

Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México



NH₃

COV

NO_x

CH₄

COT

PM₁₀

PM_{2.5}

SO₂

CO



GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL
México, la Ciudad de la Esperanza



2002

El inventario de emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002, presenta en este documento un análisis detallado de los agentes contaminantes emitidos a la atmósfera, fortaleciendo y proporcionando una plataforma que sirva de herramienta para la toma de decisiones coadyuvando a establecer políticas para mejorar la calidad del aire y proteger la salud de los habitantes de esta metrópoli.



CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	1
PRESENTACIÓN	7
1 INTRODUCCIÓN	11
2 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO	17
2.1 Aspectos físicos	19
2.2 Aspectos Socioeconómicos	26
2.3 Consumo energético	30
3 INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO (ZMVM)	33
3.1 Metodología para el cálculo de emisiones	35
3.2 Distribución de emisiones (horaria y espacial)	36
3.3 Emisiones anuales de la ZMVM	44
3.4 Emisiones por contaminante	49
3.5 Emisiones por entidad federativa	54
4 EMISIONES POR TIPO DE FUENTE	67
4.1 Fuentes puntuales	69
4.2 Fuentes de área	89
4.3 Fuentes móviles	103
4.4 Fuentes naturales	121
4.5 Gases de efecto invernadero	131
5 EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES 1994-2002	135
5.1 Generalidades	137
5.2 Emisiones de la ZMVM por tipo de fuente y sector 1994-2002	139
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
6.1 Conclusiones	151
6.2 Recomendaciones	153
7 BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXO A. MEMORIAS DE CÁLCULO	A-1
A.1 Fuentes puntuales	A-3
A.2 Fuentes de área	A-27
A.3 Fuentes móviles	A-99
A.4 Fuentes naturales	A-131



AGRADECIMIENTOS



AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el esfuerzo conjunto de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal y del apoyo brindado por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Federal y de la Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a todas las instituciones por sus valiosas aportaciones de información para elaborar y actualizar el inventario de emisiones:

- Secretaría de Transporte y Vialidad - Dirección General de Planeación y Vialidad.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Delegación Distrito Federal-Centro de Estadística Agropecuaria.
- Comisión Nacional Forestal – Estado de México.
- Secretaría de Ecología del Estado de México - Dirección de Diagnóstico Ambiental.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal - Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales - Delegación Estado de México.
- Secretaría de Energía - Dirección de Enlace, Estadística y Asuntos Especiales de la Dirección General de Gas LP.
- PEMEX Refinación-Gerencia de Comercialización de Gas LP en la ZMVM /Subgerencia de Operación y Mantenimiento /Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática-Dirección General de Difusión-Dirección de Atención a Usuarios y Comercialización/ INEGI-DF-Subdirección de Estadística Regional.
- Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica - Dirección de Apoyo.
- Dirección General del Heroico Cuerpo de Bomberos.
- Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal.
- Ferrocarril y Terminal del Valle de México, S.A. de C.V. - Subdirección de Transporte.
- Aeropuertos y Servicios Auxiliares - Dirección General Adjunta de Finanzas y Operación-Subdirección de Operaciones ASA/Gerencia de Informática y Estadística de ASA.
- Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México AICM-Gerencia de Sistemas-Comunicaciones e Información de la Subdirección de Finanzas y Administración.
- Cámara Nacional de la Industria de Baños y Balnearios (CANAIBAL).
- Cámara Nacional de la Industria de Artes Gráficas (CANAGRAF).
- Red de Transporte de Pasajeros del Gobierno del Distrito Federal.

Quisiéramos hacer una mención particular a todas las personas que se unieron al esfuerzo de enriquecer el inventario de emisiones con sus valiosas sugerencias y comentarios, y en especial reconocer la labor de:

Dra. Luisa T. Molina y Dr. Mario J. Molina, Massachussets Institute of Technology, Cambridge, MA, U.S.A.

Lic. Humberto Ortiz Wétzel, Director General de Control de la Contaminación Atmosférica, Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México.

Dr. Adrián Fernández Bremauntz.- Dirección General de Investigación sobre la Contaminación Urbana, regional y Global, Instituto Nacional de Ecología.

Ing. Sergio Sánchez Martínez.- Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes, SEMARNAT.

Ing. Erik Velasco, Laboratory for Atmospheric Research of Washington State University Dept. of Civil and Environ. Engineering.

Ing. Víctor Javier Gutiérrez Avedoy, Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental, INE / UAM.

Dra. Elizabeth Vega Rangel, Instituto Mexicano del Petróleo, Centro Gestor de Estudios Ambientales.

Dra. María Esther Ruiz Santoyo, Instituto Mexicano del Petróleo, PIMAS.

M. I. Oscar Vázquez Martínez, Secretaría del Medio Ambiente.

DIRECTORIO

ANDRÉS MANUEL LÓPEZ OBRADOR
JEFE DE GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL

CLAUDIA SHEINBAUM PARDO
SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE

J. VÍCTOR HUGO PÁRAMO FIGUEROA
DIRECTOR GENERAL DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL AIRE

COORDINADORES

Jorge Sarmiento Rentería
Director de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias

Ma. Cristina Ruiz Ramírez
Subdirectora de Fuentes Estacionarias

Saúl Rodríguez Rivera
Subdirector de Inventario y Modelación

INTEGRACIÓN DEL DOCUMENTO

Alfredo Alfonso Soler
Fabiola Rodríguez Granados
Francisco Hernández Ortega
Freddy Hernández Ramírez
José Luis Sagú González
Juan Carlos Enciso Ibarra
Ma. Magdalena Armenta Martínez
Miguel Ángel Flores Román
Patricia Camacho Rodríguez
Rodrigo Perrusquía Máximo
Rogelio Jiménez Olivero



PRESENTACIÓN



Las actividades de gestión de la calidad del aire, exigen la actualización del inventario de emisiones, tanto de la información básica que se requiere como de lo concerniente a los métodos de estimación de las emisiones contaminantes.

La importancia de los inventarios de emisiones, como instrumento estratégico básico para la gestión de la calidad del aire, es ampliamente reconocida a nivel internacional. Su valor es de tal magnitud para la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), que ya desde 1990 constituye la base sobre la cual se han elaborado los Programas para el Mejoramiento de la Calidad del Aire que se han instrumentado en el país. Por ello, en específico, el Gobierno del Distrito Federal a través de la Secretaría del Medio Ambiente, ha desarrollado inventarios que han mejorado en su calidad y actualmente estos presentan, además de la cuantificación desagregada de las emisiones por tipo de fuente, categoría o subsector, la variación temporal y espacial de las emisiones contaminantes generados en la ZMVM.

Así mismo, con estos inventarios, se pueden clasificar de forma más precisa a los sectores de mayor contribución por tipo de contaminante, e identificar a las fuentes en las cuales deben aplicarse medidas de control; además se pueden realizar análisis de costo-efectividad de las medidas de control y evaluar los programas de mejoramiento de la calidad del aire vigentes en la ZMVM.

Con el propósito de reducir el grado de incertidumbre de las estimaciones de los inventarios de emisiones, desde el correspondiente al año 2000 se toman en cuenta las recomendaciones hechas por el Doctor Mario Molina Pasquel y su grupo de investigadores¹, así como las sugerencias de la compañía Eastern Research Group Inc.², que fueron los encargados de realizar la evaluación de las metodologías y resultados del inventario de emisiones del año 1998. En este inventario se aplicaron procedimientos más rigurosos de aseguramiento y control de la calidad, tanto en la selección y evaluación de la información como en la estimación de las emisiones.

Al igual que en el inventario del año 2000, se presentan las emisiones en forma horaria, espaciada y referenciadas en una malla con resolución de 2 x 2 km, con lo cual, puede utilizarse como insumo básico en la actualización y aplicación del modelo de calidad del aire "*Multiscale Climate Chemistry Model-MCCM*". Además de dar continuidad a su actualización bianual busca ser lo más completo posible, para lo cual se incorporan, por primera vez las emisiones de partículas PM₁₀ y PM_{2.5} generadas por el tránsito vehicular sobre los caminos pavimentados y no pavimentados.

El presente documento, se dirige a las autoridades ambientales encargadas de coordinar la gestión de la calidad del aire, así como a los investigadores y

¹ Análisis y Diagnóstico del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México. M.J. Molina, L.T. Molina, G. Sosa, J. Gasca y J. West. Instituto Tecnológico de Massachusetts. Agosto 2000.

² Evaluation of the 1998 Emissions Inventory for the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico. Prepared for Western Governors' Association. Denver, Colorado. May 7, 2003.

profesionistas dedicados a la generación de estrategias y proyectos orientados a su mejoramiento y finalmente a la ciudadanía en general, cumpliendo así con la función primordial del gobierno, que es mantener informada a la población del estado de la calidad del aire en la zona que habitan.

Su contenido está estructurado, en primer lugar por una introducción, en la cual se describe brevemente la historia del desarrollo de los inventarios de emisiones en la ZMVM; el capítulo 2, incluye los aspectos generales de la ZMVM, delimita el área geográfica que cubre el inventario, detallando las principales características fisiográficas, climáticas y socioeconómicas de la zona, así mismo, se presenta un análisis del consumo energético; en el capítulo 3, se reporta el inventario de emisiones del año 2002 y se incluye la distribución temporal y espacial de las emisiones totales, además de las emisiones por contaminante y por entidad; el capítulo 4, detalla las emisiones generadas por sector o fuente emisora; finalmente se incluye un apartado de conclusiones y recomendaciones; anexando las memorias de cálculo por tipo de fuente.

Esperamos que estos resultados y su publicación contribuyan a la retroalimentación de experiencias que conlleven al beneficio de una gestión eficaz sobre el ambiente y sirva al mejoramiento de la calidad del aire y la salud en particular.

Claudia Sheinbaum Pardo
Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal



1 INTRODUCCIÓN



En el año de 1972, con la creación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, se reportaba que la contaminación atmosférica en el Valle de México, estaba constituida por la emisión derivada de alrededor de 2 millones de vehículos automotores y de la operación dentro de la cuenca de aproximadamente 32,000 establecimientos industriales.

En este período se calculaba que los vehículos automotores eran responsables del 70% de la contaminación, la industria del 25% y el restante 5% era resultado de las fuentes naturales (principalmente tolvánicas); así mismo se reportaba que la industria liberaba al aire 201,744 toneladas de bióxido de azufre, 373,475 toneladas de partículas, 50,830 toneladas de óxidos de nitrógeno. Para 1976, estas cifras se incrementaron, a 305,079 toneladas de bióxido de azufre, 437,079 de partículas y 69,849 de óxidos de nitrógeno (Secretaría de Salubridad y Asistencia, 1972-1976).

Finalmente, se debe mencionar que no se contó con datos de emisión de hidrocarburos para el período correspondiente, sin embargo, la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), con base al documento a que se hizo referencia del año 1972 y utilizando los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, deduce que la carga total de esos contaminantes era del orden de 118,000 toneladas, desconociéndose los datos para el año de 1976. (SEDUE, 1987).

Para 1977, las emisiones de partículas suspendidas por fuentes fijas se estimaban en 449,000 toneladas por año y las de bióxido de azufre en 283,936 toneladas, éstas últimas implicaron una reducción de aproximadamente el 3% con relación al año previo; las emisiones de óxidos de nitrógeno fueron de 69,536 toneladas, las cuales también mostraron un ligero descenso con relación a las del año anterior. Por último los hidrocarburos tuvieron una emisión de 94,000 toneladas. Por lo que respecta a las emisiones vehiculares, estas se estimaron en 2'500,000 toneladas de monóxido de carbono, 300,000 de hidrocarburos y 30,000 de óxidos de nitrógeno¹.

Por diversas circunstancias los datos correspondientes al período 1978-1982 no fueron publicados sistemáticamente, sólo en el documento "*Situación Actual de la Contaminación Atmosférica en el Área Metropolitana de la Ciudad de México*", donde la Secretaría de Salubridad y Asistencia señala que para el año de 1982, la emisión estimada para fuentes estacionarias de bióxido de azufre sería de 393,035 toneladas, lo que representaría una diferencia de un poco más de 100 mil toneladas de incremento en el período de 1977 a 1982; en cuanto a los óxidos de nitrógeno, la misma fuente consideró que la emisión total industrial para el año de 1982 sería de 91,433 toneladas, que comparada con las 69,536 del año de 1977, significaba un incremento de alrededor de 22 mil toneladas; las emisiones de partículas suspendidas por fuentes fijas para el mismo periodo se incrementaban en alrededor de 100 mil toneladas y finalmente los hidrocarburos por fuentes estacionarias para 1982, marcaba una emisión total de 139,609 toneladas.

En cuanto a las emisiones vehiculares de 1982, los cálculos fundamentales relacionados con monóxido de carbono e hidrocarburos señalaron una emisión de 2'628,000 y 321,500 toneladas respectivamente, lo que comparado con 1977 implicó un incremento aproximado de 120 mil toneladas en el primer caso y 20 mil en el segundo¹.

La SEDUE, en el informe que preparó para el invierno 1987-1988², presentó un cuadro con las emisiones correspondientes al año 1987 por tipo de contaminante y sus fuentes de emisión. En él se reportaba una emisión total anual de 4'916,673 de toneladas, considerándose que el 15% correspondió a las fuentes fijas, el 80% a las móviles y el 5% a las naturales.

En virtud de que las acciones para mejorar la calidad del aire que se habían propuesto realizar desde 1972 hasta 1986 habían mostrado poco éxito, el 14 de febrero de 1986 el Presidente de la República buscando una respuesta rápida para solucionar esta problemática ambiental, da a conocer el Decreto de las 21 Medidas para disminuir la generación de emisiones. El esfuerzo realizado a partir del Decreto, permitió, entre otras cosas, la actualización del inventario de emisiones que fue una de las tareas sustanciales para cumplir en su primera etapa.

En esta actualización se cuantificaron las emisiones de los óxidos de nitrógeno y las de los hidrocarburos reactivos, cuya emisión se calculó en 179,324 toneladas y 447,390 toneladas respectivamente; se encontró que existen alrededor de 500 empresas altamente emisoras de contaminantes al aire, como potencialmente riesgosas considerando para tal efecto las propiedades físico-químicas y la toxicidad de los productos que esas empresas manejaban; se inició la cuantificación de las emisiones de los giros menores que consumían combustóleo, a nivel del Distrito Federal. De este análisis se desprendió que 270 baños públicos consumían 5,700 metros cúbicos de ese combustible y que las emisiones de bióxido de azufre por ese sólo concepto era de 357 toneladas por mes.¹

El primer inventario de emisiones más detallado para la ZMVM se realizó en el año de 1988, mismo que sirvió de referencia al desarrollo del Programa Integral para el Control de la Contaminación Atmosférica (PICCA). En este inventario se reportaba que se emitían al aire 4,356,391 toneladas al año de contaminantes³.

En 1995, las autoridades federales y locales, elaboraron el primer inventario de emisiones desagregado con información disponible hasta 1994, que desafortunadamente no pudo ser comparable en términos absolutos con el inventario anterior, por no aplicar la misma metodología de cálculo. Al igual que el primer inventario, este también se empleó para guiar las políticas de la calidad del

¹ Políticas y estrategias de abatimiento y control de la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. SEDUE, Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Noviembre de 1987.

² La Contaminación Atmosférica en el Valle de México. SEDUE, Invierno de 1997-1998.

³ Seminario Internacional sobre Sustentabilidad Urbana y el Manejo de la Cuenca Atmosférica de la Zona Metropolitana del Distrito Federal y del Estado de México, 22 al 25 de mayo de 1995.

aire, plasmadas en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (ProAire)⁴.

En el ProAire, se estableció el actualizar cada dos años el inventario de emisiones, y crear las plataformas para apoyar el inventario en sistemas de información geográfico interactivos, que suministrara información a los modelos de simulación y así poner en marcha un sistema completo e integral de información⁵. Aunque se actualizó el inventario para el año de 1996, no fue posible utilizarlo en la aplicación de modelos de calidad del aire, esto sólo fue posible con el desarrollo del inventario de emisiones de 1998, el cual sirvió de base para desarrollar el Programa para Mejorar la Calidad del aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010 (Proaire 2002-2010), actualmente vigente.

En el presente inventario al igual que en el desarrollado para el año 2000, se incorporaron, además de las emisiones de los contaminantes criterio (PM_{10} , CO, NO_x y SO_2) las emisiones de $PM_{2.5}$, COT, COV, NH_3 y CH_4 , al mismo tiempo se presenta el inventario espaciado y en forma temporal (horario), los cuales son básicos en la aplicación del modelo de calidad del aire "*Multiscale Climate Chemistry Model-MCCM*".

⁴ Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (Proaire). DDF, GEM, SEMARNAP, SS. Agosto de 1997.

⁵ Estrategia 31 incluida en la meta Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio del Proaire.

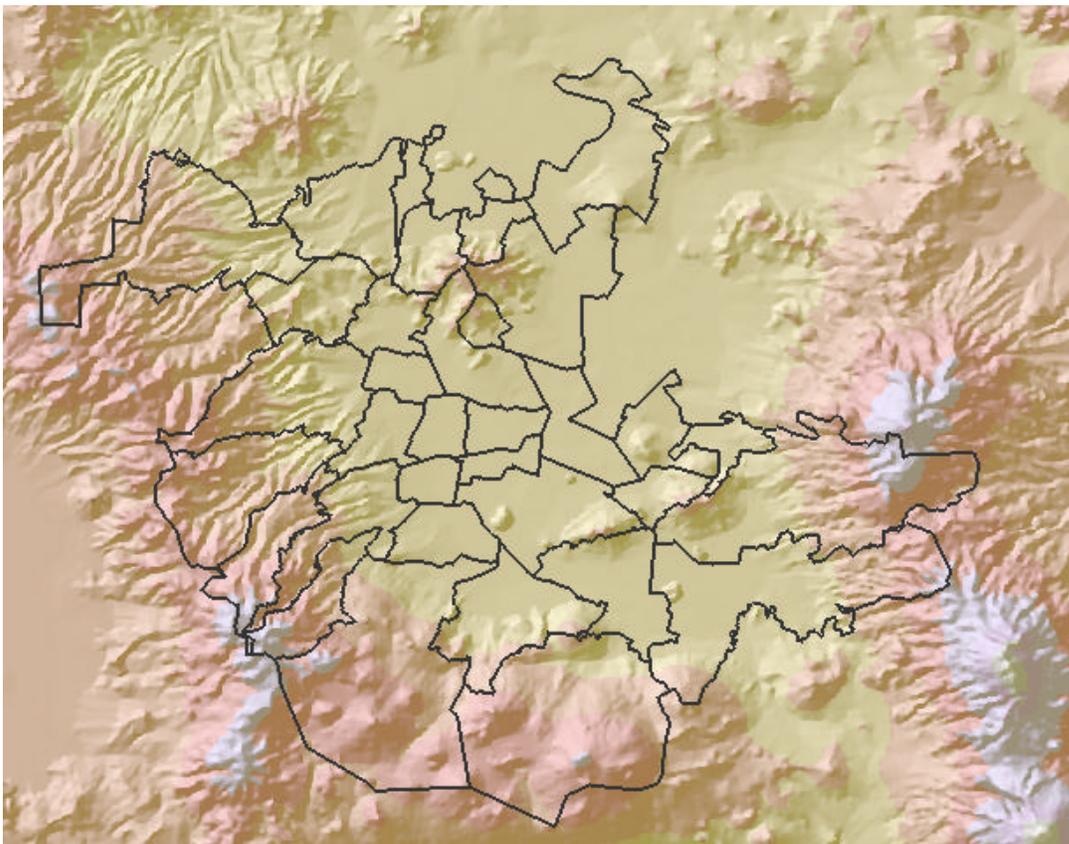
2. ASPECTOS GENERALES DE LA ZMVM

2.1 ASPECTOS FÍSICOS

2.1.1 Zona de estudio

El Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) para el año 2002, cubre poco más de 3,500 km² de área, incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal (1,486 km²) y 18 municipios conurbados del Estado de México (2,054 km²) ver Figura 2.1.1.

Figura 2.1.1 Área de estudio



Fuente: Elaborada con base en la cartografía incluida en la versión beta del disco titulado GEO Ciudad de México-Una visión territorial del sistema urbano ambiental, PNUMA-GDF-CENTRO GEO, 2004.

2.1.2 Fisiografía

La ZMVM, se localiza en la región central de la República Mexicana, a una altura de 2,240 msnm; forma parte de una cuenca semicerrada de 9,560 km² de superficie. Se encuentra rodeada por una cadena montañosa formada por las sierras del Ajusco, Chichinautzin, Nevada, Las Cruces, Guadalupe y Santa Catarina; esta cadena montañosa alcanza su nivel más alto hacia el sur, con 3,952 msnm, mientras que en el norte la altura máxima es de 3,000 msnm.; debido a esta altura, el contenido de

oxígeno del aire de la ZMVM es aproximadamente 23% menor que al nivel del mar, lo que contribuye a que los sistemas de combustión sean menos eficientes y emitan una mayor cantidad de contaminantes. Por otro lado, la cadena montañosa que la rodea impide una adecuada dispersión de contaminantes, propiciando su estancamiento.

Asociado a esto, su latitud a 19° N, ocasiona que reciba una radiación solar intensa que acelera la formación fotoquímica de contaminantes atmosféricos, así mismo, su ubicación en el centro del país permite que a lo largo del año resulte afectada por sistemas anticiclónicos, lo que provoca viento débil en superficie y cielo despejado, a causa de la estabilidad atmosférica, con la consecuente dificultad para la dispersión de contaminantes.

2.1.3 Geología

La ZMVM, se encuentra formada en su totalidad por rocas de la era Cenozoica en la que hubo predominancia de rocas volcánicas extrusivas, las cuales formaron las sierras que componen el eje Volcánico Transversal. Sólo dos periodos temporales, el Terciario y el Cuaternario, pertenecientes a la era Cenozoica, están representados en el área de estudio.

2.1.4 Hidrología

El país se encuentra dividido en 37 regiones hidrológicas, las cuales tuvieron como base la orografía y la hidrografía de la República Mexicana. Las sierras que se encuentran al norte, sur y este de la ZMVM, son las que delimitan las regiones hidrológicas de la zona. Para la ZMVM, la Región Pánuco es la principal y la que ocupa la mayor superficie del territorio con 94.6%. Las otras dos son: Balsas con el 5.1% y Lerma Santiago con 0.3%, ubicadas hacia el sur y suroeste respectivamente.

Dentro del Valle de México existen tres cuerpos de agua importantes: el Lago de Zumpango, ubicado al norte del territorio dentro del municipio del mismo nombre, la Presa de Guadalupe, ubicada al noroeste dentro del municipio de Cuautitlán Izcalli y el Lago Nabor Carrillo en el municipio de Atenco.

2.1.5 Rasgos geoclimáticos

Las características geográficas y climáticas de la Zona Metropolitana del Valle de México, se consideran como uno de los principales factores que condicionan la acumulación o dispersión de los contaminantes generados por procesos antropogénicos.

De acuerdo con los datos climatológicos, en la zona de estudio se presentan cuatro subtipos de clima, como resultado de las diferencias de elevación (altitud) y relieve del terreno. Estos subclimas influyen significativamente en las condiciones

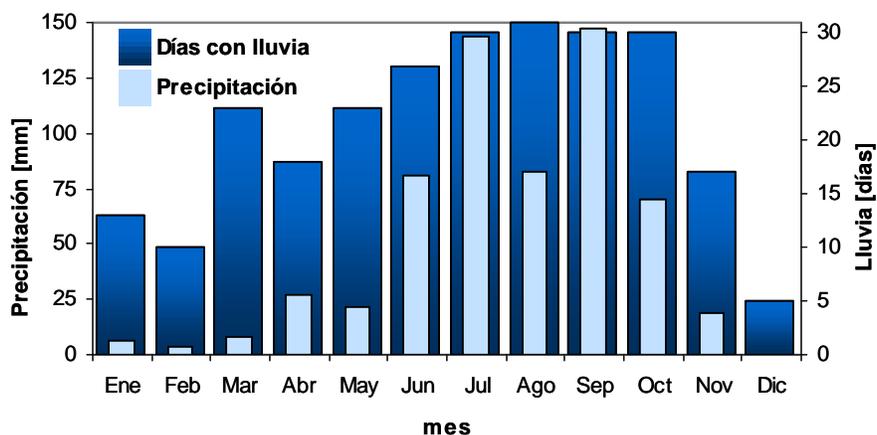
meteorológicas de áreas específicas; por ejemplo, la temperatura media anual del año 2002, varió entre 16 y 17 °C, con un valor máximo de 33.6 °C en mayo y un valor mínimo de -2.6 °C en noviembre, este parámetro suele ser extremo todo el tiempo en el oriente de la ZMVM y gradualmente decrece hacia la parte poniente de la misma¹.

Las condiciones meteorológicas y climáticas del Valle de México, permiten reconocer una estación húmeda (lluvias) y una estación de secas que se caracteriza por presentar contenidos de humedad baja; sin embargo, las variaciones de temperatura de hasta 15 °C que se presentan en esta última estación permiten dividirla en dos estaciones: Seca-Caliente y Seca-Fría. La primera comprende de marzo a mayo y la segunda de noviembre a febrero². Por otro lado la temporada de lluvias y humedad relativa alta, se presenta desde mediados de mayo, pero se vuelve más evidente entre junio y octubre, sobre todo en la primera quincena de este último mes, descendiendo con ello los niveles de algunos contaminantes, principalmente por la inestabilidad atmosférica que provocan los sistemas meteorológicos propios de la época. Especialmente, los niveles más altos de precipitación se registran en las zonas montañosas y los más bajos en la zona oriente (noreste principalmente).

Precipitación pluvial y humedad relativa

El aumento de las lluvias en la ZMVM en los meses de junio a octubre, se asocia a la entrada de aire tropical, con alto contenido de humedad procedente del Océano Pacífico, Mar Caribe y Golfo de México, se presenta un periodo de descenso de lluvias en agosto conocido como canícula. El aumento de la precipitación pluvial propicia una disminución en los índices de calidad del aire de la zona por efecto de "lavado troposférico" y mitiga la emisión de partículas.

Gráfica 2.1.1 Precipitación mensual promedio y número de días con lluvias del año 2002

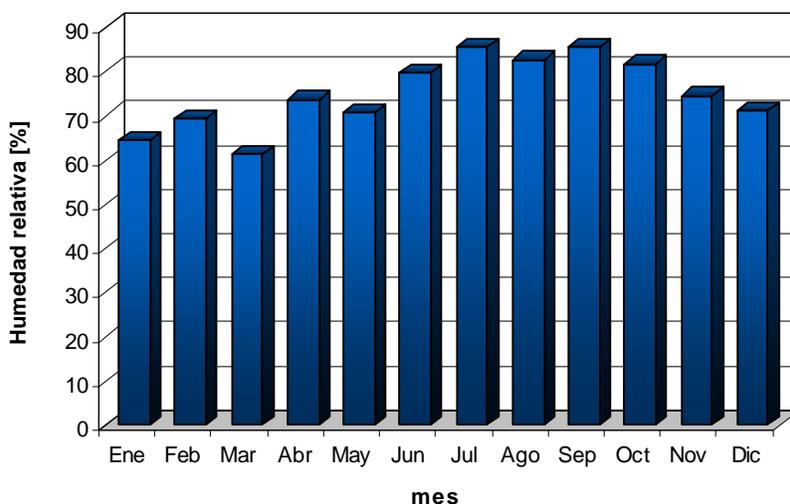


¹ <http://www.inegi.gob.mx/entidades/espanol/dfd.html> 1997.

² <http://www.inegi.gob.mx/entidades/espanol/dfd.html>, 1998

Con respecto a la humedad relativa, tenemos que en un mismo día pueden registrarse valores muy variados, sin que necesariamente tengan un patrón definido durante el día, como sucede con la temperatura. La tendencia durante el año, es que la etapa de mayor humedad se enmarque durante la temporada de lluvias. Para el caso del año 2002, se presentaron valores altos de esta variable en los meses de mayo a octubre; es decir, durante la temporada de lluvias y durante los meses más calientes, tal como se presenta en la grafica siguiente. Los promedios mensuales indican una diferencia aproximada de 20% entre el mes más húmedo (julio) y el mes más seco (marzo); esto es debido en parte a las características de las masas de aire que afectan el interior del país y al Valle de México, siendo principalmente de tipo marítimo tropical con alto contenido de humedad en la época de verano. Lo anterior propicia la formación de nubes, muchas veces abundantes y reduce la insolación, que a su vez mitiga las emisión de COV que genera la vegetación, disminuye la formación de ozono y provoca lluvias que dan lugar al “lavado atmosférico”.

Gráfica 2.1.2 Promedios mensuales de humedad relativa máxima en el año 2002



Viento

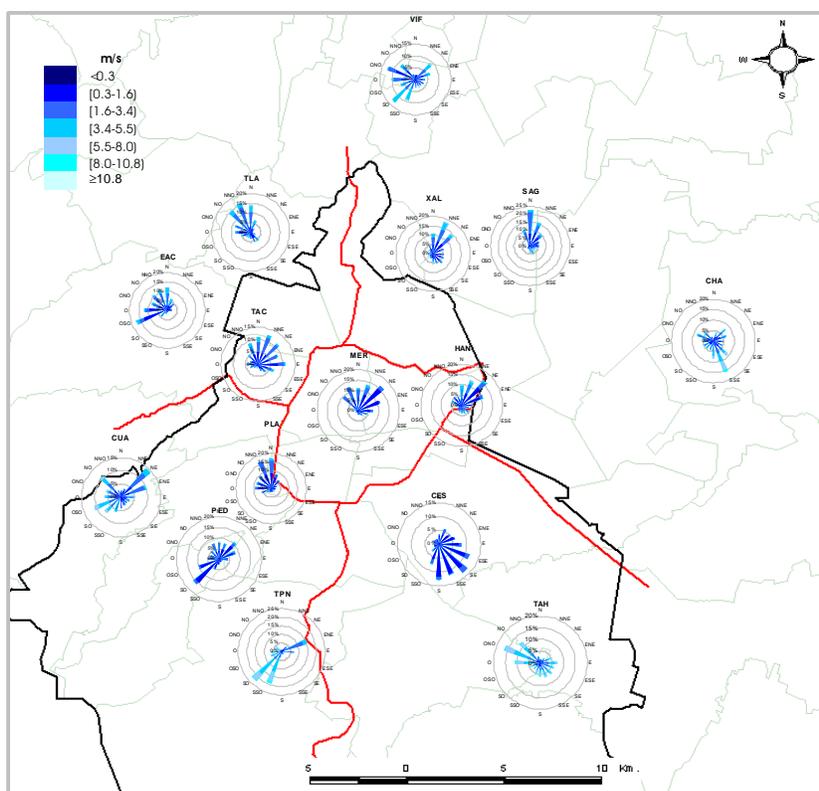
En el Valle de México, la entrada principal del viento se ubica en la zona norte, región donde el terreno es plano; esta característica del Valle se debe a que los sistemas meteorológicos a macroescala colaboran para que esto suceda. Dependiendo de la época del año, la influencia de tales sistemas meteorológicos varía en mayor o menor grado, haciendo que exista una segunda entrada del viento por la región noreste del Valle; incluso, puede darse que el flujo del viento sea de sur a norte, cuando el viento en capas medias de la tropósfera es suficientemente intenso como para que, a pesar de la barrera montañosa, se imponga esa dirección, sobre todo en los meses invernales. Es necesario remarcar que las dos últimas direcciones descritas normalmente se presentan en un

porcentaje bajo, de tal forma que estos comportamientos no siempre se detectan en estudios que involucren un tiempo largo, como sería un análisis anual.

Adicionalmente, y dependiendo de las características propias de los sistemas meteorológicos, en conjunto con las rasgos orográficos del Valle, se forman remolinos, líneas de confluencia y zonas de convergencia del viento, mismos que tienden a incrementar la acumulación de los contaminantes.

La figura siguiente, muestra las rosas de viento con datos promedio de cada una de las 15 estaciones meteorológicas que componen la Red Meteorológica en el año 2002, en ellas se observa claramente que la dirección del viento es variable que aunque la componente principal es Norte, tenemos estaciones como la del Cerro de la Estrella donde los vientos dominantes provienen del sureste. Las velocidades del viento de las componentes principales se mantuvieron todo el año generalmente en el rango de 1.1 – 5.8 km/h (0.3 – 1.6 m/s).

Figura 2.1.2 Rosas de viento promedio anual, 2002



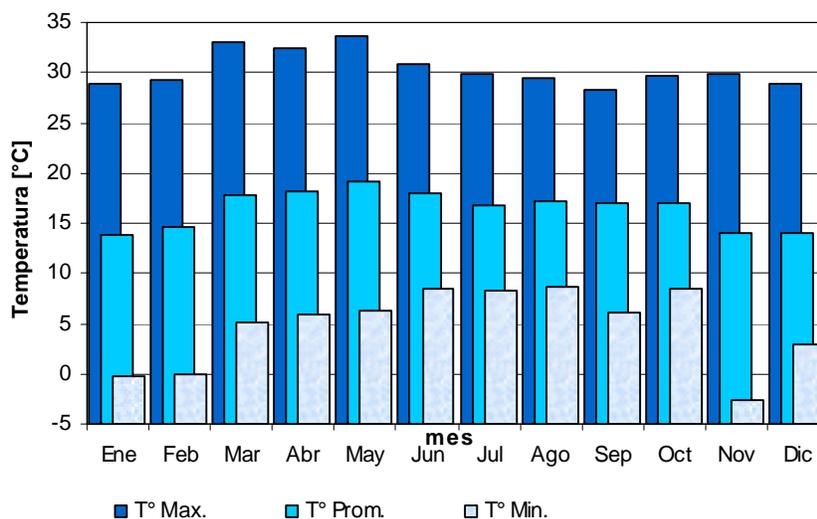
El viento se ubica, desde el punto de vista de la contaminación, entre los factores meteorológicos climatológicos más importantes, ya que a partir de su dirección se identifican los sistemas meteorológicos que afectan, en cierto momento, a determinado lugar. Su intensidad es el factor principal para que los contaminantes emitidos a la tropósfera, en capas cercanas a la superficie, se acumulen o se dispersen.

Temperaturas e inversiones térmicas en el Valle de México

Normalmente en el Valle de México, la temperatura máxima, mínima y promedio mensual tienden a presentar un patrón estacional como reflejo de acuerdo con la época del año. De esta manera, los valores más bajos se registran en la época seca-fría y los más altos en la seca-caliente, en consecuencia los valores moderados se presentan en la época de lluvias, cuando la formación de nubosidad es significativamente mayor y la insolación es interceptada por esta.

La gráfica que se presenta a continuación, muestra la poca variación estacional de la temperatura máxima y de la temperatura promedio mensual, sin embargo, tal variación es mucho más visible cuando se observan los valores de temperatura mínima mensual, en los que sí se nota claramente un patrón estacional a lo largo del año.

