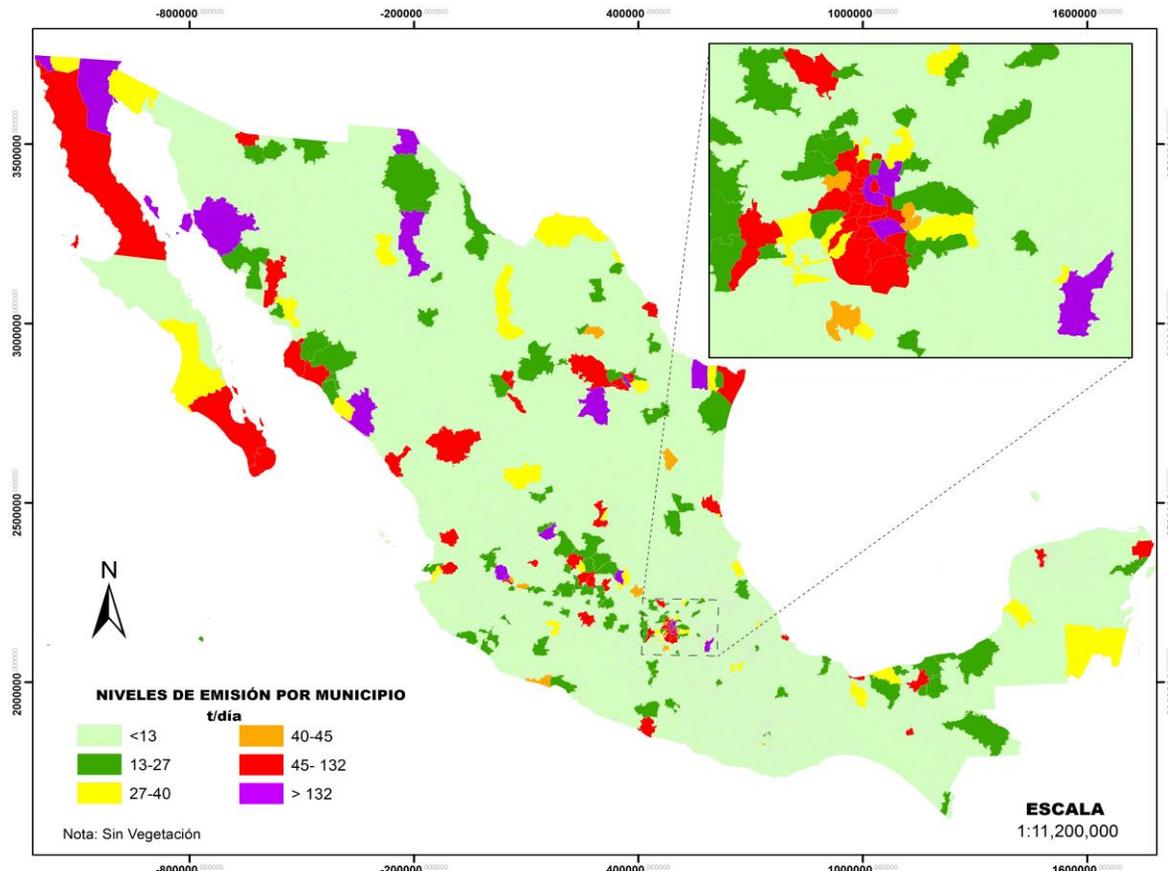
No.	Entidad	Municipio	COV Tóxicos	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
8	Guanajuato	León	12.7	1.1%	11.9%
9	Nuevo León	San Nicolás de los Garza	12.4	1.1%	13.0%
10	Querétaro	Querétaro	11.8	1.0%	14.0%
11	Nuevo León	Monterrey	8.0	1.0%	15.0%
12	Jalisco	Guadalajara	10.9	1.0%	15.9%
13	San Luis Potosí	San Luis Potosí	10.6	0.9%	16.9%
14	Puebla	Puebla	10.4	0.9%	17.8%
15	Aguascalientes	Aguascalientes	9.8	0.9%	18.6%
16	Ciudad de México	Gustavo A. Madero	9.7	0.8%	19.5%
17	Sinaloa	Culiacán	9.5	0.8%	20.3%
18	Sonora	Hermosillo	9.0	0.8%	21.1%
19	Nuevo León	Apodaca	8.8	0.8%	21.8%
20	Coahuila	Saltillo	8.4	0.7%	22.6%
21	México	Ecatepec de Morelos	8.2	0.7%	23.3%
22	Tamaulipas	Matamoros	8.1	0.7%	24.0%
23	Ciudad de México	Cuauhtémoc	7.9	0.7%	24.7%
24	Tamaulipas	Ciudad Madero	7.9	0.7%	25.4%
25	México	Toluca	7.8	0.7%	26.1%
26	Durango	Durango	7.6	0.7%	26.7%
27	Michoacán	Morelia	7.3	0.6%	27.4%
28	Tamaulipas	Altamira	7.2	0.6%	28.0%
29	Nuevo León	Santa Catarina	7.0	0.6%	28.6%
30	Nuevo León	Guadalupe	7.0	0.6%	29.2%
31	Ciudad de México	Azcapotzalco	6.8	0.6%	29.8%
32	Baja California	Ensenada	6.6	0.6%	30.4%
33	Ciudad de México	Tlalpan	6.5	0.6%	31.0%
34	Coahuila	Torreón	4.5	0.6%	31.5%
35	México	Tlalnepantla de Baz	6.5	0.6%	32.1%
36	Sonora	Cajeme	6.3	0.6%	32.6%
37	Sinaloa	Ahome	6.1	0.5%	33.2%
38	Coahuila	Ramos Arizpe	5.9	0.5%	33.7%
39	Jalisco	El Salto	5.9	0.5%	34.2%
40	Yucatán	Mérida	5.7	0.5%	34.7%
41	Baja California Sur	La Paz	5.7	0.5%	35.2%
42	México	Naucalpan de Juárez	5.4	0.5%	35.7%
43	Ciudad de México	Venustiano Carranza	5.4	0.5%	36.1%
44	Ciudad de México	Miguel Hidalgo	5.3	0.5%	36.6%
45	Oaxaca	Salina Cruz	5.3	0.5%	37.1%
46	Ciudad de México	Álvaro Obregón	5.1	0.4%	37.5%

No.	Entidad	Municipio	COV Tóxicos	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
47	Hidalgo	Tula de Allende	5.0	0.4%	37.9%
48	Quintana Roo	Benito Juárez	5.0	0.4%	38.4%
49	Sinaloa	Mazatlán	5.0	0.4%	38.8%
50	Guerrero	Acapulco de Juárez	5.0	0.4%	39.2%
51	México	La Paz	5.0	0.4%	39.6%
52	Jalisco	Valle de Guadalupe	4.7	0.4%	40.0%
53	Guanajuato	Irapuato	4.7	0.4%	40.5%
54	Tamaulipas	Nuevo Laredo	4.6	0.4%	40.9%
55	Guanajuato	Celaya	4.5	0.4%	41.3%
56	Durango	Gómez Palacio	4.5	0.4%	41.6%
57	Ciudad de México	Iztacalco	4.5	0.4%	42.0%
58	Tabasco	Centro	4.4	0.4%	42.4%
59	Nuevo León	General Escobedo	4.4	0.4%	42.8%
60	Michoacán	Lázaro Cárdenas	4.3	0.4%	43.2%
61	Ciudad de México	Coyoacán	4.3	0.4%	43.6%
62	Baja California	Playas de Rosarito	4.2	0.4%	43.9%
63	Jalisco	Zapotlán del Rey	4.2	0.4%	44.3%
64	Coahuila	Sierra Mojada	4.1	0.4%	44.6%
65	Veracruz	Coatzacoalcos	4.1	0.4%	45.0%
66	Jalisco	San Pedro Tlaquepaque	4.0	0.3%	45.4%
67	México	Nezahualcóyotl	4.0	0.3%	45.7%
68	Sonora	Nogales	3.9	0.3%	46.0%
69	Guanajuato	Salamanca	3.9	0.3%	46.4%
70	Veracruz	Veracruz	3.8	0.3%	46.7%
71	Nuevo León	Cadereyta Jiménez	3.8	0.3%	47.0%
72	México	Cuautitlán Izcalli	3.7	0.3%	47.4%
73	Sinaloa	Guasave	3.7	0.3%	47.7%
74	Jalisco	Tlajomulco de Zúñiga	3.6	0.3%	48.0%
75	Nayarit	Tepic	3.6	0.3%	48.3%
76	Ciudad de México	Xochimilco	3.6	0.3%	48.6%
77	Baja California Sur	Los Cabos	3.4	0.3%	48.9%
78	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	3.4	0.3%	49.2%
79	Ciudad de México	Benito Juárez	3.4	0.3%	49.5%
80	Ciudad de México	Milpa Alta	3.4	0.3%	49.8%
81	Ciudad de México	Tláhuac	3.4	0.3%	50.1%
82	Veracruz	Minatitlán	3.3	0.3%	50.4%
83	México	Tultitlán	2.0	0.3%	50.7%
84	Querétaro	San Juan del Río	3.3	0.3%	51.0%
85	Coahuila	Monclova	3.0	0.3%	51.2%

No.	Entidad	Municipio	COV Tóxicos	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
86	Sonora	Navojoa	3.0	0.3%	51.5%
87	Tamaulipas	Victoria	3.0	0.3%	51.8%
88	Veracruz	Tuxpan	2.8	0.2%	52.0%
89	Querétaro	Corregidora	2.8	0.2%	52.3%
90	Nuevo León	Pesquería	2.8	0.2%	52.5%
91	Michoacán	Uruapan	2.8	0.2%	52.7%
92	Baja California	Tecate	2.7	0.2%	53.0%
93	Baja California Sur	Comondú	2.6	0.2%	53.2%
94	Morelos	Cuernavaca	2.6	0.2%	53.4%
95	Campeche	Campeche	2.6	0.2%	53.7%
96	Coahuila	Acuña	2.6	0.2%	53.9%
97	México	Atizapán de Zaragoza	2.5	0.2%	54.1%
98	Chihuahua	Cauhtémoc	2.5	0.2%	54.3%
99	Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	2.5	0.2%	54.5%
100	Veracruz	Xalapa	2.5	0.2%	54.8%
101	Jalisco	Tonalá	2.5	0.2%	55.0%
102	Tamaulipas	Río Bravo	2.4	0.2%	55.2%
103	Coahuila	Frontera	2.4	0.2%	55.4%
104	Coahuila	Piedras Negras	2.3	0.2%	55.6%
105	Jalisco	Puerto Vallarta	2.3	0.2%	55.8%
106	Querétaro	El Marqués	2.3	0.2%	56.0%
107	Tamaulipas	Tampico	2.3	0.2%	56.2%
108	Aguascalientes	San Francisco de los Romo	2.3	0.2%	56.4%
109	México	Tlanguistenco	2.3	0.2%	56.6%
110	México	Lerma	2.2	0.2%	56.8%
111	México	Chimalhuacán	2.1	0.2%	57.0%
112	México	Cuautitlán	2.1	0.2%	57.2%
113	Guanajuato	Silao de la Victoria	2.1	0.2%	57.4%
114	Sonora	Guaymas	2.1	0.2%	57.5%
115	Puebla	Cuatlancingo	2.0	0.2%	57.7%
116	Zacatecas	Fresnillo	2.0	0.2%	57.9%
117	Ciudad de México	La Magdalena Contreras	2.0	0.2%	58.1%
118	Puebla	Tehuacán	2.0	0.2%	58.2%
119	Hidalgo	Pachuca de Soto	2.0	0.2%	58.4%
120	Sinaloa	Navolato	2.0	0.2%	58.6%
121	Morelos	Jiutepec	2.0	0.2%	58.8%
122	Michoacán	Zamora	2.0	0.2%	58.9%
123	Nuevo León	García	2.0	0.2%	59.1%

Debido a que varias regiones del país tienen problemas de calidad del aire por ozono, en el Mapa 7.3 se muestra en una representación esquemática, el potencial máximo que tiene cada municipio para formar ozono.

Es importante mencionar que las cantidades máxicas estimadas como la máxima generación de ozono, consideran que en todo momento se tiene una atmósfera saturada de óxidos de nitrógeno (NOx) y energía solar suficiente para que se forme el ozono.



Mapa 7.3 Potencial máximo de formación de ozono por Municipio

De los 123 municipios con mayor generación de ozono, al igual que los de mayor generación de contaminantes tóxicos, también la mayoría de ellos (123 municipios) son los que presentan el mayor potencial de formación de ozono. Ver Cuadro 7.3.

Cuadro 7.3 Máxima generación de Ozono en los 123 municipio con mayor potencial

No.	Entidad	Municipio	*PMFO ₃	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
1	Baja California	Tijuana	332.9	2.0%	2.0%
2	Chihuahua	Juárez	274.1	1.7%	3.7%
3	Baja California	Mexicali	237.5	1.4%	5.1%
4	Ciudad de México	Iztapalapa	233.3	1.4%	6.5%
5	Aguascalientes	Aguascalientes	215.1	1.3%	7.8%
6	Coahuila	Saltillo	177.6	1.1%	8.9%
7	Jalisco	Zapopan	176.2	1.1%	10.0%
8	Guanajuato	León	126.0	1.1%	11.1%
9	Jalisco	Guadalajara	175.0	1.1%	12.1%
10	Nuevo León	Monterrey	162.4	1.0%	13.1%
11	Chihuahua	Chihuahua	156.1	0.9%	14.0%
12	Puebla	Puebla	153.0	0.9%	15.0%
13	Ciudad de México	Gustavo A. Madero	149.1	0.9%	15.9%
14	Tamaulipas	Reynosa	144.2	0.9%	16.8%
15	Sonora	Hermosillo	135.3	0.8%	17.6%
16	Sinaloa	Culiacán	135.2	0.8%	18.4%
17	Querétaro	Querétaro	135.1	0.8%	19.2%
18	México	Ecatepec de Morelos	132.0	0.8%	20.0%
19	San Luis Potosí	San Luis Potosí	131.4	0.8%	20.8%
20	Tamaulipas	Altamira	125.7	0.8%	21.6%
21	Nuevo León	San Nicolás de los Garza	124.7	0.8%	22.3%
22	Ciudad de México	Cuauhtémoc	111.0	0.7%	23.0%
23	México	Toluca	110.2	0.7%	23.7%
24	Nuevo León	Apodaca	105.6	0.6%	24.3%
25	Tamaulipas	Matamoros	102.8	0.6%	24.9%
26	Ciudad de México	Tlalpan	102.4	0.6%	25.6%
27	Michoacán	Morelia	101.5	0.6%	26.2%
28	México	Naucalpan de Juárez	99.8	0.6%	26.8%
29	Baja California	Ensenada	93.2	0.6%	27.3%
30	Nuevo León	Guadalupe	92.2	0.6%	27.9%
31	Ciudad de México	Venustiano Carranza	91.5	0.6%	28.5%
32	México	Tlalnepantla de Baz	90.2	0.5%	29.0%
33	Durango	Durango	89.5	0.5%	29.5%
34	Yucatán	Mérida	86.8	0.5%	30.1%
35	Coahuila	Torreón	86.6	0.5%	30.6%
36	Quintana Roo	Benito Juárez	85.7	0.5%	31.1%
37	Sinaloa	Ahome	85.1	0.5%	31.6%
38	Ciudad de México	Álvaro Obregón	82.4	0.5%	32.1%

No.	Entidad	Municipio	*PMFO ₃	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
39	Ciudad de México	Azcapotzalco	81.7	0.5%	32.6%
40	Sonora	Cajeme	68.0	0.5%	33.1%
41	Guerrero	Acapulco de Juárez	77.1	0.5%	33.6%
42	México	Nezahualcóyotl	77.0	0.5%	34.0%
43	Tamaulipas	Ciudad Madero	67.0	0.4%	34.5%
44	Jalisco	San Pedro Tlaquepaque	69.5	0.4%	34.9%
45	Ciudad de México	Coyoacán	69.1	0.4%	35.3%
46	Nuevo León	Santa Catarina	68.3	0.4%	35.7%
47	Ciudad de México	Miguel Hidalgo	67.1	0.4%	36.1%
48	Guanajuato	Irapuato	66.3	0.4%	36.5%
49	Sinaloa	Mazatlán	65.1	0.4%	36.9%
50	Baja California Sur	La Paz	65.0	0.4%	37.3%
51	México	Cuautitlán Izcalli	65.0	0.4%	37.7%
52	Tabasco	Centro	64.5	0.4%	38.1%
53	México	Tultitlán	63.3	0.4%	38.5%
54	Guanajuato	Celaya	61.9	0.4%	38.9%
55	Ciudad de México	Iztacalco	59.8	0.4%	39.2%
56	Tamaulipas	Nuevo Laredo	59.2	0.4%	39.6%
57	Sinaloa	Guasave	58.1	0.4%	39.9%
58	Coahuila	Ramos Arizpe	58.0	0.4%	40.3%
59	Jalisco	Tlajomulco de Zúñiga	57.2	0.3%	40.6%
60	Hidalgo	Tula de Allende	57.2	0.3%	41.0%
61	Jalisco	El Salto	56.5	0.3%	41.3%
62	Nuevo León	General Escobedo	56.0	0.3%	41.7%
63	Veracruz	Veracruz	54.7	0.3%	42.0%
64	Guanajuato	Salamanca	54.6	0.3%	42.3%
65	Ciudad de México	Xochimilco	54.5	0.3%	42.6%
66	Ciudad de México	Benito Juárez	52.8	0.3%	43.0%
67	Durango	Gómez Palacio	52.7	0.3%	43.3%
68	Baja California Sur	Los Cabos	52.3	0.3%	43.6%
69	Nayarit	Tepic	49.9	0.3%	43.9%
70	Sonora	Nogales	48.7	0.3%	44.2%
71	Ciudad de México	Tláhuac	48.7	0.3%	44.5%
72	Ciudad de México	Milpa Alta	48.2	0.3%	44.8%
73	Baja California	Playas de Rosarito	47.3	0.3%	45.1%
74	Veracruz	Coatzacoalcos	46.8	0.3%	45.4%
75	Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	45.6	0.3%	45.6%
76	Jalisco	Valle de Guadalupe	44.7	0.3%	45.9%
77	Oaxaca	Salina Cruz	43.6	0.3%	46.2%