Gráfica 2.1.3 Temperatura máxima, mínima y promedio mensual, 2002

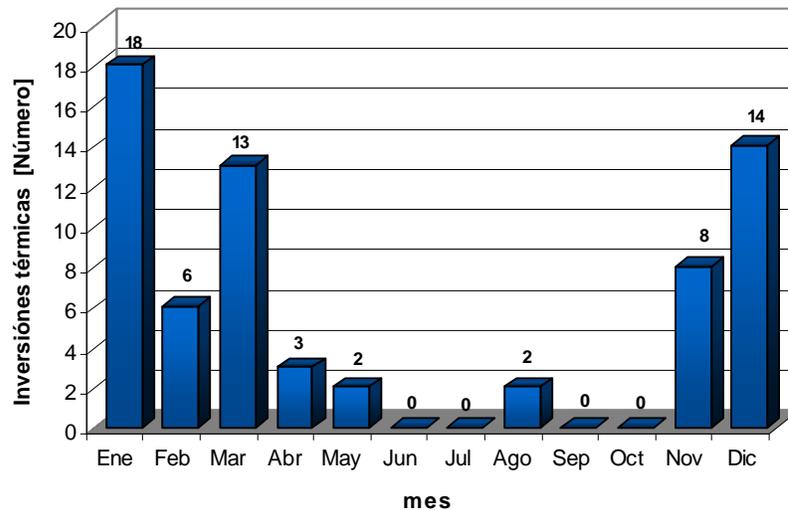


A su vez, las inversiones térmicas, casi siempre de tipo radiativas, son ocasionadas por la presencia de sistemas de alta presión que provocan cielo despejado durante la noche, favoreciendo con esto la fuga de calor del suelo y de las capas atmosféricas adyacentes al mismo, hacia capas más altas de la tropósfera. Son sinónimo de estabilidad atmosférica de tipo temporal, porque cuando se presentan en la superficie favorecen el estancamiento de los contaminantes, pero al disiparse, normalmente antes del mediodía, inicia la dispersión de los mismos, siempre y cuando no haya alguna otra fuerza que los haga permanecer cerca del suelo.

Las inversiones térmicas se presentaron con mayor frecuencia en los meses de enero a marzo y en noviembre y diciembre (ver gráfica 2.1.2). Su origen es el resultado de la posición geográfica y morfológica del Valle, aunado al efecto que producen los sistemas de alta presión, fundamentalmente, cuando se ubican hacia el norte del territorio nacional en la época de invierno, ya que desplazan aire frío hacia el centro del país, normalmente con bajo contenido de humedad, provocando cielo

despejado durante las noches y con ello pérdida de calor por radiación desde la superficie terrestre.

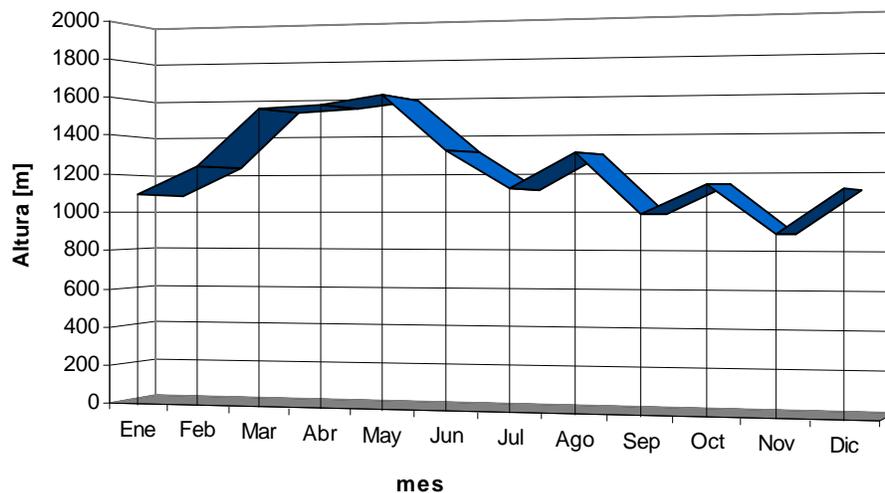
Gráfica 2.1.4 Frecuencia de inversiones térmicas en el año 2002



Capa de mezclado

La capa de mezclado se define como la altura máxima atmosférica de turbulencia que se alcanza diariamente, donde se lleva a cabo el proceso de mezclado de los contaminantes emitidos. La capa de mezclado varía durante el día, siendo mínima en la madrugada y máxima después del medio día cuando ya se alcanza la temperatura máxima del día. En la siguiente gráfica, se muestra que desde marzo hasta finales del mes de mayo se alcanzan las alturas de mezclado más elevadas y de septiembre a enero las más bajas.

Gráfica 2.1.5 Altura promedio mensual de la capa de mezclado del año 2002



2.2 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

2.2.1 Población

A partir de la información censal del Censo de Población y Vivienda 1995 y del XII Censo de Población y Vivienda 2000, se estimó que en la Zona Metropolitana del Valle de México, residían más de 17 millones de habitantes para el año 2002; en conjunto, la población de la ZMVM representa cerca del 17% del total nacional^{3,4}.

Dentro de la ZMVM, los municipios conurbados mantuvieron en el periodo 1995-2000 un ritmo de crecimiento superior al del Distrito Federal e inclusive al del promedio nacional, su tasa de crecimiento promedio anual fue de 2.2%, mientras que en el Distrito Federal fue de 0.4%.

2.2.2 Vivienda

De acuerdo con las cifras censales^{3,4}, se estima que el número de viviendas en la ZMVM en el año 2002, fue de 4'202,190. La mayor dinámica de crecimiento se presentó en los municipios conurbados con 2.8% anual, en tanto que el Distrito Federal registró 1.1%. En general, las condiciones promedio de las viviendas en la ZMVM son mejores que las del promedio nacional, situación que incluye tanto a la calidad de los materiales como al espacio habitable o la disponibilidad intradomiciliaria de energía eléctrica, agua potable y drenaje.

2.2.3 Industria

La actividad industrial en el Distrito Federal ha disminuido respecto a años anteriores, favoreciendo el comercio y los servicios; no obstante, comparada con las demás entidades del país, mantiene su predominancia geográfica y económica. En cambio, los municipios conurbados registran un ritmo creciente de establecimientos industriales⁵.

El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) reporta que en la ZMVM, se ubican aproximadamente 53,511 establecimientos manufactureros, de estos 22,443 en los municipios conurbados del Estado de México y 31,068 en el Distrito Federal. Es importante mencionar que alrededor del 90% de estos establecimientos son micro industrias, el 6% son pequeñas industrias, el 3% mediana y solo menos del 1% son industrias grandes, lo anterior indica que las industrias medianas y grandes, que son las potencialmente más importantes en su nivel de emisión de contaminantes, en conjunto suman menos del 4% (2,140).

³ XII Censo General de Población y Vivienda/ INEGI, www.inegi.gob.mx/est/default.asp?c=7003

⁴ Escenarios Demográficos y Urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2010/ Consejo Nacional de Población y Vivienda /1998.

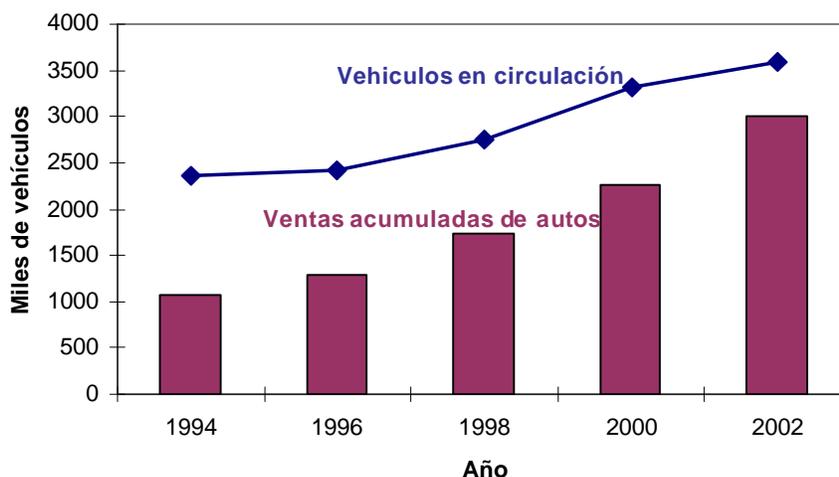
⁵ <http://df.inegi.gob.mx/economia/espanol/municipal.html>

De igual forma la información conjuntada para elaborar el presente inventario cuentan con el registro de 4,653 industrias procedentes de las Cédulas de Operación Anual, de las cuales 2,701 se ubican en el Distrito Federal y 1,952 en los municipios conurbados del Estado de México. Se considera que en este registro se encuentran las que generan mayores emisiones de contaminantes al aire.

2.2.4 Transporte

Debido al crecimiento poblacional de la ZMVM, la mancha urbana ha seguido creciendo, haciendo que las distancias y tiempos de traslado dentro de la misma hayan aumentado. Así mismo, la falta de un transporte público metropolitano masivo y eficiente, ha ocasionado que continúe creciendo la flota vehicular de uso particular principalmente.

Gráfica 2.2.6 Crecimiento de la flota vehicular en circulación y ventas acumuladas de autos en la ZMVM, 1994- 2002



Por otro lado los autos particulares, representan el 93% de las unidades destinadas al transporte de personas y sólo captan cerca del 20% de los viajes por persona al día que se realizan en la ZMVM, en contraste con las combis y microbuses que representan menos del 2% y en ellos se realizan cerca del 60% de los viajes por persona al día. Ver Tabla 2.3.1.

Tabla 2.2.1 Vehículos destinados al transporte de pasajeros y viajes persona/día

Tipo de Vehículo	Vehículo para el transporte de personas		Porcentaje de viajes persona / día*
	Número	%	%
Autos particulares	2,712,262	93.2	19.9
Taxis ¹	115,974	4.0	4.4
Combis	19,485	0.7	58.6
Microbuses	32,236	1.1	
Autobuses	30,683	1.1	1.9
Total	3,085,661	100.0	84.8**

*Los datos son del año 1998, **El metro, tren ligero y trolebuses representan el 15.2% faltante

2.2.5 Servicios

En el sector servicios existen 252,009 unidades económicas en la ZMVM, de las cuales el 61.2% se encuentra ubicado en el Distrito Federal, siendo la delegación Cuauhtémoc la que posee el mayor número de éstas. Entre los municipios conurbados, Ecatepec y Nezahualcóyotl son los que cuentan con el mayor número de establecimientos dedicados a este sector.

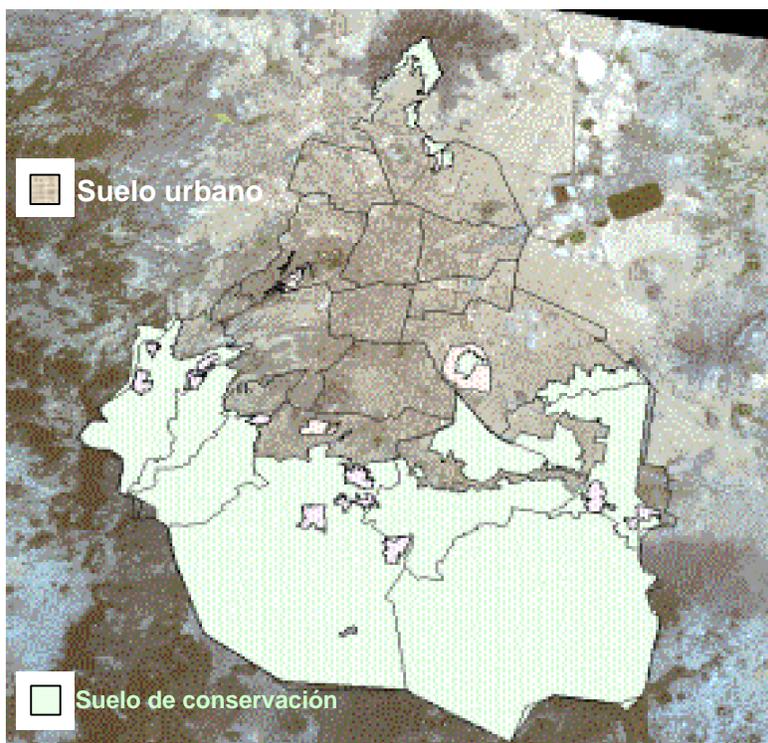
En términos de ocupación, la delegación Cuauhtémoc tiene 412,924 personas laborando en los servicios, (18.7% del total metropolitano), mientras que de los municipios conurbados, Naucalpan de Juárez es el que ocupa más personal.

2.2.6 Vegetación y actividades agropecuarias

Los usos del suelo que predominan en la Zona Metropolitana de Valle de México, se pueden clasificar en: bosques, pastizales, matorrales, agricultura y zona urbana. En particular, con respecto a la agricultura, las tierras de temporal son las que ocupan mayor superficie y se localizan desde las llanuras hasta las altas sierras.

El suelo del Distrito Federal se divide para fines prácticos, en urbano y de conservación. Cada categoría depende de los usos productivos del suelo y las actividades de la población, así como los de carácter administrativo que determinan la línea limítrofe entre el área de desarrollo urbano y el área de conservación ecológica.

Figura 2.2.1 Uso de Suelo del Distrito Federal



Fuente: SMA-INEGI

La dimensión de la superficie del suelo de conservación constituye poco más del 59% de la superficie total del Distrito Federal, limitando al norte, este y oeste con el Estado de México y al sur con Morelos. Lo compone principalmente el área rural del Distrito Federal en su región sur y surponiente; se localiza en las delegaciones de Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco, así como una pequeña área al norte de la Ciudad de México en la delegación Gustavo A. Madero.

Producción agrícola

La Zona Metropolitana del Valle de México cuenta con 1,454⁶ km² de suelo destinado a la agricultura (446 en el D. F. y 1,008 en el Edo. Méx.), generalmente se producen bienes de consumo familiar, no obstante, algunos cultivos representan una fuente significativa de ingresos, como es el caso de Milpa Alta, en donde el volumen de producción de nopal tiene asegurado un mercado amplio y suficiente. En el suelo agrícola se siembran principalmente cultivos de temporal (avena forrajera y el maíz principalmente), así como cultivos permanentes, entre los que destaca el nopal y los frutales.

Población ganadera y producción pecuaria

Los sistemas de producción de los diferentes productos pecuarios se caracterizan por su proclividad hacia la explotación extensiva, así como el predominio de los animales de traspatio, destinados preferentemente al autoconsumo. Esta cualidad se observa especialmente en las delegaciones con mayor tradición agropecuaria como son Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, las cuales tuvieron una producción de aproximadamente 18,000⁷ cabezas de ganado bovino en el año 2002.

Aunque la especie animal mayoritaria es el ave de corral, existe también la cría de cerdos, ovejas y borregos. Debido a su capacidad de adaptación y desarrollo en espacios reducidos, la explotación de porcinos está presente en casi toda la ZMVM.

⁶ Inventario Nacional Forestal, 2000

⁷ SAGARPA-DF, 2002

2.3 CONSUMO ENERGÉTICO

El consumo diario promedio de combustibles en la Zona Metropolitana del Valle de México para el año 2002, se estimó en 298 mil barriles equivalentes de gasolina; es decir 47 millones de litros por día y la cifra que se estimó para 1990 fue de 37 millones de litros por día, por lo que el incremento en 12 años fue de cerca del 30%. En la Tabla 2.3.1, se presenta el consumo por tipo de combustible, expresado en miles de barriles al año. Es importante mencionar que aunque el consumo de gas natural es abundante, este sólo genera 6.4 MJ por barril, a diferencia de los demás combustibles que en promedio generan más de 5,000 MJ por barril de combustible.

Tabla 2.3.1 Consumo energético por tipo de combustible en la ZMVM, 2002

Tipo de combustible	Consumo [miles de barriles]
Gasolina	44,584
Gasóleo Doméstico	2
Pemex Diesel	10,554
Diesel Industrial bajo Azufre	1,720
Gas Natural	34,968,397
Gas LP	19,279

Transformando el volumen consumido de combustibles a energía y expresándolo en porcentaje, de acuerdo con el tipo de combustible, se observa que la demanda energética de la ZMVM fue cubierta principalmente por la combustión de gasolina y gas natural. Ver tabla siguiente.

Tabla 2.3.2 Energía consumida en la ZMVM por tipo de combustible, 2002

Tipo de Combustible	Energía disponible	
	[PJ]	[%]
Gasolina Premium	29	5
Gasolina magna	197	36
Gasóleo doméstico	N/S	N/S
Diesel industrial bajo azufre	10	2
Pemex diesel	59	11
Gas natural	182	33
Gas LP	72	13
Total	549	100

N/S.- No significativo

Al desagregar los consumos energéticos de cada uno de los combustibles y agrupándolos por sector⁸, se obtienen los consumos presentados en la tabla 2.3.3, donde se aprecia que los sectores transporte e industrial demandan el 88% de la energía que se utiliza en la ZMVM.

Tabla 2.3.3 Consumo energético en la ZMVM por sector, 2002

Sector	Consumo energético	
	[PJ]	[%]
Transporte	290	53
Industria	194	35
Residencial	49	9
Servicios	16	3
Total	548	100

Desde 1990 el sector transporte es el principal consumidor de energía, seguido del industrial, los cuales en el periodo 1990-2002 consumieron en promedio el 50 y 34% respectivamente de la energía total disponible para cada año.

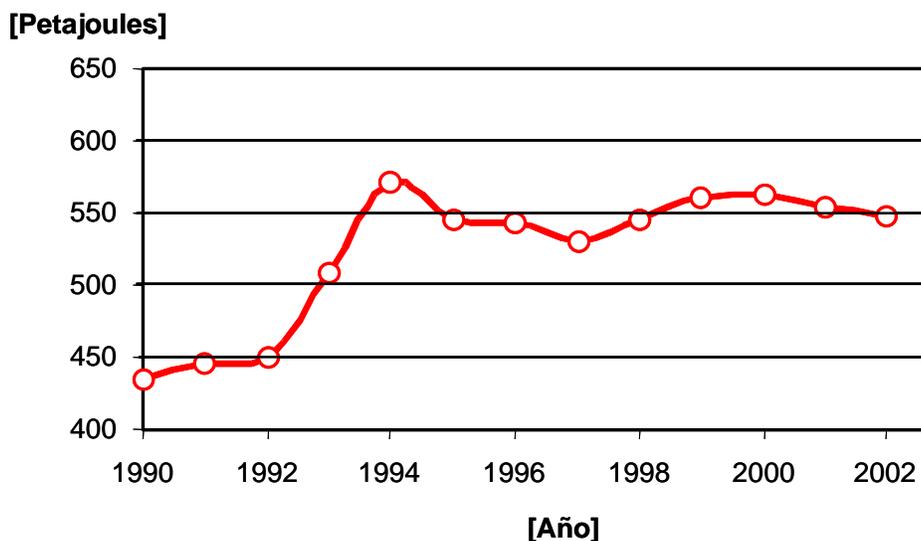
Tabla 2.3.4 Consumo energético histórico de la ZMVM, 1990-2002

Año	Consumo total [PJ]	Consumo energético porcentual por sector			
		Transporte	Industria	Residencial	Servicios
1990	435	50	32	16	2
1991	446	51	31	16	2
1992	451	51	30	17	2
1993	509	49	34	15	2
1994	571	49	35	14	2
1995	545	49	34	15	2
1996	544	48	35	15	2
1997	530	51	33	14	2
1998	545	50	34	13	3
1999	561	49	34	14	3
2000	563	51	34	12	3
2001	555	51	35	11	3
2002	549	53	35	9	3
Promedio 1990-2002	523	50	34	14	2

⁸ De acuerdo con la finalidad del consumo de gas L.P. y gas natural, la SENER para dividir sus ventas considera entre otros al sector residencial o doméstico y servicios o comercios, por lo que para nuestros fines también incluimos estas categorías de la misma forma.

En la siguiente gráfica se presenta la situación histórica del consumo energético total de la Zona Metropolitana del Valle de México, donde se aprecia que de 1990 a 1994, el consumo se incremento en un 32% y posteriormente hasta 1997 hubo un disminución del 7%. A partir de 1998 hasta el año 2000 el consumo energético volvió a incrementarse en un 6%, finalmente, hasta el año 2002 decayó nuevamente en casi un 3%, debido principalmente a la baja en el consumo de gas L.P., que puede atribuirse al crecimiento moderado de la economía nacional, a la mayor penetración del gas natural al sector residencial y servicios, a una mayor eficiencia de los equipos domésticos de calefacción y al mayor ahorro de energía por parte de los consumidores, derivados fundamentalmente de los incrementos progresivos en su precios.⁹

Gráfica 2.3.1 Consumo energético histórico de la ZMVM, 1990-2002



⁹ Prospectivas del mercado de gas licuado de petróleo 2004-2013, Secretaría de Energía, 2004.

3. INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZMVM

El presente inventario de emisiones, contiene las estimaciones de las toneladas de partículas menores a $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}), partículas menores a $2.5\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$), bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos totales (COT), compuestos orgánicos volátiles (COV), metano (CH_4) y amoníaco (NH_3), que se generaron en la Zona Metropolitana del Valle de México durante el año 2002.

3.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES

Los cálculos para estimar las emisiones de los contaminantes seleccionados, se realizaron con base en la metodología de estimación que recomienda la Autoridad Federal Ambiental¹ y que se encuentra descrita en los manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México; para lo anterior, fue necesario determinar y recopilar todos los datos relacionados con las fuentes de emisiones de contaminantes y su actividad, además de seleccionar las técnicas y métodos de estimación de emisiones.

El desarrollo del presente inventario se realizó conforme a las siguientes técnicas seleccionadas:

Muestreo en la fuente. Aplicando este método y con base en los resultados de las mediciones directas en las chimeneas del flujo volumétrico y las concentraciones de bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, se estiman las emisiones de aquellas industrias que están obligadas a realizar la medición anualmente o trimestralmente y reportarlas a la autoridad correspondiente, dependiendo de la jurisdicción a que pertenezcan.

Modelos de emisión (mecanísticos). Se utilizó el modelo TANKS 3.1 para estimar las emisiones de los COV que se liberan al aire durante el almacenamiento masivo de combustibles en tanques; el modelo GloBEIS 3 para calcular las emisiones de COV y NO_x provenientes de la vegetación y del suelo; el modelo MOBILE 5 México y MOBILE 6.2 México, para el cálculo de las emisiones de COT, NO_x , CO , PM_{10} y NH_3 de algunas categorías de fuentes móviles; y el modelo LANDFILL, para estimar las emisiones de CH_4 generadas en los rellenos sanitarios.

Todos estos modelos fueron desarrollados por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de América "US-EPA" y adaptados para utilizarse en la ZMVM. Otro modelo utilizado fue el FAED 2.1, con el cual se calcularon las emisiones generadas por las aeronaves. Este modelo fue desarrollado por la US-EPA en conjunto con la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos de Norteamérica.

¹ Manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México; elaborado para: La Asociación de Gobernadores del Oeste, Denver Colorado y para el Comité Asesor Binacional; preparados por Radian International y Eastern Research Group; elaborados en el periodo de 1996 al 2003.

Encuestas. Actualmente el gobierno federal y las dos entidades que convergen en la ZMVM, tienen implementados formatos² para la obtención y actualización de los datos de actividad, utilizados en el cálculo de las emisiones (combustible, materias primas, productos, entre otros), tanto para el sector industrial como para algunas fuentes de área (gasolineras, hoteles, tintorerías, lavanderías, baños públicos, panaderías, hospitales, centros deportivos, por mencionar algunos).

Factores de emisión. La fuente de factores de emisión utilizada en este inventario fue el Air Chief Versión 8 (U.S. EPA, 2000) y los factores de emisión obtenidos por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) para autos particulares, taxis, combis y otros vehículos que circulan en la ZMVM.

Balance de materiales. Para el cálculo de las emisiones de bióxido de azufre de las fuentes móviles, se partió del principio de que todo el azufre contenido en el combustible vehicular menos el que reacciona para formar partículas de sulfato (SO_4), se incorpora en la formación del bióxido de azufre. De igual forma el 95% del solvente contenido en el asfalto se emite como COV.

Los resultados de las toneladas obtenidas por tipo de contaminante que se generaron en el año 2002 en la Zona Metropolitana del Valle de México, así como el procedimiento de cálculo, se fundamentan detalladamente en el anexo A (Memorias de cálculo) del presente documento.

3.2 DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES

Para contar con un análisis más detallado y utilizar los datos de emisiones en la modelación fotoquímica, a continuación se presenta la distribución temporal y espacial del inventario. Con esta información se puede conocer la cantidad de contaminantes emitidos cada hora, así como situar de manera precisa las zonas donde se generan las emisiones.

3.2.1 Distribución temporal horaria

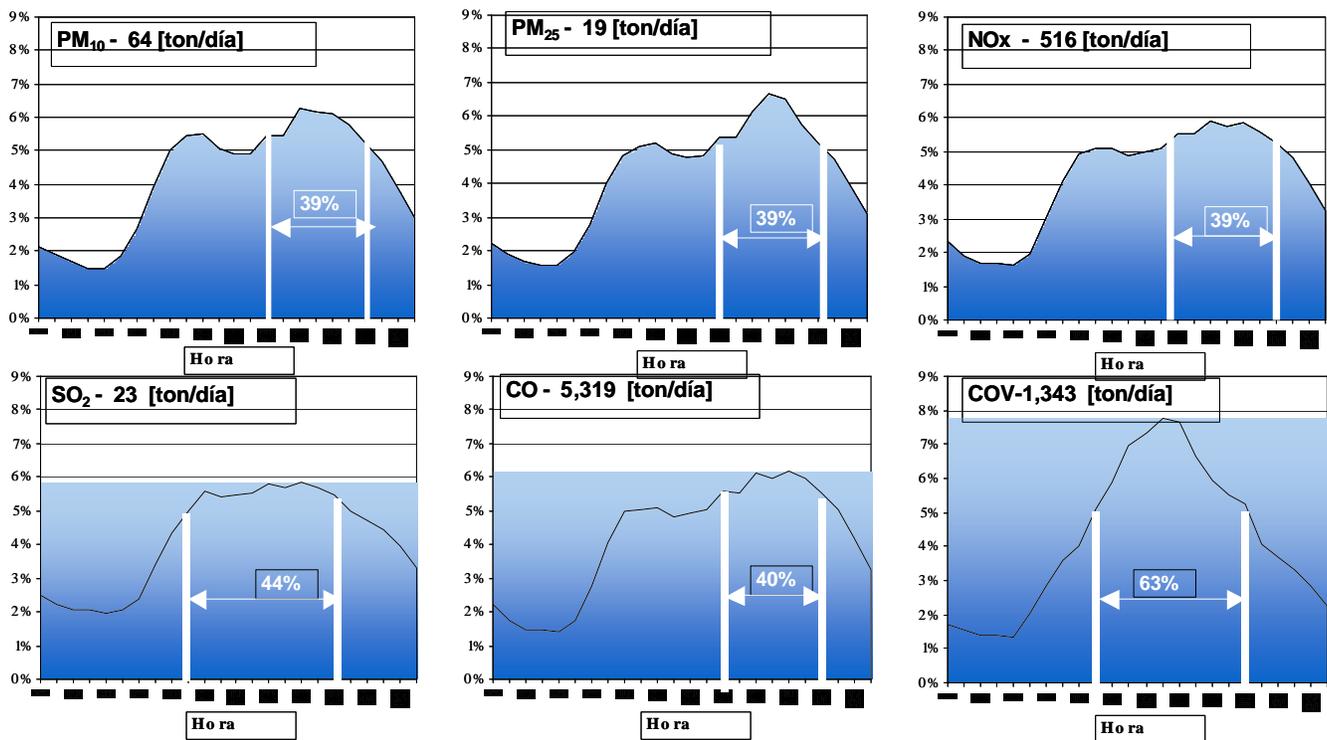
La distribución temporal horaria del inventario de emisiones, permite conocer su comportamiento a través del día, así como el aporte de los contaminantes a la atmósfera. Debido a que los contaminantes no se emiten homogéneamente durante todo el día, se aprecia en la Gráfica 3.2.1 el patrón de distribución horaria de los contaminantes de mayor importancia, así como la emisión total diaria.

Las tendencias de las emisiones horarias de PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x y CO son similares debido a la influencia que tienen las fuentes móviles sobre estos contaminantes, donde la generación máxima se tiene de las 15:00 a las 21:00 horas, liberándose en ese horario en promedio alrededor del 39% del total diario de estos contaminante.

² Cédula de Operación Anual, Inventario de Emisiones, Licencia Ambiental Única.

Por otro lado el horario de máxima generación de SO₂ donde la tendencia de su perfil horario es trazado por las emisiones del sector industrial, es de las 10:00 a las 19:00 horas, donde se libera el 44% de su emisión diaria. Así mismo, en este mismo horario se emiten el 63% de las emisiones diarias de COV, sólo que el perfil horario de las emisiones lo rige la contribución de las fuentes de área.

Gráfica 3.2.1 Distribución temporal horaria de las emisiones de la ZMVM



3.2.2 Distribución espacial

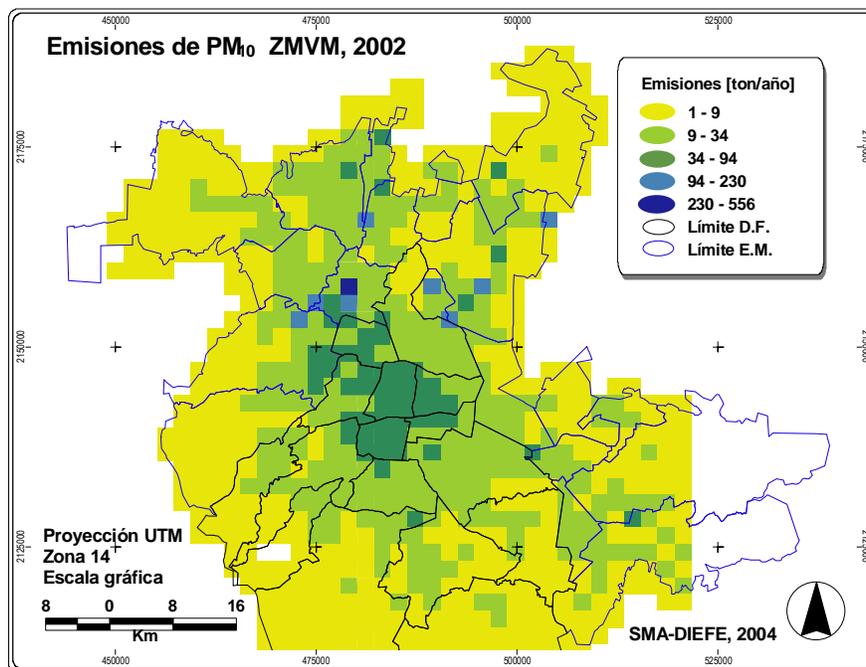
Uno de los objetivos de este inventario, es cuantificar las emisiones anuales de contaminantes atmosféricos. Sin embargo la gestión de la calidad del aire de la ZMVM, requiere el contar con la distribución espacial de las emisiones, ya que esto permite identificar los sectores con mayor aporte de emisiones, ubicar las áreas con mayor necesidad de atención en el presente y futuro, evaluar a través de mapas los sitios con problemas de la calidad del aire, diseñar las redes de monitores atmosférico, así como coadyuvar a la planeación del uso del suelo en el establecimiento y/o reubicación de fuentes emisoras de contaminantes, por mencionar algunas de las aplicaciones.

La distribución espacial de las emisiones anuales de los contaminantes se realizó en una malla de 2 km x 2 km, donde se ubicaron individualmente 3,320 fuentes puntuales³ (1,659 se encuentran en el D.F.).

Las fuentes de área se distribuyeron con base en los AGEBS⁴, y las fuentes móviles se localizaron en las principales calles y avenidas en dicha malla. Por último, las fuentes naturales se distribuyeron con base en el uso de suelo y tipo de vegetación que se encuentra en cada celda. La distribución espacial de contaminantes criterio se muestra en los Mapas 3.2.1 a 3.2.8.

De la distribución espacial de las emisiones de PM₁₀, que se presentan en el mapa 3.2.1, tenemos que al norte de la ZMVM las emisiones altas son de origen industrial ya que existen sitios de alta emisión asociados a este sector; por ejemplo, en la parte central del municipio de Tlalnepantla, se ubican un gran número de industrias, de las cuales la producción del concreto y del acero en suma generan más de 500 toneladas al año.

Mapa 3.2.1 Distribución espacial de PM₁₀



Nota: No incluye a los caminos no pavimentados.

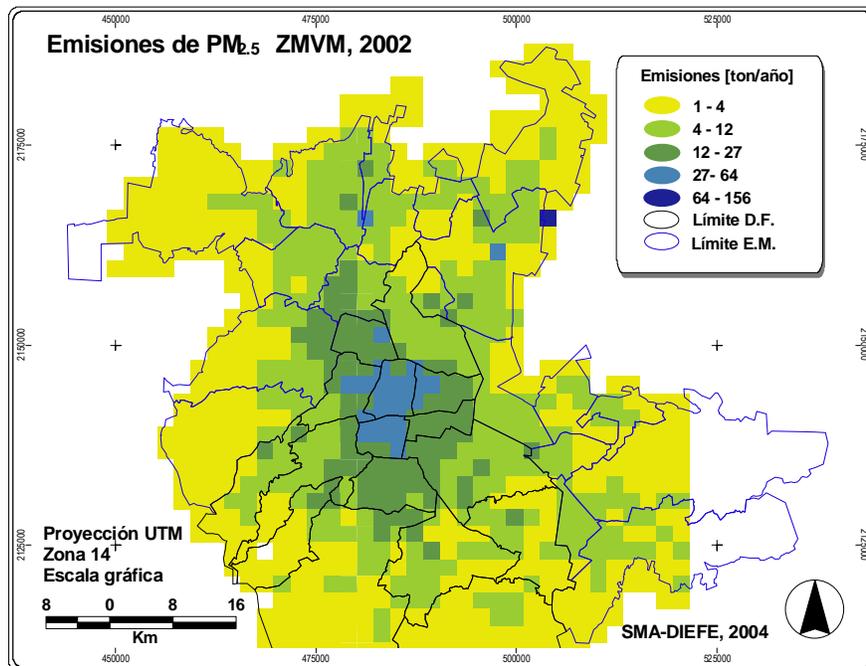
Las delegaciones Cuauhtémoc, Benito Juárez y parte de Venustiano Carranza, presentan emisiones de PM₁₀ que van de entre 34 y 94 toneladas al año y son ocasionados por la intensa actividad vehicular.

³ Las demás industrias no se pudieron ubicar, debido a que la mayoría no ha presentado COA recientemente, y en la base de datos histórica están registradas sin coordenadas y sin dirección

⁴ Área Geoestadística Básica del INEGI

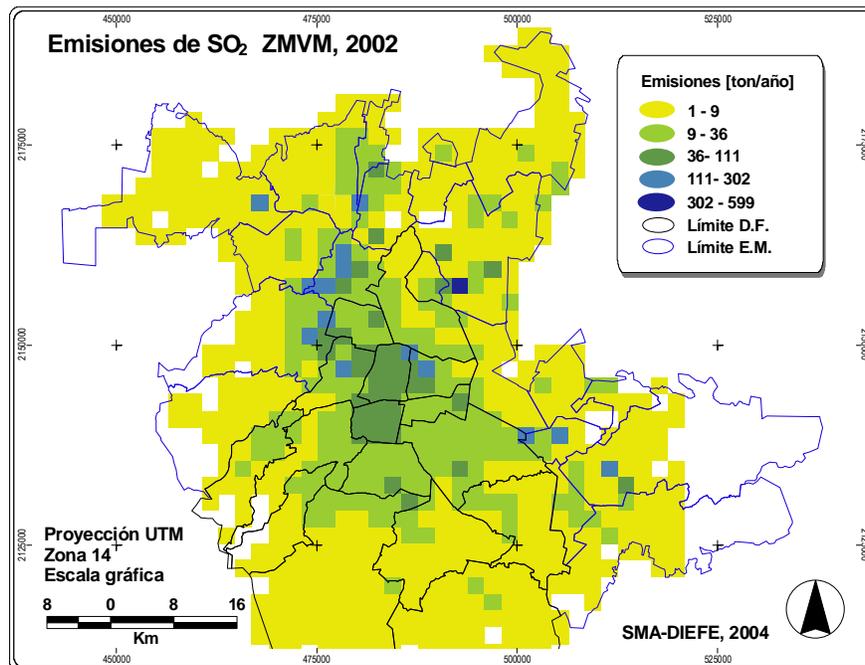
El patrón de distribución de las emisiones de partículas $PM_{2.5}$ (Mapa 3.2.2) es similar al de PM_{10} , es decir, la emisión del centro es debida principalmente a las fuentes móviles y las zonas de alta emisión del norte corresponde a fuentes puntuales, sólo difiere en que la zona de más alta emisión está ubicada al noroeste de la ZMVM, donde se encuentran las termoeléctricas que consumen grandes cantidades de gas natural.

Mapa 3.2.2 Distribución espacial de $PM_{2.5}$



En el Distrito Federal, las fuentes móviles son las que contribuyen en mayor proporción a la generación de SO_2 , dado que la zona urbana es la que presenta mayor afluencia vehicular, principalmente en las delegaciones de Benito Juárez, Cuauhtémoc y en menor proporción en la periferia. Los altos valores en Venustiano Carranza, Miguel Hidalgo y Azcapotzalco son debido principalmente a las industrias (Mapa 3.2.3).

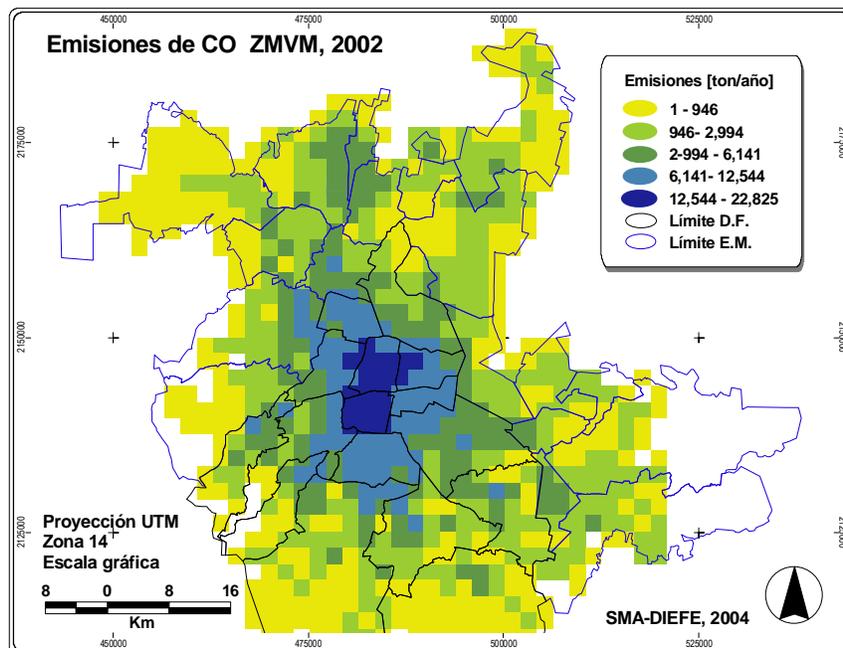
Mapa 3.2.3 Distribución espacial de SO₂



En el Estado de México, las altas emisiones de SO₂, se atribuye a la actividad industrial de algunas zonas; en los municipios de La Paz e Ixtapaluca, el SO₂ es producido por la industria del papel y de la madera principalmente, a diferencia de los municipios del norte, donde existe una gran variedad de giros industriales. En Ecatepec se tiene la zona de mayor emisión y esto es debido a que varias de las industrias ubicadas en este municipio consumen combustibles líquidos que a diferencia de los gaseosos su contenido de azufre es más alto.

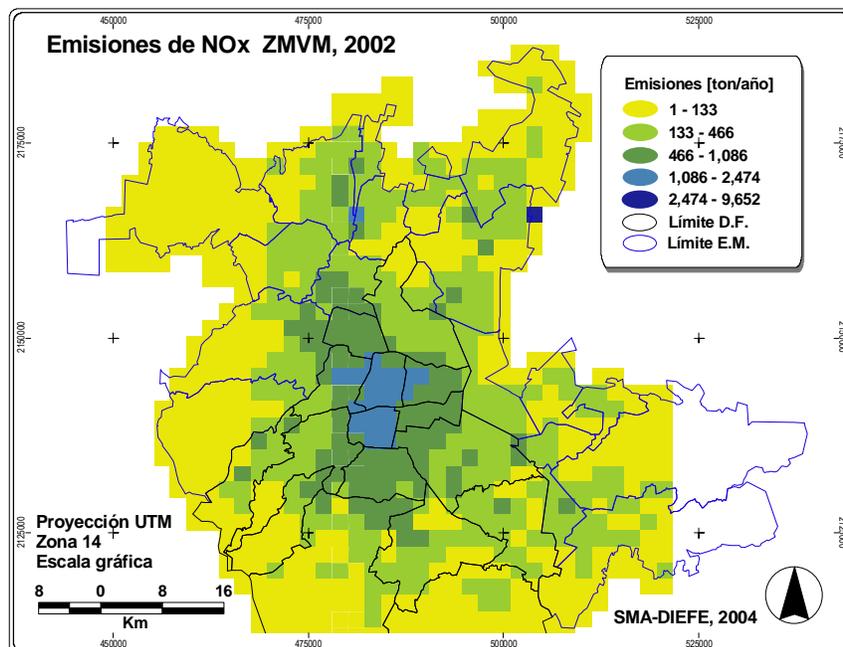
Debido a que el CO es producto de la combustión de los hidrocarburos utilizados como combustible y a que el 99% es generado por la combustión interna en los vehículos, su distribución está relacionada a la actividad de los mismos, en donde cabe destacar a los autos particulares, taxis y microbuses por su gran actividad. Con base en lo anterior, se puede mencionar que el CO sigue una distribución conforme a las principales calles y avenidas de mayor tránsito vehicular. Así, las mayores emisiones se localizan en las delegaciones del centro de la ZMVM como son Benito Juárez y Cuauhtémoc, disminuyendo la emisión conforme se avanza hacia la periferia, Mapa 3.2.4.

Mapa 3.2.4 Distribución espacial de CO



Los óxidos de nitrógeno al igual que el CO, son producto de la combustión y las fuentes móviles en la ZMVM son los principales emisores de este contaminante y por lo tanto, la distribución espacial de los NOx, varía principalmente conforme a la actividad del parque vehicular, concentrándose en la zona urbana donde el tránsito es intenso y siguiendo un patrón de distribución conforme a la red vial de la Ciudad.

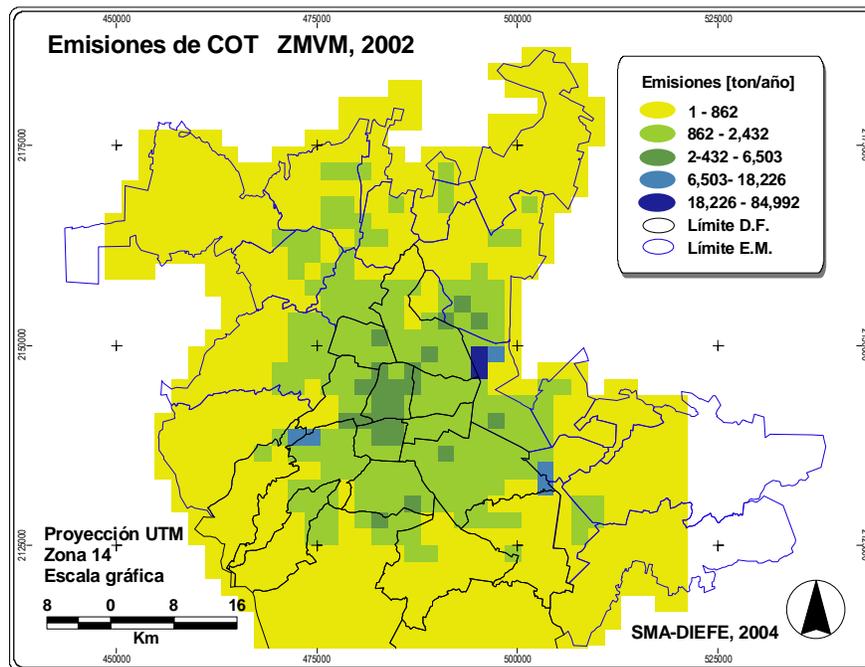
Mapa 3.2.5 Distribución espacial de NOx



Aunque la región de alta emisión de NO_x se localizan en la parte central de la ZMVM, tenemos que en el noroeste en el municipio de Acolman destacan las emisiones resultantes de la generación de energía eléctrica, donde se consumen grandes cantidad de gas natural. (Mapa 3.2.5).

Los COT son generados en su mayoría por el transporte, los procesos industriales y por el consumo de solventes; en la ZMVM El 22% de ellos es emitido como metano por los rellenos sanitarios; debido a esto, la delegación de Álvaro Obregón y los municipios de La Paz y Nezahualcóyotl, muestran zonas de elevada emisión. En las delegaciones de Cuauhtémoc y Benito Juárez los COT son generados por la actividad vehicular, y las áreas de gran emisión en las zonas restantes, son ocasionadas por la actividad industrial de dichas áreas, en particular, por los sectores químico, fabricación de plástico y vidrio, así como de productos metálicos.

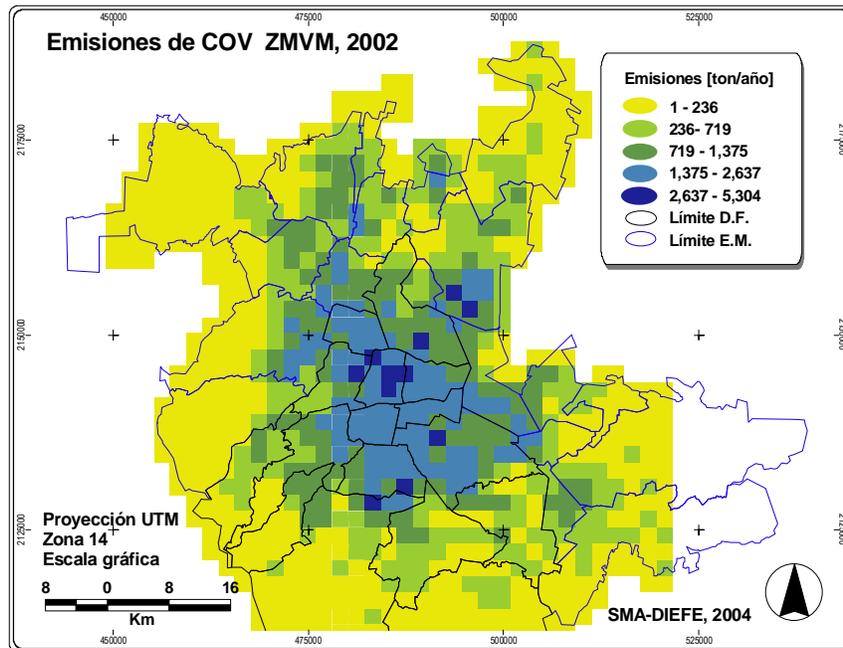
Mapa 3.2.6 Distribución espacial de COT



Los compuestos orgánicos volátiles participan junto con los NO_x en la formación de ozono troposférico, de aquí la importancia de su estimación; en la ZMVM, el patrón de distribución de este contaminante es atribuido mayoritariamente a la actividad de los vehículos y a las fuentes de área, por lo tanto, la parte central de la zona, la cual se caracteriza por tener una intensa circulación vial, es donde se emiten grandes cantidades de este contaminante; sin embargo, existen pequeñas zonas aisladas donde la actividad industrial es las responsable de dicha emisión.

En la delegación Cuauhtémoc, las altas emisiones son ocasionadas por las fuentes móviles y en el resto de las celdas aisladas que presentan más de 2,000 toneladas anuales, tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México, los compuestos orgánicos volátiles se atribuyen a la actividad industrial.

Mapa 3.2.7 Distribución espacial de COV

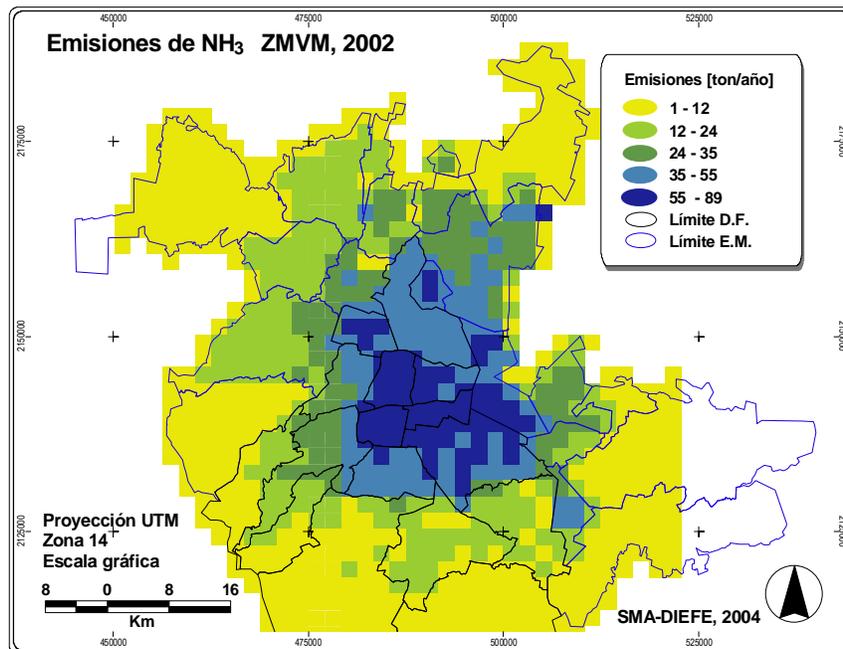


El amoníaco es parte del ciclo del nitrógeno y es uno de los principales contribuyentes en la formación de aerosoles⁵ en la atmósfera; así mismo, reacciona rápidamente con el ácido sulfúrico y el ácido nítrico para formar partículas. Debido a que la concentración de partículas es uno de los principales problemas de calidad del aire de la ZMVM, se hace importante la cuantificación del amoníaco como precursor de las mismas.

Considerando que el amoníaco estimado proviene fundamentalmente de desechos de humanos, de animales (perros, gatos), así como del uso doméstico, la distribución espacial de éste contaminante se relaciona con la densidad de población, por lo tanto, las delegaciones y municipios del centro de la ZMVM son las que presentan las emisiones más altas, solamente al noroeste de la zona tenemos un área con altas emisiones, debido a las aportaciones de las centrales termoeléctricas ahí ubicadas, ver mapa 3.2.8.

⁵ Dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, en medios gaseosos (Wark y Warner 1994)

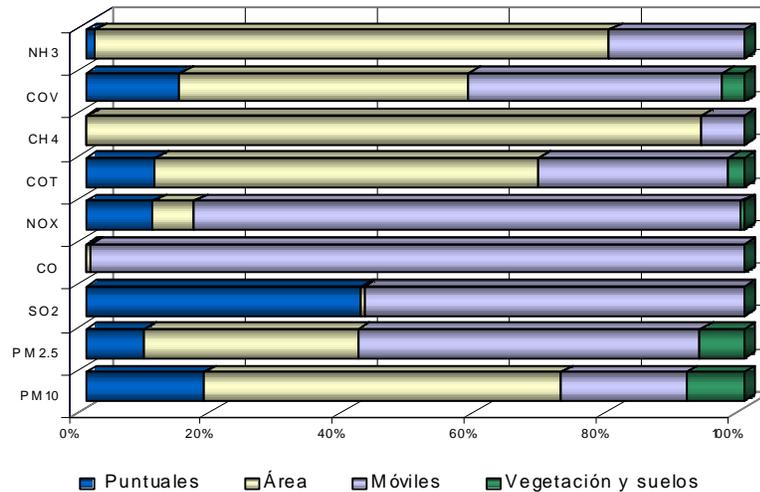
Mapa 3.2.8 Distribución espacial de NH₃



3.3 EMISIONES ANUALES DE LA ZMVM

Las emisiones anuales de la ZMVM, en peso y porcentaje se presentan en la Gráfica 3.3.1 y Tabla 3.3.1, en las cuales se observa que el contaminante más abundante en peso sigue siendo el CO, emitiéndose a la atmósfera cerca de 2 millones de toneladas al año, generado principalmente por las fuentes móviles; le sigue en orden de importancia las emisiones de COT con más de 700 mil toneladas anuales, siendo las fuentes de área las que generan el 58%. En la siguiente Gráfica, se puede apreciar la contribución de cada contaminante inventariado por tipo de fuente, observándose que el mayor emisor son las fuentes móviles.

Gráfica 3.3.1 Contribución de emisiones por tipo de fuente, 2002



Referente a la contaminación por NOx, se estima que se liberaron al aire más de 188 mil toneladas y el 83% lo generaron las fuentes móviles; de las PM₁₀, que es otro de los contaminantes que representan mayor problema en la ZMVM, se tiene que de las 23,542 ton/año que se emiten, el 45% se desprenden de las vialidades no pavimentadas debido al tránsito vehicular; del total de PM₁₀, aproximadamente el 29% son partículas menores a 2.5 µm (PM_{2.5}); y con respecto al cálculo del amoniaco que se estima en casi 17 mil toneladas, las fuentes de área son las principales emisoras, en particular la categoría de emisiones domésticas.

Tabla 3.3.1 Inventario de emisiones anuales de la ZMVM, 2002

Sector	Emisiones																		
	PM ₁₀		PM _{2.5}		SO ₂		CO		Nox		COT		CH ₄		COV		NH ₃		
	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	
Fuentes puntuales	4,246	18.0	610	9.0	3,579	41.9	6,880	0.4	19,543	10.4	75,933	10.7	763	0.5	71,072	14.5	225	1.3	
Fuentes de área	12,781	54.2	2,193	32.4	40	0.5	7,612	0.4	11,818	6.3	412,432	58.1	152,576	93.1	213,854	43.6	13,236	78.2	
Fuentes móviles	4,444	19.0	3,518	51.9	4,929	57.7	1,927,101	99.3	156,311	83.0	204,347	28.8	10,565	6.4	188,530	38.5	3,472	20.5	
Vegetación y suelos	2,071	8.8	456	6.7	N/A	N/A	N/A	N/A	590	0.3	16,644	2.3	N/A	N/A	16,644	3.4	N/A	N/A	
Total	23,542	100	6,777	100	8,548	100	1,941,593	100	188,262	100	709,356	100	163,904	100	490,100	100	16,933	100	

N/A : No Aplica

Con base en las tablas 3.3.2 y 3.3.3, tenemos que las emisiones que más se generan en la ZMVM las emiten las fuentes móviles y de éstas, los autos particulares generan el 42% del CO, el 28% de los NOx, el 30% de SO₂ y el 16% de COV; otra emisión importante la tienen los vehículos menores a tres toneladas con casi el 17% del CO y los tractocamiones que aportan el 29% de las PM_{2.5} y 13% de NOx.

Las fuentes móviles generan el 58% del SO₂ y como se mencionó, los autos particulares son los de mayor emisión, siguiendo en orden de magnitud, las fuentes puntuales con el 42% del SO₂ con 3,579 ton/año, siendo los sectores de sustancias químicas y textiles los más contaminantes, dado que contribuyen con el 11% y el 10% respectivamente.

Los principales contaminantes emitidos por las fuentes de área son: el metano que representa el 93% del total de la ZMVM, emitido en su mayoría por los rellenos sanitarios; el amoníaco con un 78% del total, las PM₁₀ que representan el 54% y las PM_{2.5} el 32%, estas últimas generadas principalmente por los caminos sin pavimentar.

En general, los COV generados por la vegetación, son mínimos en comparación con los otros sectores, cabe mencionar que los COV de las fuentes biogénicas, representan el 3% del total de las emisiones con 16,644 toneladas anuales; así mismo, las partículas generadas por la erosión eólica representan el 9% con 2,071 toneladas anuales de PM₁₀.

A continuación se presentan las emisiones de la ZMVM desagregadas por sector.

Tabla 3.3.2 Inventario de emisiones desagregado por sector de la ZMVM, 2002

Sector	Emisiones [ton /año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	4,246	610	3,579	6,880	19,543	75,933	763	71,072	225
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	525	51	167	359	874	4,257	13	4,153	19
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	403	43	825	150	512	2,998	6	2,991	12
Industria de la madera y productos de madera	46	7	162	18	43	4,087	1	4,041	1
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	140	77	488	592	1,378	18,905	17	17,011	26
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	664	86	908	671	1,945	22,394	43	21,505	43
Productos minerales no metálicos.*	757	49	122	498	1,137	4,593	420	4,025	19
Industrias metálicas básicas	988	34	548	1,101	531	2,374	80	1,626	8
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	489	57	304	1,227	1,392	14,762	14	14,512	12
Otras industrias manufactureras	32	4	39	34	105	1,271	108	1,062	1
Generación de energía eléctrica	202	202	16	2,230	11,626	292	61	146	84
Fuentes de área	12,781	2,193	40	7,612	11,818	412,432	152,576	213,854	13,236
Combustión industrial	243	243	19	2,680	3,190	351	74	176	16
Combustión comercial/institucional	38	38	N/S	197	1,135	47	16	29	N/E
Combustión habitacional	119	119	1	510	3,318	140	48	87	1
Operación de aeronaves	17	16	N/S	2,938	2,753	1,784	171	1,712	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	32	29	16	171	1,348	57	N/E	55	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	1	1	N/S	92	50	23	1	22	N/S
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	22,115	N/A	21,849	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,419	N/A	2,370	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	23,497	N/A	20,442	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	691	N/A	683	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	31,099	N/A	18,659	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10,378	N/A	6,020	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,911	N/A	6,911	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	246	N/A	246	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	79,079	N/A	54,564	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	933	N/A	933	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/S	5	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,990	N/S	2,942	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	23,978	2	23,594	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	39,088	4	38,463	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,559	N/A	4,559	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	18	N/A	18	N/A
Rellenos sanitarios	N/E	N/E	N/A	164	N/A	159,383	152,240	7,107	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,577	N/A	2,371	N/E
Incendios forestales	46	40	4	431	14	28	20	13	2
Incendios en estructuras	28	26	N/E	428	10	36	N/A	24	N/A
Emisiones domésticas de amoníaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13,217
Camino pavimentados	1,532	83	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Camino sin pavimentar	10,725	1,598	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	4,444	3,518	4,929	1,927,101	156,311	204,347	10,565	188,530	3,472
Autos particulares	735	424	2,549	815,092	52,894	84,310	4,149	77,519	2,194
Taxis	159	91	542	184,638	14,931	21,724	1,067	19,974	499
Combis	31	17	108	84,308	3,837	8,165	401	7,507	85
Microbuses	52	33	139	172,336	9,847	19,041	1,360	17,540	91
Pick up	100	60	310	136,357	11,028	14,078	755	12,968	255
Vehículos ≤ a 3 ton	236	168	434	321,773	23,881	28,522	1,327	26,285	277
Tractocamiones	2,215	1,944	457	21,830	24,422	8,768	357	8,385	27
Autobuses	635	555	199	11,340	9,424	3,482	145	3,324	12
Vehículos > a 3 ton	258	213	128	149,479	5,756	9,926	696	9,084	25
Motocicletas	23	13	63	29,948	291	6,331	308	5,944	7
Vegetación y suelos	2,071	456	N/A	N/A	590	16,644	N/A	16,644	N/A
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	590	16,644	N/A	16,644	N/A
Erosión eólica del suelo	2,071	456	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	23,542	6,777	8,548	1,941,593	188,262	709,356	163,904	490,100	16,933

N/A: No Aplica, N/S: No Significativo, N/E: No Estimado, HCNQ: Hidrocarburos No Quemados; *Excluye los derivados del petróleo y del carbón, **Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.

Tabla 3.3.3 Inventario de emisiones porcentual, desgagado por sector de la ZMVM, 2002

Sector	Emisiones [%]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	18.04	9.00	41.87	0.35	10.38	10.70	0.46	14.50	1.33
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	2.23	0.75	1.95	0.02	0.46	0.60	0.01	0.85	0.11
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	1.71	0.63	9.65	0.01	0.27	0.42	N/S	0.61	0.07
Industria de la madera y productos de madera	0.20	0.10	1.90	N/S	0.02	0.58	N/S	0.82	0.01
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	0.59	1.14	5.71	0.03	0.73	2.67	0.01	3.47	0.15
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	2.82	1.27	10.62	0.03	1.03	3.16	0.03	4.39	0.25
Productos minerales no metálicos.*	3.22	0.72	1.43	0.03	0.60	0.65	0.26	0.82	0.11
Industrias metálicas básicas	4.20	0.50	6.41	0.06	0.28	0.33	0.05	0.33	0.05
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	2.08	0.84	3.56	0.06	0.74	2.08	0.01	2.96	0.07
Otras industrias manufactureras	0.14	0.06	0.46	N/S	0.06	0.18	0.07	0.22	0.01
Generación de energía eléctrica	0.86	2.98	0.19	0.11	6.18	0.04	0.04	0.03	0.50
Fuentes de área	54.29	32.36	0.47	0.39	6.28	58.13	93.08	43.62	78.17
Combustión industrial	1.03	3.59	0.22	0.14	1.69	0.05	0.05	0.04	0.09
Combustión comercial/institucional	0.16	0.56	N/S	0.01	0.60	0.01	0.01	0.01	N/E
Combustión habitacional	0.51	1.76	0.01	0.03	1.76	0.02	0.03	0.02	0.01
Operación de aeronaves	0.07	0.24	N/S	0.15	1.46	0.25	0.10	0.35	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	0.14	0.43	0.19	0.01	0.72	0.01	N/E	0.01	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	N/S	0.01	N/S	N/S	0.03	N/S	N/S	N/S	N/S
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.12	N/A	4.46	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.34	N/A	0.48	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.31	N/A	4.17	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.10	N/A	0.14	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4.38	N/A	3.81	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.46	N/A	1.23	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.97	N/A	1.41	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	0.03	N/A	0.05	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11.15	N/A	11.13	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.13	N/A	0.19	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/S	N/S	N/S	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.42	N/S	0.60	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.38	N/S	4.81	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5.51	N/S	7.85	N/A
Panaderías	N/E	N/E	N/A	N/E	N/A	0.64	N/A	0.93	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/S	N/A	N/S	N/A
Rellenos sanitarios	N/A	N/A	N/A	0.01	N/A	22.47	92.88	1.45	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.36	N/A	0.48	N/E
Incendios forestales	0.20	0.59	0.05	0.02	0.01	N/S	0.01	N/S	0.01
Incendios en estructuras	0.12	0.38	N/E	0.02	0.01	0.01	N/S	N/S	N/A
Emisiones domésticas de amoníaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/S	N/A	78.05
Caminos pavimentados	6.51	1.22	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	45.56	23.58	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	18.88	51.91	57.66	99.25	83.03	28.81	6.45	38.47	20.50
Autos particulares	3.12	6.26	29.82	41.98	28.10	11.89	2.53	15.82	12.96
Taxis	0.68	1.34	6.34	9.51	7.93	3.06	0.65	4.08	2.95
Combis	0.13	0.25	1.26	4.34	2.04	1.15	0.24	1.53	0.50
Microbuses	0.22	0.49	1.63	8.88	5.23	2.68	0.83	3.58	0.54
Pick up	0.42	0.89	3.63	7.02	5.86	1.98	0.46	2.65	1.51
Vehículos ≤ a 3 ton	1.00	2.48	5.08	16.57	12.68	4.02	0.81	5.36	1.64
Tractocamiones	9.41	28.69	5.35	1.12	12.97	1.24	0.22	1.71	0.16
Autobuses	2.70	8.19	2.33	0.58	5.01	0.49	0.09	0.68	0.07
Vehículos > a 3 ton	1.10	3.14	1.50	7.70	3.06	1.40	0.42	1.85	0.15
Motocicletas	0.10	0.19	0.74	1.54	0.15	0.89	0.19	1.21	0.04
Vegetación y suelos	8.80	6.73	N/A	N/A	0.31	2.35	N/A	3.40	N/A
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	0.31	2.35	N/A	3.40	N/A
Erosión eólica del suelo	8.80	6.73	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

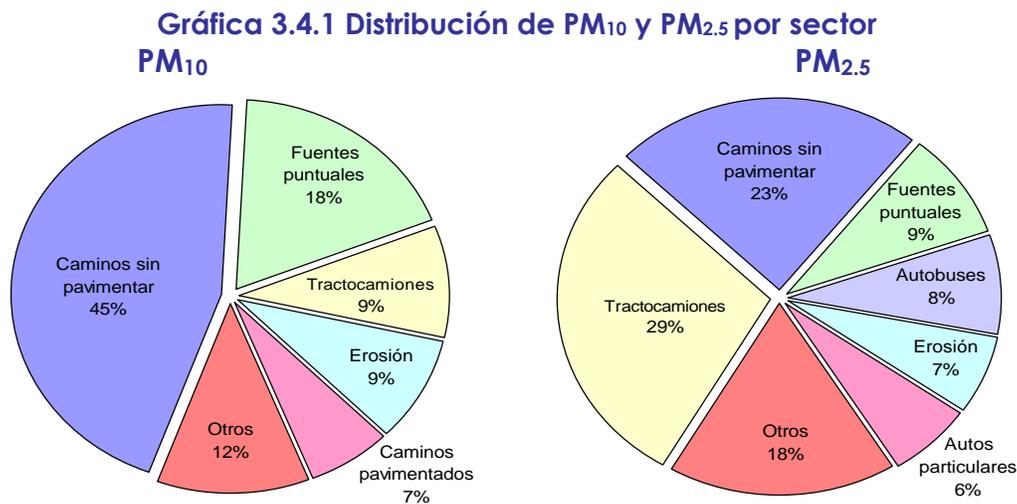
N/A: No Aplica, N/S: No Significativo, N/E: No Estimado, HCNQ: Hidrocarburos No Quemados; *Excluye los derivados del petróleo y del carbón, **Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.

3.4 EMISIONES POR CONTAMINANTE

La importancia de desagregar las emisiones por contaminante, básicamente obedece a la necesidad de conocer la presencia de sustancias que alteran la calidad del aire, de modo que impliquen riesgos, daños o molestias para las personas y bienes de cualquier naturaleza. La siguiente sección describe a mayor detalle las emisiones por cada uno de los contaminantes estimados, así como sus principales generadores⁶.

Partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5})

La generación de partículas en la ZMVM se debe principalmente a los caminos sin pavimentar, sector que forma parte de las fuentes de área. En total, se tienen 23,542 toneladas anuales de PM₁₀, de éstas, los caminos sin pavimentar aportan el 45% y los caminos pavimentados el 7%. Otros sectores de importancia son las fuentes puntuales con el 18%, así como los tractocamiones y la erosión eólica con el 9% cada uno. Estudios atmosféricos de la ZMVM⁷, mencionan que aproximadamente del 50% al 70% de las PM₁₀ son de origen geológico, con base en el inventario, se puede mencionar que el 61% de las PM₁₀ en el 2002 son de origen geológico, asumiendo que las partículas generadas por los caminos y por la erosión corresponden a este tipo de partículas, lo cual está dentro del rango de medición reportado por dichos estudios. La distribución de partículas por sector se muestra en las gráficas siguientes.



Las PM_{2.5}, se estimaron en 6,777 toneladas anuales, siendo el principal generador los tractocamiones con una aportación del 29% (1,944 ton/año). Le sigue en orden de importancia los caminos sin pavimentar con un 23%, los autobuses (8%), en conjunto

⁶ Para fines ilustrativos, en las gráficas de cada contaminante, solo se muestran los sectores de mayor emisión y la categoría "otros", es la suma de los sectores restantes, los cuales pueden verificarse en las tablas 3.3.2 o 3.3.3.

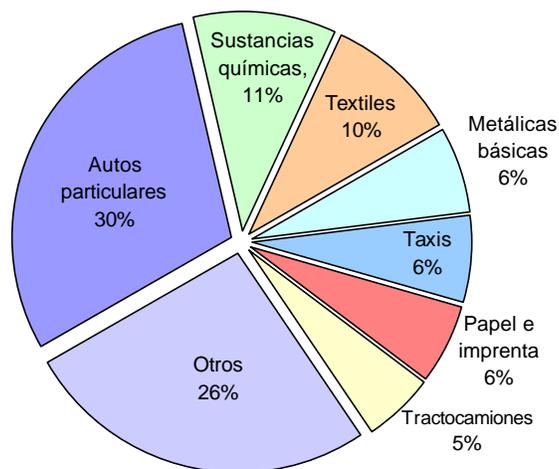
⁷ Análisis of PM_{2.5} and PM₁₀ in the Atmosphere of México City during 2000-2002 y Chemical Composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in México City during 2000-2002 winter 1997.

las fuentes puntuales generan el 9%, y por último, la erosión y los vehículos particulares (7% y 6% respectivamente). Cabe resaltar que las emisiones de PM2.5 de los tractocamiones y autobuses provienen de la combustión del diesel.

Bióxido de azufre (SO₂)

Las fuentes móviles en su categoría de autos particulares contribuyeron con el 30% de las 8,548 toneladas totales de SO₂ que se generaron en la ZMVM; este azufre es el que contiene la gasolina que consumen. La industria emitió el 42% (3,579 ton/año) siendo las ramas más contaminantes, la industria de sustancias químicas y la textil, que aportan en conjunto poco más del 20%, así como la industria metálica básica con otro 6%. Estos giros consumen cantidades importantes de combustible industrial líquido con contenido del 0.04% de azufre.