No.	Entidad	Municipio	*PMFO ₃	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
78	Michoacán	Lázaro Cárdenas	40.0	0.3%	46.4%
79	Coahuila	Monclova	43.2	0.3%	46.7%
80	Jalisco	Tonalá	42.8	0.3%	47.0%
81	México	La Paz	42.2	0.3%	47.2%
82	Tamaulipas	Victoria	42.0	0.3%	47.5%
83	Querétaro	San Juan del Río	41.8	0.3%	47.7%
84	México	Atizapán de Zaragoza	41.6	0.3%	48.0%
85	México	Chimalhuacán	41.0	0.2%	48.2%
86	Jalisco	Zapotlán del Rey	41.0	0.2%	48.5%
87	Morelos	Cuernavaca	40.0	0.2%	48.7%
88	Veracruz	Xalapa	38.8	0.2%	48.9%
89	Michoacán	Uruapan	36.8	0.2%	49.2%
90	Jalisco	Puerto Vallarta	36.8	0.2%	49.4%
91	Sonora	Navojoa	36.7	0.2%	49.6%
92	Veracruz	Minatitlán	36.6	0.2%	49.8%
93	Baja California Sur	Comondú	35.7	0.2%	50.1%
94	Guanajuato	Silao de la Victoria	35.5	0.2%	50.3%
95	Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	35.0	0.2%	50.5%
96	Tamaulipas	Tampico	35.0	0.2%	50.7%
97	Chihuahua	Cauhtémoc	35.0	0.2%	50.9%
98	Campeche	Campeche	34.4	0.2%	51.1%
99	Tamaulipas	Río Bravo	32.9	0.2%	51.3%
100	Baja California	Tecate	32.3	0.2%	51.5%
101	México	Ixtapaluca	32.3	0.2%	51.7%
102	Nuevo León	Cadereyta Jiménez	31.9	0.2%	51.9%
103	Sinaloa	Navolato	30.0	0.2%	52.1%
104	Ciudad de México	La Magdalena Contreras	30.7	0.2%	52.3%
105	Coahuila	Acuña	30.6	0.2%	52.5%
106	Zacatecas	Fresnillo	30.5	0.2%	52.6%
107	Morelos	Jiutepec	30.4	0.2%	52.8%
108	Coahuila	Sierra Mojada	30.4	0.2%	53.0%
109	Hidalgo	Pachuca de Soto	29.8	0.2%	53.2%
110	Querétaro	Corregidora	29.6	0.2%	53.4%
111	Puebla	Tehuacán	29.5	0.2%	53.6%
112	Puebla	Cuatlancingo	29.0	0.2%	53.7%
113	Coahuila	Piedras Negras	28.5	0.2%	53.9%
114	México	Tecámac	28.4	0.2%	54.1%
115	Nuevo León	Juárez	27.8	0.2%	54.2%
116	Sonora	San Luis Río Colorado	27.6	0.2%	54.4%

No.	Entidad	Municipio	*PMFO ₃	Contribución [%]	
			[t/día]	Individual	Acumulado
117	México	Cuautitlán	27.4	0.2%	54.6%
118	México	Tianguistenco	27.3	0.2%	54.7%
119	Querétaro	El Marqués	27.1	0.2%	54.9%
120	San Luis Potosí	Soledad de Graciano Sánchez	27.0	0.2%	55.1%
121	México	Lerma	27.0	0.2%	55.2%
122	Tabasco	Cárdenas	27.0	0.2%	55.4%
123	Veracruz	Tuxpan	27.0	0.2%	55.6%

*PMFO₃. Potencial Máximo de Formación de Ozono

Del análisis de las emisiones de los 123 municipios con mayor generación de COV se observa que todas las entidades del país, con excepción de Tlaxcala, incluyen al menos alguno de estos 123 municipios; siendo la Ciudad de México, la única entidad que involucra al total de sus demarcaciones territoriales (16 delegaciones), con lo que, en suma, esta entidad aporta 504 t/día. Le sigue en orden de importancia el Estado de México con 18 municipios que aportan casi 426 t/día. Ver Cuadro 7.4.

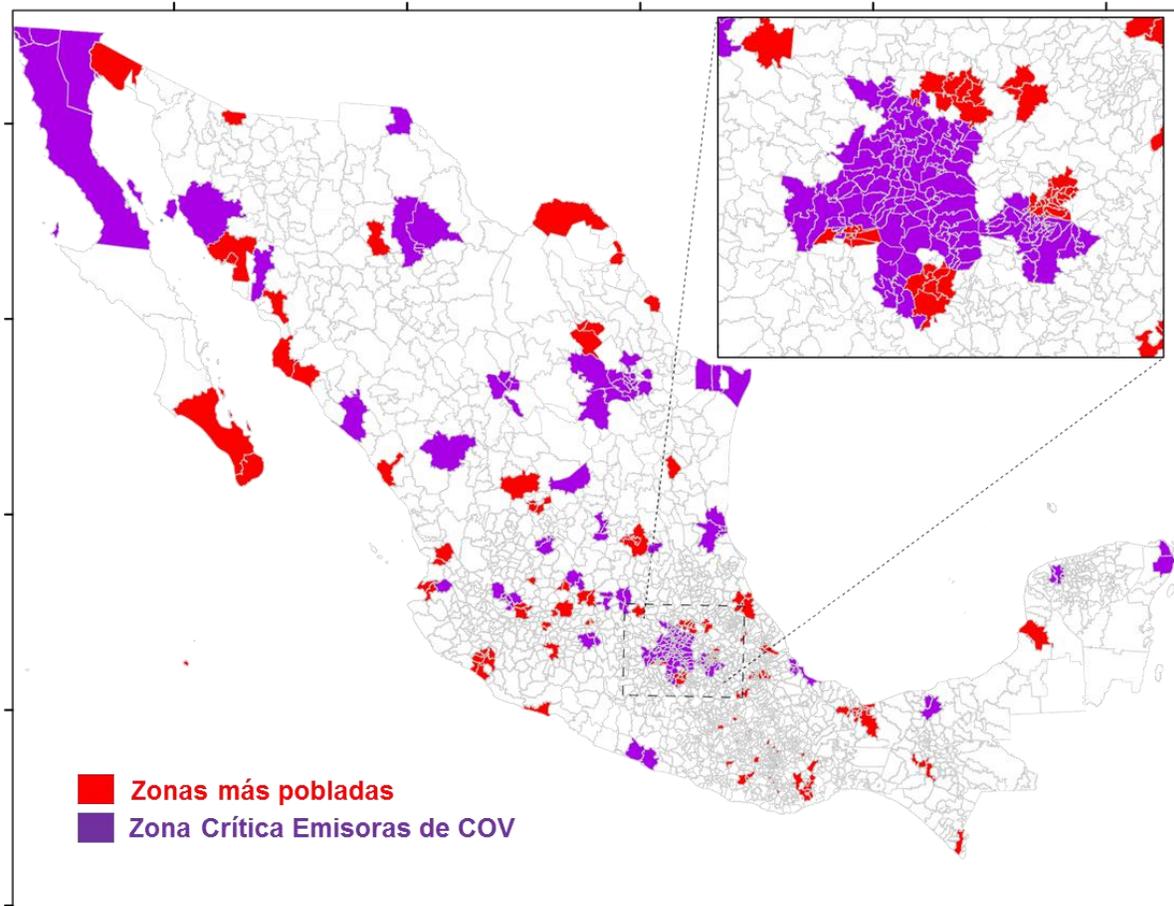
Cuadro 7.4 Contribución de emisiones por entidad de los 123 municipio con mayor generación de COV

#	Entidad	COV [t/día]	Número de municipios
1	Ciudad de México	504.0	16
2	México	425.5	18
3	Jalisco	273.4	9
4	Baja California	267.4	5
5	Nuevo León	255.6	9
6	Tamaulipas	216.0	7
7	Chihuahua	176.4	3
8	Coahuila	169.2	6
9	Guanajuato	162.3	5
10	Sonora	123.9	5
11	Sinaloa	117.9	4
12	Puebla	94.8	3
13	Aguascalientes	88.8	1
14	Querétaro	83.7	3
15	Veracruz	71.6	4
16	Michoacán	68.3	3
17	San Luis Potosí	65.9	2
18	Durango	54.3	2
19	Baja California Sur	36.8	2
20	Yucatán	36.4	1
21	Morelos	30.7	2

#	Entidad	COV [t/día]	Número de municipios
22	Quintana Roo	30.6	1
23	Guerrero	30.3	1
24	Hidalgo	29.9	2
25	Chiapas	29.6	2
26	Tabasco	25.3	1
27	Oaxaca	20.8	2
28	Nayarit	20.1	1
29	Campeche	12.5	1
30	Zacatecas	11.3	1
31	Colima	10.1	1

Con base en la delimitación por municipio de las Zonas Metropolitanas de México 2010, publicadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), y los 123 municipios de mayor emisión, se identificaron las áreas más pobladas y las Zonas Críticas Emisoras de COV. Ver Mapa 7.4.

Mapa 7.4 Zonas con mayor generación de COV, tóxicos y de un potencial máximo en la formación de Ozono



Se identificaron 32 Zonas o Ciudades Críticas Emisoras de COV, en donde se generan en cada una de ellas, al menos 28 toneladas al día de COV. En suma, dentro de estas Zonas Críticas se genera un poco más del 50% de las emisiones nacionales de COV y de compuestos tóxicos, así como del potencial máximo para formar ozono, ver Cuadro 7.5.

Cuadro 7.5 Zonas o ciudades críticas de mayor generación de COV, tóxicos y de un potencial máximo en la formación de Ozono

#	Zona o Ciudad	COV [t/día]	Tóxicos [t/día]	*PMFO ₃ [t/día]	# de Municipio
1	ZM del Valle de México	964	153	2,383	76
2	ZM de Monterrey	270	61	734	13
3	ZM de Guadalajara	231	44	604	9
4	ZM de Tijuana	153	32	413	3
5	ZM de Puebla-Tlaxcala	131	20	298	39
6	ZM de Juárez	106	23	274	1
7	ZM de Aguascalientes	105	14	259	3
8	ZM de Toluca	95	15	223	14
9	ZM de Saltillo	94	15	239	3
10	ZM de Tampico	93	19	250	5
11	ZM de León	92	15	211	2
12	ZM de Mexicali	81	18	237	1
13	ZM de Querétaro	76	17	196	4
14	ZM de La Laguna	66	13	168	4
15	ZM de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez	66	12	158	2
16	ZM de Chihuahua	64	14	166	3
17	ZM de Reynosa-Río Bravo	63	16	177	2
18	Hermosillo	53	9	135	1
19	Culiacán	48	9	135	1
20	ZM de Cuernavaca	47	7	112	8
21	ZM de Mérida	44	7	104	5
22	ZM de Morelia	43	8	112	3
23	ZM de Matamoros	39	8	103	1
24	Durango	34	8	90	1
25	ZM de Celaya	33	6	83	3
26	ZM de Veracruz	33	5	78	5
27	Ensenada	33	7	93	1
28	ZM de Acapulco	33	5	84	2
29	ZM de Cancún	31	5	88	2
30	ZM de Villahermosa	29	5	73	2
31	Cd. Obregón	28	6	79	1
32	ZM de Tula	28	7	86	5
	Total	3,307	602	8,444	225

*PMFO₃. Potencial Máximo de Formación de Ozono

8 Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles por sector

Ya definidos los sitios críticos donde se generan la mayor cantidad de emisiones de COV, de compuestos tóxicos y del potencial de la máxima generación de ozono, se identificaron los principales sectores o categorías que generan estos contaminantes. Para esto, se elaboró el inventario de emisiones por sector, ver Cuadro 8.1.

Cuadro 8.1 Inventario de Emisiones de COV, Tóxicos y del MGO3 por sector o categoría emisora

Fuente	Sector o categoría	Emisiones (t/año)		
		COV	Tóxicos	PMFO ₃
Fijas	Accesorios, aparatos eléctricos y equipos de generación eléctrica	5,882	2,070	19,962
Fijas	Alimentos y bebidas	2,472	978	8,483
Fijas	Asbesto	0.3	0.1	1
Fijas	Automotriz	42,424	2,907	103,271
Fijas	Celulosa y papel	3,968	2,673	16,622
Fijas	Cemento y cal	468	76	3,014
Fijas	Cuero, piel y materiales sucedáneos	20	1	55
Fijas	Derivados del petróleo y carbón	3,245	215	8,559
Fijas	Extracción/Beneficio minerales no metálicos	24	3	68
Fijas	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y de otros equipos, componentes y accesorios electrónicos	947	872	6,955
Fijas	Impresión	5,531	567	9,780
Fijas	Industria textil	1,208	78	3,209
Fijas	Madera	4,198	2,078	13,397
Fijas	Metálico	8,209	7,524	60,027
Fijas	Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	6,068	2,610	21,528
Fijas	Mezclas químicas	1,626	261	3,948
Fijas	Minerales no metálicos	1,831	176	3,160
Fijas	Muebles, colchones y persianas	491	174	1,681
Fijas	Otras industrias	778	245	2,445
Fijas	Papel y cartón	2,311	535	6,910
Fijas	Petróleo y petroquímica	14,004	5,879	52,846
Fijas	Pinturas y tintas	7,145	2,237	21,088
Fijas	Plástico y hule	9,615	689	54,322
Fijas	Química	32,516	8,450	104,151
Fijas	Vidrio	1,133	103	3,015
Fijas	Almacenamiento de combustibles	1	1	3
Fijas	Petróleo y petroquímica (Extracción de petróleo y gas)	1,587	626	5,572
Fijas	Petróleo y petroquímica (Servicios de Almacenamiento)	24,193	18,303	102,992

Fuente	Sector o categoría	Emisiones (t/año)		
		COV	Tóxicos	PMFO ₃
Fijas	Petróleo y petroquímica (Transporte de gas natural por ductos)	38	7	83
Fijas	Petróleo y petroquímica (Transporte de petróleo crudo por ductos)	60	36	312
Fijas	Petróleo y petroquímica (Transporte por ductos de productos refinados del petróleo)	2	0	10
Fijas	Manejo de desechos y remediación	87	35	299
Fijas	Tratamiento de residuos peligrosos	40	15	146
Fijas	Generación de energía eléctrica	9,896	4,066	46,914
Área	Manejo y distribución de GLP	425,508	208	481,506
Área	Uso de solventes doméstico	379,012	19,722	835,855
Área	Aguas residuales	45,611	13,739	102,862
Área	Manejo y distribución de combustibles	68,479	22,167	208,830
Área	Quemas agrícolas	60,972	24,711	385,262
Área	Recubrimiento de superficies arquitectónicas	58,269	7,301	120,558
Área	Artes gráficas	54,025	9,987	126,396
Área	Pintado automotriz	22,468	15,569	72,766
Área	Recubrimiento de superficies en la industria	20,215	7,594	58,647
Área	Limpieza de superficies industriales	348,743	78,607	732,086
Área	Panificación	4,839	0	7,376
Área	Lavado en seco	14,637	823	26,351
Área	Incendios forestales	13,338	87	56,801
Área	Pintura para señalización vial	8,955	600	20,559
Área	Asfaltado	8,080	1,855	20,130
Área	Aviación	7,394	2,461	47,803
Área	Aplicación de plaguicidas	6,341	2,283	13,692
Área	Cruces fronterizos	2,832	731	11,084
Área	Combustión domestica	40,827	5,694	144,605
Área	Combustión industrial	2,177	22	1,962
Área	Locomotoras	1,362	222	3,700
Área	Asados al carbón	1,229	404	9,384
Área	Combustión comercial	277	0	170
Área	Combustión agrícola	154	37	691
Área	Esterilización de material hospitales	76	0	322
Área	Incendios en construcciones	15	9	31
Área	Terminales de autobuses	12	4	43
Móviles	Motocicletas	39,556	11,452	149,179
Móviles	Autos particulares y taxis (gasolina)	210,953	61,074	795,570
Móviles	Autos particulares y taxis (diésel)	77	19	399
Móviles	Vagonetas de pasajeros (gasolina)	187,127	54,176	705,715
Móviles	Vagonetas de pasajeros (diésel)	626	155	3,246
Móviles	Vehículos de carga de hasta 3.8 ton (gasolina)	6,666	1,930	25,138
Móviles	Vehículos de carga de hasta 3.8 ton (diésel)	19	5	98

Fuente	Sector o categoría	Emisiones (t/año)		
		COV	Tóxicos	PMFO ₃
Móviles	Medibuses y Autobuses (gasolina)	6,132	1,775	23,124
Móviles	Medibuses y Autobuses (diésel)	2,964	733	15,369
Móviles	Vehículos de carga de más de 3.8 ton (gasolina)	8,382	2,427	31,613
Móviles	Vehículos de carga de más de 3.8 ton (diésel)	6,485	1,603	33,620
Móviles	Vehículos de carga de más de 3.8 ton federal (gasolina)	407	118	1,535
Móviles	Vehículos de carga de más de 3.8 ton federal (diésel)	375	93	1,944
Móviles	Tractocamiones (diésel)	3,389	837	17,568
Móviles	Tractocamiones federales (diésel)	7,823	1,933	40,554
	Total	2,268,846	417,651	6,018,969

*PMFO₃. Potencial Máximo de Formación de Ozono

Nota: Las cifras de las emisiones totales por sector, pueden variar ligeramente con los totales estimados por municipio, debido a la sumatoria que se realiza con decimales.