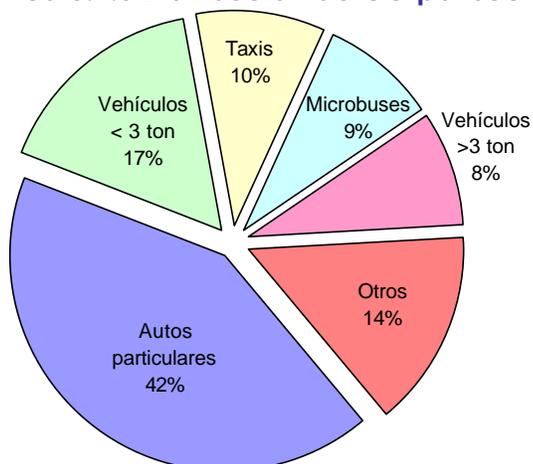
Gráfica 3.4.2 Distribución de SO₂ por sector



Monóxido de carbono (CO)

Como se puede apreciar en la Gráfica 3.4.3, el 99% del CO fue emitido por las fuentes móviles. Se tiene que de los casi 2 millones de toneladas anuales, los sectores de mayor importancia son los autos particulares con el 42% (815,092 ton/año), los vehículos menores de 3 toneladas y los taxis con el 17% y 10% respectivamente, así como los microbuses con un 9%. Estas emisiones se deben a la combustión incompleta en los vehículos.

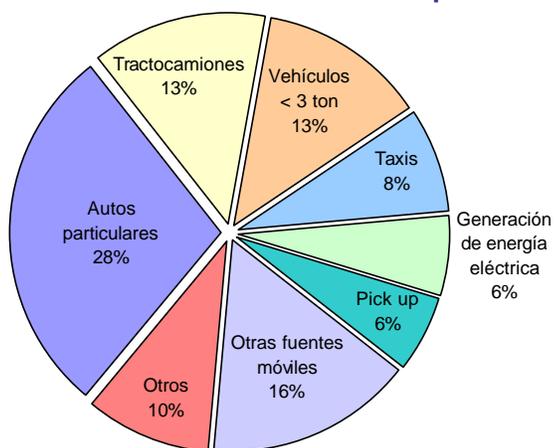
Gráfica 3.4.3 Distribución de CO por sector



Óxidos de nitrógeno (NOx)

Los óxidos de nitrógeno, al igual que el CO, fueron generados principalmente por las fuentes móviles, con el 83% de las 188,262 toneladas anuales que se emitieron de este contaminante, siendo los autos particulares los que más aportaron con el 28% (52,894 ton/año), le siguen en orden de importancia los tractocamiones y los vehículos menores de 3 toneladas, los que generaron el 13% cada uno, y con una menor emisión se tiene a los taxis con el 8% (14,931 ton/año), así como el giro de generación de energía que participa con el 6%. Los NOx se generaron fundamentalmente por la oxidación del nitrógeno del aire a altas temperaturas en la combustión del combustible.

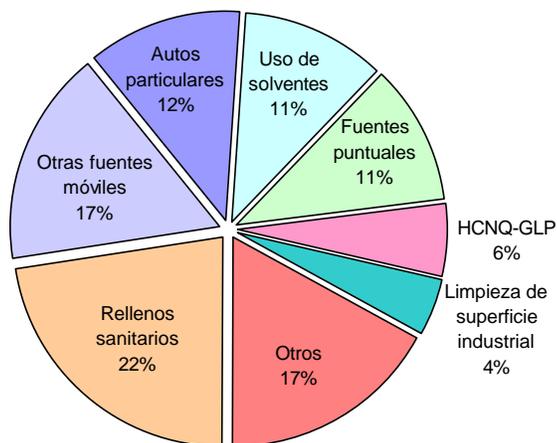
Gráfica 3.4.4 Distribución de NOx por sector



Compuestos orgánicos totales (COT)

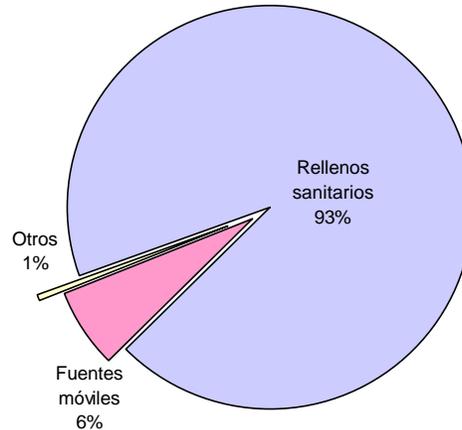
Los COT en la ZMVM, los generan principalmente las fuentes de área; dentro de éstas, los rellenos sanitarios por la descomposición de los residuos sólidos orgánicos (basura) que ahí se depositan, es el sector que más contribuye con 159,383 ton/año (22%); siguiendo en importancia, los autos particulares y el uso comercial y doméstico de solventes con el 12% y 11% respectivamente; por último se puede mencionar al sector de limpieza de superficies industriales donde se utilizan cantidades significativas de solventes y a los hidrocarburos no quemados en la combustión de gas LP en los quemadores de las estufas y calentadores de agua, de donde se libera una cantidad importante de gas L.P. sin quemar, en suma estos dos últimos sectores emitieron el 10%.

Gráfica 3.4.5 Distribución de COT por sector



Metano (CH₄)

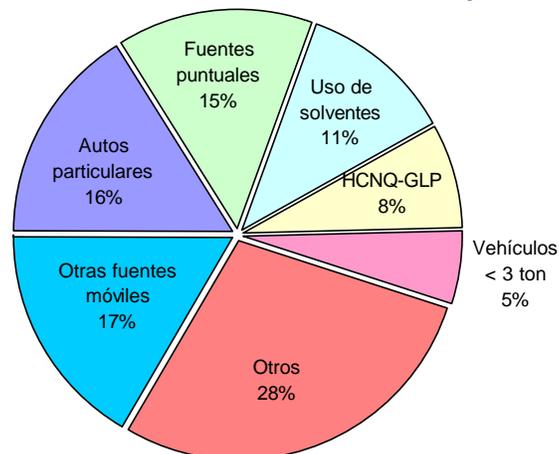
La importancia de conocer la emisión de metano, radica en que es un gas que contribuye al calentamiento global (gas de efecto invernadero) y es más efectivo que el CO₂ para atrapar el calor en la atmósfera. Los rellenos sanitarios ubicados en la ZMVM son la fuente antropogénica que más contribuye a su generación, con 152,240 toneladas anuales (93%). Las emisiones en los otros sectores es mínima, siendo los autos particulares los más representativos con 4,149 ton/año.

Gráfica 3.4.6 Distribución de CH₄ por sector

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Se estimaron 490,100 toneladas anuales de éstos contaminantes, donde las fuentes de área y móviles son las que generaron las mayores emisiones, con 44% y 38% respectivamente. Entre los sectores más contaminantes se tiene a los autos particulares con 77,519 ton/año y al uso comercial y doméstico de solventes con 54,564 ton/año, lo cual representó el 16% y 11% del total respectivamente; también se puede mencionar a los HCNQ de la combustión de gas LP, así como a los vehículos menores de 3 toneladas, los que en conjunto generaron el 13%. Es importante mencionar que los COV, son un conjunto de compuestos con alto índice de reactividad que al interactuar con los NO_x en presencia de energía solar contribuyen a la formación del ozono.

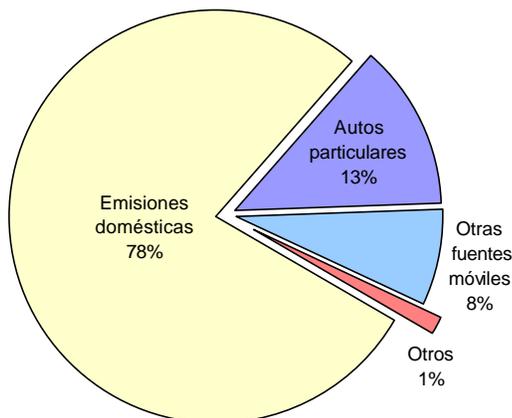
Gráfica 3.4.7 Distribución de COV por sector



Amoniaco (NH₃)

El amoniaco fue generado en su mayoría por las fuentes de área, las cuales representaron el 78% del total, en particular por las emisiones domésticas con 13,217 ton/año; la contribución por las otras fuentes no fue significativa, excepto los autos particulares que contribuyen con el 13%.

Gráfica 3.4.8 Distribución de NH₃ por sector



3.5 EMISIONES POR ENTIDAD FEDERATIVA

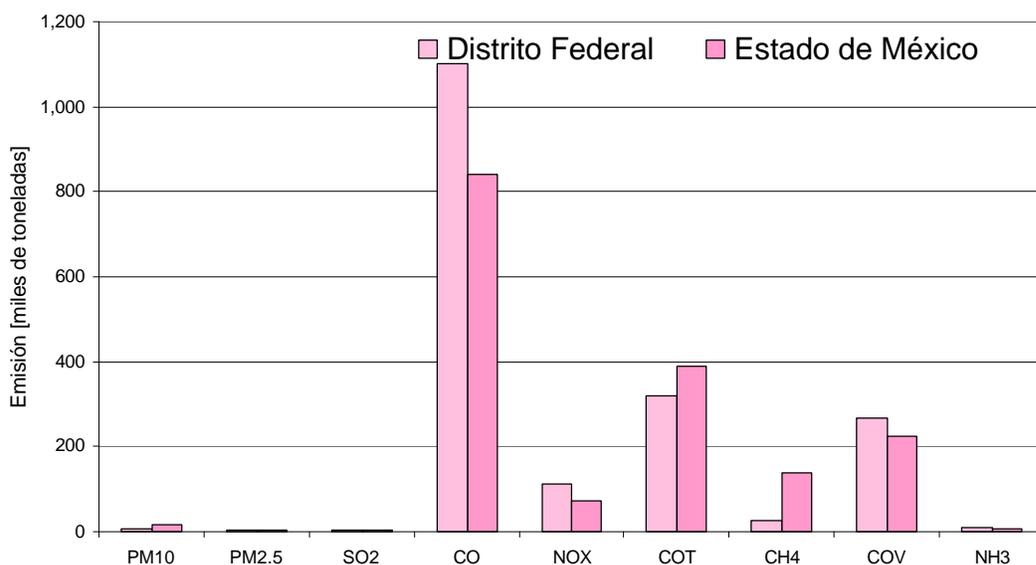
Es importante tomar en cuenta el aporte de emisiones por entidad federativa, a fin de poder desarrollar medidas de control de emisiones acorde a la problemática de cada entidad, debido a que la generación de emisiones de cada uno de los sectores es diferente; en la Tabla 3.5.1 y Gráfica 3.5.1, se presentan las emisiones por entidad y tipo de fuentes, así mismo, se muestra el porcentaje de contribución.

Tabla 3.5.1 Contribución de emisiones por entidad, 2002

Contaminante	Fuentes puntuales			Fuentes de área			Fuentes móviles			Vegetación y suelos		
	ZMVM	DF	EM	ZMVM	DF	EM	ZMVM	DF	EM	ZMVM	DF	EM
	[ton/año]	[%]		[ton/año]	[%]		[ton/año]	[%]		[ton/año]	[%]	
PM ₁₀	4,246	30	70	12,781	17	83	4,444	72	28	2,071	6	94
PM _{2.5}	610	21	79	2,193	20	80	3,518	73	27	456	5	95
SO ₂	3,579	22	78	40	33	67	4,929	60	40	N/A	N/A	N/A
CO	6,880	16	84	7,612	62	38	1,927,101	57	43	N/A	N/A	N/A
NO _x	19,543	11	89	11,818	53	47	156,311	68	32	590	50	50
COT	75,933	56	44	412,432	36	64	204,347	60	40	16,644	35	65
CH ₄	763	67	33	152,576	12	88	10,565	61	39	N/A	N/A	N/A
COV	71,072	56	44	213,854	50	50	188,530	61	39	16,644	35	65
NH ₃	225	20	80	13,236	50	50	3,472	67	33	N/A	N/A	N/A

N/A: No Aplica

Gráfica 3.5.1 Emisiones de la ZMVM por entidad en el 2002



3.5.1 Emisiones del Distrito Federal

Al igual que en la ZMVM, en el Distrito Federal, las emisiones de CO son las más abundantes y casi en su totalidad, es generado por las fuentes móviles, este sector también contribuye con importantes aportaciones de NOx y PM_{2.5}, tal y como se observa en la Tabla 3.5.2.

Tabla 3.5.2 Inventario de emisiones del Distrito Federal, 2002

Sector	Emisiones																	
	PM ₁₀		PM _{2.5}		SO ₂		CO		NOx		COT		CH ₄		COV		NH ₃	
	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]
Fuentes puntuales	1,260	18.5	126	4.0	793	20.9	1,097	0.1	2,188	1.9	42,748	13.4	512	2.1	39,452	14.9	46	0.5
Fuentes de área	2,231	32.8	442	14.1	13	0.3	4,723	0.4	6,267	5.4	146,819	46.0	17,834	71.9	106,038	39.9	6,614	73.7
Fuentes móviles	3,187	46.9	2,552	81.1	2,980	78.7	1,094,295	99.5	106,367	92.4	123,614	38.8	6,459	26.0	114,190	43.0	2,319	25.8
Vegetación y suelos	118	1.7	25	0.8	0	N/A	0	N/A	296	0.3	5,764	1.8	0	0.0	5,764	2.2	0	N/A
Total	6,796	100	3,145	100	3,786	100	1,100,115	100	115,118	100	318,945	100	24,805	100	265,444	100	8,979	100

En las tablas 3.5.3 y 3.5.4, se presentan las emisiones desagregadas en toneladas y en por ciento respectivamente.

Tabla 3.5.3 Inventario de emisiones desagregado por sector del Distrito Federal, 2002

Sector	Emisiones [ton /año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	1,260	126	793	1,097	2,188	42,748	512	39,452	46
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	419	22	24	186	396	3,372	6	3,356	10
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	76	9	59	49	181	1,296	2	1,293	3
Industria de la madera y productos de madera	20	N/S	N/S	2	4	781	N/S	772	0
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	51	18	95	104	176	12,687	3	11,211	5
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	281	29	166	181	505	11,488	13	10,992	15
Productos minerales no metálicos.*	128	7	5	89	123	4,297	388	3,768	3
Industrias metálicas básicas	55	19	404	222	147	1,797	23	1,233	3
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	198	16	11	213	476	6,160	5	6,097	5
Otras industrias manufactureras	29	3	29	19	77	866	71	728	1
Generación de energía eléctrica	3	3	N/S	32	103	4	1	2	1
Fuentes de área	2,231	442	13	4,723	6,267	146,819	17,834	106,038	6,614
Combustión industrial	59	59	5	651	775	85	18	43	4
Combustión comercial/institucional	21	21	N/S	123	595	27	9	16	N/E
Combustión habitacional	71	71	1	295	1,754	81	26	49	1
Operación de aeronaves	17	16	N/S	2,938	2,753	1,784	171	1,712	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	8	7	4	41	324	14	N/E	13	N/E
Terminales de Autobuses de pasajeros	1	1	N/S	92	50	23	1	22	N/S
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11,065	N/A	10,932	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,210	N/A	1,186	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11,757	N/A	10,228	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	346	N/A	342	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	15,560	N/A	9,336	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,193	N/A	3,012	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,458	N/A	3,458	N/A
Aplicación de asfalto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	123	N/A	123	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	39,567	N/A	27,301	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	601	N/A	601	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/S	5	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,472	N/S	1,449	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12,454	1	12,255	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	19,953	2	19,634	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,281	N/A	2,281	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17	N/A	17	N/A
Rellenos sanitarios	N/A	N/A	N/A	19	N/A	18,346	17,590	752	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,357	N/A	1,249	N/E
Incendios forestales	38	33	3	349	11	22	16	10	2
Incendios en estructuras	14	13	N/E	215	5	18	N/A	12	N/A
Emisiones domésticas de amoníaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,607
Caminos pavimentados	754	35	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	1,248	186	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	3,187	2,552	2,980	1,094,295	106,367	123,614	6,459	114,190	2,319
Autos particulares	445	257	1,471	382,196	30,563	41,535	2,047	38,190	1,378
Taxis	143	82	483	156,458	13,436	18,711	919	17,204	454
Combis	6	3	18	16,850	768	1,632	80	1,501	17
Microbuses	32	21	90	115,126	7,194	13,622	1,095	12,548	59
Pick up	43	26	127	50,709	4,511	5,587	287	5,147	120
Vehículos ≤ a 3 ton	161	106	297	283,161	20,745	24,672	1,151	22,731	246
Tractocamiones	1,718	1,508	269	16,686	18,937	6,783	276	6,488	21
Autobuses	535	468	134	8,275	7,816	2,837	116	2,712	10
Vehículos > a 3 ton	83	69	36	38,581	2,128	2,809	224	2,575	8
Motocicletas	21	12	55	26,253	269	5,426	264	5,094	6
Vegetación y suelos	118	25	N/A	N/A	296	5,764	N/A	5,764	N/A
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	296	5,764	N/A	5,764	N/A
Erosión eólica del suelo	118	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	6,796	3,145	3,786	1,100,115	115,118	318,945	24,805	265,444	8,979

N/A: No Aplica, N/S: No Significativo, N/E: No Estimado, HCNQ: Hidrocarburos No Quemados; *Excluye los derivados del petróleo y del carbón, **Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión

Tabla 3.5.4 Inventario de emisiones porcentual por sector del Distrito Federal, 2002

Sector	Emisiones [%]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	18.54	4.01	20.95	0.09	1.90	13.40	2.06	14.86	0.51
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	6.17	0.70	0.63	0.02	0.34	1.06	0.02	1.26	0.11
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	1.12	0.29	1.56	N/S	0.16	0.41	0.01	0.49	0.03
Industria de la madera y productos de madera	0.29	N/S	N/S	N/S	N/S	0.24	N/S	0.29	0.00
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	0.75	0.57	2.51	0.01	0.15	3.98	0.01	4.22	0.06
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	4.13	0.92	4.38	0.02	0.44	3.60	0.05	4.14	0.17
Productos minerales no metálicos.*	1.88	0.22	0.13	0.01	0.11	1.35	1.56	1.42	0.03
Industrias metálicas básicas	0.81	0.60	10.67	0.02	0.13	0.56	0.09	0.46	0.03
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	2.91	0.51	0.29	0.02	0.41	1.93	0.02	2.30	0.06
Otras industrias manufactureras	0.43	0.10	0.77	N/S	0.07	0.27	0.29	0.27	0.01
Generación de energía eléctrica	0.04	0.10	N/S	N/S	0.09	N/S	N/S	0.00	0.01
Fuentes de área	32.83	14.05	0.34	0.42	5.44	46.03	71.89	39.94	73.66
Combustión industrial	0.87	1.88	0.13	0.06	0.67	0.03	0.07	0.02	0.04
Combustión comercial/institucional	0.31	0.67	N/S	0.01	0.52	0.01	0.04	0.01	N/E
Combustión habitacional	1.04	2.26	0.03	0.03	1.52	0.03	0.10	0.02	0.01
Operación de aeronaves	0.25	0.51	N/S	0.27	2.39	0.56	0.69	0.64	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	0.12	0.22	0.11	N/S	0.28	N/S	N/E	0.00	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	0.01	0.03	N/E	0.01	0.04	0.01	N/S	0.01	N/S
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.47	N/A	4.12	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.38	N/A	0.45	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.69	N/A	3.85	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.11	N/A	0.13	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4.88	N/A	3.52	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.63	N/A	1.13	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.08	N/A	1.30	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	0.04	N/A	0.05	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12.41	N/A	10.29	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.19	N/A	0.23	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/S	N/S	0.00	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.46	N/S	0.55	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.90	N/S	4.62	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6.26	0.01	7.40	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.72	N/A	0.86	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.01	N/A	0.01	N/A
Rellenos sanitarios	N/E	N/E	N/A	N/S	N/A	5.75	70.91	0.28	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.43	N/A	0.47	N/E
Incendios forestales	0.56	1.05	0.08	0.03	0.01	0.01	0.06	N/S	0.02
Incendios en estructuras	0.21	0.41	N/E	0.02	N/S	0.01	N/A	N/S	N/A
Emisiones domésticas de amoníaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	73.58
Caminos pavimentados	11.09	1.11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	18.36	5.91	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	46.90	81.14	78.71	99.47	92.40	38.76	26.04	43.02	25.83
Autos particulares	6.55	8.17	38.85	34.74	26.55	13.02	8.25	14.39	15.35
Taxis	2.10	2.61	12.76	14.22	11.67	5.87	3.70	6.48	5.06
Combis	0.09	0.10	0.48	1.53	0.67	0.51	0.32	0.57	0.19
Microbuses	0.47	0.67	2.38	10.46	6.25	4.27	4.41	4.73	0.66
Pick up	0.63	0.83	3.35	4.61	3.92	1.75	1.16	1.94	1.34
Vehículos ≤ a 3 ton	2.37	3.37	7.84	25.74	18.02	7.74	4.64	8.56	2.74
Tractocamiones	25.28	47.95	7.11	1.52	16.45	2.13	1.11	2.44	0.23
Autobuses	7.87	14.88	3.54	0.75	6.79	0.89	0.47	1.02	0.11
Vehículos > a 3 ton	1.22	2.19	0.95	3.51	1.85	0.88	0.90	0.97	0.09
Motocicletas	0.31	0.38	1.45	2.39	0.23	1.70	1.06	1.92	0.07
Vegetación y suelos	1.74	0.79	N/A	N/A	0.26	1.81	N/A	2.17	N/A
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	0.26	1.81	N/A	2.17	N/A
Erosión eólica del suelo	1.74	0.79	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

N/A: No Aplica, N/S: No Significativo, N/E: No Estimado, HCNQ: Hidrocarburos No Quemados; *Excluye los derivados del petróleo y del carbón, **Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión. Los valores pueden diferir con el total por el redondeo de cifras.

3.5.2 Emisiones por contaminante en el Distrito Federal

Partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5})

En el Distrito Federal se emitieron 6,796 toneladas anuales de PM₁₀, de las cuales, se tienen como sectores más contaminantes a los tractocamiones con el 25%, a las fuentes puntuales con 19% y a los caminos sin pavimentar con el 18%. En lo que se refiere a las PM_{2.5}, los tractocamiones y los autobuses son los de mayor emisión con un 48% y 15% respectivamente, debidas a la combustión incompleta del diese que utilizan como combustible.

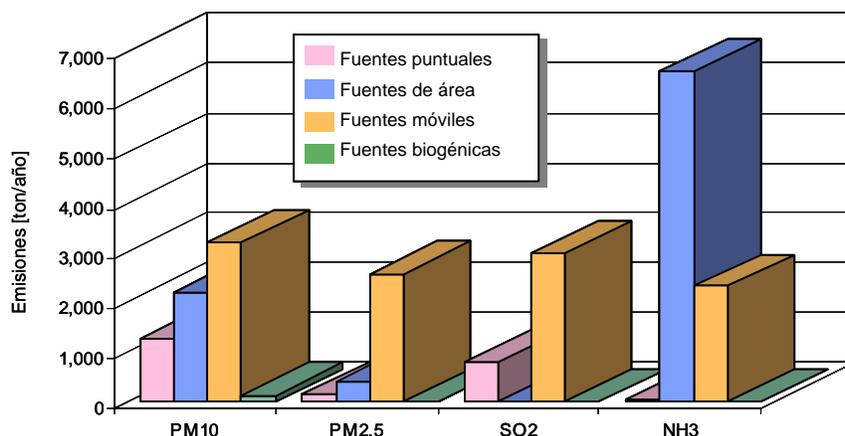
Bióxido de azufre (SO₂)

Las emisiones de SO₂ ascendieron a 3,786 toneladas al año, de las cuales, el 79% fue generado por las fuentes móviles y en primer término por los autos particulares con 1,471 ton/año (39%), seguido por las fuentes puntuales que generaron el 21% del total.

Amoniaco (NH₃)

Las emisiones de amoniaco que se generaron en el Distrito Federal por las actividades domésticas contribuyeron con el 74% de las 8,979 toneladas anuales. Cabe mencionar que dichas emisiones se estimaron en forma *per cápita* por lo tanto su generación dependió de la densidad de población de las diferentes delegaciones y municipios. Otro sector importante fueron los autos particulares que emitieron el 15%. La siguiente gráfica muestra la contribución de las emisión de partículas, SO₂ y NH₃ por sector.

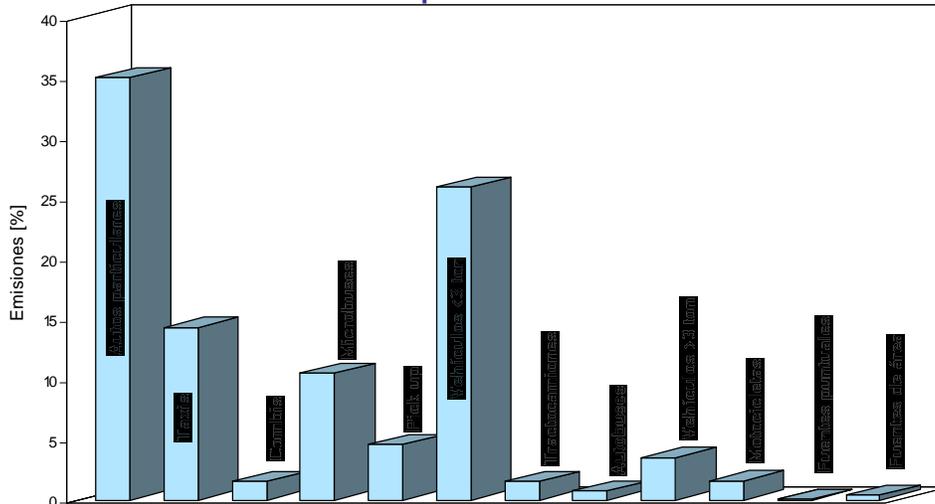
Gráfica 3.5.2 Emisiones de PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ y NH₃ por tipo de fuente



Monóxido de carbono (CO)

En el D.F. se liberaron 1'100,115 toneladas anuales de CO, el 99% fue generado por las fuentes móviles, siendo los autos particulares los que más contaminaron con el 35%, seguidos de los vehículos menores de tres toneladas y los taxis, con 26% y 14% respectivamente; otros vehículos de considerable emisión fueron los microbuses, aportando el 10% con 115,126 ton/año.

Gráfica 3.5.3 Contribución porcentual de las emisiones de CO



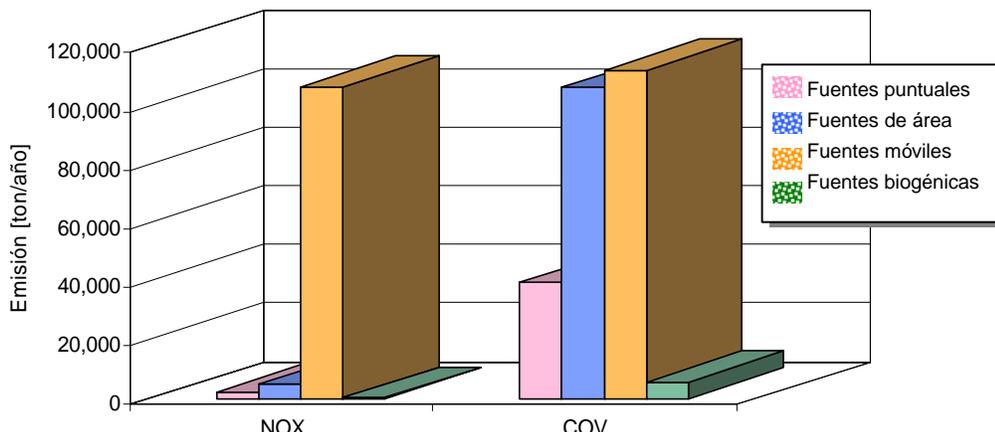
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

Es importante analizar las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles, ya que éstos son precursores de ozono y por lo tanto, son necesarios para fines de la modelación fotoquímica. Las fuentes móviles y las fuentes de área inventariadas fueron las que generaron las mayores emisiones de COV, en donde los sectores más contaminantes son: los autos particulares con 14%, seguidos por el uso comercial y doméstico de solventes con el 10%, para sumar un total de 265,444 toneladas anuales.

Óxidos de nitrógeno (NOx)

Al igual que los COV, los NOx son generados principalmente por las fuentes móviles y también son precursores de ozono. El sector de mayor contribución es el de los autos particulares, dada la gran cantidad de autos que existe en la zona. Estos emitieron el 27% de las 115,118 toneladas que se generaron al año y los sectores que le siguieron en importancia fueron los vehículos menores de tres toneladas con el 18% (20,745 ton/año) y los tractocamiones (18,937 ton/año) con el 17%. Por último, los taxis contribuyeron con el 12% de los NOx y se debe en gran medida, a la constante actividad de los mismos y no al número de unidades que existen en circulación.

Gráfica 3.5.4 Emisiones de COV y NO_x por tipo de fuente



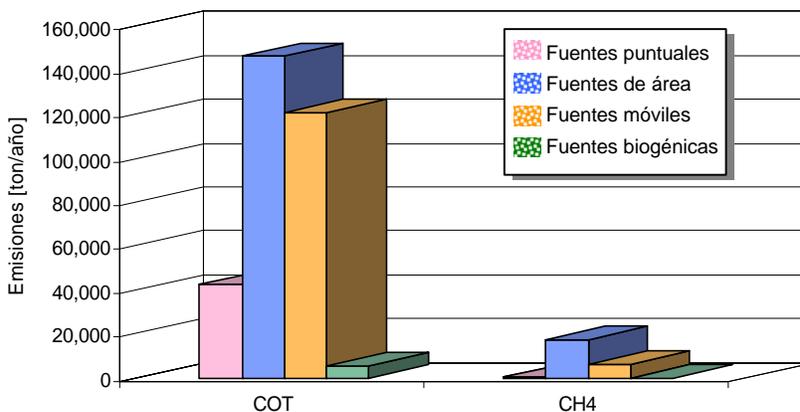
Compuestos orgánicos totales (COT)

De un total de 318,945 ton/año, el 46% de los COT fueron generados por las fuentes de área y un 39% por las fuentes móviles, siendo los autos particulares los que generaron las mayores emisiones con el 13% del total; Dentro de las fuentes de área, el uso comercial y doméstico de solventes, es el sector más contaminante con un 12% (39,567 ton/año). En conjunto, las fuentes puntuales sólo contribuyeron con el 13% y en el caso de las emisiones biogénicas, su aporte fue mínimo, con menos del 2% anual.

Metano (CH₄)

En el Distrito Federal se generaron 24,805 toneladas anuales de metano, de las cuales, el 71% lo generó el relleno sanitario “Prados de la Montaña” ubicado en la delegación Álvaro Obregón, el cual se reporta dentro de las fuentes de área. Dado que las fuentes móviles contribuyeron con el 26% del metano, es conveniente mencionar que los tipos de vehículos más contaminantes fueron los autos particulares (8%), los menores a 3 toneladas y los microbuses, 5% y 4% respectivamente.

Gráfica 3.5.5 Emisiones de COT y CH₄ por tipo de fuente



3.5.3 Emisiones del Estado de México

Las emisiones del Estado de México por tipo de fuente y contaminante se muestran en la Tabla 3.5.5, así mismo, se presentan las emisiones desagregadas por sector y su contribución en peso en las Tablas 3.5.6 y 3.5.7.