Los resultados del inventario de emisiones por sector indican que de los 2.26 millones de COV generados en el país anualmente, el 18% son compuestos tóxicos y que la máxima formación de ozono puede ser de hasta 2.7 veces las emisiones másicas de los COV.

9 Estrategias de mitigación y medidas de control de las principales fuentes de emisión de COV

La estrategia de mitigación de la problemática de la calidad del aire relacionada con las emisiones de COV, es establecer los sectores en donde se generan las máximas emisiones de estos contaminantes, considerando a su vez el mayor porcentaje de compuestos tóxicos y del potencial máximo de formación de ozono. Esto para establecer prioridades donde se tendría el mayor beneficio en el control de emisiones. Para esto en el Cuadro 9.1, se enlistan los 20 sectores o categorías que generan un poco más del 90% de las emisiones de los COV, de compuestos tóxicos y del potencial máximo en la formación de ozono.

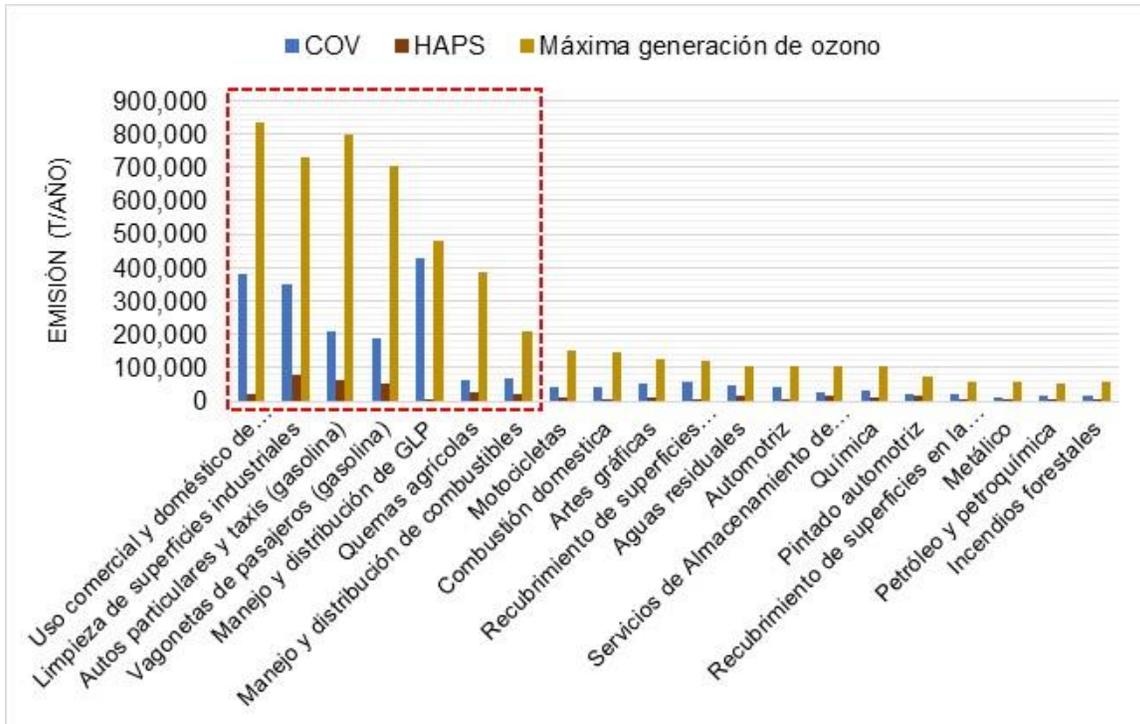
Cuadro 9.1 Principales sectores de mayor generación de COV, tóxicos y del potencial en la formación de ozono

#	Fuente	Sector o categoría	Emisiones (t/año)		
			COV	Tóxicos	PMFO ₃
1	Área	Uso de solventes doméstico	379,012	19,722	835,855
2	Área	Limpieza de superficies industriales	348,743	78,607	732,086
3	Móviles	Autos particulares y taxis (gasolina)	210,953	61,074	795,570
4	Móviles	Vagonetas de pasajeros (gasolina)	187,127	54,176	705,715
5	Área	Manejo y distribución de GLP	425,508	208	481,506
6	Área	Quemas agrícolas	60,972	24,711	385,262
7	Área	Manejo y distribución de combustibles	68,479	22,167	208,830
8	Móviles	Motocicletas	39,556	11,452	149,179
9	Área	Combustión doméstica	40,827	5,694	144,605
10	Área	Artes gráficas	54,025	9,987	126,396
11	Área	Recubrimiento de superficies arquitectónicas	58,269	7,301	120,558
12	Área	Aguas residuales	45,611	13,739	102,862
13	Fijas	Automotriz	42,424	2,907	103,271
14	Fijas	Almacenamiento de combustibles	24,193	18,303	102,992
15	Fijas	Química	32,516	8,450	104,151
16	Área	Pintado automotriz	22,468	15,569	72,766
17	Área	Recubrimiento de superficies en la industria	20,215	7,594	58,647
18	Fijas	Metálico	8,209	7,524	60,027
19	Fijas	Petróleo y petroquímica	14,004	5,879	52,846
20	Área	Incendios forestales	13,338	87	56,801
		Total, de 20 Sectores o categorías	2,096,449	375,149	5,399,924
		% Respecto al total de Sectores o categorías	92%	90%	90%

*PMFO₃. Potencial Máximo de Formación de Ozono

En la Gráfica 9.1, se puede apreciar que dentro de los sectores o categorías, que tienen el mayor beneficio para reducir las emisiones de COV, así como el mayor co-beneficio en la reducción de

compuestos tóxicos y de precursores de ozono, están: el uso comercial y doméstico de solventes, la limpieza de superficie industrial, los vehículos que utilizan gasolina como combustible (autos particulares, taxis y vagonetas), el manejo y distribución de gas licuado de petróleo, las quemas agrícolas y el manejo y distribución de combustibles (gasolineras). En suma, estos sectores generan el 74% de las emisiones de los COV, el 62% de los compuestos tóxicos y el 69% del potencial máximo de la formación de ozono; por lo que, al priorizar el control de emisiones en estos sectores, se tendría el mayor beneficio para mejorar la calidad del aire y en la salud de las personas.



Gráfica 9.1 Categorías estratégicas para el control de las emisiones de COV

Los resultados del análisis presentado, muestran que los sectores o categorías estratégicas en donde se debe priorizar el control de las emisiones de los COV, son:

1. El uso comercial y domésticos de solventes,
2. La limpieza de superficie industrial
3. Los autos particulares a gasolina
4. Taxis y vagonetas de pasajeros que utilizan gasolina como combustible
5. El manejo y distribución del gas licuado de petróleo
6. Las quemas agrícolas y
7. Manejo y distribución de combustibles

9.1 Control de emisiones de COV por el uso comercial y doméstico de solventes

Antes de establecer el control de emisiones, es importante recordar que los COV que se generan en esta categoría, son ingredientes de los productos comerciales y de consumo que sirven como propulsores, agentes para el secado (a través de la evaporación), disolventes y agentes limpiadores, y son emitidos durante el uso del producto. Típicamente estas fuentes de COV son muy numerosas, altamente dispersas y a nivel individual emiten cantidades relativamente pequeñas de COV. Los productos comerciales y de consumo que emiten COV incluyen: los productos en aerosol, productos domésticos, productos de cuidado personal, de cuidado automotriz, adhesivos y selladores, así como pesticidas comerciales y domésticos. Los solventes contenidos en los productos comerciales y de consumo son emitidos principalmente durante el uso del producto.

Cerca del 40% de los compuestos orgánicos volátiles emitidos a la atmósfera proviene del uso de solventes y tan solo por el uso comercial y doméstico de solventes se genera el 17%.

Por ello, y para prevenir y reducir los efectos de las emisiones de COV en la calidad del aire y los riesgos potenciales para la salud humana, se deberá de:

- I. Establecer buenas prácticas para reducir el uso de solventes de determinadas actividades,
- II. Establecer desde su fabricación límites en el contenido de solventes de los productos de uso comercial y domésticos y
- III. Buscar alternativas para sustituir el tipo de solventes, por compuestos menos tóxicos y de menor potencial para la generación de ozono.

9.2 Control de emisiones de COV por la limpieza de superficies industriales

Las operaciones de limpieza de superficies industriales involucran el uso de solventes líquidos o vapores de solventes, para eliminar contaminantes insolubles en agua tales como grasa, aceite, ceras, depósitos de carbón, óxidos y alquitranes de superficies tales como metales, plásticos, vidrios y otros. Este proceso se lleva a cabo en una gran variedad de operaciones de manufactura y de reparación. Las operaciones de limpieza con solventes implican el uso de un gran número de sustancias diferentes, así como de distintos procedimientos de limpieza.

Como se mencionó, cerca del 40% de los compuestos orgánicos volátiles emitidos a la atmósfera proviene del uso de solventes y esta categoría (limpieza de superficies industriales) es la segunda en importancia, ya que genera un poco más del 15%.

Por ello, para prevenir y reducir los efectos de las emisiones de COV en la calidad del aire y los riesgos potenciales para la salud humana por el uso de solventes en la limpieza de superficies industriales, se deberá:

- I. Mejorar las técnicas de aplicación para reducir la cantidad de solventes utilizados en determinadas actividades,
- II. Mediante la aplicación de normatividad, establecer un porcentaje de reducción de COV por establecimiento industrial, tomando en cuenta la toxicidad y reactividad de las sustancias utilizadas y
- III. Buscar alternativas para sustituir el tipo de solventes, por compuestos menos tóxicos y de menor potencial en la generación de ozono.

9.3 Control de emisiones de COV de los vehículos que utilizan gasolina como combustible (autos particulares, taxis y vagonetas)

Las emisiones de COV generadas por el uso automotor de la gasolina, provienen tanto de la quema de este combustible, como de la evaporación del mismo. Tan solo los autos particulares, taxis y las vagonetas utilizadas en el transporte público de pasajeros, generan cerca del 18% de las emisiones de COV a nivel nacional.

La contribución en la problemática de la calidad del aire de los vehículos automotores, siempre ha sido importante, por lo que en este tipo de fuentes también se tiene un gran potencial para prevenir y reducir los efectos de las emisiones de COV en la calidad del aire y los riesgos existentes para la salud humana. Para esto, como estrategias y medidas de control, se deberá:

- **Introducir en todo el territorio nacional, gasolinas con menos contenido de azufre y compuestos tóxicos, así como vehículos con controles de emisión avanzados**

Para esto se deberá de revisar la Normatividad Ambiental Mexicana en lo referente a la calidad de la gasolina y los límites de emisión de los vehículos nuevos; esto para establecer la calidad de la gasolina armonizada con el control de emisiones requerido. Para esto se recomienda tomar en cuenta las Cartas Mundiales de Combustible (Worldwide Fuel Charter), en donde se establecen las necesidades de calidad del combustible acorde a las tecnologías de los motores vehiculares. Se han establecido cinco categorías diferentes de calidad de la gasolina sin plomo, donde la carta o categoría 5 corresponde a los mercados con requisitos muy avanzados para el control de emisiones y la eficiencia del combustible. Para nuestro caso primero debemos de establecer a nivel nacional una calidad de gasolina para introducir controles avanzados en la fabricación de vehículos nuevos con el nivel de control TIER 2 de los EE. UU. Entre los principales parámetros, la gasolina deberá de tener un contenido máximo de azufre de 10 ppm, un contenido máximo de olefinas de 10%, un contenido máximo de aromáticos de 35% y un contenido máximo de benceno de 1%.

Antes de pensar en restringir a nivel nacional la circulación, es recomendable que se cumpla primero a nivel nacional, con la introducción de un combustible limpio, con un contenido máximo de azufre de 10 ppm, para solicitar a la industria automotriz la introducción de automóviles con control de emisiones avanzados que cumplan con los requisitos más estrictos para el control de emisiones, como los mercados que requieren cumplir con el nivel de emisión TIER II de los EE. UU.

Hay estudios, cuyos resultados muestran que:

- ✓ El azufre reduce la eficiencia de los catalizadores.
- ✓ El azufre afecta negativamente a los sensores de oxígeno.
- ✓ Las reducciones en azufre de la gasolina, proporcionarán reducciones inmediatas de las emisiones de todos los vehículos equipados con catalizador. Ver Cuadro 9.2

Cuadro 9.2 Impacto del contenido de azufre de las gasolinas en las emisiones

El Cuadro 9.2 muestra que el escenario más parecido a México, es cuando al pasar de un contenido

Study	Vehicle Technology	Sulphur Range (ppm)		Emission Reduction, % (high to low sulphur)		
		high	low	HC	CO	NO _x
AQIRP	Tier 0	450	50	18	19	8
EPEFE	EURO 2+	382	18	9 (43*)	9 (52*)	10 (20*)
AAMA/AIAM	LEV & ULEV	600	30	32	55	48
CRC	LEV	630	30	32	46	61
JARI	1978 Regulations	197	21	55	51	77
Alliance/AIAM	LEV/ULEV	100	30	21	34	27
	LEV/ULEV	30	1	7	12	16
JCAP	DI/NO _x cat.	25	2			37

máximo de azufre de 100 ppm a 30 ppm, se tendría una reducción del 21 en los COV y todavía al pasar de 30 a 1 ppm se lograría otro 7% de reducción.

Una de las medidas que se han y se siguen recomendando para desincentivar el uso del auto particular y reducir sus emisiones, es el de proporcionar un sistema de transporte público masivo de calidad y con capacidad. Para esto también se sugiere que este sistema incorpore el Control de Emisiones por la quema de diésel u otro combustible como el gas natural o que sus unidades consuman energía eléctrica.

Para eficientizar y reducir los recorridos de las vagonetas que se utilizan dentro del transporte público de pasajeros, es recomendable migrar hacia un transporte masivo que cuente con sistemas de control de emisiones, o que se utilice unidades de este tamaño pero que quemen gas Natural o gas LP.

Una de las medidas que también está pendientes, es establecer programas para descarchizar la flota vehicular, en especial se requiere que ya no estén en circulación vehículos a gasolina que no cuenten con sistema de control de emisiones.

Referente a la reducción de emisiones de los vehículos utilizados como taxis, se debe de eficientizar sus recorridos, y con ayuda de la tecnología deben evitar circular sin pasajeros, mediante el establecimiento de bases lanzaderas con un sistema computarizado de administración de los viajes y, además, actualmente para este tipo de transporte ya es viable la introducción de vehículos eléctricos e híbridos.

9.4 Control de emisiones de COV por el manejo y distribución del gas licuado de petróleo

Por el manejo y distribución del gas licuado de petróleo se genera la mayor cantidad másica de emisiones de COV (425,508 t/año), representando casi una quinta parte de las emisiones totales de COV. Estas emisiones provienen principalmente del uso del gas LP en el sector residencial, siendo la principal fuente los componentes del gas LP que no se queman cuando estos se utilizan para la cocción de alimentos y calentamiento de agua en estufas y boilers (calentadores de agua); en segundo lugar son las fugas que se generan en las instalaciones que conectan al tanque de almacenamiento con la estufa y el boiler y la tercera fuente en importancia son las fugas que provienen del piloto de la estufa cuando este no está encendido, aunque estas emisiones podrían ser menores debido a que es posible que varias de las estufas con piloto, ya han sido reemplazadas por estufas modernas que ya no traen este sistema de encendido.