Tabla 3.5.5 Inventario de emisiones de los municipios conurbados, Estado de México 2002

Sector	Emisiones																	
	PM ₁₀		PM _{2.5}		SO ₂		CO		NO _x		COT		CH ₄		COV		NH ₃	
	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]	[ton/año]	[%]
Fuentes puntuales	2,986	17.8	484	13.3	2,786	58.5	5,783	0.7	17,355	23.7	33,185	8.5	251	0.2	31,620	14.1	179	2.3
Fuentes de área	10,550	63.0	1,751	48.2	27	0.6	2,889	0.3	5,551	7.6	265,613	68.0	134,742	96.9	107,816	48.0	6,622	83.3
Fuentes móviles	1,257	7.5	966	26.6	1,949	40.9	832,806	99.0	49,944	68.3	80,733	20.7	4,106	3.0	74,340	33.1	1,153	14.5
Vegetación y suelos	1,953	11.7	431	11.9	N/A	N/A	N/A	N/A	294	0.4	10,880	2.8	N/A	N/A	10,880	4.8	N/A	N/A
Total	16,746	100	3,632	100	4,762	100	841,478	100	73,144	100	390,411	100	139,099	100	224,656	100	7,954	100

N/A : No Aplica

Tabla 3.5.6 Inventario de emisiones desagregado por sector del Estado de México, 2002

Sector	Emisiones [ton /año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	2,986	484	2,786	5,783	17,355	33,185	251	31,620	179
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	106	29	143	173	478	885	7	797	9
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	327	34	766	101	331	1,702	4	1,698	9
Industria de la madera y productos de madera	26	7	162	16	39	3,306	1	3,269	1
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	89	59	393	488	1,202	6,218	14	5,800	21
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	383	57	742	490	1,440	10,906	30	10,513	28
Productos minerales no metálicos.*	629	42	117	409	1,014	296	32	257	16
Industrias metálicas básicas	933	15	144	879	384	577	57	393	5
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	291	41	293	1,014	916	8,602	9	8,415	7
Otras industrias manufactureras	3	1	10	15	28	405	37	334	N/S
Generación de energía eléctrica	199	199	16	2,198	11,523	288	60	144	83
Fuentes de área	10,550	1,751	27	2,889	5,551	265,613	134,742	107,816	6,622
Combustión industrial	184	184	14	2,029	2,415	266	56	133	12
Combustión comercial/institucional	17	17	N/S	74	540	20	7	13	N/E
Combustión habitacional	48	48	N/S	215	1,564	59	22	38	N/E
Operación de aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Locomotoras (foráneas/ patio)	24	22	12	130	1,024	43	N/E	42	N/E
Terminales de Autobuses de pasajeros	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11,050	N/A	10,917	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,209	N/A	1,184	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11,740	N/A	10,214	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	345	N/A	341	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	15,539	N/A	9,323	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,185	N/A	3,008	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,453	N/A	3,453	N/A
Aplicación de asfalto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	123	N/A	123	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	39,512	N/A	27,263	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	332	N/A	332	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,518	N/S	1,493	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11,524	1	11,339	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	19,135	2	18,829	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,278	N/A	2,278	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	N/A	1	N/E
Rellenos sanitarios	N/A	N/A	N/A	145	N/A	141,037	134,650	6,355	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,220	N/A	1,122	N/E
Incendios forestales	8	7	1	82	3	6	4	3	N/S
Incendios en estructuras	14	13	N/E	214	5	18	N/A	12	N/A
Emisiones domésticas de amoníaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,610
Caminos pavimentados	778	48	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	9,477	1,412	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	1,257	966	1,949	832,806	49,944	80,733	4,106	74,340	1,153
Autos particulares	290	167	1,078	432,896	22,331	42,775	2,102	39,329	816
Taxis	16	9	59	28,180	1,495	3,013	148	2,770	45
Combis	25	14	90	67,458	3,069	6,533	321	6,006	68
Microbuses	20	12	49	57,210	2,653	5,419	265	4,992	32
Pick up	57	34	183	85,648	6,517	8,491	468	7,821	135
Vehículos ≤ a 3 ton	75	62	137	38,612	3,136	3,850	176	3,554	31
Tractocamiones	497	436	188	5,144	5,485	1,985	81	1,897	6
Autobuses	100	87	65	3,065	1,608	645	29	612	2
Vehículos > a 3 ton	175	144	92	110,898	3,628	7,117	472	6,509	17
Motocicletas	2	1	8	3,695	22	905	44	850	1
Vegetación y suelos	1,953	431	N/A	N/A	294	10,880	N/A	10,880	N/A
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	294	10,880	N/A	10,880	N/A
Erosión eólica del suelo	1,953	431	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	16,746	3,632	4,762	841,478	73,144	390,411	139,099	224,656	7,954

N/A: No Aplica, N/S: No Significativo, N/E: No Estimado, HCNQ: Hidrocarburos No Quemados; *Excluye los derivados del petróleo y del carbón, **Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión

Tabla 3.5.7 Inventario de emisiones porcentual por sector del Estado de México, 2002

Sector	Emisiones [%]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Fuentes puntuales	17.83	13.33	58.50	0.68	23.73	8.50	0.18	14.07	2.25
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	0.63	0.80	3.00	0.02	0.65	0.23	0.01	0.35	0.11
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	1.95	0.94	16.09	0.01	0.45	0.44	N/S	0.76	0.11
Industria de la madera y productos de madera	0.16	0.19	3.40	N/S	0.05	0.85	N/S	1.46	0.01
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	0.53	1.62	8.25	0.06	1.64	1.59	0.01	2.58	0.26
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	2.29	1.57	15.58	0.06	1.97	2.79	0.02	4.68	0.35
Productos minerales no metálicos.*	3.76	1.16	2.46	0.05	1.39	0.08	0.02	0.11	0.20
Industrias metálicas básicas	5.57	0.41	3.02	0.10	0.52	0.15	0.04	0.17	0.06
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	1.74	1.13	6.15	0.12	1.25	2.20	0.01	3.75	0.09
Otras industrias manufactureras	0.02	0.03	0.21	N/S	0.04	0.10	0.03	0.15	N/S
Generación de energía eléctrica	1.19	5.48	0.34	0.26	15.75	0.07	0.04	0.06	1.04
Fuentes de área	63.00	48.21	0.57	0.34	7.59	68.02	96.86	47.98	83.25
Combustión industrial	1.10	5.07	0.29	0.24	3.30	0.07	0.04	0.06	0.15
Combustión comercial/institucional	0.10	0.47	N/S	0.01	0.74	N/S	N/S	N/S	N/E
Combustión habitacional	0.29	1.32	N/S	0.03	2.14	0.02	0.02	0.02	N/E
Operación de aeronaves	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	0.14	0.61	0.25	0.02	1.40	0.01	N/E	0.02	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.83	N/A	4.86	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.31	N/A	0.53	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.01	N/A	4.55	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.09	N/A	0.15	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.98	N/A	4.15	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.33	N/A	1.34	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.88	N/A	1.54	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	0.03	N/A	0.05	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10.12	N/A	12.14	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.09	N/A	0.15	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/E	N/E	N/E	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.39	N/S	0.66	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.95	N/S	5.05	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4.90	N/S	8.38	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.58	N/A	1.01	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/S	N/A	N/S	N/A
Rellenos sanitarios	N/E	N/E	N/A	0.02	N/A	36.13	96.80	2.83	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.31	N/A	0.50	N/E
Incendios forestales	0.05	0.19	0.02	0.01	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
Incendios en estructuras	0.08	0.36	N/E	0.03	0.01	N/S	N/A	0.01	N/A
Emisiones domésticas de amoníaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	83.10
Caminos pavimentados	4.65	1.32	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	56.59	38.88	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	7.51	26.57	40.93	98.97	68.28	20.68	2.92	33.09	14.50
Autos particulares	1.73	4.60	22.64	51.44	30.53	10.96	1.51	17.51	10.26
Taxis	0.10	0.25	1.24	3.35	2.04	0.77	0.11	1.23	0.57
Combis	0.15	0.39	1.89	8.02	4.20	1.67	0.23	2.67	0.85
Microbuses	0.12	0.33	1.03	6.80	3.63	1.39	0.19	2.22	0.40
Pick up	0.34	0.94	3.84	10.18	8.91	2.17	0.34	3.48	1.70
Vehículos ≤ a 3 ton	0.45	1.71	2.88	4.59	4.29	0.99	0.13	1.58	0.39
Tractocamiones	2.97	12.00	3.95	0.61	7.50	0.51	0.06	0.84	0.08
Autobuses	0.60	2.40	1.36	0.36	2.20	0.17	0.02	0.27	0.03
Vehículos > a 3 ton	1.05	3.96	1.93	13.18	4.96	1.82	0.34	2.90	0.21
Motocicletas	0.01	N/S	0.17	0.44	0.03	0.23	N/S	0.38	0.01
Vegetación y suelos	11.66	11.87	N/A	N/A	0.40	2.79	N/A	4.84	N/A
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	0.40	2.79	N/A	4.84	N/A
Erosión eólica del suelo	11.66	11.87	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

N/A: No Aplica, N/S: No Significativo, N/E: No Estimado, HCNQ: Hidrocarburos No Quemados; *Excluye los derivados del petróleo y del carbón, **Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión. Los valores pueden diferir con el total por el redondeo de cifras.

3.5.4 Emisiones por contaminante en el Estado de México

Partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5})

En el Estado de México se estimaron 16,746 toneladas anuales, donde los caminos sin pavimentar de las fuentes de área son los que tienen las mayores emisiones, generando el 57%; en conjunto las fuentes puntuales generan el 18%, seguidas por la erosión eólica con el 12% de las emisiones.

En lo que se refiere a las PM_{2.5}, siguen siendo los caminos sin pavimentar los principales responsables de las emisiones con el 39% de las 3,632 ton/año que se emitieron durante el 2002; las fuentes puntuales emiten el 13%, y los tractocamiones y la erosión eólica contribuyen con el 12% cada uno.

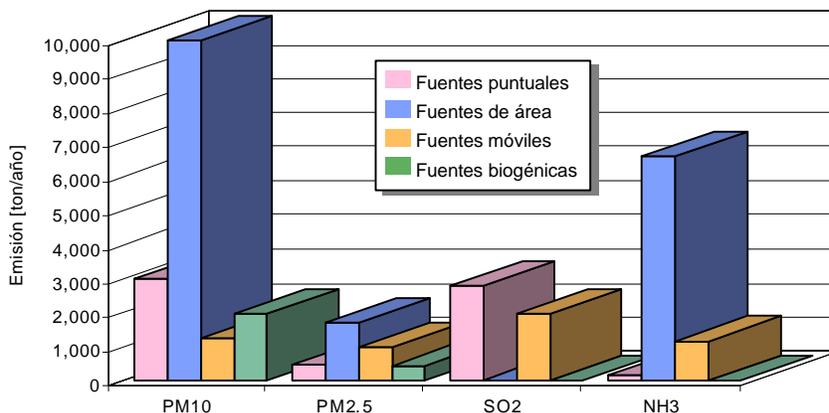
Bióxido de azufre (SO₂)

Las fuentes puntuales fueron las principales emisoras de SO₂, con 2,786 toneladas anuales y dentro de éstas, la industria textil y la de sustancias químicas generaron el 16% cada una. Las fuentes móviles contribuyeron con el 41% del SO₂ y tienen como principales emisores a los autos particulares con el 23% de un total de 4,762 toneladas por año.

Amoniaco (NH₃)

De un total de 7,954 ton/año de amoniaco, el 83% fue generado por las emisiones domésticas y un 10% por los autos particulares, siendo éstas dos categorías las de mayor contribución en la generación de amoniaco.

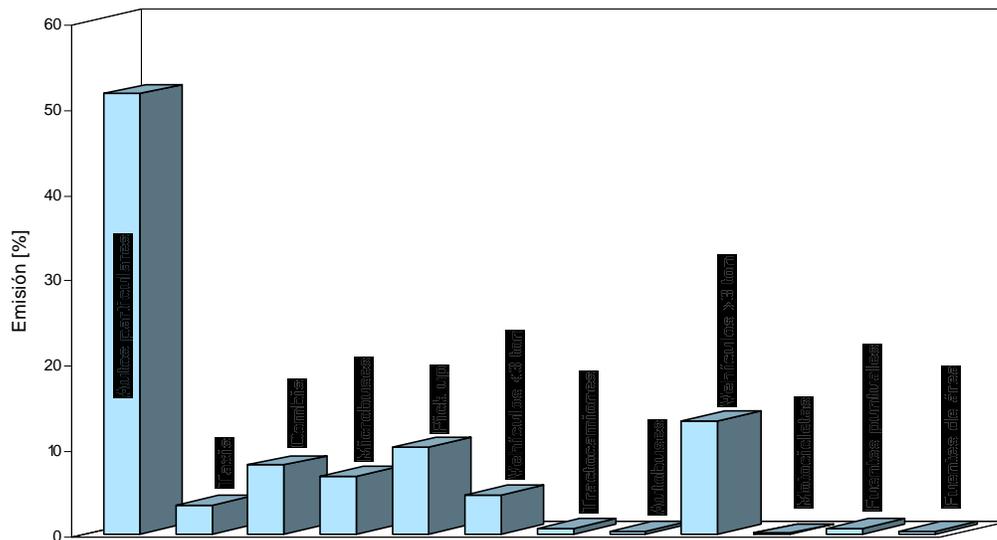
Gráfica 3.5.6 Contribución porcentual de las emisiones de PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ y NH₃ por tipo de fuente



Monóxido de carbono (CO)

El CO es producto de la combustión de los hidrocarburos y debido a la gran cantidad que se consume de ellos para satisfacer la actividad de la flota vehicular, se tuvo que las fuentes móviles generaron el 99% del total de este contaminante (841,478 ton/año), teniendo a los autos particulares como los mayores emisores con el 51%; los siguientes más emisores fueron los vehículos mayores a tres toneladas y las pick up, con 13% y 10% del total.

Gráfica 3.5.7 Contribución porcentual de las emisiones de CO



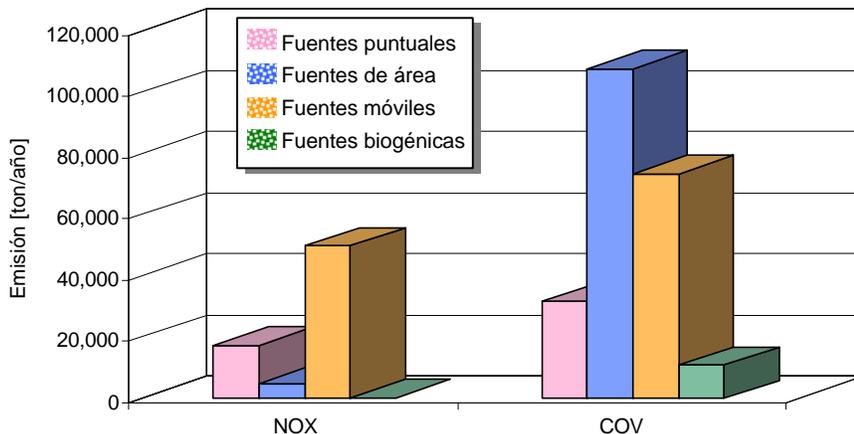
Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

Los autos particulares emitieron el 18% del total de COV (224,656 ton/año), sin embargo, en conjunto, las fuentes de área representaron el 48%, siendo el uso comercial y doméstico de solventes, así como los hidrocarburos no quemados de GLP los principales emisores (12% y 8% respectivamente).

Óxidos de Nitrógeno (NOx)

Los autos particulares emitieron el 31% de las 73,144 toneladas de NOx que se estimaron en el Estado de México y en general, las fuentes móviles contribuyeron con el 68% del total y las fuentes puntuales con el 24%. Dentro de éstas últimas es de resaltar la contribución del giro de generación de energía eléctrica, el cual emitió 11,523 toneladas durante el año 2002, es decir el 16% del total.

Gráfica 3.5.8 Emisiones de COV y NO_x por tipo de fuente



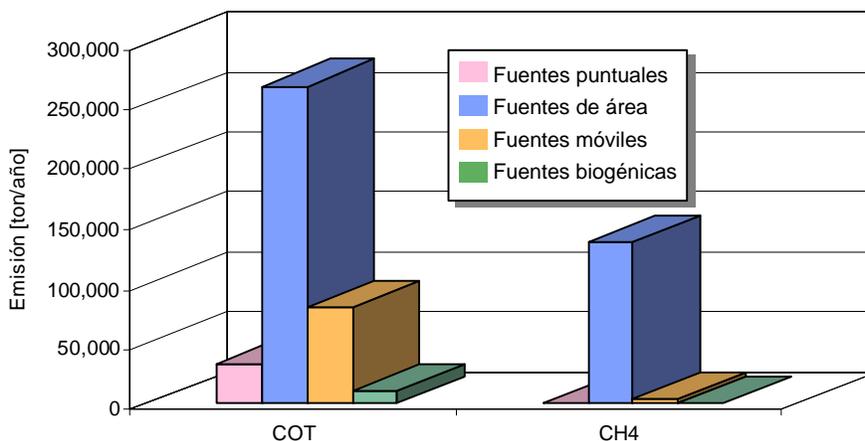
Compuestos Orgánicos Totales (COT)

De las 390,411 toneladas anuales de COT estimadas en el Estado de México, el 68% lo generaron las fuentes de área, las cuales tienen como principal emisor a los rellenos sanitarios con el 36% (Bordo Poniente, Nezahualcóyotl y La Paz) y al uso comercial y doméstico de solventes con 10%. Las fuentes móviles contribuyeron con el 21% de este contaminante, el cual es emitido en su mayoría por los autos particulares (11%).

Metano (CH₄)

Los rellenos sanitarios aportaron las mayores emisiones de metano, con el 97% de las 139,099 toneladas inventariadas para el Estado de México; las fuentes móviles representan el otro 3% restante, ya que las otras fuentes no presentan emisiones significativas.

Gráfica 3.5.9 Emisiones de COT y CH₄ por tipo de fuente



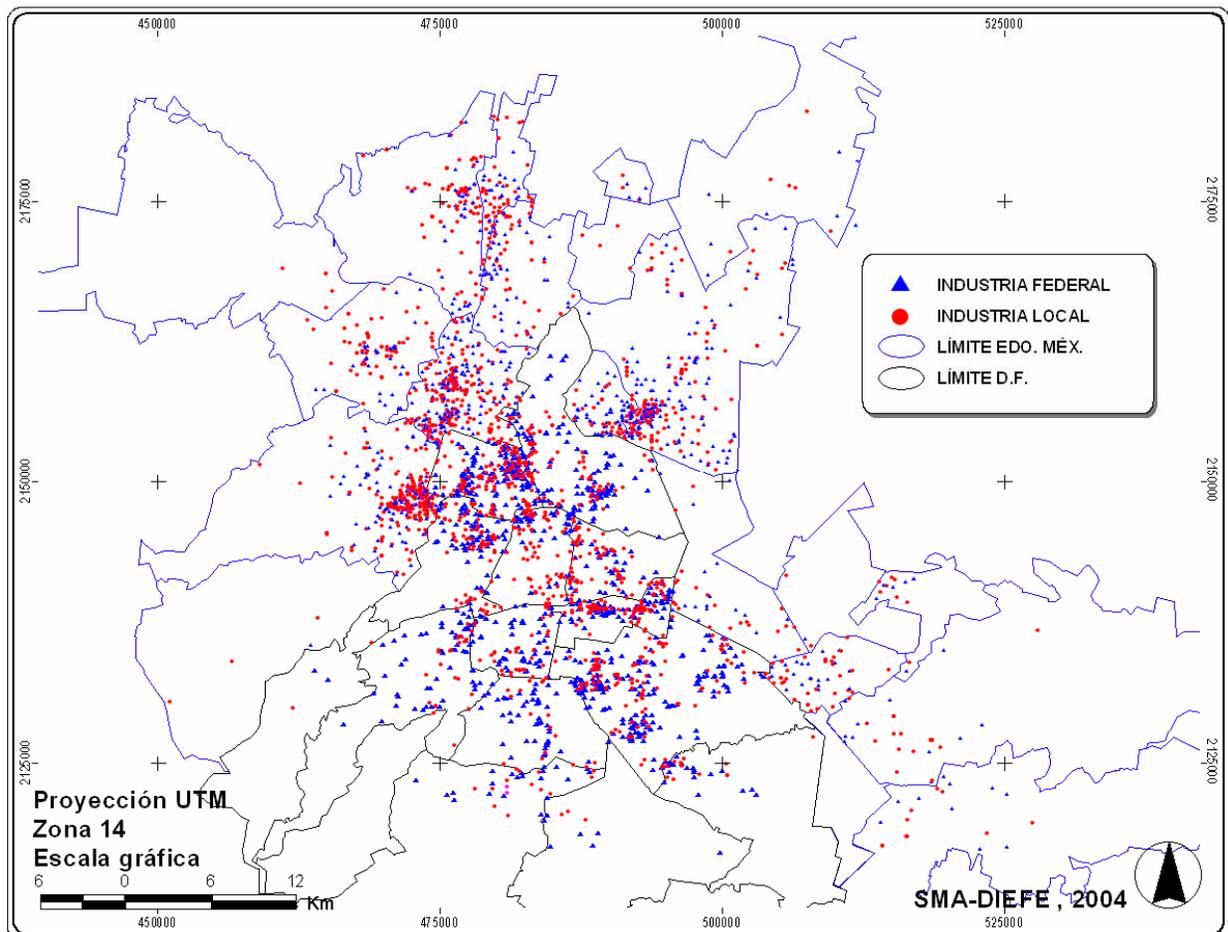
4. EMISIONES POR TIPO DE FUENTE

4.1 FUENTES PUNTUALES

Las fuentes puntuales o industriales consumen el 37% de la energía generada por la quema de combustibles fósiles en la ZMVM, principalmente del gas natural, que en comparación con los demás combustibles utilizados, genera menor cantidad de emisiones contaminantes al aire y además son menos tóxicos.

Para fines del presente inventario, en las fuentes puntuales se incluyeron todas aquellas industrias ubicadas dentro de la ZMVM, de las cuales fue posible realizar el cálculo individual de sus emisiones contaminantes; para esto se contó con la información de 4,653 establecimientos¹, los cuales se distribuyen dentro de la ZMVM, como lo muestra el Mapa 4.1.1.

Mapa 4.1.1 Ubicación industrial de la ZMVM



Las emisiones estimadas se agrupan de acuerdo a la Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP) de 1994, tal como se indica en la tabla 4.1.1.

¹ Información proporcionada por SEMARNAT, por la Secretaría de Ecología del Estado de México e información propia de la SMA

Tabla 4.1.1 Descripción de las ramas y subsectores de actividad en la ZMVM

Subsector	Rama	Descripción
31		Productos alimenticios, bebidas y tabaco
	3111	Industria de la carne
	3112	Elaboración de productos lácteos
	3113	Elaboración de conservas alimenticias. incluye concentrados para caldos. excluye las de carne y leche
	3114	Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas
	3115	Elaboración de productos de panadería
	3116	Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas
	3117	Fabricación de aceites y grasas comestibles
	3119	Fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería
	3121	Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano
	3122	Elaboración de alimentos preparados para animales
	3130	Industria de las bebidas
	3140	Industria del tabaco
32		Textiles, prendas de vestir e industria del cuero
	3211	Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo
	3212	Hilado tejido y acabado de fibras blandas excluye de punto
	3213	Confección con materiales textiles. incluye la fabricación de tapices y alfombras de fibras blandas
	3214	Fabricación de tejidos de punto
	3220	Confección de prendas de vestir
	3230	Industria del cuero, pieles y sus productos. Incluye los productos de materiales sucedáneos. Excluye calzado y prendas de cuero.
	3240	Industria del calzado excluye de hule y/o plástico
33		Industria de la madera y productos de madera. incluye muebles
	3311	Fabricación de productos de aserradero y carpintería. excluye muebles
	3312	Fabricación de envases y otros productos de madera y corcho. excluye muebles
	3320	Fabricación y reparación de muebles principalmente de madera. incluye colchones
34		Papel y productos de papel, imprentas y editoriales
	3410	Manufactura de celulosa, papel y sus productos
	3420	Imprentas, editoriales e industrias conexas
35		Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico
	3511	Petroquímica básica
	3512	Fabricación de sustancias químicas básicas. excluye las petroquímicas básicas
	3513	Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas
	3521	Industria farmacéutica
	3522	Fabricación de otras sustancias y productos químicos
	3540	Industria del coque. incluye otros derivados del carbón mineral y del petróleo
	3550	Industria del hule
	3560	Elaboración de productos de plástico
36		Productos minerales no metálicos. excluye los derivados del petróleo y del carbón
	3611	Alfarería y cerámica. excluye materiales de construcción
	3612	Fabricación de materiales de arcilla para la construcción
	3620	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
	3691	Fabricación de cemento, cal, yeso y otros productos a base de minerales no metálicos
37		Industrias metálicas básicas
	3710	Industria básica del hierro y del acero
	3720	Industrias básicas de metales no ferrosos. incluye el tratamiento de combustibles nucleares
38		Productos metálicos, maquinaria y equipo. incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión
	3811	Fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas
	3812	Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales. incluso trabajos de herrería
	3813	Fabricación y reparación de muebles metálicos
	3814	Fabricación de otros productos metálicos. excluye maquinaria y equipo
	3821	Fabricación y/o reparación de maquinaria y equipo para fines específicos con o sin motor eléctrico integrado. incluye maquinaria agrícola
	3822	Fabricación y/o reparación de maquinaria y equipo para usos generales con o sin motor eléctrico integrado. incluye armamento
	3823	Fabricación y/o ensamble de maquinas de oficina, calculo y procesamiento informativo
	3831	Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos. incluye para la generación de energía eléctrica
	3832	Fabricación y/o ensamble de equipo electrónico de radio, televisión, comunicaciones y de uso medico
	3833	Fabricación y/o ensamble de aparatos y accesorios de uso domestico. excluye los electrónicos
	3841	Industria automotriz
	3842	Fabricación, reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes. excluye automóviles y camiones
	3850	Fabricación, reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión. incluye instrumental quirúrgico excluye los electrónicos
39		Otras industrias manufactureras
	3900	Otras industrias manufactureras
41		Generación de energía eléctrica
	4100	Generación de energía eléctrica

La clasificación que se muestra en la tabla anterior, ubica a la industria manufacturera en el sector 3 y la divide en 9 subsectores y 52 ramas; cabe resaltar que al incluir la generación de energía eléctrica se consideran en total 10 subsectores y 53 ramas. Por otra parte, es necesario aclarar que el municipio de Acolman no está considerado como municipio conurbado, sin embargo, debido a que en el se ubican dos grandes industrias del sector energético² que generan grandes cantidades de emisiones, se consideró necesario incluir dichas emisiones en el inventario de fuentes puntuales.

4.1.1 Metodología de las fuentes puntuales

Para la integración de éste inventario de emisiones, se utilizó la metodología descrita en los manuales “Fundamentos del Programa de Inventario de Emisiones para México y Técnicas Básicas de Estimación de Emisiones”, en conjunto con el manual “Desarrollo del Inventario de Fuentes Puntuales”, publicados por el Instituto Nacional de Ecología³.

La fuente de información básica para calcular las emisiones de éste inventario fue la Cédula de Operación Anual (COA), mediante el empleo de las siguientes técnicas de estimación:

El **muestreo en la fuente**, a través de la medición directa en las chimeneas de la concentración de contaminantes (principalmente los que se generan por combustión) y el flujo volumétrico del gas, se estiman las emisiones liberadas al aire.

El uso de **factores de emisión**, los cuales son relaciones entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera y un dato de actividad que normalmente es la cantidad de producción, el consumo de combustibles y de materia prima. La fuente de factores de emisión utilizada en éste inventario fue el AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors del Air Chief 8.0 (U.S. EPA, 2000).

El **balance de materiales**, con el cual, bajo el principio de que el material que entra, debe ser igual al que se utiliza en el proceso, más el que se emite. Esta técnica, se utilizó para estimar las emisiones asociadas con la evaporación de solventes y emisiones de compuestos que contienen azufre.

En todo momento se realizaron **cálculos de ingeniería**, que consistieron en aplicar una serie de procedimientos matemáticos para llegar a la estimación de las emisiones.

En la siguiente tabla, se muestran las técnicas de estimación utilizada en cada subsector.

² Compañía de Luz y Fuerza-Turbogas Valle de México y Comisión Federal de Electricidad-Central Termoeléctrica Valle de México

³http://www.ine.gob.mx/dggia/cal_aire/espanol/invtemi.html

Tabla 4.1.2 Técnicas de estimación de emisiones por giro industrial

Clave	Subsector industrial	Técnicas de estimación de emisiones							
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	NH ₃
31	Productos alimenticios, bebidas y tabaco	FE, MD	FE	FE, BM	FE	FE, CI	FE	FE, MD	FE
32	Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	FE, MD	FE	FE, BM	FE	FE, CI	FE	FE, MD	FE
33	Industria de la madera y productos de madera., Incluye muebles.	FE, MD	FE	FE, BM	FE	FE, CI	FE	FE, MD	FE
34	Papel y productos de papel, imprentas y editoriales	MD	FE	FE	FE	FE	FE	FE,MD	FE
35	Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	FE, MD	FE	FE, BM	FE, MD	FE, CI	FE	FE, MD	FE
36	Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón	FE, MD	FE	FE	FE	FE	FE	FE	FE
37	Industrias metálicas básicas	FE	FE	FE	FE	FE	FE	FE	FE
38	Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión	FE, MD	FE	FE	FE	FE, CI	FE	FE, MD	FE
39	Otras industrias manufactureras	FE, MD	FE, MD	FE	FE	FE	FE	FE, MD	FE
41	Generación de energía eléctrica	FE	FE	FE, BM	FE	FE	FE	FE	FE

FE: Factores de emisión; MD: Medición directa o monitoreo; CI: Calculo de ingeniería; BM: Balance de materiales. El CH₄ se estima como una fracción de los COV.

Clasificación de las fuentes puntuales por jurisdicción

Con la finalidad de definir políticas para mejorar la calidad del aire, los establecimientos industriales se clasificaron de acuerdo a su jurisdicción, en federales y locales, basándose en el artículo 111 bis de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), en el cual se establecen los giros de competencia federal (Química, del Petróleo y Petroquímica, Pinturas y Tintas, Metalúrgica, Automotriz, Celulosa y Papel, Cementera y Calera, Asbesto, Vidrio, Generación de Energía Eléctrica y Tratamiento de Residuos Peligrosos), por otra parte, se considera como industria local, a todas aquellas que no están descritas en dicho artículo.

Para la integración del inventario de emisiones, las industrias deben entregar su Cédula de Operación Anual (COA) en el ámbito de su jurisdicción, ya sea en la SEMARNAT cuando son de competencia federal o en la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal y en la Secretaria de Ecología del Estado de México cuando son de competencia local.

De las 4,653 industrias registradas para el año 2002, el 58% se ubica en el Distrito Federal y el 42% restante, en los municipios conurbados del Estado de México. Tomando en cuenta la jurisdicción, se tiene que del total de industrias de la ZMVM, 2,885 son de jurisdicción local y 1,768 de jurisdicción federal.

4.1.2 Resultados de las fuentes puntuales

Emisiones horarias de las fuentes puntuales

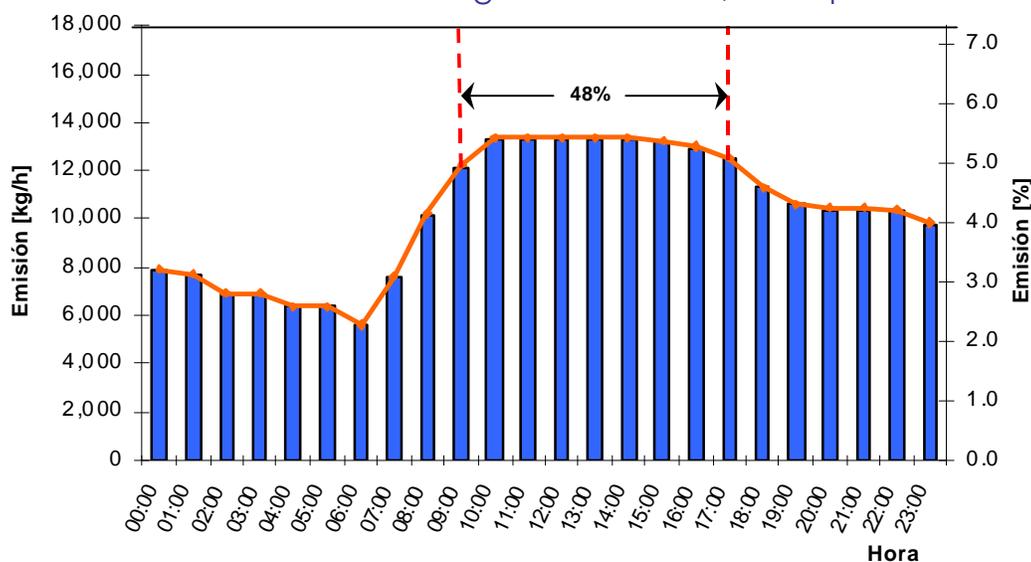
Es importante mencionar que para distribuir las emisiones en forma horaria, se desarrolló el perfil de generación de las emisiones a través del día. Para tal fin, fue de gran utilidad la información que proporciona el sector industrial por medio de la COA, referente a las horas de operación e inicio de labores de las empresas. Por ejemplo, del análisis de los datos se tiene que al menos el 90% de las industrias inicia sus labores diarias entre las 6:00 y las 9:00 hrs, y más del 95% de las industrias labora 8 o más horas diarias.

Debido a que la información proporcionada por las empresas en sus Cédulas de Operación Anual, no permite realizar un desglose horario de las emisiones estimadas por combustión y de las emisiones generadas por actividades del proceso productivo, el total de emisiones diarias se distribuyó en el horario de trabajo de cada una de las industrias, a partir de la hora de inicio de operación de cada una, excepto las industrias que laboran las 24 horas del día, donde su emisión se distribuyó homogéneamente durante el transcurso del día.

Con el fin de ilustrar el procedimiento empleado, en la Gráfica 4.1.1, se puede observar el comportamiento horario de las emisiones de COV, en kg/hr y en porcentaje. En ella se aprecia que al menos el 2% de las emisiones de cada hora, es emitida por la industria que labora las 24 horas del día, es decir estas industrias contribuyen con más del 50% de las emisiones que se generan diariamente. Así mismo se observa que las horas con mayor emisión se encuentran entre las 09:00 y las 17:00 horas, donde se libera el 48% de las emisiones diarias.

Gráfica 4.1.1 Emisión horaria de COV por fuentes puntuales de la ZMVM

El perfil de emisiones indicado en la gráfica anterior, es representativo para las



emisiones horarias del resto de los contaminantes generados por la industria, ver tabla 4.1.3.

Tabla 4.1.3 Emisión horaria de fuentes puntuales en la ZMVM

HORA	Emisiones [kg/h]									
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NOx	COT	COV	CH ₄	NH ₃	HC
00:00	425	67	347	767	2,216	8,523	7,923	106	25	8,410
01:00	424	67	346	765	2,213	8,304	7,705	105	25	8,191
02:00	412	67	342	751	2,204	7,435	6,933	36	25	7,323
03:00	412	67	342	751	2,204	7,435	6,933	36	25	7,323
04:00	383	64	314	717	2,146	6,850	6,372	32	25	6,753
05:00	382	64	290	717	2,144	6,847	6,369	31	25	6,750
06:00	358	61	239	703	2,113	6,074	5,614	28	24	5,983
07:00	403	65	323	754	2,202	8,035	7,571	38	25	7,930
08:00	588	74	441	880	2,449	10,865	10,165	126	29	10,750
09:00	764	84	592	964	2,601	12,975	12,183	136	31	12,844
10:00	812	100	738	1,059	2,783	14,159	13,328	142	35	14,013
11:00	812	100	738	1,059	2,783	14,159	13,328	142	35	14,013
12:00	812	100	738	1,059	2,783	14,159	13,328	142	35	14,013
13:00	812	100	738	1,059	2,783	14,159	13,328	142	35	14,013
14:00	810	99	735	1,056	2,771	14,150	13,319	142	34	14,004
15:00	805	97	706	1,040	2,743	14,008	13,184	142	34	13,863
16:00	793	94	684	1,014	2,647	13,722	12,929	127	32	13,578
17:00	742	92	661	999	2,589	13,278	12,507	125	32	13,137
18:00	646	81	563	929	2,433	12,021	11,292	121	28	11,884
19:00	526	74	474	921	2,387	11,282	10,581	117	28	11,147
20:00	523	73	465	912	2,350	11,096	10,419	116	26	10,966
21:00	514	73	461	899	2,348	11,076	10,400	116	26	10,946
22:00	510	72	457	875	2,345	11,047	10,373	116	26	10,917
23:00	474	70	418	854	2,292	10,435	9,782	113	26	10,311
Total de 24 hrs.	14,142	1,905	12,152	21,504	58,529	262,094	245,866	3,138	691	259,062

De las emisiones de NOx, tenemos que la tabla anterior muestra una generación casi constante de este contaminante en el transcurso del día, esto es debido a que el sector energético, opera las 24 horas del día y sus emisiones de NOx, que son las más abundantes, se distribuyeron para este fin homogéneamente.

Referente a los demás contaminantes, tenemos que se distribuyen de acuerdo a los horarios de operación de las industrias, como se indicó, las máximas emisiones se presentan de las 9:00 hasta las 17:00 horas del día.

Emisiones anuales de las fuentes puntuales

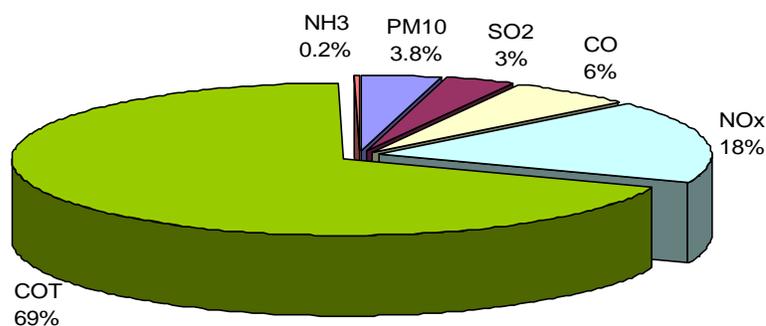
En la siguiente tabla se desglosan las emisiones industriales anuales y se indica el número de industrias por subsector y por contaminante.

Tabla 4.1.4 Emisiones totales por subsector industrial en la ZMVM

Subsector	No. de empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	485	525	51	167	359	874	4,257	4,153	13	19
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	398	403	43	825	150	512	2,998	2,991	6	12
Industria de la madera y productos de madera. Incluye muebles.	183	46	7	162	18	43	4,087	4,041	1	1
Papel y productos de papel, Imprenta y editoriales.	544	140	77	488	592	1,378	18,905	17,011	17	26
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico.	1,161	664	86	908	671	1,945	22,394	21,505	43	43
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón.	202	757	49	122	498	1,137	4,593	4,025	420	19
Industrias metálicas básicas.	220	988	34	548	1,101	531	2,374	1,626	80	8
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.	1,223	489	57	304	1,227	1,392	14,762	14,512	14	12
Otras industria manufactureras.	232	32	4	39	34	105	1,271	1,062	108	1
Generación de energía eléctrica	5	202	202	16	2,230	11,626	292	146	61	84
Total	4,653	4,246	610	3,579	6,880	19,543	75,933	71,072	763	225

En conjunto, la industria de la ZMVM emite alrededor de 110,406 toneladas al año de contaminantes criterio, de las cuales el 69% son emisiones de COT, el 18 % de NO_x, 6% de CO, 3% de SO₂, 3.8% de PM₁₀ y el 0.2% corresponde a NH₃, como se muestra en la gráfica 4.1.2.

Gráfica 4.1.2 Contribución porcentual por contaminante



Emisiones de las fuentes puntuales por rama industrial

En las siguientes tablas se desglosan las emisiones por rama industrial y por contaminante, además se indica el número de industrias de cada rama.

En la tabla 4.1.5, se puede observar que el contaminante más importante emitido por subsector 31-Productos alimenticios, bebidas y tabaco, son los COT, siendo la rama 3130 (Industria de la bebida), la más contaminante con 1,907 ton/año, la generación de éste contaminante se debe principalmente a la fermentación de la materia prima en la elaboración de cerveza, la cual se encuentra dentro de esta rama.

Tabla 4.1.5 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 31.

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]									
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃	
3111	82	9	1	6	10	24	6	6	N/S	N/S	
3112	41	10	5	24	15	45	4	4	N/S	2	
3113	29	19	2	8	2	14	3	3	N/S	N/S	
3114	31	90	3	N/S	24	30	3	2	N/S	1	
3115	30	59	4	N/S	45	58	1,101	1,097	2	2	
3116	5	23	N/S	N/S	4	6	1	1	N/S	N/S	
3117	34	19	7	37	36	84	29	24	1	3	
3119	64	21	N/S	11	7	30	4	4	N/S	1	
3121	92	95	8	3	90	116	194	171	3	4	
3122	23	20	3	65	8	25	606	547	N/S	N/S	
3130	53	36	18	13	115	439	1,907	1,895	6	6	
3140	1	124	N/S	N/S	3	3	399	399	1	N/S	
Total	485	525	51	167	359	874	4,257	4,153	13	19	

N/S: No significativo

En la Tabla 4.1.6, que muestra el subsector 32-Textiles, prendas de vestir e industria del cuero; se observa que la rama industrial 3212 Hilado, tejido y acabado de fibras blandas, es la que presenta las mayores emisiones en todos los contaminantes, siendo los COT los que más se generan, seguido de las emisiones de SO₂. Lo anterior es debido a que la mayoría de los equipos de combustión en esta rama industrial, utilizan combustibles líquidos, los cuales contienen mayor cantidad de azufre que los gaseosos.

Tabla 4.1.6 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 32

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]									
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃	
3211	5	1	N/S	1	1	5	89	89	N/S	N/S	
3212	209	363	37	702	118	353	2,705	2,699	4	9	
3213	28	14	2	N/S	11	70	56	56	1	N/S	
3214	32	20	3	108	15	66	51	50	N/S	2	
3220	71	3	N/S	13	3	12	37	37	1	N/S	
3230	31	2	1	1	2	6	21	21	N/S	N/S	
3240	22	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	39	39	N/S	N/S	
Total	398	403	43	825	150	512	2,998	2,991	6	11	

N/S: No significativo

Del subsector 33-Industria de la madera y productos de madera, la mayor contribución está dada por la rama 3320 (Fabricación y reparación de muebles principalmente de madera), y el contaminante que predomina son los COT, debido a la utilización de barnices, lacas, pinturas y solventes para esta actividad productiva (Ver Tabla 4.1.7).

Tabla 4.1.7 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 33

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
3311	16	29	7	162	16	36	18	17	1	1
3312	28	3	N/S	N/S	N/S	2	199	197	N/S	N/S
3320	139	14	N/S	N/S	2	5	3,870	3,827	N/S	N/S
Total	183	46	7	162	18	43	4,087	4,041	1	1

N/S: No significativo

En la tabla 4.1.8 referente al subsector 34-Papel y productos de papel, imprenta y editoriales, se tiene que la mayor emisión se encuentra concentrada en la rama industrial 3420 (Imprentas, editoriales e industrias conexas), que contribuye con 11,564 ton/año de COT (61% de éste subsector), debido al uso de tintas y solventes; en el caso de la industria del papel, además de los de COT, cabe mencionar la emisión de NO_x, con 1,347 ton/año, debidas al consumo de combustible utilizado durante los procesos de generación de papel.

Tabla 4.1.8 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 34

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
3410	177	117	76	487	585	1,347	7,341	7,304	17	26
3420	367	23	1	1	7	31	11,564	9,707	N/S	N/S
Total	544	140	77	488	592	1,378	18,905	17,011	17	26

N/S: No significativo

En la Tabla 4.1.9 correspondiente al subsector 35-Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, del hule y del plástico, se observa que la mayor emisión de contaminantes es aportada por la rama industrial 3560 "Fabricación de productos plásticos" y que el contaminante dominante son los COT, esto se debe a la utilización de solventes orgánicos como materia prima, así como a la utilización de resinas, plastificantes, polímeros y otros insumos propios de la industria química. En la rama 3512 "Fabricación de sustancias químicas básicas, excluye las petroquímicas básicas", se puede mencionar la emisión de NO_x, generados principalmente por los procesos de combustión. Cabe mencionar que este subsector cuenta con un gran número de industrias.

Tabla 4.1.9 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 35

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]									
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃	
3512	224	117	39	639	297	875	2,253	2,210	11	18	
3513	17	22	16	40	79	235	444	369	24	5	
3521	162	86	4	39	23	62	4,951	4,509	N/S	1	
3522	329	308	17	105	161	383	3,059	2,947	6	7	
3540	41	20	2	25	16	65	2	2	N/S	2	
3550	104	16	5	31	53	176	1,086	1,084	1	5	
3560	284	95	3	29	42	149	10,599	10,384	1	5	
Total	1,161	664	86	908	671	1,945	22,394	21,505	43	43	

N/S: No significativo

En el subsector 36-Productos minerales no metálicos, la mayor emisión es generada en la rama 3620 (Fabricación de vidrio y productos de vidrio), siendo los COT y los NO_x los contaminantes más importantes, debido principalmente a los tratamientos térmicos que se dan en el proceso de fabricación antes citado (ver tabla 4.1.10).

Tabla 4.1.10 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 36

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]									
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃	
3611	14	85	5	N/S	44	146	14	9	2	1	
3612	14	314	3	28	34	49	11	7	2	1	
3620	50	58	34	4	392	832	4,377	3,820	414	14	
3691	124	300	7	90	28	110	191	189	2	3	
Total	202	757	49	122	498	1,137	4,593	4,025	420	19	

A continuación, para el subsector 37-Industrias metálicas básicas, en la tabla 4.1.11, se observa que la mayor emisión está dada por la rama 3720 (Industria básica de metales no ferrosos), teniendo como principal contaminante a los COT. El número de empresas que generan la emisión de COT es de 129, las cuales representan el 59% del total de éste sector.

Tabla 4.1.11 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 37

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]									
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃	
3710	91	790	23	471	869	297	266	181	77	4	
3720	129	198	11	77	232	234	2,108	1,445	3	4	
Total	220	988	34	548	1,101	531	2,374	1,626	80	8	

En la tabla 4.1.12 del subsector 38-Productos metálicos, maquinaria y equipo, se observa que la mayor emisión la aporta la rama 3814 (Fabricación de otros productos metálicos, excluye maquinaria y equipo), siendo los COT los de mayor emisión; esto se debe a que se contempla la actividad de pintado entre otros insumos. Como segundo contaminante generado tenemos a los NOx, éstos también son emitidos en mayor proporción por la rama 3814, la cual contribuye con una emisión de 648 ton/año, que representa el 46% del total de NOx de este subsector.

Tabla 4.1.12 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 38

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NOx	COT	COV	CH ₄	NH ₃
3811	69	65	17	183	231	103	81	80	1	1
3812	54	23	1	19	8	28	158	157	1	N/S
3813	92	34	N/S	1	5	16	2,592	2,592	1	N/S
3814	521	121	17	72	336	648	6,207	6,199	5	5
3821	53	6	N/S	N/S	80	23	71	67	N/S	N/S
3822	48	11	4	N/S	57	65	94	86	1	2
3823	5	N/S	N/S	N/S	1	1	24	24	N/S	N/S
3831	100	20	2	1	12	113	532	531	N/S	N/S
3832	19	3	N/S	1	2	6	437	437	N/S	N/S
3833	44	69	4	3	27	46	433	431	1	1
3841	171	91	11	17	457	320	3,941	3,726	4	3
3842	31	39	1	7	10	22	141	131	N/S	N/S
3850	16	7	N/S	N/S	1	1	51	51	N/S	N/S
Total	1,223	489	57	304	1,227	1,392	14,762	14,512	14	12

N/S: No significativo

En el sector 39-Otras industrias manufactureras, los COT con 1,271 ton/año, son los contaminantes dominantes, como se muestra en la tabla 4.1.13.

Tabla 4.1.13 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 39

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NOx	COT	COV	CH ₄	NH ₃
3900	232	32	4	39	34	105	1,271	1,062	108	1
Total	232	32	4	39	34	105	1,271	1,062	108	1

Por último, de la rama 4100 (Generación de energía eléctrica) la mayor emisión está dada por los NOx con 11,626 ton/año, lo cual representa casi el 60% del total de las emisiones de las fuentes puntuales de la ZMVM. Esto se debe al gran consumo de combustible fósil, utilizado en el proceso de generación de energía eléctrica.

Tabla 4.1.14 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 41

Rama	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NOx	COT	COV	CH ₄	NH ₃
4100	5	202	202	16	2,230	11,626	292	146	61	84
Total	5	202	202	16	2,230	11,626	292	146	61	84

Emisiones de las fuentes puntuales por tipo de contaminante

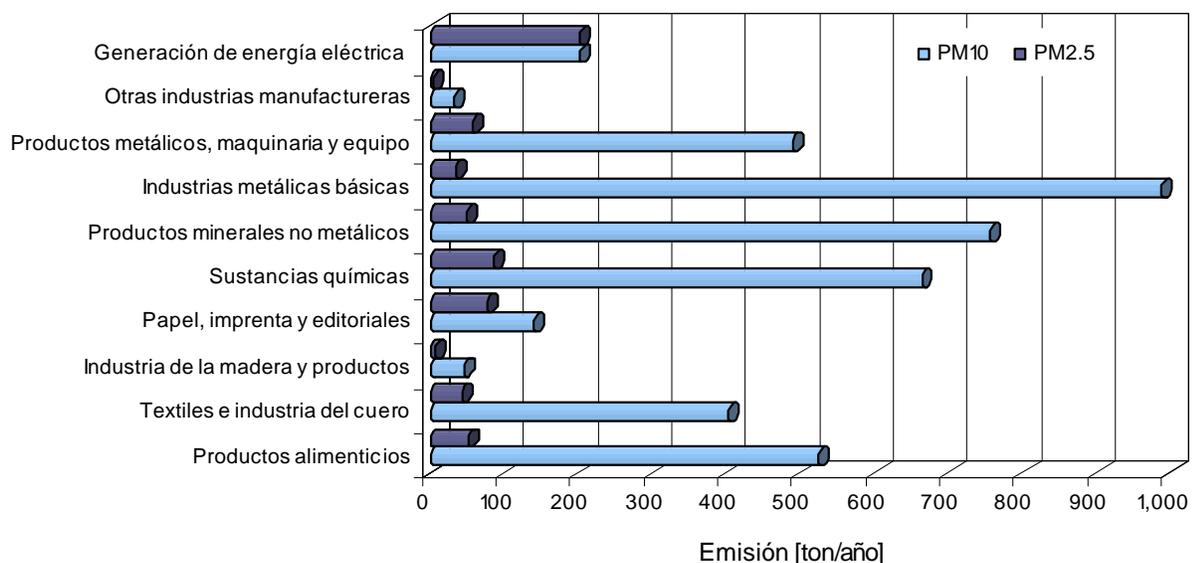
Para conocer con mayor detalle los giros o subsectores que generan emisiones, a continuación se presenta un análisis de acuerdo a la emisión de cada contaminante, destacando las industrias más emisoras en cada uno de ellos.

Partículas PM₁₀ y PM_{2.5}

La contribución a las emisiones de PM₁₀ por las fuentes puntuales se concentra principalmente en 5 subsectores: Productos alimenticios, bebidas y tabaco, Industria metálica básica, Productos minerales no metálicos, Industria química y Productos metálicos; estos giros aportan 3,424 ton/año (81% del total de las emisiones de las fuentes puntuales), los restantes 5 giros aportan 822 ton/año.

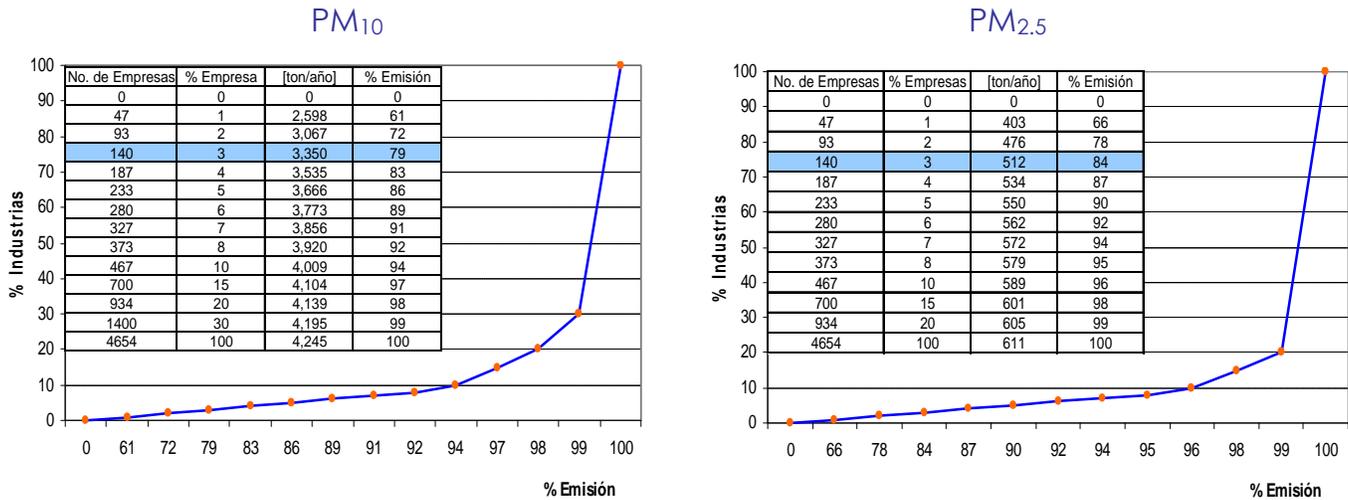
La contribución a las partículas PM_{2.5}, a diferencia de las PM₁₀, son generadas mayoritariamente por la combustión. Por tal motivo, sólo el sector eléctrico donde todas sus emisiones de PM₁₀ provienen de la combustión, son partículas menores a 2.5 micrómetros, que junto con las emisiones de PM_{2.5} de la industria de sustancias químicas y del papel, imprenta y editoriales, contribuyen con el 60% de las emisiones (365 ton/año).

Gráfica 4.1.3 Emisiones de partículas por giro industrial en la ZMVM



El 3% del sector industrial (140 industrias), contribuyen con cerca del 80% de las emisiones de PM₁₀, lo cual indica que los esfuerzos para controlar la emisión de éste contaminante, deben estar dirigidos hacia éstas empresas.

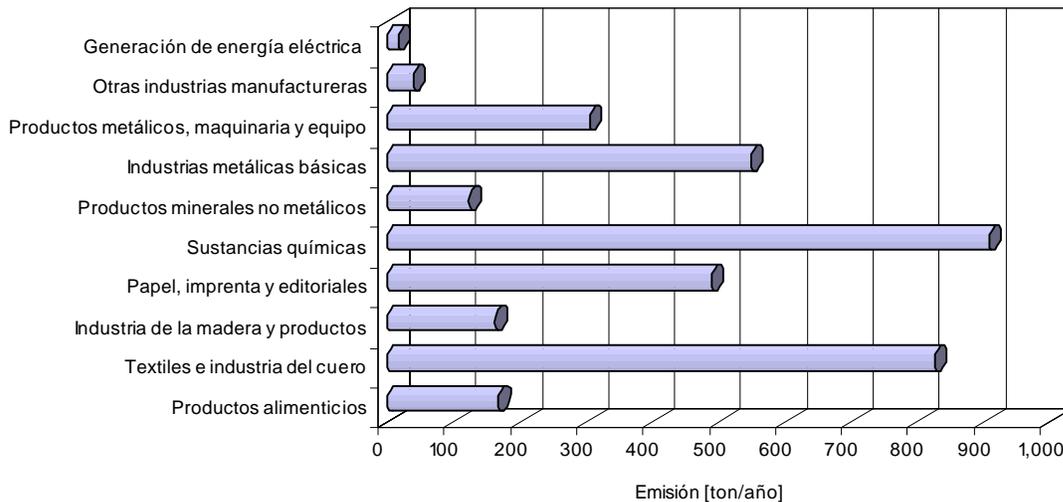
Gráfica 4.1.4 Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de PM₁₀ y de PM_{2.5}



Bióxido de azufre

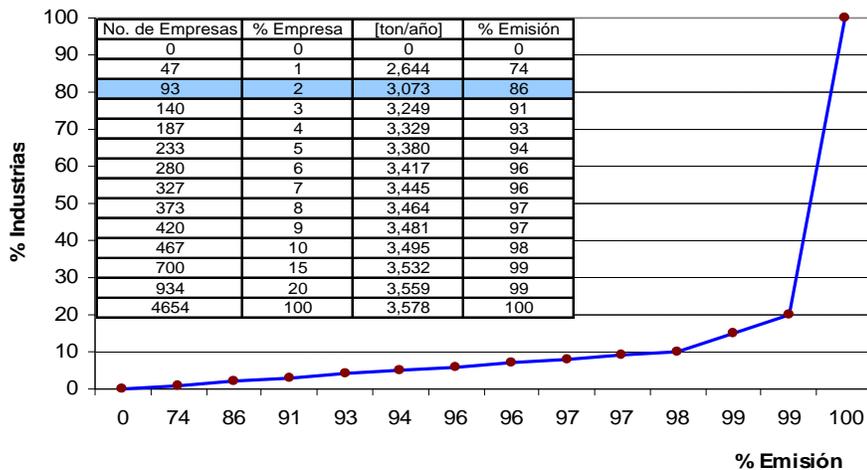
En la grafica 4.1.5 se puede observar que los giros más emisores de bióxido de azufre en la ZMVM, son la industria textil, la industria del papel y productos del papel, la industria química y la industria metálica básica, las cuales aportan 2,769 ton/año, éstos 4 giros representan el 77% de las emisiones de éste contaminante y los 6 restantes giros contribuyen con 810 ton/año.

Gráfica 4.1.5 Emisiones de SO₂ por giro Industrial en la ZMVM



De la emisión de SO₂ de las fuentes puntuales, se tiene que el 2% de la industria (93 industrias) contribuyen con el 86% de las emisiones de este contaminante. Estas 93 empresas consumen algún tipo de combustible líquido, ya sea diesel con 0.04% de azufre en peso, gasóleo con el 2% o combustóleo industrial con 3.6% de azufre en peso.

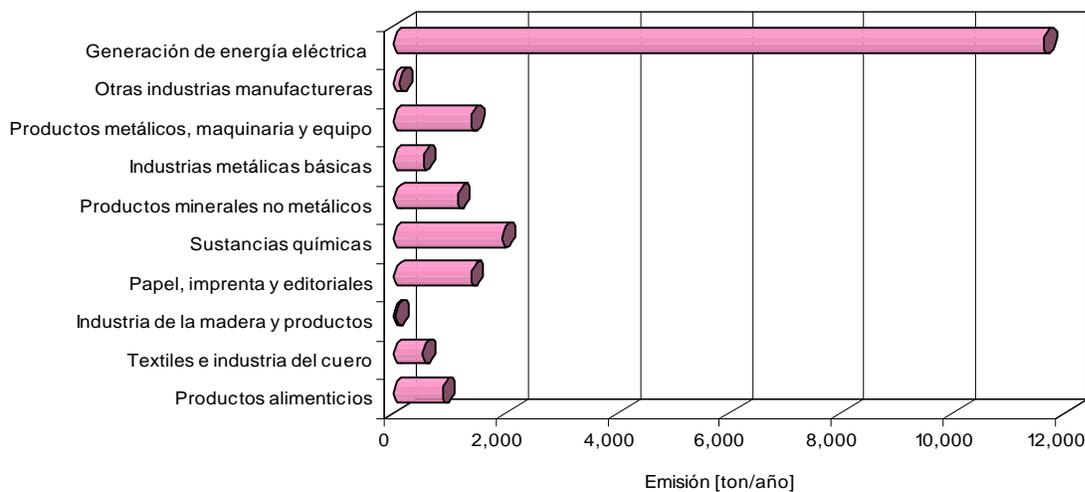
Gráfica 4.1.6 Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de SO₂



Óxidos de Nitrógeno

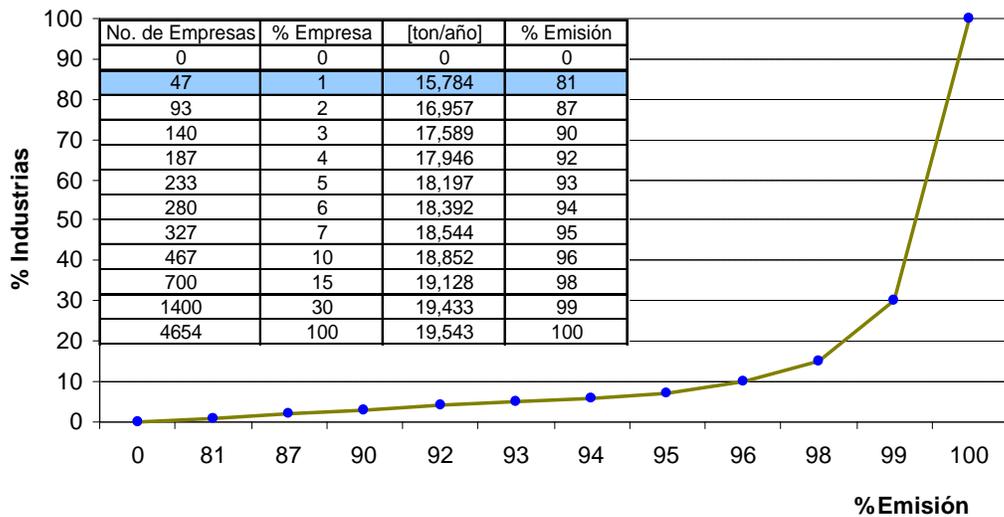
Los giros que más emiten óxidos de nitrógeno son, el de la generación de energía eléctrica con 11,626 ton/año, que representa el 59% de los NO_x emitido por las fuentes puntuales, seguido de la industria química, productos metálicos, y la industria del papel e impresión que aportan en conjunto 24% de las emisiones.

Gráfica 4.1.7 Emisiones de NO_x por giro industrial en la ZMVM



En la gráfica 4.1.8, se observa que el 1% de la industria contribuye con el 81% de las emisiones de NO_x. Esto nos indica que tan sólo 47 industrias consumen la mayor parte del combustible que se distribuye en la ZMVM, incluyéndose a las plantas generadoras de energía eléctrica como las más contaminantes y con mayor consumo energético.

Gráfica 4.1.8 Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de NOx

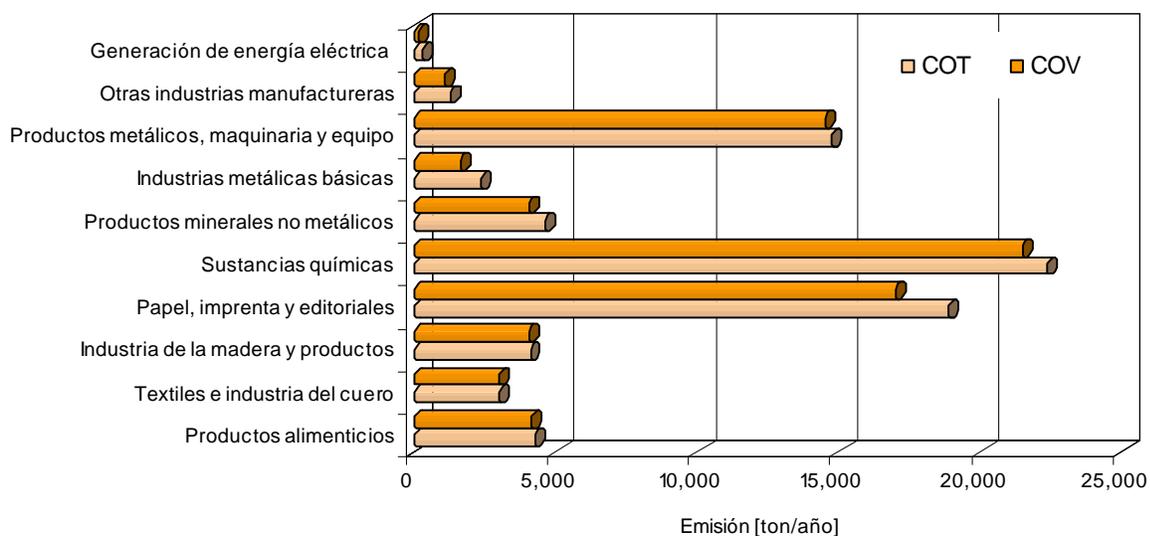


Compuestos Orgánicos Totales y Volátiles

En la gráfica 4.1.9 se puede observar que los principales giros industriales que contribuyen a la emisión de Compuestos Orgánicos Totales (COT), son la industria química, seguida de los productos de papel e impresión y productos metálicos; éstos giros contribuyen con 56,061 ton/año y representan alrededor del 74% de las emisiones industriales, destacando la industria química con más de 22,000 ton/año; los giros restantes contribuyen con 19,873 ton/año.

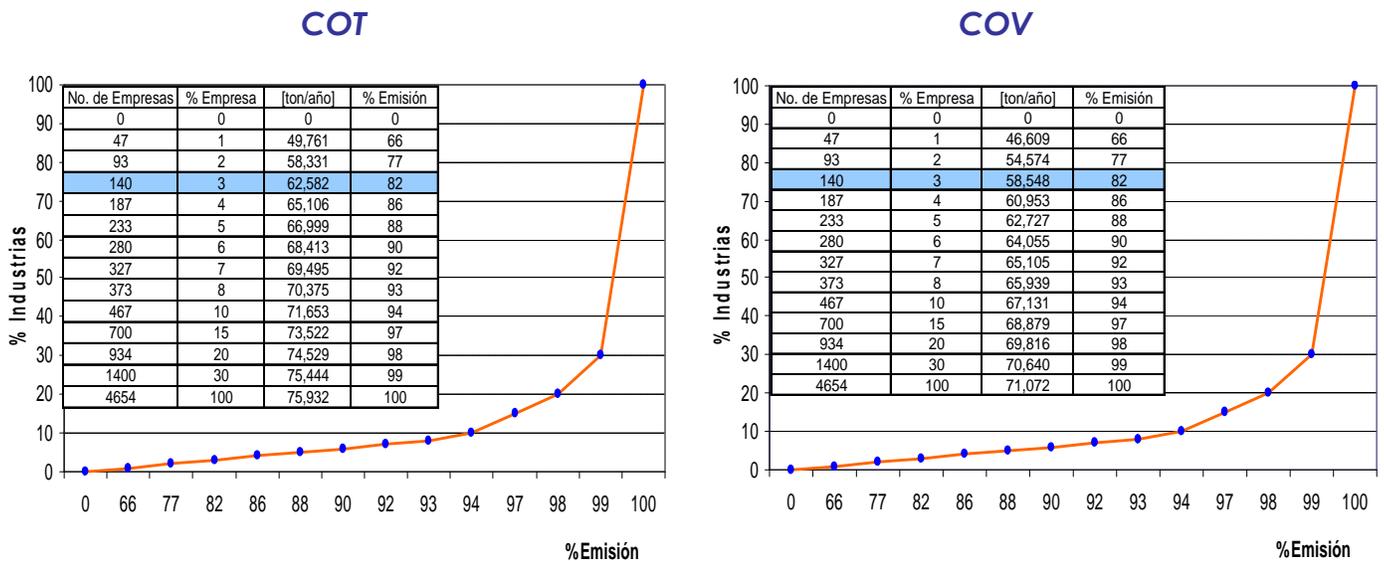
El comportamiento anterior es similar al de las emisiones de COV, esto se debe a que dichos contaminantes forman parte de los COT y representa el 94% de los compuestos orgánicos totales emitidos por la industria.

Gráfica 4.1.9 Emisiones de COT y COV por giro industrial en la ZMVM



Tenemos que para la emisión de COT y COV en la ZMVM, el 3% de la industria (140 industrias) contribuyen con el 82% de las emisiones de este contaminante. Cabe mencionar que debido a que los COV se encuentran contenidos en los COT, el porcentaje de contribución de emisiones se mantiene igual al de los COT (ver gráfica (4.1.10)).

Gráfica 4.1.10 Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de COT y COV



Emisiones de las fuentes puntuales por entidad y jurisdicción

Las emisiones totales estimadas para la industria, por entidad federativa se muestran en la tabla 4.1.15, y cabe mencionar, que el 44% de los contaminantes criterio que se emiten en la ZMVM, se generan por las industrias ubicadas en el Distrito Federal y 56% restante, por las industrias ubicadas en el Estado de México.

Tabla 4.1.15 Distribución de las emisiones industriales por entidad federativa

Entidad	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		*PM ₁₀	PM _{2.5}	*SO ₂	*CO	*NO _x	COT	*COV	CH ₄	NH ₃
Distrito Federal	2,701	1,260	126	793	1,097	2,188	42,748	39,452	512	46
Estado de México ⁴	1,952	2,986	484	2,786	5,783	17,355	33,185	31,620	251	179
Total	**4,653	4,246	610	3,579	6,880	19,543	75,933	71,072	763	225

* Contaminante criterio

**Número de industrias que emiten algún tipo de contaminante.

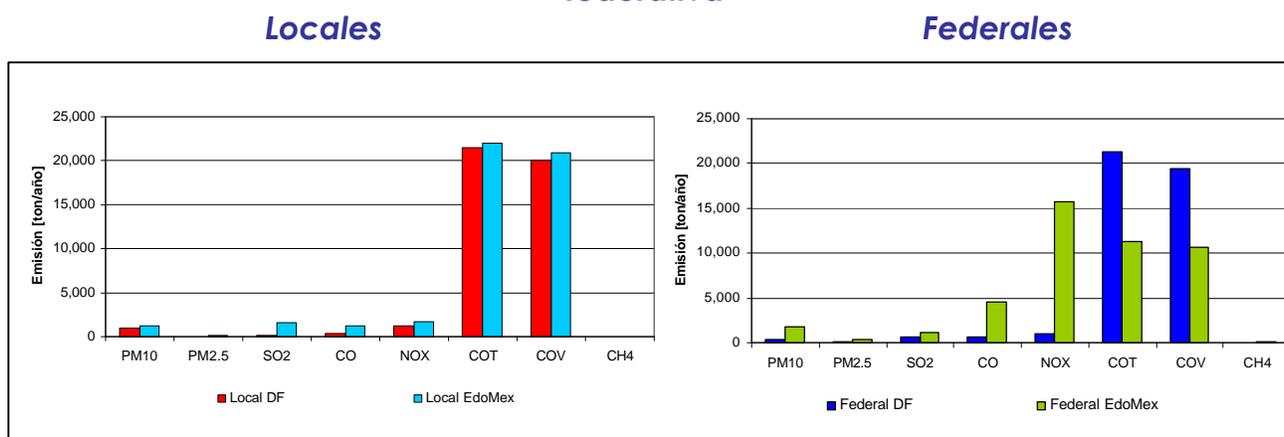
El análisis de las emisiones contaminantes por entidad federativa y jurisdicción, indica una mayor generación de emisiones por parte de la industria Federal localizada en el Estado de México, excepto para el caso de los Compuestos Orgánicos y el Bióxido de Azufre, ver tabla 4.1.16 y gráfica 4.1.11.

⁴ En el presente documento se utiliza Estado de México (Edo.Mex.), para referirnos a los 18 municipios conurbados al Distrito Federal del Estado de México.

Tabla 4.1.16 Distribución de las emisiones industriales por jurisdicción y entidad federativa

Jurisdicción	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
Local DF	1,662	912	47	111	408	1,213	21,475	20,001	49	23
Federal DF	1,039	348	79	682	689	975	21,273	19,451	463	23
Local Edo. Mex.	1,220	1,221	118	1,585	1,171	1,647	21,923	20,905	104	34
Federal Edo. Mex.	732	1,765	366	1,201	4,612	15,708	11,262	10,715	147	145
Total	4,653	4,246	610	3,579	6,880	19,543	75,933	71,072	763	225

Gráfica 4.1.11 Distribución de emisiones industriales por jurisdicción y entidad federativa



Emisiones industriales en el Distrito Federal

En la tabla 4.1.17 se presenta las emisiones de las industrias del Distrito Federal de acuerdo a su jurisdicción, federales y locales; cabe mencionar que las industrias de jurisdicción federal generan las mayores emisiones de SO₂, CO y CH₄, en el caso de las industrias locales, éstas emiten principalmente Compuestos Orgánicos y PM₁₀.

Tabla 4.1.17 Emisiones industriales por jurisdicción en el Distrito Federal

Jurisdicción	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
Local	1,662	912	47	111	408	1,213	21,475	20,001	49	23
Federal	1,039	348	79	682	689	975	21,273	19,451	463	23
Total	2,701	1,260	126	793	1,097	2,188	42,748	39,452	512	46

La tabla 4.1.18 muestra que el principal emisor de compuestos orgánicos es la categoría de productos de papel, imprenta y editoriales; en el caso del bióxido de azufre y monóxido de carbono es la industria metálica básica. En lo que se refiere a los óxidos de nitrógeno, la industria química es la principal fuente de emisión, así como el giro de productos de consumo alimenticio es la principal fuente de PM₁₀.

Tabla 4.1.18 Emisiones por subsector industrial en el Distrito Federal

Subsector	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	315	419	22	24	186	396	3,372	3,356	6	10
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	210	76	9	59	49	181	1,296	1,293	2	3
Industria de la madera y productos de madera. Incluye muebles.	120	20	N/S	N/S	2	4	781	772	N/S	N/S
Papel y productos de papel, Imprenta y editoriales.	383	51	18	95	104	176	12,687	11,211	3	5
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico.	655	281	29	166	181	505	11,488	10,992	13	15
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón.	100	128	7	5	89	123	4,297	3,768	388	3
Industrias metálicas básicas.	98	55	19	404	222	147	1,797	1,233	23	3
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.	629	198	16	11	213	476	6,160	6,097	5	5
Otras industria manufactureras.	190	29	3	29	19	77	866	728	71	1
Generación de energía eléctrica	1	3	3	N/S	32	103	4	2	1	1
Total	2,701	1,260	126	793	1,097	2,188	42,748	39,452	512	46

Un aspecto importante es la distribución de las emisiones por delegación, la cual se muestra en la tabla 4.1.19. Se observa que destaca Iztapalapa con el mayor número de industrias, seguido de Azcapotzalco y Gustavo A. Madero. En el caso de las emisiones, Iztapalapa y Azcapotzalco son las que más contribuyen al total de contaminantes.