De manera tradicional la medida de control de emisiones para esta categoría ha sido solamente la de reemplazar los tanques portátiles que se encuentran dañados, pero realmente es insuficiente, dado que hace falta reducir las emisiones por la combustión incompleta del gas LP y por las fugas en las instalaciones. Para esto, es necesario.

- I. Establecer un **programa de inspección y mantenimiento** de la eficiencia de combustión de las estufas y boilers, y de detección y reparación de fugas de las instalaciones. Así como las grandes calderas de las industrias necesitan mantenimiento para mejorar la eficiencia de combustión, todo equipo de gas como estufas y calentadores de agua necesita ser revisado periódicamente (válvulas, pícteles, conexiones, reguladores, limpieza o cambio de parrillas o de tanques, estufas o boilers).
- II. Elaborar guías de buenas prácticas para detectar fallas cotidianas en la combustión de estufas y calentadores de agua, y si es posible capacitar a sus habitantes con instrucciones precisas para repararlas y darles mantenimiento.
- III. Campañas permanentes por parte de la autoridad en la detección de fugas en las conexiones y válvulas en la instalación doméstica de gas LP, mediante la aplicación de sensores.

Estas son algunas medidas, para un sector que requiere forzosamente del apoyo del gobierno delegacional y de aumentar el conocimiento ambiental ciudadano.

9.5 Control de emisiones de COV por las quemadas agrícolas

La contribución de COV por la quema agrícola es de un poco menos del 3%, pero este suele ser muy importante debido a que puede determinar la mala calidad del aire de una región, esto debido a que su contribución y generación es por evento y no como las categorías ya mencionadas que las emisiones se distribuyen a lo largo de todo el año.

En el documento publicado por **Margarito Quintero Núñez y Andrés Moncada Aguilar** en el 2007 (Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California) se menciona lo siguiente sobre este sector.

Se identificaron varias razones para quemar los restos de las cosechas, como a) las económicas: el agricultor evita el uso de maquinaria, esto ahorra diésel, sueldo del operador y desgaste del equipo; b) las técnicas: cuando el agricultor quiere incorporar la paja de trigo al suelo, primero requiere de varias pasadas del arado de discos por el terreno, lo que tiende a amontonar la paja y dificultar el barbecho (voltear la tierra de 20 a 30 cm de profundidad), y en ocasiones requiere regar para ablandar la paja (esto también genera gastos). Entonces, para lograr el objetivo, utiliza un compactador (cultipaker), colocado atrás de los discos (con este aditamento el tractor gasta más diésel). El agricultor quema los restos de las cosechas, por lo general en tierras pesadas, es decir, arcillosas, que además son de gran extensión. La maleza se elimina junto con los residuos de las cosechas, sobre todo en parcelas muy infestadas, con maleza perenne difícil de erradicar, como la grama, que además dificulta el manejo del suelo y c) las cronológicas: cuando el agricultor tiene que quemar los residuos para ahorrar tiempo y preparar el suelo para el siguiente cultivo. Esto es muy común en Imperial, por el tipo de agricultura intensiva que se practica. En Mexicali se da en un porcentaje menor.

Dentro de las medidas y técnicas de combustión en los campos de cultivo se mencionan las siguientes:

Según la Oficina de Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés), para realizar una quema adecuada de residuos agrícolas, se pueden emplear varias técnicas como:

- Utilizar un combustible o dispositivo de combustión aprobado que no produzca humo negro, como el butano, propano, gas LP o quemadores de aceite diésel. En Estados Unidos se debe consultar al distrito de control de calidad del aire correspondiente acerca de lo que está aprobado en el área. Una llanta en llamas no es un dispositivo de combustión aprobado.
- Encender un fuego de prueba. Ver qué tan óptimo es el material de desperdicio que se va a quemar y hacia dónde se dirige el humo. Hay que dejar de hacerlo si el combustible está muy húmedo o si el humo se dirige hacia áreas pobladas.
- Quemar por varios lados de la parcela al mismo tiempo, para que la quema y la dispersión sean lo más rápidas posible.
- Encender el lado del campo que está a favor del viento. El fuego arde lentamente, pero de manera más completa. Así produce menos partículas y no deja partes que arden sin llama.
- Quemar en franjas o a guardarraya, pero siempre en dirección del viento.
- Quemar cuando el cultivo y el ambiente tengan menos humedad; lo más recomendable es entre las 10:00 y 15:00 horas.
- Esperar que no haya inversión térmica, pues puede contribuir a que la pluma de humo se mantenga cerca del suelo y dañe a poblaciones cercanas (CARB 1993,10).

9.5.1 Alternativas o incentivos para evitar las quemas agrícolas

Es sabido lo difícil que es erradicar las quemas de residuos agrícolas, pero sí se pueden reducir al mínimo sus emisiones, a través de un programa controlado para que se produzca menos humo, con técnicas de combustión adecuadas y residuos con la menor humedad posible. De esta manera, el efecto visual producido por la columna de humo será menos impactante a los ojos de la comunidad de ambos valles.

Por otra parte, se pueden incorporar los residuos agrícolas al suelo, con grandes ventajas para su mejoramiento orgánico. Aunque al principio puede tener dificultades, a largo plazo el agricultor tendrá un suelo con mejores características agronómicas. También se debe considerar el uso de la paja en la elaboración de composta, como una alternativa hacia una agricultura de conservación.

9.6 Control de emisiones de COV por el manejo y distribución de combustibles

La categoría del manejo y distribución de combustibles que contribuye con el 3% de las emisiones de COV que se generan en el país, se refiere a las emisiones generadas en las estaciones de servicio o gasolineras por el manejo del combustible donde se liberan al aire vapores de gasolina o emisiones contaminantes de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Estos compuestos se generan y liberan al aire: cuando la pipa de PEMEX está llenando de combustible los tanques de almacenamiento subterráneo con que cuenta la estación de servicio; por la respiración de los tanques subterráneos de almacenamiento; por la carga del combustible de los dispensarios a los vehículos y derrames.

Como medida de control en este sector, se recomienda la instalación de sistemas de recuperación de vapores fase II en todas las gasolineras del país, además de garantizar que estén funcionando estos sistemas en la ZMVM con una eficiencia de no menos del 90%.

También se debe garantizar que el sistema de recuperación de la fase I, cuando se entrega y descarga el combustible de la pipa al tanque subterráneo de las gasolineras, funcione con una eficiencia de no menos del 90%.

9.7 Medidas de control de COV en la industria

Aunque de manera individual no se tiene algún sector industrial dentro de las 7 categorías de máxima emisión, en conjunto sí es un sector estratégico para reducir emisiones de COV, y sobre todo en los sectores automotriz, químico, metálico, petróleo y petroquímica, plástico y hule, generación de energía eléctrica y metalúrgica. En el sector industrial las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles (COV), se generan en los procesos de combustión y en otras actividades como en el almacenamiento/transferencia de líquidos y gases; también se generan en varios procesos donde se manejan solventes o productos que lo contienen; y en general de manera dispersa dentro de las plantas industriales, cantidades importantes de COV se fugan, por lo que en

ocasiones se hace difícil y costoso su control. Generalmente los recursos se enfocan al control de emisiones en flujos y concentraciones altas.

Como una medida de control, se tiene que es posible que algunos compuestos orgánicos volátiles provenientes de algunos procesos se puedan capturar y reutilizar dentro o en otros procesos, y esto dependerá de varios factores, como la composición de COV, la fijación de alguna restricción sobre la reutilización y el valor de los COV. La otra alternativa es recuperar el contenido calórico de los COV como combustible y, de no ser así, puede haber un requisito de reducción para un cumplimiento normativo.

Por la complejidad de los procesos industriales que generan COV, es posible que sea necesario una combinación de técnicas de control de emisiones como las siguientes:

- Un pretratamiento (para eliminar la humedad y las partículas);
- La concentración de una corriente de gas diluida o la eliminación para reducir las altas concentraciones, y finalmente un refinado para lograr la liberación con el nivel deseado.

En términos generales, la condensación, la absorción y la adsorción ofrecen oportunidades para la captura y recuperación de COV, mientras que las técnicas de oxidación implican la destrucción de COV.

Las tecnologías de control existentes para el tratamiento de COV se agrupan en dos tipos:

- Técnicas integradas al proceso (Medidas de prevención)
- Técnicas al final del tubo (Controles)

9.7.1 Técnicas integradas al proceso (Medidas de prevención)

Los avances en la protección ambiental tienden al remplazo de las técnicas de final de tubo por las técnicas integradas en el proceso o en la producción.

Las técnicas integradas en el proceso son una fuente de mejoras ambientales significativas tanto en plantas nuevas como en plantas existentes. Están destinadas a reducir, o incluso prevenir la producción de residuos directamente en la fuente antes de que se conviertan en una descarga. Generalmente las "mejoras de proceso" disminuyen los costos realizados para llevar a cabo medidas adicionales de tratamiento, también se aumenta la eficiencia económica aumentando el rendimiento de producción y/o disminuyendo la entrada de la materia prima incluyendo agua. Los costos de eliminación y las limitaciones del tratamiento al final del proceso pueden influir en este cambio hacia técnicas integradas en el proceso. Aunque la prevención de los residuos y, por lo tanto, la aplicación de técnicas integradas en los procesos, es cada vez más importante, las técnicas de tratamiento al final del tubo seguirán siendo elementos esenciales para el control de las emisiones que se liberan al ambiente, principalmente cuando las técnicas integradas al proceso no son factibles para la producción existente.

Ejemplos de este tipo de técnicas son los siguientes:

- Reformulación/sustitución de materiales
- Prácticas de trabajo
- Sustitución de equipo
- Diseño de equipo
- Ubicación del equipo
- Características físicas del equipo
- Programas de inspección, mantenimiento y monitoreo
- Envolventes solares
- Refrigeración natural de tanques de almacenamiento
- Mejoras en las eficiencias de reacción
- Mejoras de los sistemas de catalización
- Optimización del proceso

Técnicas al final del tubo (Controles)

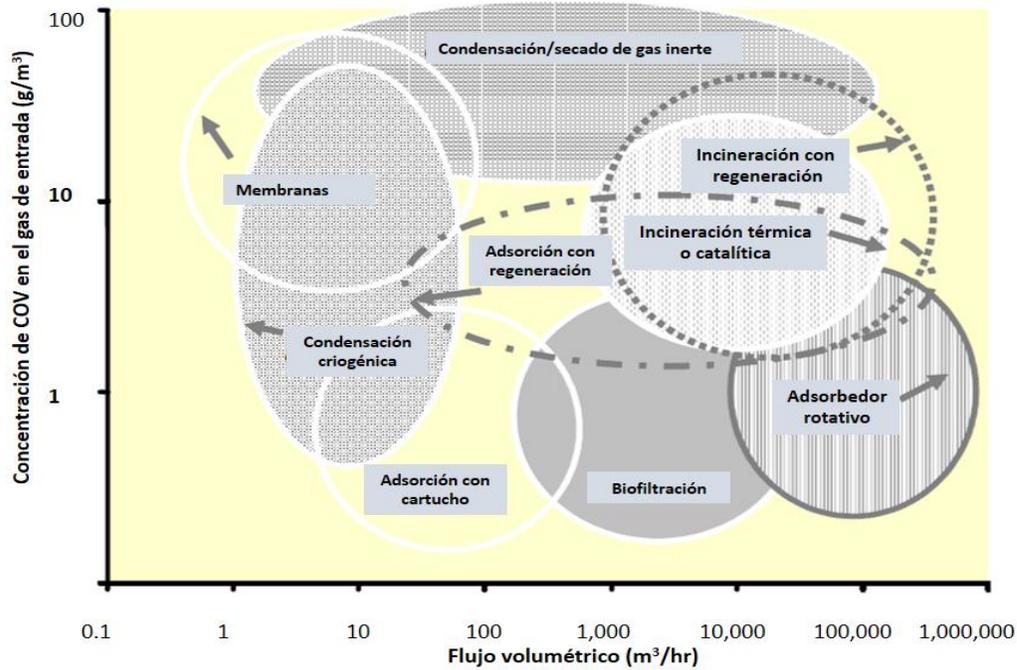
Cuando no es posible la aplicación de técnicas de prevención en la fuente que origina las emisiones, las técnicas al final del tubo son las adecuadas para el abatimiento de emisiones.

El tratamiento de los gases residuales normalmente se realiza directamente en el punto o etapa donde se genera, no es común tratar simultáneamente las corrientes de gas contaminado en una unidad central de tratamiento. La razón principal es que las unidades de tratamiento son normalmente diseñadas para una composición de gas residual particular. Otra razón importante es que se debe prestar especial atención a la liberación de compuestos tóxicos y peligrosos y su impacto sobre el entorno, así como la seguridad de la planta.

Las técnicas de control de COV son las siguientes:

- Separación por membranas
- Condensación
- Condensación criogénica
- Adsorción (Adsorción de lecho fijo, Adsorción de lecho fluidizado, Adsorción continua en lecho móvil, Adsorción por oscilación de presión PSA)
- Depuración o lavado húmedo de gases
- Biofiltración
- Biolavado o biodepuración
- Biotrickling
- Oxidación térmica
- Oxidación catalítica
- Ionización
- Foto/UV Oxidación

La aplicación de estas tecnologías de tratamiento para la reducción de COV, está referenciada a la consideración de los rangos de concentración de COV contenidos en la corriente de entrada y el gasto o flujo volumétrico. En la siguiente figura se muestran los rangos de las concentraciones del gas a tratar y el rango del flujo volumétrico adecuado.



Fuente: (European Commission, 2007)

Figura 9.1 Rangos de aplicación de técnicas de reducción de emisiones de COV

Dada la complejidad de los procesos industriales y la existencia de varias alternativas de control de COV, en la siguiente sección, se amplía la descripción de las alternativas de control de COV en la Industria.

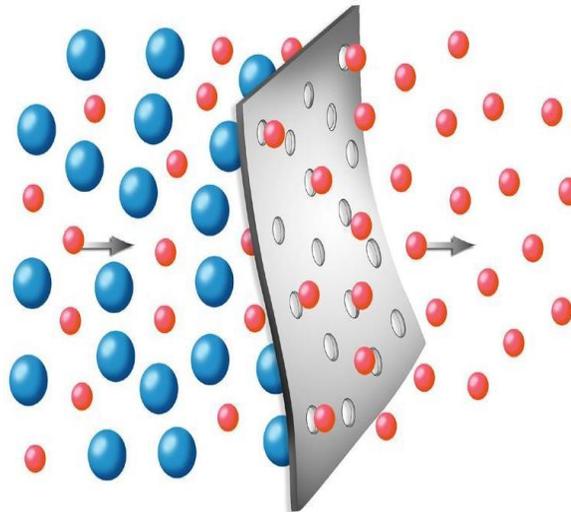
10 Métodos de control de emisiones en la industria

El tratamiento de los gases residuales normalmente se realiza directamente en el punto o etapa donde se genera. No es común tratar simultáneamente las corrientes de gas contaminado en una unidad central de tratamiento. La razón principal es que las unidades de tratamiento son normalmente diseñadas para una composición de gas residual particular. Otra razón importante es que se debe prestar especial atención a la liberación de compuestos tóxicos y peligrosos y su impacto sobre el entorno, así como la seguridad de la planta.

Las técnicas de control de COV son las siguientes:

10.1 Separación por membranas

Esta técnica considera la permeabilidad selectiva de los vapores orgánicos cuando penetran a través de una membrana. Los vapores orgánicos tienen una permeabilidad considerablemente más alta que el oxígeno, nitrógeno, hidrógeno o dióxido de carbono (10 a 100 veces mayor).



Fuente: <http://encyclopedia.che.engin.umich.edu/Pages/SeparationsChemical/Membranes/Mebranes.html>

Figura 10.1 Principio de la Separación mediante membranas

El gas residual se comprime y se hace pasar sobre la membrana. El permeado enriquecido puede ser recuperado por métodos como la condensación, la adsorción o puede reducirse por ejemplo por oxidación catalítica. Este proceso es más apropiado para concentraciones de vapor altas.

Cuadro 10.1 Beneficios ambientales del lavado húmedo

Contaminante	Eficiencia de reducción (%) ¹	Nivel de emisión (mg/Nm ³) ²
COV	Hasta 99.9	150-300
<p>1 La eficiencia depende de la configuración específica de la planta y las condiciones de operación, los resultados indicados se basan en promedios de media hora.</p> <p>2 Los niveles de emisión reportados son indicativos de lo que en algunos establecimientos se ha logrado alcanzar a condiciones normales de operación, los niveles de emisión dependerán de la configuración específica de la planta y de las condiciones de operación, los valores aquí mostrados deben ser utilizados con extrema precaución.</p>		

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.1.1 Aplicaciones

Se aplica en la industria química, la industria petroquímica y la industria farmacéutica, entre otras, es ampliamente utilizada para recuperar vapores de solvente en residuos gaseosos. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Cloruro de vinilo de la manufactura de PVC
- Vapores de solventes e hidrocarburos del llenado de tanques

Los compuestos recuperados incluyen: alcanos, olefinas, aromáticos, hidrocarburos clorados, alcoholes, éteres, cetonas y ésteres.