Tabla 4.1.19 Emisiones industriales por delegación en el Distrito Federal

Delegación	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
A. Obregón	136	54	3	9	17	60	569	544	9	1
Azcapotzalco	451	353	39	63	413	802	5,039	4,593	47	15
B. Juárez	145	16	1	19	22	28	296	262	2	1
Coyoacán	102	49	1	14	12	39	4,623	4,192	4	1
Cuajimalpa	6	1	N/S	2	1	2	1	1	N/S	N/S
Cuauhtemoc	177	57	6	9	60	162	4,121	3,904	3	3
G.A. Madero	320	107	12	189	158	160	4,850	4,708	10	4
Iztacalco	282	173	5	67	46	150	1,260	1,221	7	4
Iztapalapa	540	241	12	78	131	177	11,356	10,366	26	3
M. Contreras	1	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	2	1	N/S	N/S
M. Hidalgo	222	74	20	30	177	339	3,719	3,503	15	8
Milpa Alta	1	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
Tláhuac	70	25	2	10	17	95	1,396	1,382	4	1
Tlalpan	66	22	11	35	18	70	4,356	3,820	383	2
V. Carranza	157	75	13	264	20	82	926	745	1	2
Xochimilco	25	13	1	4	5	22	234	210	1	1
Total	2,701	1,260	126	793	1,097	2,188	42,748	39,452	512	46

Emisiones industriales en el Estado de México

En lo que se refiere a la distribución de industrias de los municipios conurbados del Estado de México, en la Tabla 4.1.20, se puede observar que el número de industrias de jurisdicción local es menor al número de industrias de jurisdicción federal, sin embargo, al analizar la cantidad de emisiones, se observa que las locales emiten mayor cantidad de SO₂ y de COT que las federales, mientras que las industrias de jurisdicción federal generan mayores emisiones de PM₁₀, CO y NO_x.

Tabla 4.1.20 Emisiones industriales por jurisdicción en el Estado de México.

Entidad	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
Federal	1,220	1,765	366	1,201	4,612	15,708	11,262	10,715	147	145
Local	732	1,221	118	1,585	1,171	1,647	21,923	20,905	104	34
Total	1,952	2,986	484	2,786	5,783	17,355	33,185	31,620	251	179

De las industrias evaluadas en el Estado de México, el principal contaminante generado son los COT, con 33,185 ton/año, siendo el giro más emisor la industria química; en el caso de los NO_x y el CO, el giro con mayores emisiones es la generación de energía eléctrica. De bióxido de azufre se emitieron más de 2,700 ton/año, siendo los principales emisores la industria del vestido y el giro de sustancias químicas. Para el caso de las PM₁₀, se emiten 2,986 ton/año, siendo la industria metálica básica la que más contribuye. En cuanto al amoníaco se tiene que en el Estado de México se emiten 179 ton/año, siendo el giro emisor más importante la generación de energía eléctrica con 83 ton/año, como se muestra en la tabla 4.1.21.

Tabla 4.1.21 Emisiones industriales por subsector en el Estado de México.

Subsector	No. de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	170	106	29	143	173	478	885	797	7	9
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	188	327	34	766	101	331	1,702	1,698	4	9
Industria de la madera y productos de madera. Incluye muebles.	63	26	7	162	16	39	3,306	3,269	1	1
Papel y productos de papel, Imprenta y editoriales.	161	89	59	393	488	1,202	6,218	5,800	14	21
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico.	506	383	57	742	490	1,440	10,906	10,513	30	28
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón.	102	629	42	117	409	1,014	296	257	32	16
Industrias metálicas básicas.	122	933	15	144	879	384	577	393	57	5
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.	594	291	41	293	1,014	916	8,602	8,415	9	7
Otras industrias manufactureras.	42	3	1	10	15	28	405	334	37	0
Generación de energía eléctrica	4	199	199	16	2,198	11,523	288	144	60	83
Total	1,952	2,986	484	2,786	5,783	17,355	33,185	31,620	251	179

En lo que se refiere a la distribución por municipio y por tipo de contaminante, Tlalnepantla, Naucalpan de Juárez y Ecatepec destacan por la gran cantidad de industrias, así como por su contribución en emisiones (ver tabla 4.1.22).

Tabla 4.1.22 Emisiones industriales por municipio en el Estado de México.

Municipio	Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃
Acolmán	4	161	155	14	1711	9627	273	160	47	65
Atizapán de Zaragoza	110	170	5	46	98	139	522	456	7	1
Coacalco	6	20	N/S	N/S	N/S	N/S	5	5	N/S	N/S
Cuautitlán	63	16	5	38	43	97	2,254	2,136	1	2
Cuautitlán Izcalli	143	111	8	50	51	168	1,765	1,734	6	3
Chalco	30	39	5	124	89	96	89	87	1	1
Chicoloapan	17	15	2	6	8	58	56	47	3	N/S
Chimalhuacán	5	5	1	6	N/S	3	N/S	N/S	N/S	N/S
Ecatepec	342	454	82	524	1205	1782	8287	7920	29	34
Huixquilucan	6	13	N/S	1	1	4	N/S	N/S	N/S	N/S
Ixtapaluca	35	68	9	193	139	108	482	478	1	2
La Paz	72	56	9	281	28	141	329	314	1	3
Naucalpan	391	412	32	396	877	594	6,841	6,717	25	9
Nezahualcóyotl	57	14	1	2	4	9	961	941	5	N/S
Nicolás Romero	6	11	7	175	2	20	43	43	N/S	N/S
Tecámac	20	35	1	58	3	18	614	580	2	N/S
Tlalnepantla	523	1,032	100	757	852	2,175	7,182	6,896	56	35
Tultitlán	122	354	62	115	672	2,316	3,482	3,106	67	24
Total	1,952	2,986	484	2,786	5,783	17,355	33,185	31,620	251	179

4.2 FUENTES DE ÁREA

Las fuentes de área de la ZMVM, son demasiado numerosas y dispersas como para que sus emisiones sean incluidas individualmente en el inventario, por lo que se agrupan en las siguientes categorías: combustión en fuentes estacionarias, fuentes móviles que no circulan por caminos y vialidades, uso de solventes, almacenamiento y transporte de productos del petróleo, fuentes industriales ligeras⁵ y comerciales, manejo y tratamiento de residuos y fuentes de área misceláneas.

Tabla 4.2.1 Fuentes de área inventariadas

COMBUSTIÓN EN FUENTES ESTACIONARIAS	ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE DERIVADOS DEL PETRÓLEO
Combustión industrial	Almacenamiento y distribución de combustibles líquidos
Uso de gas natural	Terminales de Almacenamiento masivo (Gasolina, Diesel;
Combustión comercial/ institucional	Turbosina; Combustible industrial)
Uso de gas natural y gas LP	Distribución de gasolina
Combustión habitacional	Pipas en tránsito (con y sin carga)
Uso de gas natural y gas LP	Llenado de tanques subterráneos
FUENTES MÓVILES QUE NO CIRCULAN POR CARRETERA	Respiración de tanques subterráneos
Operación de aeronaves	Carga de combustibles en vehículos
Locomotoras Foráneas y de patio a diesel	Derrames
Terminales de Autobuses de pasajeros a diesel	Carga de combustible en aeronaves
USO DE SOLVENTES	Gas avión; Turbosina
Uso comercial y doméstico de solventes	Distribución y almacenamiento de gas LP
Productos en aerosol	Terminales de almacenamiento
Productos domésticos	Descarga de semirremolques en planta
Productos de cuidado personal	Almacenamiento en planta
Productos de cuidado automotriz	Carga de autotanques en planta
Adhesivos y selladores	Carga de tanque portátil en planta
Pesticidas comerciales y domésticos	Distribución
Productos misceláneos	Descarga de carro tanque en estaciones de servicio
Limpieza de superficies en la industria	Descarga a tanques estacionarios
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	Distribución y venta de recipientes portátiles
Recubrimiento de superficies industriales	Fugas en instalaciones a gas LP
Lavado en seco	Industrial
Artes gráficas	Servicios
Pintura automotriz	Doméstica (Recipiente portátil; Tanque estacionario; Estufas;
Pintura de tránsito	Calentadores)
Aplicación de asfalto	Hidrocarburos No Quemados en la combustión de gas LP
FUENTES INDUSTRIALES LIGERAS Y COMERCIALES	Industrial
Panaderías (proceso de fermentación de levaduras)	Servicios
Esterilización en hospitales	Doméstica (Estufas; Calentadores)
FUENTES DE ÁREA MISCELÁNEAS	MANEJO Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS
Incendios en estructuras	Rellenos sanitarios
Incendios forestales	Tratamiento de aguas residuales
Caminos pavimentados	
Caminos sin pavimentar	
Emisiones domésticas de amoniaco	

⁵ Fuentes industriales que trabajan a pequeña escala

Tal y como se muestra en la tabla anterior cada una de las categorías está integrada por subcategorías, las cuales a su vez puede incluir varias modalidades de la subcategorías, por ejemplo la categoría de uso de solventes, está integrada por las subcategorías: consumo de solventes, limpieza de superficies en la industria, recubrimiento de superficies arquitectónicas, recubrimiento de superficies industriales, lavado en seco, artes gráficas, pintado de carrocerías, pintado de señalamientos de tránsito y aplicación de asfalto; la primera de estas a su vez se divide en: productos en aerosol, productos domésticos, productos de cuidado personal, productos de cuidado automotriz, adhesivos y selladores, pesticidas y productos misceláneos.

4.2.1 Metodología de las fuentes de área

En ésta sección se presentan los aspectos metodológicos del inventario de emisiones de fuentes de área. En general se aplicó la metodología de estimación de emisiones propuesta en los manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México, publicados por el Instituto Nacional de Ecología. Se incorporaron las recomendaciones de la evaluación del Inventario de Emisiones de la ZMVM de 1998, realizada por la empresa "Eastern Reseach Group" y las del estudio, "Análisis y Diagnóstico del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México", cuyos investigadores principales fueron los Doctores, Mario J. Molina y Luisa T. Molina.

Los procedimientos para estimar las emisiones de este sector son las más variadas, debido a que las fuentes emisoras que integran las fuentes de área, involucran a todos los procesos generadores de emisión, contemplan tanto los de combustión, como de los procesos de degradación biológica de la materia orgánica, fugas de combustibles y evaporación de solventes, entre las principales.

En la mayor parte de las categorías de fuentes de área se estimaron las emisiones de los compuestos orgánicos totales y volátiles, y solamente en aquellas actividades donde se realizan procesos de combustión se estimaron las partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros, bióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, además de metano y amoniaco que no son exclusivas de la combustión y en algunos otros donde hay emisiones de partículas PM₁₀ y/o PM_{2.5} por la pérdida de suelo.

Para el cálculo de las emisiones se utilizaron factores de emisión *Per Cápita* por nivel de actividad y modelos de estimación de emisión como el: Landfill⁶, Tanks⁷ y Faeed⁸,

⁶ U.S. Environmental Protection Agency, 1996. Storage Tank Emissions Calculation Software (TANKS) Version 4.0, Emission Factor and Inventory Group Emissions, Monitoring and Analysis Division, Office of Air Quality Planning and Standards.

⁷ U.S. Environmental Protection Agency, mayo 1998. User Manual Landfill Gas Emissions Model V.2.01. Washington, DC 20460. <http://www.epa.gov/ttn/atw/landfill/landflpg.html>

⁸ U.S. Environmental Protection Agency. Aircraft Engine Emission User Guide and Data Base (FAEED 3.1) <http://www.epa.gov/otaq/aviation.htm>

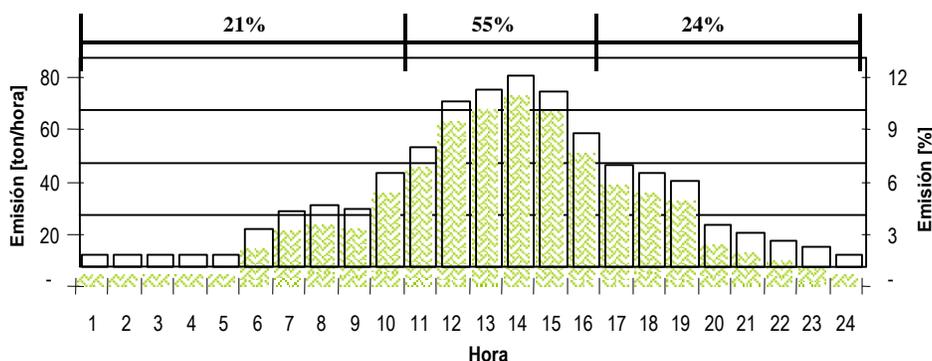
los cuales al igual que la mayoría de factores de emisión, fueron desarrollados por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de Norte América (USEPA). En la medida que los factores de emisión y los modelos lo permiten estos fueron corregidos principalmente con parámetros meteorológicos propios de la ZMVM. Solamente dentro del almacenamiento y distribución de gas L.P. se utilizaron factores de emisión desarrollados por el Instituto Mexicano del Petróleo⁹ y el TÜV Rheinland de México¹⁰.

Posteriormente se analizó la información disponible, con el objetivo de determinar el nivel de actividad asociado al factor de emisión, o la aplicación del modelo respectivo a la fuente emisora; la información fue obtenida de varias instituciones, entre ellas, la Secretaría de Energía, la Secretaría de Obras y Servicios, la Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal, el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, PEMEX Refinación y Petroquímica Básica, el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, entre otras. La información fue solicitada de manera oficial y en algunos casos se obtuvo mediante el acceso a Internet.¹¹

4.2.2 Emisiones horarias de las fuentes de área

La elaboración del perfil horario para distribuir las emisiones de las fuentes de área, se realizó tomando en cuenta los horarios en que la población realiza sus actividades cotidianas, como son la transportación al trabajo y/o a la escuela, la cocción de alimentos, la limpieza del hogar, el arreglo y aseo personal, entre las más importantes; además de los horarios asociados a la intensidad con la que operan el transporte aéreo y terrestre, tomando en cuenta los perfiles de distribución horaria de fuentes fijas y fuentes móviles, entre otras. A partir del análisis anterior se construyó la Gráfica 4.2.1, en la cual se observa que para los COV, a partir de la 1:00 y hasta las 10:00 A.M. se emiten el 21% de las emisiones contaminantes, de las 11:00 a las 16:00 horas el 55% y de las 17:00-24:00 horas el 24%.

Gráfica 4.2.1 Perfil de emisión horaria de COV de fuentes de área



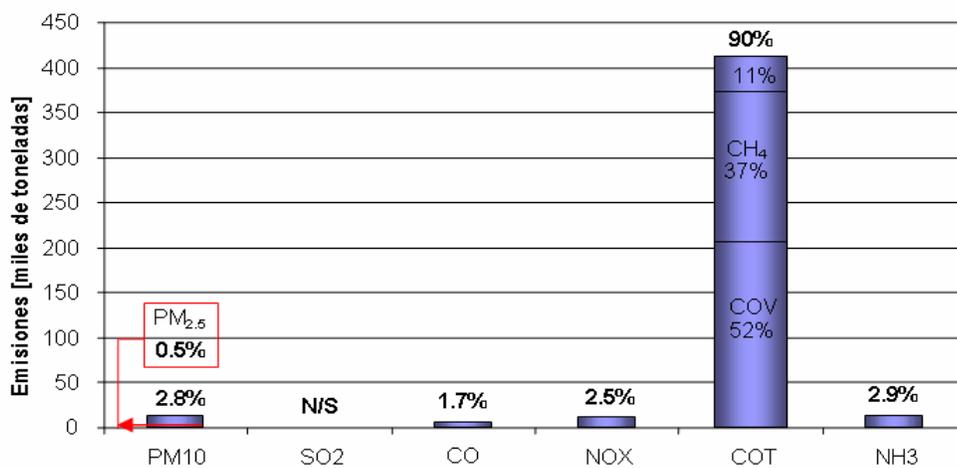
⁹ PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 1997. Efectos del Gas LP en la ZMCM.

¹⁰ TÜV Rheinland de México, 2000. Programa para la Reducción y Eliminación de Fugas de GLP en las Instalaciones Domésticas de la ZMVM.

4.2.3 Emisiones anuales de las fuentes de área

En la Zona Metropolitana del Valle de México, las fuentes de área en el año 2002, emitieron en peso más de 457 mil toneladas de contaminantes, de las cuales, las más abundantes son los COT (90%); con respecto a las emisiones de COT, tenemos que el 52% son compuestos orgánicos volátiles y 37% es metano; por otro lado, las 12,781 toneladas de PM₁₀ de fuentes de área representan el 2.8% y de éstas, 2,193 toneladas son menores a 2.5 µm . En la Gráfica 4.2.2 se presentan las emisiones generadas por las fuentes de área, así como su porcentaje de contribución.

Gráfica 4.2.2 Distribución de contaminantes de fuentes de área



En la gráfica 4.2.2 se muestra la contribución de SO₂, CO, NO_x y NH₃ de las fuentes de área, las emisiones en peso de SO₂, CO, NO_x no son relevantes debido a que éstos compuestos son generados por procesos de combustión, los cuales no son significativos en las fuentes de área. Los NO_x y el NH₃, en conjunto representan tan casi el 6% respecto a las emisiones totales; para mayor detalle sobre las emisiones contaminantes generadas por cada una de las fuentes que integran este sector ver la Tabla 4.2.2.

¹¹ <http://www.concamin.org.mx> , <http://www.asa.com.mx>, <http://www.inegi.gob.mx>

Tabla 4.2.2 Inventario de emisiones por subcategoría de fuentes de área

Subcategorías	Emisiones por contaminante [ton/año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Combustión en fuentes estacionarias	400	400	20	3,387	7,643	538	138	292	17
Combustión industrial	243	243	19	2,680	3,190	351	74	176	16
Combustión comercial/institucional	38	38	N/S	197	1,135	47	16	29	N/E
Combustión habitacional	119	119	1	510	3,318	140	48	87	1
Fuentes móviles no carreteras	50	46	16	3,201	4,151	1,864	172	1,789	N/S
Operación de aeronaves	17	16	N/S	2,938	2,753	1,784	171	1,712	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	32	29	16	171	1,348	57	N/E	55	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	1	1	N/E	92	50	23	1	22	N/S
Uso de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	176,435	N/A	131,744	N/A
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	22,115	N/A	21,849	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,419	N/A	2,370	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	23,497	N/A	20,442	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	691	N/A	683	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	31,099	N/A	18,659	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10,378	N/A	6,020	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,911	N/A	6,911	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	246	N/A	246	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	79,079	N/A	54,564	N/A
Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	66,994	6	65,937	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	933	N/A	933	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/S	5	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,990	N/S	2,942	N/A
Fugas en instalaciones a gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	23,978	2	23,594	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	39,088	4	38,463	N/A
Fuentes industriales ligeras y comerciales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,577	N/A	4,577	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,559	N/A	4,559	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	18	N/A	18	N/A
Manejo de residuos	N/A	N/A	N/A	164	N/A	161,960	152,240	9,478	N/E
Rellenos sanitarios	N/E	N/E	N/A	164	N/A	159,383	152,240	7,107	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,577	N/A	2,371	N/E
Fuentes de área miscelánea	12,331	1,747	4	860	24	64	20	37	13,219
Incendios en estructuras	28	26	N/E	429	10	36	N/A	24	N/A
Incendios forestales	46	40	4	431	14	28	20	13	2
Emisiones domésticas de amoníaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13,217
Caminos pavimentados	1,532	83	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	10,725	1,598	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	12,781	2,193	40	7,612	11,818	412,432	152,576	213,854	13,236

N/A: No Aplica, N/S: No Significativo, N/E: No Estimado, HCNQ: Hidrocarburos No Quemados

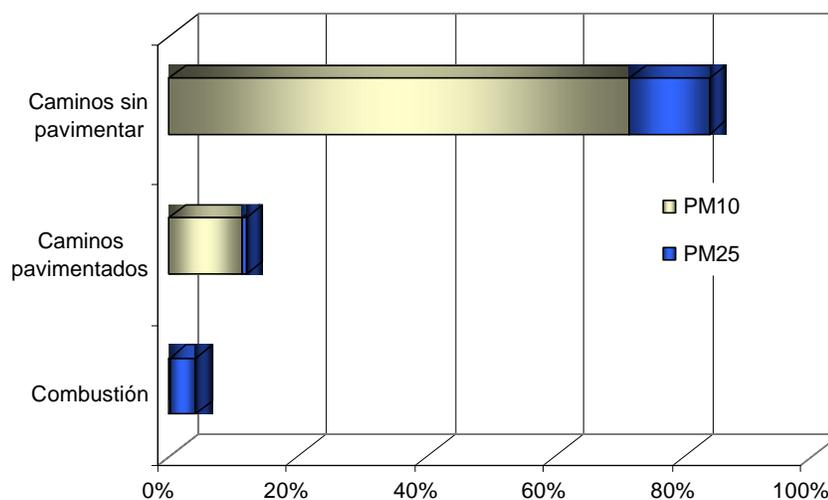
4.2.4 Emisiones de las fuentes de área por contaminante

A continuación se describe a mayor detalle las emisiones de: partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, NO_x , COT y COV, así como sus principales generadores. Referente a las emisiones de CO y SO_2 , estas no son relevantes ya que representan menos del 1% de las emisiones totales de todos los sectores, por otro lado, casi el 100% de las emisiones de CH_4 , se generan en los rellenos sanitarios y respecto a las emisiones de NH_3 , casi todas son de origen doméstico.

Partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$

Las emisiones de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ dentro de las fuentes de área tienen un comportamiento similar, los caminos no pavimentados contribuyen con el 84% y 73% respectivamente, e incluso también son los que más contribuyen dentro del inventario de PM_{10} , ya que representan el 45% del total de la ZMVM. Otra categoría relevante son los caminos pavimentados que contribuyen con el 12% de PM_{10} y el 4% de $PM_{2.5}$. Por otro lado, dentro de las emisiones por combustión, que incluyen tanto la combustión de gasolina, diesel, gas L.P. y gas natural, así como del material que se consume en los incendios estructurales y forestales, sólo son relevantes las emisiones de $PM_{2.5}$ con el 4%. Ver Gráfica 4.2.3.

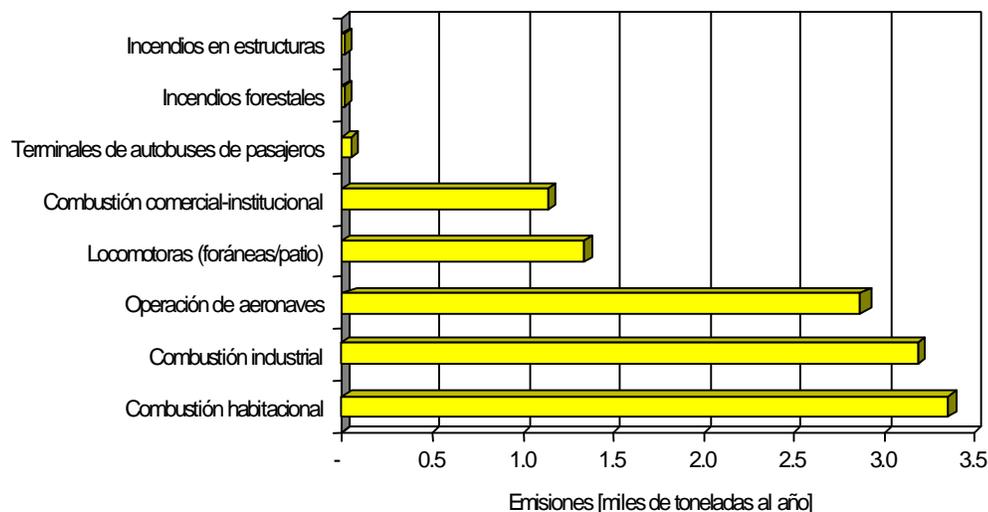
Gráfica 4.2.3 Emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ de fuentes de área



Óxidos de nitrógeno

De las más de 11.8 mil toneladas de óxidos de nitrógeno que se emiten en las fuentes de área, el 65% son generadas por la combustión en fuentes estacionarias. Por otro lado, la operación de locomotoras dentro de las fuentes de área aporta el 11% y la operación de aeronaves el 23% y cabe mencionar que las emisiones generadas por los incendios y las terminales de autobuses, no son significativas.

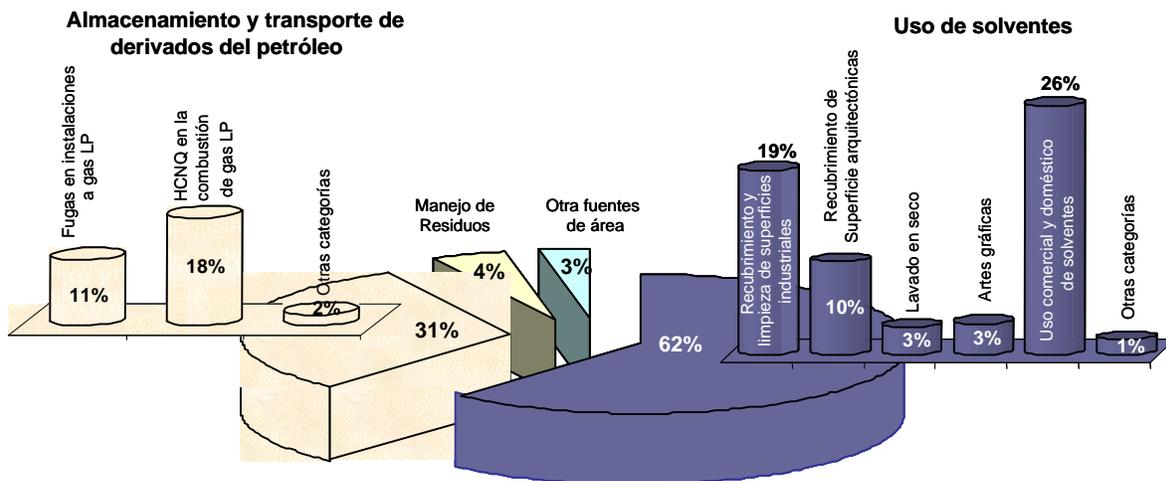
Gráfica 4.2.4 Emisiones de NO_x de fuentes de área



Compuestos orgánicos totales y volátiles

Dentro de las fuentes de área, casi el 39% de las emisiones de COT, se generan por la degradación de residuos sólidos dispuestos en rellenos sanitarios, que en su mayoría es CH₄; otra cantidad importante de COT (43%), proviene de los diferentes productos comerciales utilizados para el cuidado personal, de los adhesivos y selladores, entre otros que contienen solventes. Por el almacenamiento, transporte y uso de derivados del petróleo, se emitió el 16%, estas en su mayoría son fugas de gas L.P. Por su parte, quitando las emisiones de CH₄ que no esta catalogada como compuesto volátil, las actividades de mayor emisión de COV (Gráfica 4.2.5) son similares a las que presentan los COT.

Gráfica 4.2.5 Distribución porcentual de emisiones de COV de fuentes de área



4.2.5 Emisiones por categoría de las fuentes de área

A continuación se analizan las categorías de fuentes de área que incluyen fuentes emisoras de alta prioridad que contribuyen significativamente a la contaminación del aire o que tienen un potencial importante para afectar la calidad del aire.

Emisiones por combustión de fuentes estacionarias

En esta categoría se incluye las emisiones generadas por la combustión de 1.4 millones de m³ de gas L.P. y 124 millones de m³ de gas Natural, volumen que se utilizó en las casas habitación para la cocción de alimentos y calentamiento de agua. Para el caso de hoteles restaurantes, hospitales, tortillerías, baños públicos y tintorerías, se tiene un consumo de 582 mil m³ de gas LP, poco más de 36 millones de m³ de gas Natural y 0.4 mil m³ de gasóleo doméstico; los cuales fueron utilizados en calderas pequeñas, hornos, calefactores y motores. Además se incluyen las emisiones de algunas industrias, que por falta de información en su COA¹² no fueron incluidas en el inventario de fuentes puntuales, éstas representan un consumo de 1,993 millones de m³ de gas Natural.

Los consumos de combustibles mencionados, fueron obtenidos a partir del balance y distribución de energía en la ZMVM¹³. La contribución más abundante de las emisiones de esta categoría son los NO_x, y aunque ésta genera menos del 4% de las emisiones totales de la ZMVM, sus emisiones son potencialmente relevantes en la afectación de la calidad del aire por ser precursor de ozono.

¹² Cédula de Operación Anual

¹³ Secretaría del Medio Ambiente GDF/ Dirección General de Gestión Ambiental del Aire/ Dirección de Inventario y Modelación de Emisiones: Balance y distribución de energía asociada a combustibles fósiles en la ZMVM 1990-2003, última actualización 29 de marzo de 2004.

Tabla 4.2.3 Emisiones de NO_x por combustión en fuentes estacionarias de las fuentes de área

Fuente	Emisiones [ton/año]
Combustión habitacional	3,318
Gas LP	3,131
Gas natural	187
Combustión comercial/institucional	1,135
Gas LP	1,077
Gas natural	58
Combustión industrial / Gas Natural	3,190
Total	7,643

Emisiones por uso de solventes

En la ZMVM se realizan numerosas actividades que utilizan solventes en pequeñas cantidades, o productos que los contienen y que posteriormente se evaporan. Entre las más importantes se pueden mencionar: el uso comercial y doméstico de aerosoles; productos de limpieza; recubrimientos de superficies industriales y arquitectónicas con pintura, barniz, laca o *primer* con propósitos decorativos y/o de protección; la limpieza de superficies industriales con solventes orgánicos, para remover las grasas, aceites, ceras, carbón, óxidos, metales, plásticos, vidrios, y la limpieza en seco de ropa mediante el uso de percloroetileno y gas nafta (Ver .Tabla 4.2.4).

Tabla 4.2.4 Emisiones por uso de solventes de fuentes de área

Actividad	ZMVM [ton/año]	
	COT	COV
Recubrimiento de superficies industriales	22,115	21,849
Pintura automotriz	2,419	2,370
Recubrimiento superficies arquitectónicas	23,497	20,442
Pintura en tránsito	691	683
Limpieza de superficies industriales	31,099	18,659
Lavado en seco	10,378	6,020
Artes gráficas	6,911	6,911
Uso comercial y doméstico de solventes	79,079	54,564
Total	176,189	131,498

Emisiones por el Uso de Gas L.P.

Dentro de las emisiones por almacenamiento y transporte de derivados del petróleo, se tiene que las emisiones más abundantes están relacionadas con el aprovechamiento del gas L.P., principalmente en las instalaciones domésticas de más de 4 millones de estufas y por lo menos 2.6 millones de calentadores que existen en la Zona Metropolitana del Valle de México. Estos equipos están conectados mediante accesorios que generalmente no están herméticamente sellados a tanques portátiles o estacionarios que almacenan el combustible, por lo que existen

más de 23 mil toneladas en fugas de gas L.P.,¹⁴. Por otra parte, debido a que el proceso de combustión que se realiza en las estufas y calentadores es incompleto, se liberan a la atmósfera de la ZMVM cerca de 28 mil toneladas de compuestos orgánicos volátiles sin quemar. En total estos dos rubros suman más de 51 mil toneladas de gas L.P., no aprovechadas anualmente, con lo que se podrían llenar 2,558,160 cilindros portátiles de 20 kg, que tienen un costo de más de 316 millones de pesos.¹⁵

Tabla 4.2.5 Emisiones por uso de gas L.P. de fuentes de área

Categoría	Emisiones [ton/año]					
	COT			COV		
	D.F.	EDOMEX	ZMVM	D.F.	EDOMEX	ZMVM
Distribución y Almacenamiento de gas LP	1,472.2	1,517.7	2,990.0	1,448.5	1,493.4	2,942.0
Distribución	1,156.5	536.9	1,693.5	1,138.0	528.2	1,666.3
Descarga carrotanque en estaciones de servicio	936.4	308.4	1,244.8	921.4	303.4	1,224.8
Descarga en tanques estacionarios	219.9	228.3	448.2	216.4	224.6	441.0
Distribución en tanque portátil	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	0.5
Almacenamiento	315.7	980.8	1,296.5	310.5	965.2	1,275.7
Descarga de semirremolques en planta	70.1	225.7	295.8	68.9	222.1	291.0
Almacenamiento en planta	65.3	174.1	239.4	64.2	171.3	235.5
Carga de autotanques en planta	105.5	340.0	445.5	103.8	334.6	438.4
Carga de tanque portátiles en planta	74.8	241.0	315.8	73.6	237.2	310.8
Fugas por instalaciones a gas LP	12,454.1	11,523.4	23,977.5	12,254.7	11,339.1	23,593.9
Industrial	42.5	66.5	109.0	41.8	65.5	107.3
Servicios	133.9	84.7	218.6	131.7	83.3	215.1
Doméstica	12,277.7	11,372.2	23,649.9	12,081.2	11,190.3	23,271.5
Portátiles	8,868.5	8,214.5	17,083.0	8,726.6	8,083.1	16,809.7
Estacionarios	881.8	816.8	1,698.6	867.7	803.7	1,671.4
Estufas	2,358.9	2,184.9	4,543.8	2,321.1	2,150.0	4,471.1
Calentadores	168.5	156.0	324.5	165.8	153.5	319.3
HCNQ de gas LP	19,953.0	19,135.2	39,088.2	19,633.8	18,829.1	38,462.7
Industrial	2,350.7	3,678.3	6,029.0	2,313.1	3,619.4	5,932.5
Servicios	2,887.1	1,826.8	4,713.9	2,840.9	1,797.6	4,638.5
Doméstica	14,715.2	13,630.1	28,345.3	14,479.8	13,412.1	27,891.7
Estufas	11,479.7	10,633.2	22,112.8	11,296.0	10,463.1	21,759.0
Calentadores	3,235.5	2,996.9	6,232.5	3,183.8	2,949.0	6,132.7
Total Fugas	33,879.3	32,176.3	66,055.7	33,337.0	31,661.6	64,998.6

Emisiones por manejo de residuos sólidos.

De los residuos sólidos generados en la ZMVM, solamente el 10% es recuperado y aproximadamente el 90% es colocado en rellenos sanitarios como sitios de disposición final, en el cual y debido a la actividad microbiana, se genera CH₄ y otros gases como producto de la descomposición anaerobia de la basura.

¹⁴Se aplicó la metodología del Programa para la Reducción y Eliminación de Fugas de GLP en las Instalaciones Domésticas de la ZMVM. Agosto 2000, TÜV Rheinland de México.