10.2 Condensación

La condensación es una técnica que elimina vapores de solvente de una corriente gaseosa residual mediante la reducción de su temperatura por debajo de su punto de rocío. Existen diferentes métodos de condensación, dependiendo del rango de temperatura de funcionamiento e incluyen:

- Condensación de refrigeración, para una temperatura de condensación de hasta 25 ° C;
- Condensación de refrigerante, para una temperatura de condensación de hasta los 2 ° C;
- Condensación de salmuera, para una temperatura de condensación de hasta -10 ° C;
- Condensación de salmuera de amoníaco, para una temperatura de condensación de hasta cerca de -40 ° C (en una etapa) o -60°C (en dos etapas);
- Condensación criogénica, para una temperatura de condensación de hasta -120 ° C aproximadamente, en la práctica a menudo funciona entre -40 °C y -80° C en el dispositivo de condensación;
- Condensación de gas inerte de ciclo cerrado.

La condensación se lleva a cabo mediante enfriamiento directo (es decir, contacto entre el gas y el líquido enfriador) o enfriamiento indirecto (es decir, enfriamiento a través de un intercambiador de calor).

La condensación indirecta se prefiere porque la condensación directa necesita una etapa de separación adicional.

Los sistemas de recuperación varían desde condensadores sencillos hasta sistemas más complejos de condensación múltiple diseñados para maximizar la recuperación de energía y vapores.

El diseño y operación de los condensadores son altamente dependientes de los medios de enfriamiento utilizados en el proceso.

10.3 Condensación criogénica

El funcionamiento de la condensación criogénica es mediante la utilización de la vaporización de nitrógeno líquido como medio refrigerante para condensar los vapores de COV en la superficie del condensador. El nitrógeno evaporado se utiliza para proporcionar un revestimiento inerte.

El sistema de condensación criogénica consta de:

- El precondensador, utilizando agua o glicol frío;
- La unidad de condensación
- El economizador del proceso;
- El economizador de nitrógeno;
- El vaporizador de nitrógeno;
- Los ductos y venteos necesarios.

Una variante es la condensación bajo una atmósfera inerte, por ejemplo, el nitrógeno permite que la corriente de gas contenga concentraciones altas de COV.

Cuadro 10.2 Beneficios ambientales de la condensación

Tipo de condensación	Contaminante	Eficiencia de reducción (%)	Nivel de emisión (mg/Nm ³)	Comentarios
Condensación de refrigeración	Olores	60-90 ¹	ND	
Condensación criogénica	Tolueno	ND	<100	A -65°C, Inicial de 20-1,000 g/Nm ³
	Metil Etil Cetona	ND	<150	A -75°C, Inicial de 20-1,000 g/Nm ³
	Acetona	ND	<150	A -86°C, Inicial de 20-1,000 g/Nm ³
	Metanol	ND	<150	A -60°C, Inicial de 20-1,000 g/Nm ³
	Diclorometano	ND	<20 ¹	
	COV	>99	<150 ¹	Inicialmente hasta 1,000 g/Nm ³

¹ Dependiendo de las condiciones de operación y configuración específicas

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.3.1 Aplicación

La condensación mediante refrigerante se aplica a corrientes de gas relativamente saturadas (es decir, un punto de rocío alto) de compuestos volátiles (orgánicos e inorgánicos) y sustancias olorosas, que se eliminan mediante una corriente de agua, donde el agua condensada actúa como absorbente (siempre que las sustancias específicas sean solubles en agua).

Una aplicación esencial de la condensación mediante refrigerante es emplearla como pretratamiento previo o posterior en instalaciones de tratamiento de gases residuales corriente arriba o corriente abajo.

Por ejemplo: la eliminación de la carga principal de COV mediante la condensación para su tratamiento posterior utilizando adsorbentes, depuradores y oxidantes térmicos.

Adicionalmente la condensación es un post-tratamiento adecuado para corrientes de gas enriquecido, por ejemplo, a partir de la separación de membranas o mediante la destilación.

10.4 Adsorción

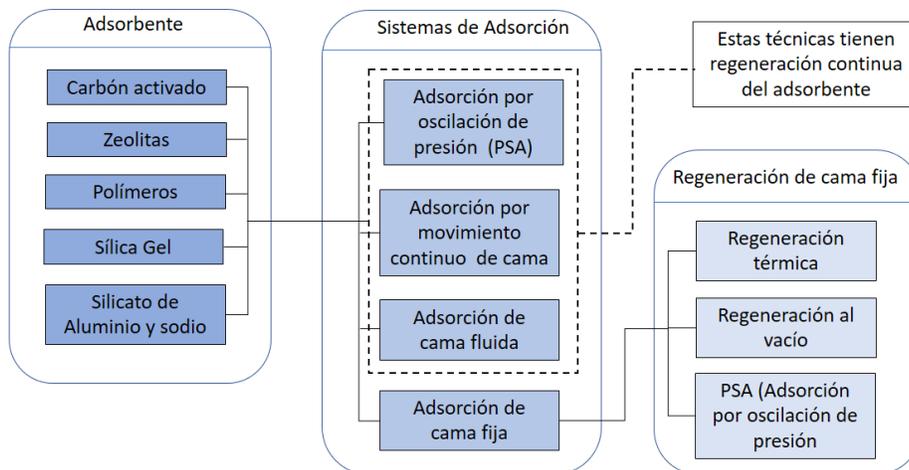
La adsorción es una reacción heterogénea en la que las moléculas de gas son retenidas en la superficie de un sólido o líquido (adsorbente también denominado tamiz molecular) que prefiere compuestos específicos u otros eliminándolos así de los efluentes. Cuando la superficie se ha adsorbido tanto como se puede, el contenido adsorbido se desorbe como parte de la regeneración del adsorbente. Cuando son desorbidos, los contaminantes suelen estar en una concentración más alta y pueden recuperarse o disponerse adecuadamente.

Los principales tipos de sistemas de adsorción son:

- Adsorción de lecho fijo;
- Adsorción de lecho fluidizado;
- Adsorción continua en lecho móvil;
- Adsorción por oscilación de presión (PSA).

En la Figura 10.2 se resumen los diferentes sistemas de adsorción.

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)



Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

Figura 10.2 Sistemas de adsorción

El proceso de adsorción de cama fija es el más ampliamente utilizado, los adsorbentes típicos incluyen carbón activado granular (GAC por sus siglas en inglés), es el más común con un amplio rango de eficiencia, no restringido a compuestos polares o no polares; el GAC se puede impregnar con oxidantes como el permanganato de potasio o con compuestos de azufre (mejoran la retención de metales pesados).

En el Cuadro 10.3 se muestran los beneficios ambientales alcanzados con la adsorción.

Cuadro 10.3 Beneficios ambientales de la adsorción

Contaminantes	Eficiencia de reducción (%)	Nivel de emisión	Comentarios
COV	80-95 ¹	5-100 mg/Nm ³ ¹	GAC
	99 ¹	ND	Zeolitas
	95-98 ¹	100-200 ppm ¹	Polímeros
Formaldehido	ND ¹	< 1 ppm ¹	Polímeros
Tolueno	90 ¹	ND	GAC

¹ Dependiendo de la configuración específica, condiciones operacionales y reagentes

La tecnología de adsorción es aplicable para el control, recuperación, reciclado o preparación para el tratamiento de COV y contaminantes peligrosos del aire de las siguientes actividades:

- Desengrase
- Pintado en spray
- Extracción de solventes
- Recubrimiento de láminas metálicas
- Recubrimiento de películas plásticas
- Recubrimiento de papel
- Farmacéuticas

10.5 Depuración o lavado húmedo de gases

La depuración húmeda (o absorción) es la transferencia de masa entre un gas soluble y un solvente (comúnmente agua) mediante el contacto entre ellos. La depuración física es preferida a una recuperación química, el lavado químico es restrictivo para la eliminación y disminución de compuestos gaseosos. La depuración fisicoquímica ocupa una posición intermedia. El compuesto se disuelve en el líquido absorbente y participa en una reacción química reversible, que permite la recuperación del compuesto gaseoso.

En función de los contaminantes a ser removidos, se utilizan líquidos acuosos de lavado, incluyendo los siguientes:

- Agua, para remover solventes y gases como haluros de hidrógeno o amoníaco, los contaminantes recuperados se pueden reusar o reutilizar.
- Soluciones alcalinas (por ejemplo, sosa cáustica, es decir, hidróxido de sodio y carbonato de sodio), para eliminar compuestos ácidos tales como haluros de hidrógeno, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno (H₂S), fenoles, cloro; también se usa para el lavado de la

segunda etapa para eliminar los haluros de hidrógeno residuales después de la absorción acuosa en la primera etapa; desulfurización de biogás.

- Soluciones oxidativas alcalinas, es decir, soluciones alcalinas con oxidantes como el hipoclorito de sodio (NaOCl), el dióxido de cloro (ClO₂), el ozono (O₃) o el peróxido de hidrógeno (H₂O₂).
- Soluciones de oxidación: por ejemplo, para recuperar NO_x de gases residuales concentrados.
- Soluciones de hidrógeno sulfito de sodio, para eliminar el olor (por ejemplo, aldehídos).
- Na₂S₄ soluciones para eliminar el mercurio de los gases residuales.
- Soluciones ácidas, para eliminar compuestos alcalinos, por ejemplo, amoníaco, aminas y ésteres
- Soluciones de monoetanolamina y dietanolamina, adecuadas para la absorción y recuperación de sulfuro de hidrógeno.
- Disolventes orgánicos con baja volatilidad, por ejemplo, nonano refrigerado para la recuperación de COV ligeros como butanos y pentanos.

En relación a los tipos de depuradores o lavadores existen los siguientes:

- Depuradores de empacado fibroso;
- Depuradores de cama móvil;
- Depuradores de cama empaquetada;
- Depuradores de placa de impacto;
- Torres de pulverización.

Los factores a considerarse para elegir adecuadamente el tipo de depurador son los siguientes:

- Requisitos de eficiencia,
- Energía necesaria,
- Reactivos
- Propiedades de la corriente de gas residual.

En el Cuadro 10.4 se muestran los beneficios ambientales alcanzados mediante el lavado húmedo para la remoción de gases.

Cuadro 10.4 Beneficios ambientales del lavado húmedo

Contaminantes	Eficiencia de reducción (%) ¹	Nivel de emisión (mg/m ³) ²	Líquido de lavado
Alcoholes	30-99 ²	>100 ³	Agua
Fenoles	90 ²	ND	Alcalino
COV	99 ²	ND	ND
	50-95 ²	ND	ND
	70-99 ²	ND	ND

1 Dependiendo de la configuración específica, las condiciones operacionales y reactivos utilizados; a menos que se indique lo contrario, las actuaciones indicadas se basan en promedios de media hora
2 Fuentes bibliográficas diversas mencionadas en (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.5.1 Aplicación

La depuración o absorción se usa ampliamente como técnica de recuperación de materia prima y / o producto para la separación y purificación de corrientes gaseosas que contienen altas concentraciones de COV, especialmente compuestos solubles en agua tales como alcoholes, acetona o formaldehído.

El uso de la absorción como técnica de control primaria para vapores orgánicos está sujeto a la disponibilidad de un solvente adecuado, con una alta solubilidad para el gas, baja presión de vapor y baja viscosidad.

Como técnica de control final de emisiones, el lavado además de emplearla para COV, también es utilizada para compuestos inorgánicos. Su idoneidad como método de control de la contaminación depende de:

- El valor de recuperación del contaminante;
- El costo de eliminación del agua residual;
- La eficiencia de eliminación requerida;
- La concentración de contaminantes en el gas residual de entrada;
- La disponibilidad de un solvente / reactivo químico adecuado.

La absorción se mejora mediante:

- Superficies de contacto más grandes;
- Mayores relaciones líquido / gas;
- Concentraciones más altas en la corriente de gas;
- Temperaturas más bajas

Normalmente se requerirán bajas concentraciones de gases de salida para los COV peligrosos, lo que conduce a torres de absorción poco prácticas, largos tiempos de contacto y altas relaciones de líquido a gas que pueden no ser rentables. Por lo tanto, los depuradores húmedos son más efectivos para el control de COV peligroso cuando se usan en combinación con otros dispositivos de control, como los adsorbedores o los oxidadores de gas residual.

10.6 Biofiltración

La corriente de gas residual se pasa a través de un lecho de material orgánico (como turba, brezo, composta, madera de raíz, corteza de árbol, turba, compost, madera blanda y diferentes tipos de combinaciones) o algún material inerte (como arcilla, carbón activado, y poliuretano), donde se oxida biológicamente por microorganismos naturales en dióxido de carbono, agua, sales inorgánicas y biomasa.

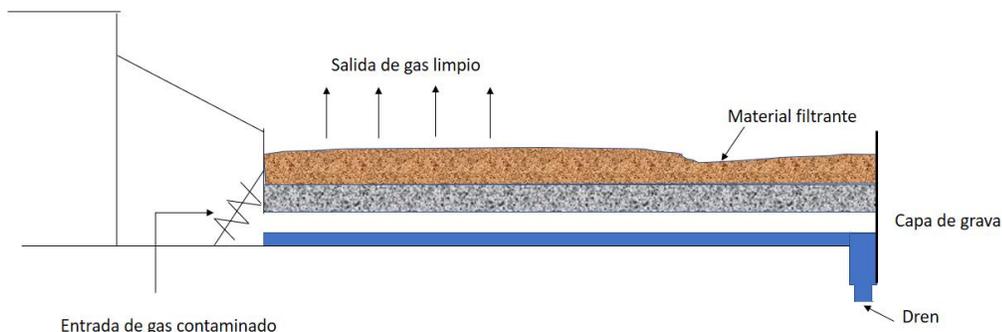


Figura 10.3 Sistema de biofiltración

Existen dos tipos de biofiltros: biofiltros abiertos y biofiltros cerrados.

Un biofiltro abierto consiste en una capa de material de biofiltración porosa bajo la cual existe una red de tuberías a través de la que el aire contaminado es alimentado al filtro. Estos filtros requieren un largo tiempo de residencia y, por lo tanto, tienden a ser grandes. Pueden usarse para bajos caudales de aire contaminado. Una alternativa a esto es el uso de biofiltros multinivel, donde varias capas superpuestas evitan la necesidad de una gran área. En áreas con un clima frío (heladas), su aplicación está limitada.

Un biofiltro cerrado consiste en una capa de material que soporta una población microbiana adecuada y se coloca bajo un sistema de distribución que suministra la corriente de gas residual contaminado al filtro uniformemente. La corriente de gas se alimenta al filtro mediante ventiladores eléctricos. El flujo de gas es de arriba hacia abajo o viceversa. El soplador, el sistema de ventilación y los materiales de construcción del biofiltro deberán de ser de materiales adecuados para minimizar los efectos corrosivos de los gases residuales, de los condensado y del polvo/lodo. La mayoría de los biofiltros en funcionamiento son filtros de lecho abierto, que son menos costosos que los biofiltros incluidos, pero también son menos eficientes.

En el Cuadro 10.5 se muestran los beneficios ambientales alcanzados mediante el biofiltrado para la remoción de gases.

Cuadro 10.5 Eficiencias alcanzadas y niveles de emisión asociadas con la biofiltración

Contaminantes	Eficiencia de reducción (%) ¹	Nivel de emisión (mg/m ³)
COV	75-95 ²	>5-50
Tolueno	80-95 ²	5-20
Estireno	80-90	10-50
Etanol	>90	ND

1 Dependiendo de la configuración específica, las condiciones operacionales y reactivos utilizados; a menos que se indique lo contrario, las actuaciones indicadas se basan en promedios de media hora

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.6.1 Aplicación

La biofiltración es adecuada para concentraciones bajas de contaminantes que son fácilmente solubles en agua. No es adecuado para gases residuales que contienen muchos contaminantes diferentes y/o cambiantes. El metano no disminuye, porque el tiempo de residencia necesario sería demasiado largo para las dimensiones normales del filtro.

Cuando la concentración del contaminante es demasiado alta, se puede acidificar el material filtrante, inutilizándolo y aumentando drásticamente la frecuencia de sustitución. Al aplicar la biofiltración, es importante que el material de filtración tenga un valor de pH en el rango de 7-8 para descomponer los compuestos orgánicos. Con un valor de pH de 6.5, la velocidad de descomposición disminuye. El tiempo de residencia del gas en el filtro debe ser de al menos 30-45 segundos para reducir adecuadamente los compuestos y disolventes olorosos (por ejemplo, tolueno).

10.7 Biolavado o biodepuración

El biolavado es una combinación del lavado húmedo de gases (absorción) y la biodegradación; el agua de lavado contiene una población de microorganismos adecuados para oxidar los compuestos gaseosos nocivos. Los microorganismos se suspenden en agua. Por lo tanto, las condiciones para usar biolavadores son:

- Que exista la posibilidad de lavar los componentes de los gases residuales;
- Que los componentes de lavado sean biodegradables en condiciones aeróbicas.

El diseño del biorreactor se basa en el uso de lodo activado o en un sistema de lodo sobre un soporte, la mezcla de lodos de agua se recircula al reactor. Los contaminantes absorbidos se degradan en tanques de lodo aireado. La torre de lavado debe ser diseñado de tal manera que el tiempo de contacto sea de alrededor de un segundo, dependiendo de los contaminantes a tratar.

Los biodepuradores frecuentemente se inoculan con lodo activado, por ejemplo, de agua residual biológica de una planta de tratamiento. Dependiendo de la composición del gas residual, después de algunas semanas de adaptación se podrá lograr el rendimiento del biolavado al nivel deseado.

Entre los beneficios ambientales logrados para los COV se alcanzan del orden del 80 al 90% de eficiencia de reducción.

10.7.1 Aplicación

El biolavado se utiliza en la industria química y petroquímica, así como en plantas de tratamiento de aguas residuales. Es una técnica de eliminación para compuestos fácilmente biodegradables, como el amoníaco, aminas, hidrocarburos, sulfuro de hidrógeno y contaminantes olorosos. Es adecuado para bajas concentraciones de contaminantes que son fácilmente solubles en agua.

Las aplicaciones típicas y probadas del biolavado se ilustran en el Cuadro 10.6.

Cuadro 10.6 Aplicaciones típicas del biolavado

Área de aplicación	Eliminación de olores	Hidrocarburos alifáticos	Hidrocarburos aromáticos
Tanques activados de lodo de plantas biológicas de tratamiento de aguas de alcantarillado	X	X	X
Producción de enzimas	X		
Producción de fragancias	X	X	
Industria del hule	X		
Acondicionamiento de desechos de pintura	X	X	X
Gases de vertederos de residuos peligrosos	X	X	X

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.8 Biotrickling

El método de biotrickling funciona en condiciones similares al biolavado, pero, en contraste con los microbios se fijan en elementos de soporte.

En este tipo de tratamiento, una fase acuosa circula continuamente a través de un lecho de material inerte. Este empaque puede consistir en material a granel irregular, como anillos, sillas de montar, etc. o de embalaje estructurado. El material de embalaje se selecciona para cada caso individual. Las propiedades de la superficie deben ser tales que la biopelícula se adhiera a ella con firmeza. Los contaminantes en el gas residual y el oxígeno son absorbidos por la fase de agua y transportado a la biopelícula, donde tiene lugar la transformación biológica. La calidad de la transferencia de masa del gas a la fase líquida y el rendimiento para la eliminación del reactor esencialmente depende de la superficie húmeda y del embalaje. Para alcanzar resultados óptimos de eliminación por ejemplo el maximizar el área superficial mojada, la fase líquida debe ser distribuida uniformemente sobre la superficie de la biopelícula.

La inmovilización de la biomasa y la formación de la biopelícula son procesos controlados de forma natural los cuales se inician después de la inoculación de la fase acuosa. La circulación continua de la fase líquida asume la función de suministrar a la población de microbios los nutrientes necesarios. Al mismo tiempo, el exceso de lodo activado y productos de la reacción pueden ser inhibidores.

10.8.1 Beneficios alcanzados

Las eficiencias alcanzadas y las concentraciones de entrada necesarias para la aplicación del biotrickling son los siguientes:

Cuadro 10.7 Eficiencias de reducción y concentración de alimentación en la corriente

Contaminantes	Eficiencia de reducción (%)	Concentraciones de entrada (mg/Nm ³)
COV	75-99	ND
Alcoholes como el etanol y propanol	90-95	50 a 5,000
Acetato de etileno	70-90	
Tolueno, xileno	80-90	

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.8.2 Aplicación

La aplicación del biotrickling es comparable al biolavado con ligeras diferencias en los contaminantes para los que son adecuadas. En el Cuadro 10.8 se muestran sus aplicaciones.

Cuadro 10.8 Aplicación del Biotrickling por grupo de compuestos

Recomendable	Generalmente recomendable	No recomendable
Alcoholes (metanol, etanol, Butanol, glicol, diglicoles, butil glicol) Aldehídos, cetonas (formaldehído, acetaldehído, acetona, metil isobutil cetona) Fenoles (fenol, cresol) Mercaptanos Diclorometano, 1,2 Dicloroetano, clorofenoles	Estireno, naftaleno Tricloroetano	Hidrocarburos alifáticos (metano, pentano) Percloroetano 1,1,1 Tricloroetano

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.9 Oxidación térmica

La oxidación térmica o incineración ("incineración térmica" o "combustión oxidativa") es el proceso de oxidación de gases combustibles y olores en una corriente de gas residual calentando una mezcla de contaminantes con aire u oxígeno por encima de su punto de autoignición en una cámara de combustión y manteniéndola a una temperatura alta durante el tiempo suficiente para completar la combustión a dióxido de carbono y agua.

Los principales constituyentes obtenidos en este tratamiento son vapor de agua, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno.

Dependiendo del contenido de contaminantes del gas residual bruto que se está incinerando y de las condiciones de funcionamiento del oxidante térmico, pueden estar presentes otros contaminantes en el gas residual tratado y puede requerirse un tratamiento aguas arriba dependiendo de la composición del gas residual sin procesar o del tratamiento adicional aguas abajo del gas residual tratado.

Los parámetros de diseño básicos para los sistemas de oxidación de COV son el tiempo, la temperatura (alrededor de 200-400 ° C por encima de la autoignición), la turbulencia (para mezclar) y la disponibilidad de oxígeno ya que afectan la velocidad y la eficiencia del proceso de combustión.

Existen los siguientes tipos de oxidadores térmicos:

- El Oxidador térmico directo, compuesto por una cámara de combustión no incluye la recuperación de calor del gas de combustión.
- El Oxidador térmico con regeneración
- El Oxidador térmico con recuperación

Cuadro 10.9 Eficiencias de reducción y concentración de alimentación en la corriente

Tipo de oxidación	Eficiencia de reducción (%) de COV	Nivel de emisión (mg/m ³)
Oxidación térmica directa	<ul style="list-style-type: none"> • 98-99.9 COV como COT 	<1-20
Oxidación térmica regenerativa	<ul style="list-style-type: none"> • 95-99; 98-99.6 COV como COT • 99.6 COV predominantemente como esteres ácidos carboxílicos 	13
Oxidación térmica con recuperación	<ul style="list-style-type: none"> • 98-99.999; 98-99.9 COV como COT 	<1-20

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.9.1 Aplicación

Los oxidantes térmicos se utilizan para reducir las emisiones de casi todas las fuentes de COV, como las rejillas de ventilación de reactores, los respiraderos de destilación, las operaciones con disolventes y las operaciones realizadas en hornos, secadores. Pueden manejarse pequeñas fluctuaciones en el flujo, para grandes fluctuaciones requieren el uso de quemadores.

El consumo de combustible puede ser alto, cuando se alimentan cargas pequeñas de gases residuales, las unidades térmicas son las más adecuadas para aplicaciones de pequeños procesos con cargas de COV de moderadas a altas. Los oxidantes térmicos se utilizan para controlar los COV de una amplia variedad de procesos industriales, como:

- El almacenamiento y la carga / descarga de líquidos orgánicos volátiles;
- La limpieza de contenedores (vagones cisterna, camiones cisterna y barcasas);
- La prevención de procesos en la industria de fabricación de productos químicos orgánicos sintéticos;
- La fabricación de pintura;
- Los productos de caucho y fabricación de polímeros;

- El recubrimiento flexible de vinilo y uretano;
- Las instalaciones de almacenamiento y eliminación de tratamiento de desechos peligrosos.

10.10 Oxidación catalítica

La Oxidación catalíticas funcionan de manera muy similar a los oxidantes térmicos, con la diferencia de que el gas, pasa después del área de la flama, pasando a través de un lecho catalizado. El catalizador tiene el efecto de aumentar la velocidad de reacción de la oxidación, permitiendo la conversión a temperaturas de reacción más bajas que en las unidades de oxidación térmica. Los catalizadores, por lo tanto, también permiten que se usen oxidadores más pequeños.

El gas residual se calienta con quemadores auxiliares a aproximadamente 300-500°C antes de ingresar al lecho del catalizador. La temperatura máxima de diseño del catalizador es típicamente 500-700 °C. Existen catalizadores de baja temperatura que trabajan a temperaturas de 200-250 °C. Existen varios tipos de oxidadores:

- El oxidador catalítico directo;
- El oxidador catalítico regenerativo;
- El oxidador catalítico recuperativo.

Las eficiencias ambientales alcanzadas de reducción de emisiones, se muestran en el Cuadro 10.10.

Cuadro 10.10 Eficiencias de reducción asociada a la oxidación catalítica

	Eficiencia de reducción %		
	Directo	Regenerativo	de Recuperación
COV	95	90-99	ND

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.10.1 Aplicación

La oxidación catalítica se usa para reducir las emisiones de una variedad de fuentes estacionarias. Una fuente importante de emisión de COV es la evaporación del solvente, y la oxidación catalítica es ampliamente utilizada por muchos sectores industriales en esta categoría. Los ejemplos de los sectores químicos y relacionados son:

- La ventilación de proceso en la industria de fabricación de productos químicos orgánicos sintéticos;
- Los productos de caucho y fabricación de polímeros;
- La fabricación de resina de polietileno, poliestireno y poliéster.

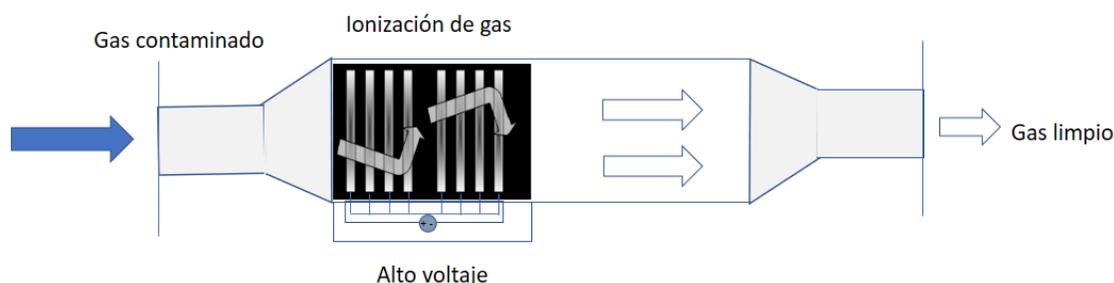
La oxidación catalítica es la más adecuada para sistemas con volúmenes de gases bajos, cuando hay pequeñas variaciones en el tipo y la concentración de COV, en los que no se presenta envenenamiento del catalizador u otros contaminantes incrustantes.

10.11 Ionización

En la ionización (también conocida como técnica de plasma frío directo), el aire o el flujo de gas entrante se conduce a través de una cámara de reacción donde se somete a un campo eléctrico muy fuerte (20-30 kV) generado por electrodos, causando iones, electrones libres, radicales y otras partículas altamente reactivas. No se produce un aumento notable de la temperatura. Los compuestos altamente reactivos causan la descomposición y la oxidación (parcial) de los contaminantes presentes en el gas entrante. Las partículas más activas en este proceso son los radicales N, O y OH. Están formados por nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y agua (H₂O).

Para mantener el reactor limpio, se debe instalar un sistema de (auto) limpieza. La limpieza puede ocurrir por vibración, aire comprimido o agua. En corrientes de aire sin polvo, este sistema de limpieza no es necesario. Con tratamiento directo, la eliminación de productos químicos orgánicos es posible. En el caso de la inyección de una corriente de aire ionizado, se produce una modificación de las moléculas de olor y, en menor medida, una eliminación de la carga orgánica.

A continuación, se muestra una figura con el sistema de ionización.



Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

Figura 10.4 Sistema de Ionización

Las eficiencias alcanzadas y las concentraciones de entrada necesarias para la aplicación con ionización se indican en el Cuadro 10.11.

Cuadro 10.11 Eficiencias de reducción del sistema de Ionización

Contaminantes	Eficiencia de reducción (%)	Observaciones
COV	80-99.9	Desempeño alcanzado en la industria de la madera

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.11.1 Aplicación

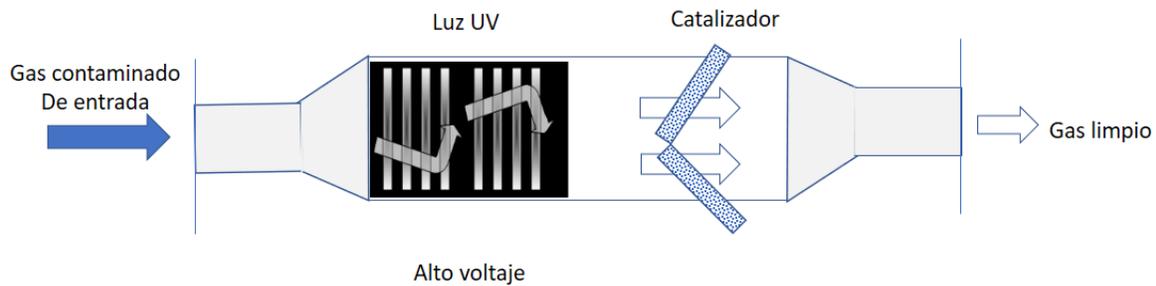
La ionización generalmente se utiliza para el tratamiento de gases con baja concentración de COV y en los casos donde la oxidación catalítica/térmica no es efectiva.

10.12 Foto/UV Oxidación

La corriente de gas residual entrante se conduce a través de una cámara de reacción y se irradia con ondas UV (100-280 nm). Esta radiación provoca la descomposición de los compuestos no deseados. Esta descomposición tiene lugar de dos maneras:

- fotólisis directa: compuestos como COV, NH₃, H₂S y aminas se rompen directamente por la radiación;
- oxidación por radicales de oxígeno reactivos: la presencia de un radical de oxígeno altamente reactivo también oxida compuestos que no se degradan por fotólisis directa y productos de reacción a partir de la fotólisis.

En la Figura 10.5 se muestra un diagrama esquemático de un sistema de oxidación foto/UV.



Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

Figura 10.5 Sistema de Foto/UV Oxidación

Las eficiencias alcanzadas y las concentraciones de entrada necesarias para la aplicación con la tecnología de la oxidación Foto/UV se indican en el Cuadro 10.12.

Cuadro 10.12 Eficiencias de reducción del sistema de Oxidación por foto/uv

Contaminantes	Eficiencia de reducción (%)	Nivel de emisión (mg/Nm ³)
COV	95	25-50

Fuente: (Brinkmann, Giner Santonja, Yükseler, Roudier, & Delgado Sancho, 2016)

10.12.1 Aplicación

La técnica es utilizada en instalaciones de recubrimientos, plantas de tratamiento de agua, instalaciones del procesamiento de residuos, procesos de fermentación y la industria de alimentos.

11 Normatividad mexicana relacionada con la generación de emisiones de COV

Dentro de nuestro marco legal, tenemos que desde la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su **Artículo 4° párrafo IV**, establece que **toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano** para su desarrollo y bienestar. En el Artículo 110 del Capítulo II “Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera” de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), se establece que **la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos** y las regiones del país; y que las emisiones de contaminantes de la atmósfera, deben ser reducidas y controladas para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

Una de las finalidades de este proyecto, es conocer la cantidad de compuestos orgánicos volátiles que genera cada municipio del país, además de proporcionar elementos para el desarrollo normativo de reducción de emisiones COV. Para esto se identificaron los principales sectores que generan las mayores emisiones de estos contaminantes, se seleccionaron los compuestos que son tóxicos y los niveles máximos de generación de ozono de cada compuesto. Todos estos elementos también serán de utilidad para replantear los esquemas normativos y de Gestión de la Calidad del Aire para que estos respondan a las realidades actuales de la problemática de la contaminación del aire que aquejan a todas las Zonas Metropolitanas y ciudades del País.

Como punto de partida tenemos que varias de las ciudades que cuentan con datos de monitoreo de la calidad del aire por ozono en el periodo del 2000 al año 2016, no cumplen con la Norma Oficial Mexicana (NOM-020-SSA1-2014) de Salud ambiental que establece el valor límite permisible para la concentración de ozono (O₃) en el aire ambiente. Ver Figura 11.1.



Fuente: Elaboración propia, con datos de la presentación "Insuficiencia de la regulación de los compuestos orgánicos volátiles en México", impartida por Ing. Sergio Zirath Hernández Villaseñor/ Director de Investigación de Calidad del Aire y Contaminantes Climáticos del INECC/ Ciudad de México, 4 de octubre de 2017

Figura 11.1 Zonas y ciudades de México que no cumplen con la NOM vigente de Ozono

Cabe mencionar que los COV reaccionan fotoquímicamente en la atmósfera junto con los óxidos de nitrógeno (NOx) para formar ozono troposférico, por lo que se hace necesario el control y la regulación de las emisiones de COV para reducir la formación de este contaminante.

Por lo anterior, es importante comentar que la regulación normativa de las emisiones de COV, es clave para mejorar la calidad del aire y disminuir las concentraciones atmosféricas de compuestos tóxicos y de contaminantes climáticos de vida corta como el ozono.

Con base en los resultados del Inventario Nacional de Emisiones de COV de México del año 2014 (INEMCOV-2014), elaborado como parte del presente proyecto, se tiene que las fuentes generadoras de COV son tan numerosas y diversas que hacen difícil su control y verificación, por lo que la propuesta del enfoque de regulación normativa de emisiones que se desarrolló, considera los sectores y categorías prioritarias que generan las mayores emisiones de COV y que tienen el mayor co-beneficio en la reducción de compuestos tóxicos y del potencial máximo en la generación de ozono. Para esto, además de los elementos que nos proporciona el INEMCOV-2014, se realizó un análisis de la normatividad ambiental existente en México sobre la generación y control de las emisiones de COV.

El marco regulatorio con que cuenta actualmente la Autoridad Ambiental Mexicana para inhibir y reducir las emisiones de COV, se presenta a continuación.

11.1 Normatividad para reducir COV en fuentes fijas

Los tres sectores industriales que aportan cerca del 57% de emisiones de COV identificados en el inventario de emisiones de COV, son:

1. La industria automotriz,
2. La industria química y
3. La industria del petróleo y petroquímica.

A nivel federal, la normatividad existente en materia de regulación de niveles de emisión de COV, se ha mantenido sin cambios desde que fueron creadas las siguientes dos normas:

- La NOM-121-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles a la atmósfera de COV provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios, carga y camiones ligero
- La NOM-123-SEMARNAT-1998 que regula el contenido máximo de COV en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico.

Existió una tercera norma la NOM-075-SEMARNAT-1995 que establecía los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo, la cual fue cancelada en 2012 por los cambios tecnológicos en esa categoría de emisión.

A nivel estatal en la Ciudad de México se cuenta con la siguiente norma ambiental

1. La NADF-011-AMBT-2007 que establece los límites máximos permisibles de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en fuentes fijas de jurisdicción del Distrito Federal que utilizan solventes orgánicos o productos que los contienen.

Se puede observar que la regulación federal existente es limitada respecto al número de fuentes emisoras, cada NOM aplica a una fuente emisora específica y a los productos o recubrimientos para los que aplica (solo abarca dos: Límites Máximos Permisibles: para pintado de vehículos nuevos y para el contenido de COV en pinturas arquitectónicas).

Alcance de aplicación

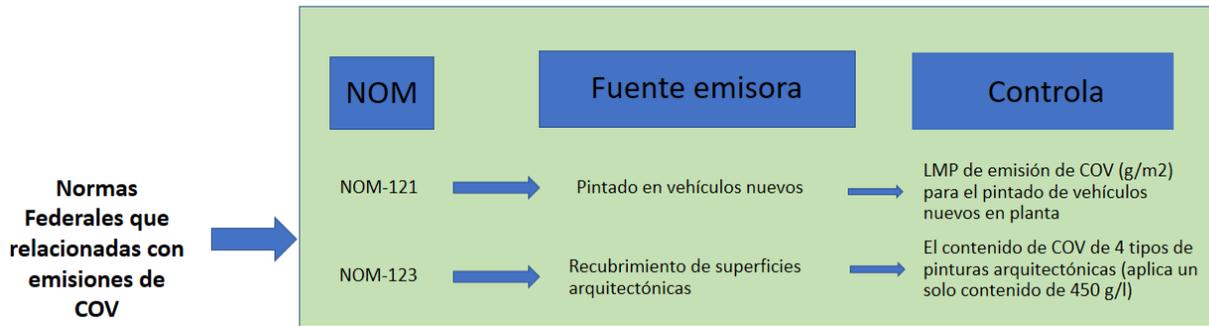


Figura 11.1 Alcances de aplicación de las NOM federales vigentes para reducir COV

La NOM-121-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles a la atmósfera de COV provenientes de las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta de automóviles, unidades de uso múltiple, de pasajeros y utilitarios, carga y camiones ligero. Excluye a otras fuentes emisoras de aplicación de pintura automotriz, como las agencias automotrices, los talleres de hojalatería y pintura que son fuentes cuyos consumos son pequeños pero que en conjunto tienen un impacto significativo en la calidad del aire.

La NOM-123-SEMARNAT-1998, no regula al resto de fuentes emisoras que aplican recubrimientos, ni los que consumen y usan otros tipos de recubrimientos.

11.2 Experiencia internacional sobre la normativa de COV

La situación normativa en la Comunidad Europea y en los Estados Unidos de Norteamérica, es la siguiente:

La Directiva europea 2010/75/UE, define un capítulo específico de disposiciones especiales para 20 diferentes tipos de instalaciones y actividades que utilicen disolventes orgánicos, a las cuales les establece valores límite de emisión de COV en los gases residuales y valores límite de emisión fugitiva o que respeten los valores límite de emisión total y además el cumplimiento de umbrales de consumo de disolventes según la actividad.

En los EE. UU. en el Código Federal de Regulaciones en la Parte 59 se establecen los estándares nacionales de COV para productos de consumo y comerciales. En la subparte A se identifica a 16 categorías para la reducción de COV, la Subparte B especifica los estándares del contenido de COV/l para 7 categorías de recubrimientos empleados en el pintado de vehículos, la Subparte C establece los estándares en % del contenido de COV para productos de consumo y establece como responsables del cumplimiento a los fabricantes, importadores o distribuidores, según el etiquetado de los productos. En la Subparte D establece el contenido de COV en 60 tipos de pinturas de uso arquitectónico. En la Subparte E se establecen los estándares de emisiones de COV basada en la reactividad media de los recubrimientos en aerosol. (U.S. Government Publishing Office, Electronic Code Of Federal Regulations, 2017).

De acuerdo a lo anterior se plantea la necesidad de modificar el enfoque puntual y específico de las normas existentes, hacia un enfoque masivo que permita abarcar más fuentes emisoras considerando elementos clave que participan en la emisión de los COV.

Los siguientes elementos clave que se identifican son:

- Contenido de COV en los productos y solventes
- Formas de aplicación y utilización
- Equipo
- Buenas prácticas
- Tecnología de control de emisiones

11.3 Normatividad para reducir COV en fuentes móviles

Referente a las fuentes móviles, a nivel federal la normatividad más relevante para el control de COV, es la relacionada con los límites de emisión de hidrocarburos (HC) que deben de cumplir los vehículos ligeros a gasolina nuevos y en circulación, y sobre el tema tenemos la siguiente Norma Oficial Mexicana:

- NOM-041-SEMARNAT-2015, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de **gases contaminantes** provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible.
- NOM-042-SEMARNAT-2003, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de **hidrocarburos** totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y diésel, así como de las emisiones de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible de dichos vehículos.
- NOM-044-SEMARNAT-2006, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de **hidrocarburos** totales, hidrocarburos no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas y opacidad de humo provenientes del escape de motores nuevos que usan diésel como combustible y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores nuevos con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos, así como para unidades nuevas con peso bruto vehicular mayor a 3,857 kilogramos equipadas con este tipo de motores.
- NOM-076-SEMARNAT-2012, Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de **hidrocarburos** no quemados, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno provenientes del escape, así como de hidrocarburos evaporativos provenientes del sistema de combustible, que usan gasolina, gas licuado de petróleo, gas natural y otros combustibles alternos y que se utilizarán para la propulsión de vehículos automotores con peso bruto vehicular mayor de 3,857 kilogramos nuevos en planta.

También se publicó una norma que se ha mantenido sin cambios y sin aplicación desde que fue creada para regular las emisiones provenientes del escape de las motocicletas en circulación.

- NOM-048-SEMARNAT-1993, que establece los niveles máximos permisibles de emisión de **hidrocarburos**, monóxido de carbono y humo, provenientes del escape de las motocicletas en circulación que utilizan gasolina o mezcla de gasolina-aceite como combustible.

12 Propuesta de normatividad para reducir las emisiones de COV

La normatividad con que cuenta actualmente la Autoridad Ambiental Mexicana para controlar y reducir las emisiones de COV, no cubre la mayor parte de los 20 sectores de mayor emisión que en suma generan un poco más del 90% de las emisiones de los COV, y que garantizan el mayor co-beneficio en la reducción de compuestos tóxicos y del potencial máximo en la formación de ozono, ver Cuadro 12.1.

Partiendo de la deficiencia normativa que muestra el Cuadro 12.1, para mitigar la problemática de la calidad del aire relacionada con las emisiones de COV, es necesario actualizar la normatividad existente y establecer nueva normatividad en los sectores en donde se generan las máximas emisiones de estos contaminantes y que actualmente no está cubierto con normatividad.

Dentro de estos 20 sectores o categorías de mayor emisión, hay 6 categorías que, en suma, generan el 74% de las emisiones de los COV, el 62% de los compuestos tóxicos y el 69% del potencial máximo de la formación de ozono, por lo que estas seis categorías, se podrían catalogar como de máxima prioridad para el desarrollo de Normatividad, y estas son:

1. El uso comercial y doméstico de solventes,
2. La limpieza de superficie industrial,
3. Los vehículos que utilizan gasolina como combustible (autos particulares, taxis y vagonetas),
4. El manejo y distribución del gas licuado de petróleo,
5. Las quemas agrícolas y
6. El manejo y distribución de combustibles (gasolineras).

Cuadro 12.1 Principales sectores de mayor generación de COV, tóxicos y del potencial en la generación de Ozono

#	Fuente	Sector o categoría	Emisiones COV (t/año)	NOM para reducir Emisiones de COV	Observaciones
1	Fijas	Automotriz	42,424	NOM-121-SEMARNAT-1997	Aplica a las operaciones de recubrimiento de carrocerías nuevas en planta
2	Fijas	Química	32,516	X	
3	Fijas	Terminales de almacenamiento y reparto de combustibles	24,193	X	
4	Fijas	Petróleo y petroquímica	14,004	NOM-075-SEMARNAT-1995	NOM Cancelada , aplicaba en los procesos de separadores agua-aceite de las

#	Fuente	Sector o categoría	Emisiones COV (t/año)	NOM para reducir Emisiones de COV	Observaciones
					refinerías de petróleo.
5	Fijas	Metálico	8,209	X	
1	Área	Manejo y distribución de GLP	425,508	X	
2	Área	Uso de solventes doméstico	379,012	X	
3	Área	Limpieza de superficies industriales	348,743	X	
4	Área	Manejo y distribución de combustibles	68,479	X	
5	Área	Quemas agrícolas	60,972	X	
6	Área	Recubrimiento de superficies arquitectónicas	58,269	NOM-123-SEMARNAT-1998	Se regula el contenido máximo de COV desde la fabricación de pinturas
7	Área	Artes gráficas	54,025	X	
8	Área	Aguas residuales	45,611	X	
9	Área	Combustión doméstica	40,827	X	
10	Área	Pintado automotriz	22,468	X	
11	Área	Recubrimiento de superficies en la industria	20,215	X	
12	Área	Incendios forestales	13,338	X	
1	Móviles	Autos particulares y taxis (gasolina)	210,953	NOM-041-SEMARNAT-2015 NOM-042-SEMARNAT-2003	Parcialmente aplicables, hasta que se distribuyan combustibles de Ultra Bajo Contenido de Azufre en todo el territorio nacional
2	Móviles	Vagonetas de pasajeros (gasolina)	187,127	NOM-041-SEMARNAT-2015 NOM-042-SEMARNAT-2003	
3	Móviles	Motocicletas	39,556	NOM-048-SEMARNAT-1993	No se aplica

12.1 Enfoque para diseñar normatividad

Ante todo, primero se recomienda actualizar las dos normas federales existentes de fuentes fijas:

1. NOM-123-SEMARNAT-1998
2. NOM-121-SEMARNAT-1997

Por otro lado, considerando la experiencia internacional de EE.UU., California y la Comunidad Europea, se deberá desarrollar la normatividad que mejor aplique a las condiciones del País.

Diseñar normatividad en los que se regulen los elementos clave que impacten al mayor número de fuentes emisoras, el enfoque es el mostrado en la Figura 12.1.

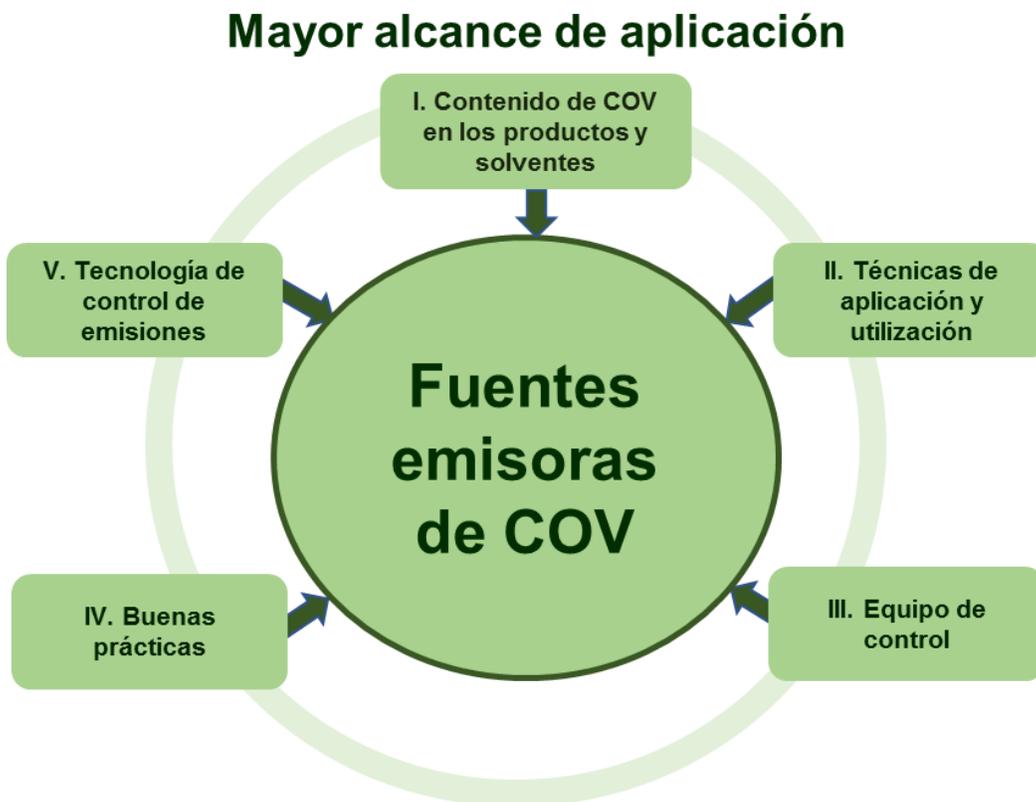


Figura 12.1 Enfoque para diseñar normatividad

13.1.1 Regular el contenido de COV en los productos y solventes

Elaborar y diseñar la normatividad que regule el contenido de COV en solventes y productos que contienen este tipo de compuestos.

La normatividad deberá integrar los siguientes parámetros:

- Contenido máximo de COV en los recubrimientos de mayor consumo en el país

- Fomentar la utilización de COV en la formulación de los recubrimientos y solventes de compuestos de baja reactividad, solventes exentos y de menor punto de evaporación, esto permitirá la disminución de emisiones de COV con alta reactividad y facilidad evaporativa.
- Limitar el uso de COV de mayor toxicidad y peligrosidad en las formulaciones de recubrimientos y solventes.

La normatividad deberá abarcar las diversas fuentes emisoras existentes en el País tales como:

Industria automotriz
Industria química y petroquímica
Artes Gráficas
Talleres de hojalatería y pintura
Recubrimiento de Superficies Industriales
Recubrimiento de Superficies Arquitectónicas
Uso Comercial y Doméstico de Solventes
Limpieza de Superficies Industriales (Desengrasado)
Otros giros industriales con actividades auxiliares de pintado y limpieza con solventes.

Para desarrollar la norma se deberán realizar estudios como los siguientes:

- Realizar un estudio a nivel nacional para conocer los tipos y consumos correspondientes de los solventes consumidos en el país, con sus hojas de especificaciones técnicas, para identificar los contenidos en porcentaje y tipos de COV presentes en las formulaciones, lo que permitirá enfocar los esfuerzos hacia los de mayor consumo y uso en la preparación de superficies y en la dilución de recubrimientos.
- Estudio que determine los Máximos Índices de Reactividad Incremental de Ozono específicos para los COV utilizados en las formulaciones de los recubrimientos y los solventes en el país, debido a que la reactividad de los COV no es una variable estática, sino que depende de las condiciones ambientales como la temperatura, la radiación solar, la concentración de los NOX, así como los COV presentes en la atmósfera del país o de las diferentes regiones o zonas metropolitanas en las que se considere fundamental su determinación.

La normatividad desarrollada puede ser separada (una para recubrimientos y una para solventes) o integral.

13.1.2 Normatividad que fomente la utilización de nuevos productos con menos contenido de COV

Aprovechar el desarrollo o mejoramiento de nuevos recubrimientos o solventes, impulsado mediante la aplicación de normas que fomenten la utilización de estos nuevos productos que ofrecen ventajas sobre los productos tradicionales, por ejemplo, la mejora del rendimiento del producto aplicado, permite la disminución de las cantidades de consumo de los recubrimientos

tradicionales y por consecuencia la reducción de emisiones, actualmente existen los siguientes productos:

- Pinturas con alto contenido de sólidos
- Pinturas en polvo
- Pinturas con bajo contenido de COV
- Pinturas de curado por radiación
- Pinturas de aplicación electrostática

13.1.3 Normatividad que fomente la utilización de técnicas de aplicación, equipos y buenas prácticas que reduzcan las emisiones de COV.

Desarrollar normas que regulen las técnicas de aplicación, las prácticas y el empleo de equipo, permitirá evitar y prevenir la generación de emisiones de COV por el uso de recubrimientos y solventes. Por ejemplo, el empleo de técnicas más eficientes como la atomización rotatoria acompañada de pulverización electrostática minimiza las emisiones de COV comparada que la atomización con aire (Centro Mario Molina , 2006). El desengrase con solventes en áreas cerradas.

También el equipo utilizado tiene influencia en las emisiones de COV, dependiendo del equipo utilizado en la aplicación de recubrimientos será la emisión de COV.

Las buenas prácticas de trabajo son comúnmente utilizadas en las operaciones de limpieza de la industria automotriz, estos procedimientos incluyen los siguientes:

- Cubrir los envases de mezclado y almacenamiento de los materiales de limpieza, así como los residuos generados, excepto cuando se adicionen, remuevan o mezclen sus contenidos.
- Utilizar contenedores cerrados para almacenar los materiales de limpieza o residuos
- Minimizar el almacenamiento de materiales de limpieza y residuos
- Minimizar las emisiones de COV durante las operaciones de limpieza.

13.1.4 Normatividad que fomente la aplicación de las mejores tecnologías disponibles

Realizar normatividad que encamine la utilización de las mejores tecnologías disponibles para el control de emisiones de COV al final del tubo, para los establecimientos que por sus características específicas estén impedidas a la implementación de las normas descritas anteriormente, la normatividad deberá abarcar la Eficiencias mínimas de la tecnología de control a aplicarse.

Un concepto a incluirse en las dos últimas propuestas es el de técnicas emergentes, que se refiere a las técnicas novedosas para una actividad industrial que, de desarrollarse comercialmente, puede aportar un nivel general más alto de protección del medio ambiente o al mismo nivel de los existentes, pero con ahorros en los costos comparados con las mejores técnicas disponibles actuales (Parlamento Europeo, 2010).

13.1.5 Proyecto de Norma Oficial Mexicana inmediata

Una opción inmediata de Proyecto de Norma Oficial Mexicana para reducir emisiones de COV generados en las fuentes fijas y de área, es adoptar y adaptar con los ajustes necesarios para su aplicación obligatoria en todas las entidades del país, la norma ambiental estatal para el control de COV que aplica sólo a las fuentes de jurisdicción local de la Ciudad de México.

La NADF-011-AMBT-2007 que establece los límites máximos permisibles de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en fuentes fijas de jurisdicción del Distrito Federal que utilizan solventes orgánicos o productos que los contienen.

Otro proyecto de norma que se debe de aplicar en forma inmediata es la relacionada con el control de vapores de gasolina desde la Fase 0 que inicia en las terminales de almacenamiento y reparto), hasta la Fase 1 y Fase 2 que se realiza en la estación de servicio, tanto en el llenado desde la pipa hasta los tanques subterráneos de almacenamiento de gasolina, así como en el llenado de los despachadores a los tanques de gasolina de los vehículos.

Como antecedente en la obligatoriedad de instalar sistemas recuperación de vapores en estaciones de servicio (gasolineras), se tiene la Norma Oficial Mexicana NOM-092-ECOL-1995, Que regulaba la contaminación atmosférica y establecía los requisitos, especificaciones y parámetros para la instalación de sistemas de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio y de autoconsumo ubicadas en el Valle de México.

Actualmente hay un Proyecto de NOM (PROY-NOM-004-ASEA-2017) relacionado con los sistemas de recuperación de vapores de gasolinas para el control de emisiones en estaciones de servicio para expendio al público de gasolinas.

Es recomendable que el proyecto NOM-004-ASEA-2017, se instrumente de manera inmediata y este deberá de garantizar que la "eficiencia en sitio" del sistema de recuperación de vapores de gasolina debe ser superior al 80% (ochenta por ciento) en promedio comprobada, donde se incluya las emisiones asociadas con los tanques de almacenamiento y en su caso a través de las unidades de procesamiento de vapores excedentes. Dicha eficiencia será evaluada con el procedimiento y el equipo previsto en la Norma Oficial Mexicana que se expida para el efecto.

12.2 Vehículos ligeros a gasolina

Las emisiones de COV, generadas por el uso automotor de la gasolina en vehículos ligeros, provienen tanto de la quema de este combustible, como de la evaporación del mismo combustible. Tan solo los autos particulares, taxis y las vagonetas utilizadas en el transporte público de pasajeros, generan a nivel nacional un poco más de 398 mil toneladas de COV al año, que representan cerca del 25% del potencial máximo de generación de ozono, por lo que este tipo de vehículos siguen siendo claves para reducir las emisiones tóxicas y la formación del ozono.

Otra de las fuentes móviles de importancia en la generación de COV y que sigue creciendo sin ningún control son las motocicletas; tan sólo, este tipo de fuente genera a nivel nacional, cerca de 40 mil

toneladas anuales de COV y de estos el 29% son considerados compuestos tóxicos y aporta el 2.5% del potencial máximo de generación de ozono.

Por la importancia que representan las motocicletas en la contribución de las emisiones de COV, es necesario actualizar la NOM-048-SEMARNAT-1993, y generar la infraestructura necesaria para su aplicación.

Como ya se ha mencionado, la contribución en la problemática de la calidad del aire de los vehículos ligeros a gasolina, siempre ha sido importante, por lo que en este tipo de fuentes se tiene un gran potencial para mejorar la calidad del aire relacionada con las emisiones de COV, para esto, como estrategias y medida de control, se deberá de actualizar la normatividad vigente, para que a la brevedad posible todos los vehículos nuevos cuenten con controles de emisión avanzados, mediante la exigencia inmediata de introducir en todo el territorio nacional, gasolinas con un contenido de azufre máximo de 30 ppm, dado que la actual NOM-016-CRE-2016, que regula en México las especificaciones de la calidad de los petrolíferos, permite un contenido de azufre máximo de hasta 80 ppm.

De acuerdo a las Cartas Mundiales de Combustible (Worldwide Fuel Charter), donde se establecen las necesidades de calidad del combustible acorde a las tecnologías de los motores vehiculares y controles requeridos para que estos sean menos emisores, la calidad de las gasolinas que se distribuyen en México de acuerdo a lo especificado en la NOM-016-CRE-2016, no es suficiente para alcanzar los controles estipulados para la carta mundial de combustible número 3.

Cuadro 12.2. Cartas Mundiales de Combustible vs NOM-016-CRE-2016

Parámetro	Cartas Mundiales de Combustible					NOM-016-CRE-2016				
	1	2	3	4	5	ZMVM	ZMG	ZMM	Resto del país	
						Premium y Regular			Premium	Regular
Azufre (ppm, máx)	1000	150	30	10	10	80	80	80	80	80
Aromáticos (%vol, máx)	50	40	35	35	35	25	32	32	32	N/E
Benceno (%vol, máx)	5	2.5	1	1	1	1	1	1	2	2
Olefinas (%vol, máx)	N/E	18	10	10	10	10	11.9	11.9	12.5	N/E

Fuente: Elaboración propia, con datos de los documentos Worldwide Fuel Charter-Fifth Edition y NOM-016-CRE-2016

Por lo que para disminuir el rezago tecnológico de los vehículos nuevos que se distribuyen en México, se recomienda que se establezca en la normatividad requisitos similares a los que se establecen en la carta o categoría número 3 y que se comprometa en un lapso de tiempo corto, a la distribución de gasolina con un contenido máximo de azufre de 10 ppm, como requisito indispensable para avanzar y cumplir con los requisitos de la Carta o categoría 4, que corresponde a los mercados con requisitos avanzados para el control de emisiones.

En resumen, las modificaciones a la NOM-016-CRE-2016, deben de establecer de manera inmediata la distribución nacional de gasolina con un contenido máximo de azufre de 30 ppm; y en el corto plazo, para introducir controles avanzados en la fabricación de vehículos nuevos que cumplan con el nivel de control TIER 2 de los EE. UU, una gasolina que cumpla con un contenido máximo de azufre de 10 ppm, un contenido máximo de olefinas 10%, un contenido máximo de aromáticos 35% y un contenido máximo de benceno de 1%, entre los principales parámetros.

13 Referencias

ACEA, Alliance, EMA or JAMA. Worldwide Fuel Charter- Fifth Edition. SEPTEMBER 2013

Blount, E., Crespo, M., & Romano, D. (2003). Guía sindical para la eliminación de tóxicos en la limpieza y desengrase de metales. Instituto Sindical de Trabajo Ambiente y Salud

Brinkmann, T., Giner Santonja, G., Yükseler, H., Roudier, S., & Delgado Sancho, L. (2016). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Integrated Pollution Prevention and Control. Luxemburg: European Union

Carter, W. (2008) SAPRC Atmospheric Chemical Mechanisms and VOC Reactivity Scales. Air Pollution Research Center and College of Engineering, Center for Environmental Research and Technology University of California, Riverside, CA, USA. Consultado en 2014, de: <http://www.engr.ucr.edu/~carter/SAPRC/>

Centro Mario Molina . (2006). Elaboración de Políticas y Estrategias para la Comunicación Orientadas al Mejoramiento de la Calidad del Aire en la ZMVM. Informe Final

EPA (1995). AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors

EPA (2016). SPECIATE Version 4.5 Database Development Documentation

EPA (2013) WebFIRE

European Commission. (2007). Reference Document on Best Available Techniques on Surface Treatment using Organic Solvents

European Commission. (2006). Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage. Sevilla, Spain

European Commission. (2007). Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques for the Production of Speciality Inorganic Chemicals

Helms, T., et. al. (2003). EPA's Photochemical Reactivity-Overview and Update. Environmental Protection Agency

Hernández Villaseñor, S. Z. (Octubre de 2017). Obtenido de http://www.pincc.unam.mx/7mocongreso/70_CONGRESO/CCA/MIERCOLES_CCA/MIERCOLES_CCA_PDF/MESA_3/3_SERGIO_HERNANDEZ.pdf

INECC (2013). Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas/ SEMARNAT

INECC (2005). Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones/ SEMARNAT

INECC/WGA (2007). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas/ SEMARNAT

INECC (2014) “Elaboración del Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el uso del modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES)”

ISTAS y CC. OO (2003) Guía sindical para la eliminación de tóxicos en la limpieza y desengrase de metales. Disruptores Endocrinos: un nuevo riesgo tóxico. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud Consultado en 2014, de: <http://www.istas.net/web/abreenlace.asp?idenlace=1453>

IPCC. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero

Kwok, C., et al. (s/f) Methods for Estimating Maximum Incremental Reactivity (MIR) of Hydrocarbon Solvents and their Classification. California Air Resources Board 2020 L Street Sacramento, CA 95814 Consultado en 2014, de: <http://www.arb.ca.gov/regact/conspro/aerocoat/appc.doc>

Labein Tecnalía (2007) Guía de apoyo para la implantación del Real Decreto 117/2003 sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades

Niño, R., et al. (1999). Caracterización del Thinner para la Industria de Pinturas de Uso Doméstico en Santa fe de Bogotá D.C. por Cromatografía de Gases. (Tesis licenciatura) Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá

Mark ,J (2002). Atmospheric pollution. 1^a. Ed. Cambridge University Press

Margarito Quintero Núñez* y Andrés Moncada Aguilar (2007). Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California

Mercado, F. (s/f) Contaminantes orgánicos volátiles. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM, México D.F. e Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, Mor. Consultado en octubre de 2014, de: <http://www.bvsde.opsoms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-04a18.pdf>

Parlamento Europeo. (2010). Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 24 de noviembre de 2010

Radian International (1997). Volumen II, Fundamentos del inventario de emisiones

Radian International (1996). Volumen III, Técnicas básicas para el estimado de emisiones

Radian International (1997). Volumen IV, Desarrollo de inventarios para fuentes de emisiones fijas

Radian International (1997). Volumen V, Desarrollo de inventarios para fuentes de emisiones de área

Radian International (1997). Volumen VI - Desarrollo de inventarios para fuentes vehiculares

Reza, J., et al. (1997). Evaluation of composition and evaporation behavior of commercial thinner samples expended in Mexico City. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 13 (2), 87-95. México, D.F.

SEDEMA/CDMX (2016). Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2014. Contaminantes Criterio, Tóxicos y de Efecto Invernadero

SEDEMA/DF (2014). Inventario de Emisiones Contaminantes y de Efecto Invernadero 2012

SMA/DF (2013). Alternativas, procesos y/o equipos de reducción de Compuestos Orgánicos Volátiles 2012

SEDEMA CD. DE MÉXICO. (2012). Alternativas, procesos y/o equipos de reducción de Compuestos Orgánicos Volátiles. Ciudad de México

SMA/DF (2010). Consumo de Solventes en la Zona Metropolitana del Valle de México 2008

SMA-GDF, INE-DGCENICA y UAMI (2008). Informe técnico de Monitoreo y Evaluación de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. México, D.F. 28 pp. Consultado en 2014, de: http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/informe_tecnico_covs.pdf

SMA-GDF (2006). Balance de solventes. Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente del gobierno del Distrito Federal. México, D.F.

SEMARNAT (2006). Mexico National Emissions Inventory 1999

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. MOVES2014a (Motor Vehicle Emission Simulator) MODEL/

U.S. Government Publishing Office, Electronic Code Of Federal Regulations. (26 de October de 2017). Obtenido de https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=9927080eb78f15f5ad795012cca10e52&mc=true&node=pt40.6.59&rgn=div5#se40.6.59_1201

USAID –INECC (2016). Guía del Usuario de MOVES-México/ Programa para el Desarrollo de Emisiones Bajas en México (MLED)

Yates, D. M. (2005). Volatile Organic Compounds from Automobile and Light Duty Truck Manufacturing: A review Of Best Practices to meet regulatory Requirements. Hamilton Ontario

13.1 Revisión de la normatividad nacional e internacional

- CALIFORNIA EPA. (s/f) Air Resources Board. Local Air District Rules and Regulations. California Environmental Protection Agency. <https://www.arb.ca.gov/drdb/sd/cur.htm>

- Diario Oficial de las Comunidades Europeas (1999) Directiva 1999/13/CE del consejo relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones. Consultado en Febrero 2017, de: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:1999:085:0001:0022:ES:PDF>
- NADF-011-AMBT-2013. (enero, 2015) Norma ambiental que establece los límites Máximos permisibles de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en fuentes fijas de Jurisdicción del Distrito Federal que utilizan solventes orgánicos o productos que los contienen. Norma Oficial Mexicana. Consultado en febrero de 2017, de: <http://centro.paot.org.mx/index.php/marconormativo/normasdf>
- Ministerio del Medio Ambiente Español (2003). Real Decreto (RD) 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de COV debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. <http://www.boe.es/boe/dias/2003/02/07/pdfs/A05030-05041.pdf>
- Ministerio del Medio Ambiente Español (2003). Real Decreto (RD) 227/2006, de 24 de febrero, por el que se complementa el régimen jurídico sobre la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en determinadas pinturas y barnices y en productos de renovación del acabado de vehículos
- U.S. Government Printing Office. (s/f) Electronic Code of Federal Regulations e-CFR, 40 CFR 51.100 subpart F Procedural requirements, (S), (1) solvents exentos. Consultado en octubre de 2014, de: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=efd431d714d4ec72d57d5a6ca2bde4cd&n=sp40.2.51.f&r=SUBPART &ty=HTML>
- U.S. Government Printing Office (s/f) Electronic Code Of. Federal Regulations e-CFR, 40 CFR Part. 59, Subpart D National Volatile Organic Compounds Emission Standards for Architectural Coatings. Consultado en octubre de 2014, de: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=1&h=L&r=SUBPART&n=40y6.0.1.1.7.4>

13.2 Estadísticas y datos

- ANIQ (2016). Anuario Estadístico 2015
- INEGI (2014). Anuario estadístico y geográfico de México 2014
- INEGI (2015). Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2015
- INEGI (2016). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)
- SENER. Sistema de Información Energética en línea en la web <http://sie.energia.gob.mx/>
- SENER (2014) Balance Nacional de Energía 2014
- SENER (2014) Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2028
- SENER (2014). Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P. 2014-2028
- SENER (2014). Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2014 – 2028
- SENER (2015) Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029
- SENER (2015). Prospectiva de Gas Natural y Gas L.P. 2015-2029
- SENER (2014). Prospectiva de Petróleo Crudo y Petrolíferos 2015 – 2029

Derechos Reservados © 2018

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña,
Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec,
Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Este trabajo se realizó con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo para la Sexta comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