¹⁵ Al tomar como referencia sólo los precios correspondientes a la región 35, integrada por el D.F, parte del Estado de México e Hidalgo, la Secretaría de Economía determinó que a partir del primer día de diciembre de 2002, un tanque con 10 kilos de gas doméstico costará 60.90 pesos y uno de 20 kilos tendrá un costo de 121.80 pesos, en promedio el costo por kg será de \$6.09.

Tabla 4.2.6 Disposición de Residuos Sólidos Municipales en Rellenos sanitarios

Sitio de disposición	Año de		Cantidad dispuesta [ton/año]
	Apertura	Clausura	
Bordo Poniente Etapa I	1985	1992	3,799,716
Bordo Poniente Etapa II	1988	1993	3,177,366
Bordo Poniente Etapa III	1991	1992	6,601,143
Bordo Poniente Etapa IV	1993	En uso	10,558,205
Santa Catarina	1982	En uso	15,006,750
Prados de la Montaña	1987	1994	5,353,270

Fuente: Dirección Técnica de Desechos Sólidos, 1999.

Aunque solamente Bordo Poniente en su etapa IV y Santa Catarina, son los sitios de disposición final que aun están en uso, también los que ya están clausurados siguen emitiendo cantidades considerables de metano, por lo que en conjunto generan más de 152 mil toneladas de metano. Ver Tabla 4.2.7.

Tabla 4.2.7 Emisiones por disposición de Residuos Sólidos Municipales en rellenos sanitarios

Ubicación	Sitio	Emisiones [ton/año]						
		CO	CO ₂	COV	COT	CH ₄	HCNM	HCT
Álvaro Obregón	Prados de la montaña	19.00	48,270	752.22	18,346	17,590	756	18,346
Nezahualcóyotl	Bordo poniente E1a E4	90.84	230,740	4,192.93	88,304	84,090	4,214	88,304
La Paz	Santa catarina	54.61	138,700	2,162.14	52,733	50,560	2,173	52,733
ZMVM		164.45	417,710	7,107.29	159,383	152,240	7,143	159,383

Fuente: Emisiones estimadas con el programa LANDFILL.

Fuentes de área misceláneas

Amoniaco por fuentes domésticas

Dentro de esta categoría resaltan las emisiones de amoniaco generadas por los desechos humanos y de mascotas (perros y gatos), la transpiración y respiración de las personas, el uso doméstico de amoniaco, consumo de cigarrillos, así como la descomposición del ácido úrico y urea contenidos en el agua residual.

El amoniaco (NH₃), como parte del ciclo del nitrógeno, es uno de los principales contribuyentes de la formación de aerosoles en la atmósfera; por ejemplo, el ión amonio reacciona rápidamente con nitratos, sulfatos o con otros aniones para formar partículas. La estimación de éste compuesto es importante debido a que en la ZMVM se tienen problemas de concentración de partículas (CENR, 2000¹⁶).

Las emisiones de amoniaco individualmente se consideran pequeñas, sin embargo, debido a la gran cantidad de estas fuentes en la ZMVM, el amoniaco generado ascienden a más de 13 mil ton/año y cabe mencionar, que el amoniaco doméstico representa el 78% del total (ver Tabla 4.2.8 y Gráfica 4.2.6).

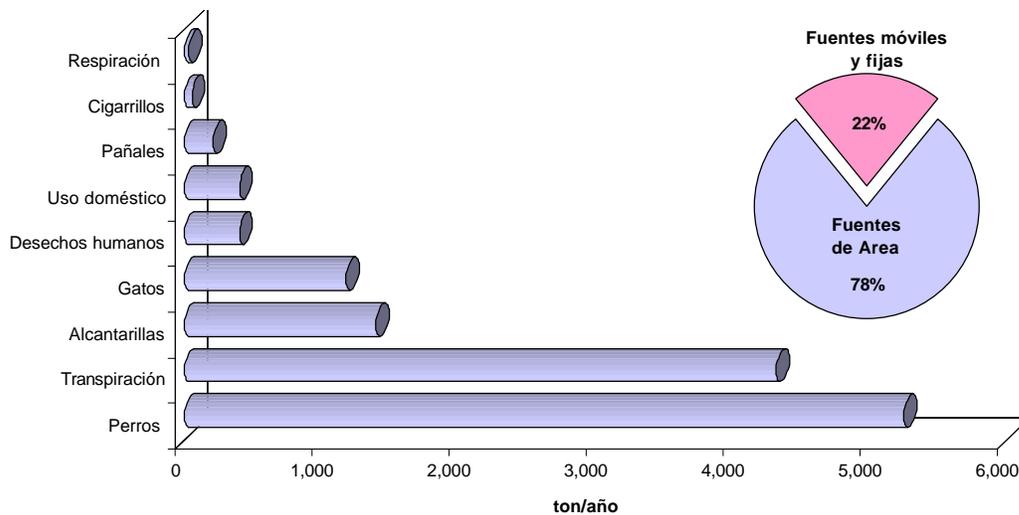
¹⁶ CENR, 2000. Atmospheric Ammonia: Sources and Fate. A Review of Ongoing Federal Research and Future Needs. Air Quality Research Subcommittee Meeting. Prepared by: Air Quality Research Subcommittee.

Tabla 4.2.8 Emisiones de amoniaco en la ZMVM

Tipo de fuente	Emisiones	
	[ton/año]	[%]
Perros	5,249	39.71
Gatos	1,176	8.90
Transpiración humana	4,319	32.68
Respiración humana	29	0.22
Desechos humanos (otros)	397	3.00
Uso doméstico de amoniaco	397	3.00
Pañales (desechables)	206	1.56
Cigarrillos	50	0.38
Alcantarillas	1,394	10.55
Total	13,217	100.00

Las principales emisiones de amoniaco provienen de los desechos de los perros (5,249 ton/año) y otra cantidad importante, proviene de la transpiración de seres humanos (4,319 ton/año).

Gráfica 4.2.6 Contribución de las emisiones domésticas de amoniaco por tipo de fuente



Camino pavimentados y sin pavimentar

Uno de los principales contaminantes emitidos por el tránsito vehicular de la ZMVM, es el material pulverizado que se suspende con el paso de los vehículos por las superficies de caminos pavimentados y no pavimentados. Según la EPA los caminos pavimentados y sin pavimentar, junto con la construcción y la erosión por viento, generan más del 80% de las emisiones de PM₁₀ y más del 75% de PM_{2.5}. En mediciones realizadas durante 1997 y 2002, para conocer la composición química de la atmósfera en la ZMVM, se ha encontrado que aproximadamente el 50% de las PM₁₀ son de origen geológico¹⁷.

¹⁷ Analysis of PM_{2.5} and PM₁₀ in the Atmosphere of México City during 2000-2002 y Chemical composition of PM₁₀ in Mexico City during the winter 1997.

Debido a que el factor de actividad para el cálculo de emisiones por caminos son los kilómetros recorridos, es necesario conocer y/o cuantificar los viajes realizados en la zona. La concentración de la población en las áreas externas de la ciudad ha provocado cambios importantes en los patrones de viaje; mientras que en 1983 los viajes con origen y destino en las delegaciones del Distrito Federal representaban casi el 62%, en 1994 su participación se redujo a menos del 57%, así mismo, los viajes que cruzan el límite del Distrito Federal y el Estado de México (metropolitanos), pasaron en el mismo periodo del 17% a casi el 22%; lo anterior significa más de 4.2 millones de viajes por día (SETRAVI, 2002)¹⁸, principalmente sobre las vialidades primarias y secundarias, con aproximadamente 62,000 millones de kilómetros recorridos¹⁹.

Para el año 2002 se estimó que las emisiones de partículas generadas por caminos pavimentados y no pavimentados en la ZMVM, ascienden a 12,257 toneladas de PM₁₀ y 1,681 de PM_{2.5} (ver Tabla 4.2.9).

Tabla 4.2.9 Emisiones en caminos por tipo de vehículo PM₁₀ y PM_{2.5}

Tipo de Vehículo	Emisiones en caminos [ton año]					
	Pavimentados		No pavimentados		Total	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
Autos particulares	1,227	73	10,046	1,497	11,273	1,570
Taxis	191	10	679	101	870	111
Combis*	10	N/A	N/A	N/A	10	N/A
Microbuses*	14	N/A	N/A	N/A	14	N/A
Pick-up*	30	N/A	N/A	N/A	30	N/A
Camiones < 3 ton*	35	N/A	N/A	N/A	35	N/A
Tractocamiones*	12	N/A	N/A	N/A	12	N/A
Autobuses*	5	N/A	N/A	N/A	5	N/A
Camiones de más 3 ton*	8	N/A	N/A	N/A	8	N/A
Total ZMVM	1,532	83	10,725	1,598	12,257	1,681

*Se asume que todo el recorrido se realiza en caminos pavimentados, debido a que la terracería de localiza en la parte der del suelo de conservación y este tipo de vehículos no circulan en esas áreas

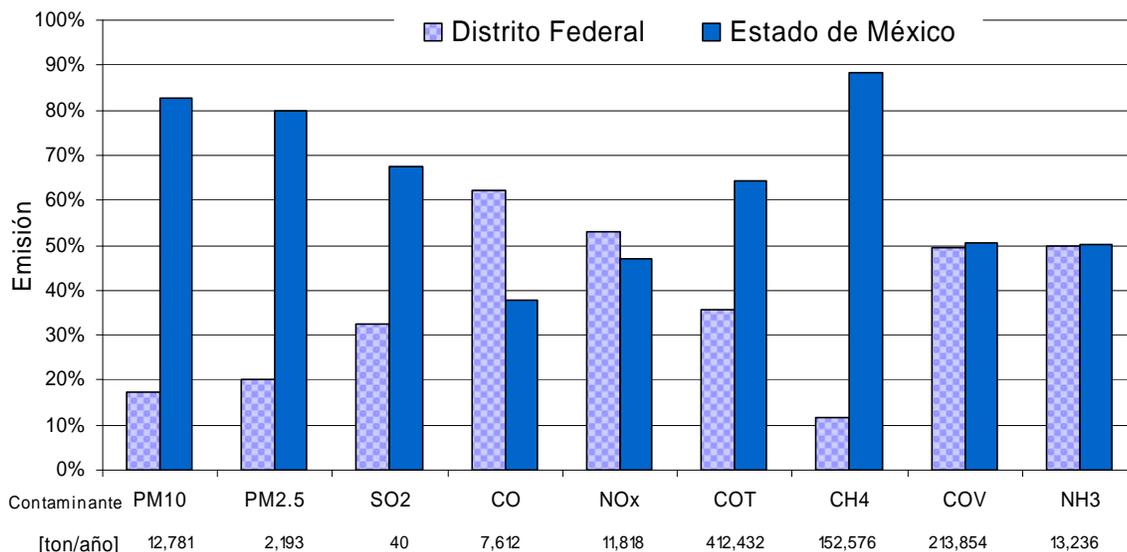
¹⁸ Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006. SETRAVI-GDF

¹⁹ Kilómetros recorridos por vehículo (KRV), estimados por la J.U.D. de Fuentes Móviles de la Secretaría del Medio Ambiente.

4.2.6 Emisiones de las fuentes de área por entidad

Aunque se puedan separar las emisiones por entidad federativa (Gráfica 4.2.7), el análisis para el desarrollo de estrategias de control de emisiones, deberá de realizarse con bases metropolitanas y no sólo por la emisión resultante de cada entidad. Por ejemplo, las emisiones de CO en el Distrito Federal son mayores, pero cabe mencionar que un vehículo se considera del Distrito Federal o del Estado de México, de acuerdo al domicilio con el que se registra y no con los kilómetros que se recorren en cada una de las entidades. Por otro lado, las emisiones de metano en el Estado de México son considerablemente mayores que en el Distrito Federal, debido a que es donde se ubican los rellenos sanitarios, sin embargo, la generación de residuos sólidos (basura) que es la fuente del metano, es similar en ambas entidades.

Gráfica 4.2.7 Emisiones de fuentes de área por entidad y contaminante



4.3 FUENTES MÓVILES

Se consideran como fuentes móviles carreteras a todas aquellas unidades motrices que sirven como medio de transporte. Durante el año 2002, estas fuentes consumieron 291 PJ de energía para impulsarse mediante un proceso de combustión, donde la energía química del combustible se transforma en energía mecánica; esta energía representa el 53% del total que se consumió en la ZMVM²⁰. Dichas unidades se caracterizan por ir de un lugar a otro y por lo tanto contaminan a lo largo de su recorrido. De los diversos contaminantes generados durante este proceso, en el presente inventario se evaluaron los siguientes: PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, CO, NO_x, COT, CH₄, COV y NH₃.

Tabla 4.3.1 Consumo energético de las fuentes móviles por tipo de combustible ZMVM, 2002

Tipo de Combustible	Consumo energético	
	[PJ/año]	[%]
PEMEX Magna	196	68
PEMEX Premium	29	10
PEMEX Diesel	59	20
Gas Licuado a Presión (GLP)	6	2
Gas Natural Comprimido (GNC)	1	N/S
Total	291	100

4.3.1 Metodología de las fuentes móviles

Para estimar las emisiones de las fuentes móviles carreteras se utilizó la metodología establecida en el manual VI "Desarrollo de Inventario de Emisiones de Vehículos Automotores" del Programa de Inventarios de Emisiones para México, realizado por la Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca en 1997. Esta metodología recomienda la utilización de factores de emisión, multiplicados por los datos de actividad, que en el caso de las fuentes móviles son los Kilómetros Recorridos por los Vehículos (KRV).

Los factores que se utilizaron para estimar las emisiones de HC, CO, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} y NH₃, se obtuvieron de diversas fuentes tales como:

- Factores de emisión proporcionados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).
- Modelos MOBILE5-México y MOBILE6-México, desarrollados por la US EPA y modificados para aplicarse en diversas ciudades de la República Mexicana.
- Greenhouse Gas Inventory Reference Manual Vol. 3, desarrollado por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

²⁰ Secretaría del Medio Ambiente GDF/ Dirección General de Gestión Ambiental del Aire/ Dirección de Inventario y Modelación de Emisiones: Balance y distribución de energía asociada a combustibles fósiles en la ZMVM 1990-2003, última actualización 29 de marzo de 2004.

Para estimar las emisiones de SO₂ se utilizó un balance de materiales a partir del consumo de combustible.

La flota vehicular considerada en este inventario también fue obtenida a partir de diferentes fuentes de información, como son:

- Bases de datos del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO) de los años 2001 y 2002 para el Distrito Federal y Estado de México.
- Secretaría de Transportes y Vialidad (SETRAVI).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes del Estado de México.

Los KRV recorridos por cada tipo de vehículo fueron calculados en base a una estimación de los kilómetros recorridos por día, y el número de días que circulan al año reportada en el *Estudio integral de transporte y calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México*, realizado por la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad (COMETRAVI) en 1997 y el *Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2001*, elaborado por la SETRAVI.

En el caso de los autos particulares, la actividad se obtuvo de acuerdo a las lecturas del odómetro reportadas en la base de datos del PVVO correspondiente al primer semestre de 2001 del Distrito Federal. A partir de este análisis fue posible puntualizar la actividad de los autos particulares de acuerdo con el tipo de holograma que otorga dicho programa, relacionándola con el año modelo de los vehículos.

4.3.2 Flota Vehicular

La flota vehicular que se utilizó para evaluar las emisiones del presente inventario, se estimó en cerca de 3.6 millones de vehículos, de los cuales el 68% corresponden a unidades registradas en el Distrito Federal y el 32% restante a unidades registradas en el Estado de México. Ver Tabla 4.3.2.

Tabla 4.3.2 Distribución de la Flota Vehicular Circulante en la ZMVM

Tipo de Vehículo	Número de vehículos			% ZMVM
	Distrito Federal	Estado de México	ZMVM	
Autos particulares ^{1,2,7}	1,791,692	920,570	2,712,262	75
Taxis ^{1,2,3}	103,982	11,992	115,974	3
Combis ^{2,3,4}	3,904	15,581	19,485	N/S
Microbuses ^{2,3,7}	23,041	9,195	32,236	1
Pick Up ^{1,2}	86,348	88,673	175,021	5
Vehículos = 3 Toneladas ^{2,3,7}	230,956	42,440	273,396	8
Tractocamiones ^{2,6}	58,401	17,170	75,571	2
Autobuses ^{2,3,5,6}	26,366	4,317	30,683	1
Vehículos > 3 Toneladas ^{2,7}	22,004	37,221	59,225	2
Motocicletas ^{3,4}	84,418	10,019	94,437	3
Total	2,431,112	1,157,178	3,588,290	100

Fuentes:

- 1.- Consultas a la base de datos del PVVO del año 2001 del Distrito Federal y del Estado de México, DIP/DGGAA/SMA.
- 2.- Consultas a la base de datos del PVVO del año 2002 del Distrito Federal y del Estado de México, DIP/DGGAA/SMA.
- 3.- Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2001, SETRAVI 2002.
- 4.- Dirección de Transporte Terrestre, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Gobierno del Estado de México, 2001.
- 5.- Conformación del Parque Vehicular Operable, Dirección de Operación, Gerencia de Mantenimiento, RTP D.F., enero de 2003
- 6.- Estadística Básica 2002, SCT, Autotransporte Federal de Carga, Pasaje, Turismo y Servicio Privado.
- 7.- Dirección de Instrumentación de Políticas, Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, SMA-GDF.

Es necesario mencionar que hay algunas categorías en las que la flota reportada no está totalmente actualizada al año 2002. El número de taxis, combis, microbuses y autobuses del Distrito Federal serán actualizados en cuanto sea publicado el Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2002. En el Estado de México se utilizó la misma flota que se reporta en el Inventario de Emisiones 2000 para los taxis, combis y motocicletas; ya que en dicha entidad no contó con la información pertinente al cierre de la presente publicación.

Distribución por tipo de Combustible.

Al desglosar la flota por el tipo de combustible que utilizan las unidades que circulan tanto en las 16 delegaciones del Distrito Federal, como en los 18 Municipios del Estado de México considerados dentro de la zona de estudio; se tiene que el 95% corresponden a vehículos que utilizan gasolina como combustible, el 4% son unidades a diesel y los vehículos restantes utilizan principalmente gas licuado de petróleo (GLP), las unidades a gas natural comprimido representan una cantidad no significativa en esta flota como se muestra en la Gráfica 4.3.1 y en la Tabla 4.3.3.

Gráfica 4.3.1 Flota vehicular porcentual de la de la ZMVM por tipo de combustible

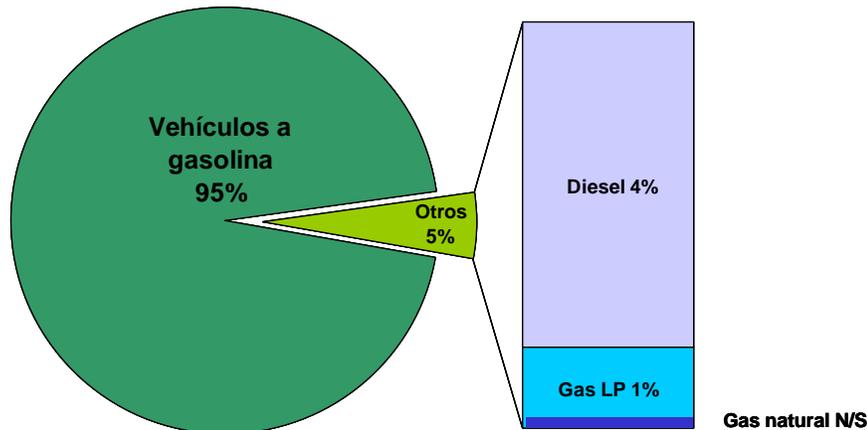


Tabla 4.3.3 Flota Vehicular circulante en la ZMVM por tipo de combustible

Tipo de Vehículo	Número de Vehículos				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos particulares	2,707,418	347	3,751	746	2,712,262
Taxis	115,972	N/A	2	N/A	115,974
Combis	19,485	N/A	N/A	N/A	19,485
Microbuses	24,087	203	7,053	893	32,236
Pick Up	173,422	79	1,310	210	175,021
Vehículos = 3 Toneladas	243,809	19,266	10,307	14	273,396
Tractocamiones	100	75,439	32	N/A	75,571
Autobuses	247	30,393	43	N/A	30,683
Vehículos > 3 Toneladas	41,910	9,098	7,700	517	59,225
Motocicletas	94,437	N/A	N/A	N/A	94,437
Total	3,420,887	134,825	30,198	2,380	3,588,290

N/A No Aplica

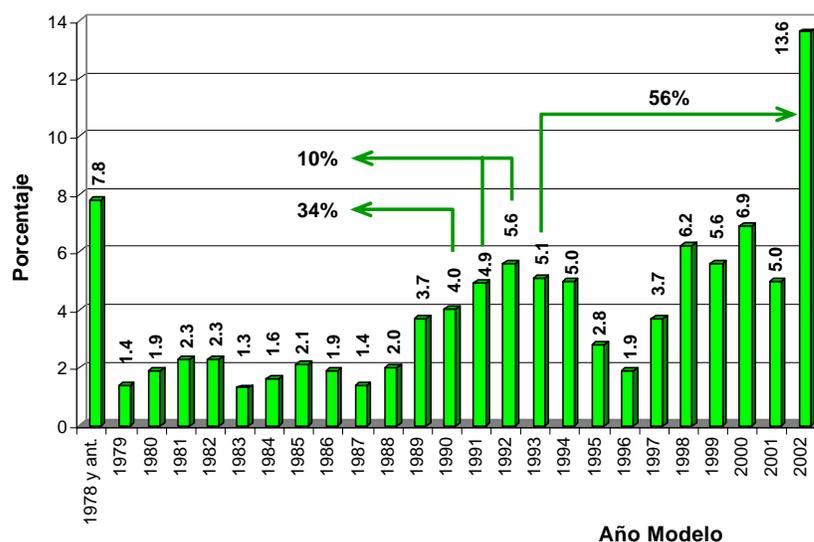
Edad del parque vehicular.

En el cálculo de las emisiones es de gran importancia considerar el año modelo de los vehículos, ya que esto nos permite conocer mejor el volumen de emisiones generados por estrato vehicular y con ello proponer acciones para reducir las emisiones en forma específica. A continuación se tiene la distribución del parque de acuerdo al año modelo para los vehículos que utilizan gasolina. Se observa que alrededor del 34% son modelos 1990 y anteriores, 10% corresponden a los modelos 1991-1992 y 56% corresponden a modelos 1993 y posteriores, los cuales ya cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes.

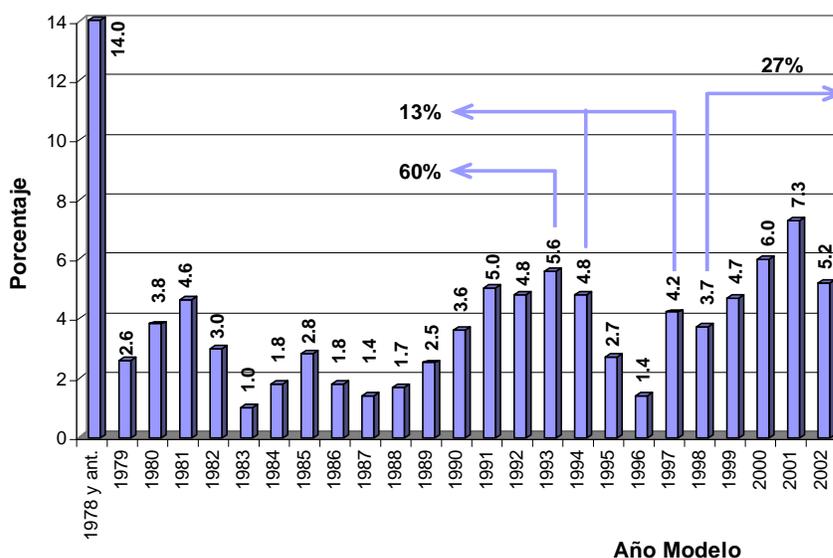
Por lo que respecta a las unidades que utilizan diesel como combustible, haciendo una separación por estratos tecnológicos tenemos que el 60% de las unidades corresponden a unidades anteriores a 1993, el 13% son vehículos modelo de 1994 a 1997 que cuentan con la tecnología EPA 94; y el 27% restante son vehículos modelo 1998 y posteriores, los cuales cuentan con tecnología EPA 98.

En las gráficas 4.3.2 y 4.3.3 se muestran las distribuciones porcentuales por año modelo de los vehículos que utilizan como combustible gasolina y diesel respectivamente.

Gráfica 4.3.2 Porcentaje de vehículos a gasolina por año modelo



Gráfica 4.3.3 Porcentaje de vehículos a diesel por año modelo



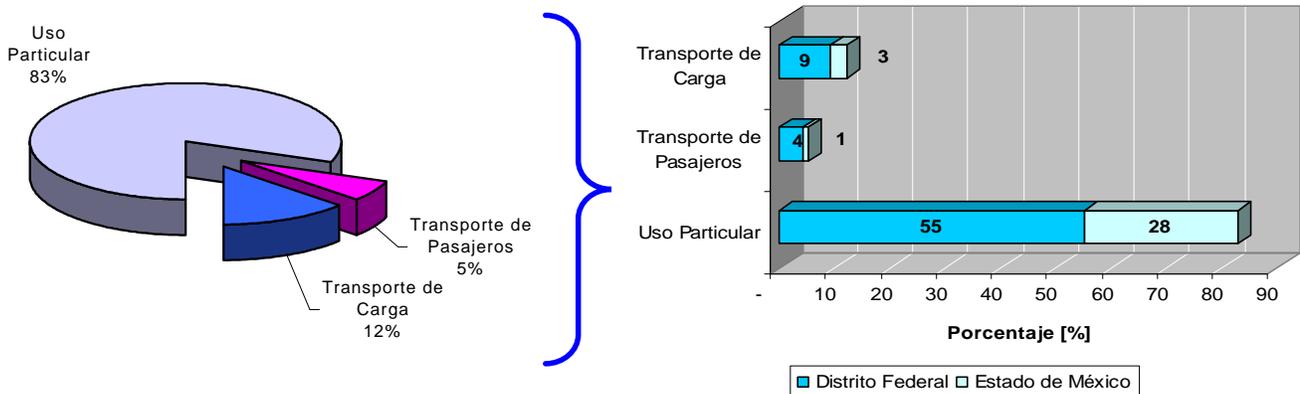
Uso de los Vehículos.

Para conocer la intensidad de uso y el deterioro a que se somete cada una de las unidades vehiculares, es importante hacer una subdivisión de acuerdo al uso que se le da a cada una de éstas. Para ello se agruparon los tipos de vehículo en tres usos, correspondiendo el 83% a vehículos de uso particular, 12% para transporte de carga y 5% para unidades de transporte de pasajeros, tal y como se muestra en la Tabla 4.3.4 y en la Gráfica 4.3.4

Tabla 4.3.4 Tipos de Vehículo de acuerdo con el uso

Uso	Tipo de Vehículo
Uso Particular	Autos Particulares
	Pick Up
	Motocicletas
Transporte de Pasajeros	Taxis
	Combis
	Microbuses
	Autobuses
Transporte de Carga	Vehículos = 3 Ton
	Tractocamiones
	Vehículos > 3 Ton

Gráfica 4.3.4 Distribución de la flota vehicular de la ZMVM de acuerdo al uso



4.3.3 Actividad Vehicular.

La actividad de los vehículos en el inventario de emisiones está representada por los Kilómetros Recorridos por los Vehículos (KRV); los cuales se obtienen del producto de la flota vehicular en circulación y dos indicadores de actividad, éstos indicadores son los kilómetros que circulan durante un día y el número de días que circulan a lo largo del año, lo cual representa la intensidad con la cual se utilizan los vehículos tanto en el Distrito Federal como en el Estado de México.

Para toda la flota vehicular de la ZMVM, con excepción de los taxis, autobuses, motocicletas y vehículos de carga mercantil, el número de kilómetros recorridos varía de acuerdo al tipo de holograma que portan (doble cero, cero, uno y dos), el cual es otorgado a los vehículos dependiendo del año modelo y del nivel de emisiones que presenten.

En la tabla 4.3.5 se tienen los indicadores de actividad que se utilizan para los autos particulares. En el caso de los kilómetros por día, éstos se obtuvieron del análisis de los registros de odómetro contenidos en la base de datos del PVVO; para el número de días que circulan al año, se considera que los vehículos con hologramas 1 y 2 dejan de circular un día a la semana, por lo que en un año dejan de circular 52 días, dando un total de 313 días en circulación por año; para los hologramas cero y doble cero no se tienen ninguna restricción, por lo cual circulan 365 días al año.

Tabla 4.3.5 Datos de actividad para los autos particulares de la ZMVM

Tipo de Holograma	Actividad	
	[Km/día]	[días/año]
Doble Cero	36	365
Cero	36	365
Uno	24	313
Dos	25	313

Fuente: Consultas al Programa de Verificación Vehicular Obligatorio Primer Semestre de 2001.

La tabla 4.3.6 contiene los kilómetros por día y el total de días en circulación que se consideran para el resto de los tipos de vehículos, los cuales se obtienen del análisis de la base de datos del PVVO. La columna *Clasificación Final* representa la clasificación vehicular que se utiliza en el inventario, mientras que la columna *Tipo de Vehículo* representa su equivalente en la base de datos.

Tabla 4.3.6 Actividad de la flota vehicular de la ZMVM de acuerdo con el tipo de holograma

Clasificación Final	Tipo de Vehículo	Km/día	Días/año			
			Doble Cero	Cero	Uno	Dos
Autos Particulares	Autos Particulares de Uso Intensivo	100	365	365	313	313
Pick Up	Pick Up	60	365	365	313	313
	Pick Up de Uso Intensivo	100	365	365	313	313
Microbuses	Microbuses	200	N/A	365	313	313
Tractocamiones	Tractocamiones	60	N/A	365	313	313
Vehículos = 3 Ton	Vehículos = 3 Ton	33	N/A	365	313	313
	Vehículos = 3 Ton de Uso Intensivo	60	N/A	365	313	313
Vehículos > 3 Ton	Vehículos > 3 Ton	33	N/A	365	313	313
	Vehículos > 3 Ton de Uso Intensivo	60	N/A	365	313	313
Combis	Combis de Transporte de Pasajeros	200	N/A	N/A	N/A	313

Fuentes: COMETRAVI, 1997. Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos.

Programa de Verificación Vehicular Obligatorio.

N/A.- No Aplica

En la tabla 4.3.7 se tiene una clasificación similar a la anterior, ésta complementa la flota vehicular de la base de datos del PVVO, con los vehículos obtenidos de otras

fuentes, tales como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y la Secretaría de Transportes y Vialidad, entre otros. En este caso, los días en circulación no se divide por holograma, ya que no están sujetos al PVVO. Para los taxis se estima que en el año 2002 la mayoría de los propietarios abusaban del permiso temporal para llevar al taller sus unidades y trabajaban todos los días.

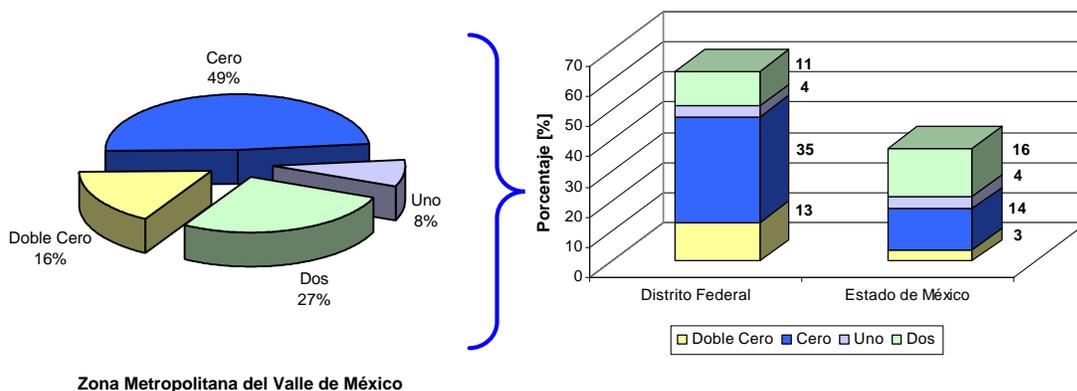
Tabla 4.3.7 Actividad representativa de la flota vehicular que cuenta con un solo tipo de holograma

Clasificación Final	Tipo de Vehículo	Km/día	Días/año
Taxis	Taxis	200	365
Vehículos = 3 Ton	Carga mercantil	60	365
Autobuses	Autotransporte Federal de Carga	60	365
	Servicio Privado de Autotransporte	60	365
	Autobuses Red de Transporte de Pasajeros	174	365
	Autobuses Concesionados	174	365
	Autobuses Sistema de Transportes Eléctricos	245	365
	Autobuses para Discapacitados	165	365
	Autotransporte Federal de Turismo	60	365
	Autotransporte Federal de Pasaje	48	365
Motocicletas	Motocicletas	33	313

Fuentes: COMETRAVI, 1997. Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2000, SETRAVI 2001. Dirección General del Autotransporte Federal, SCT, 2002. Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, 2003.

En las Gráficas 4.3.5 y 4.3.6, se representa la distribución de los KRV empleados para los autos particulares, desagregados de acuerdo con el tipo de holograma otorgado por el PVVO y al año modelo; en ellas se puede observar que los vehículos con holograma doble cero y cero contribuyen con más del 60% de los KRV de toda la ZMVM y están conformados por vehículos de años modelo 1993 y posteriores.

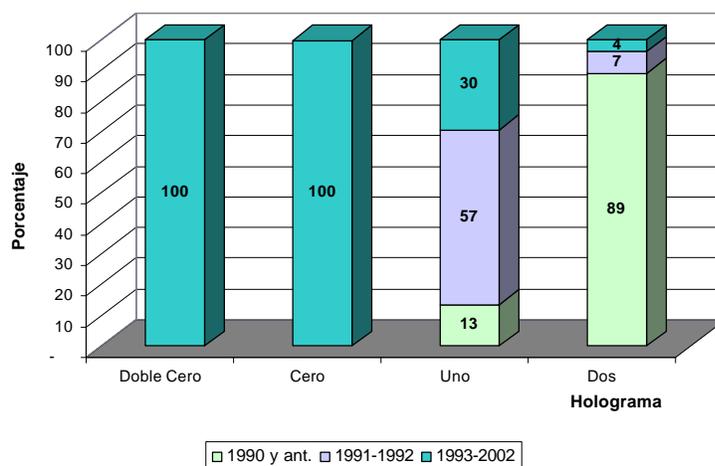
Gráfica 4.3.5 Distribución porcentual de KRV de los autos particulares de acuerdo con el tipo de holograma del PVVO



En lo que respecta a los vehículos con holograma uno y dos, se tiene que contribuyen con el 8% y el 27% de los kilómetros recorridos por los autos particulares

respectivamente, y sólo el 30% y el 4% respectivamente, son modelos 1993 y posteriores.

Gráfica 4.3.6 Distribución de KRV por estrato tecnológico para los autos particulares de acuerdo al holograma



4.3.4 Resultados de las fuentes móviles

Distribución horaria de las emisiones de las fuentes móviles

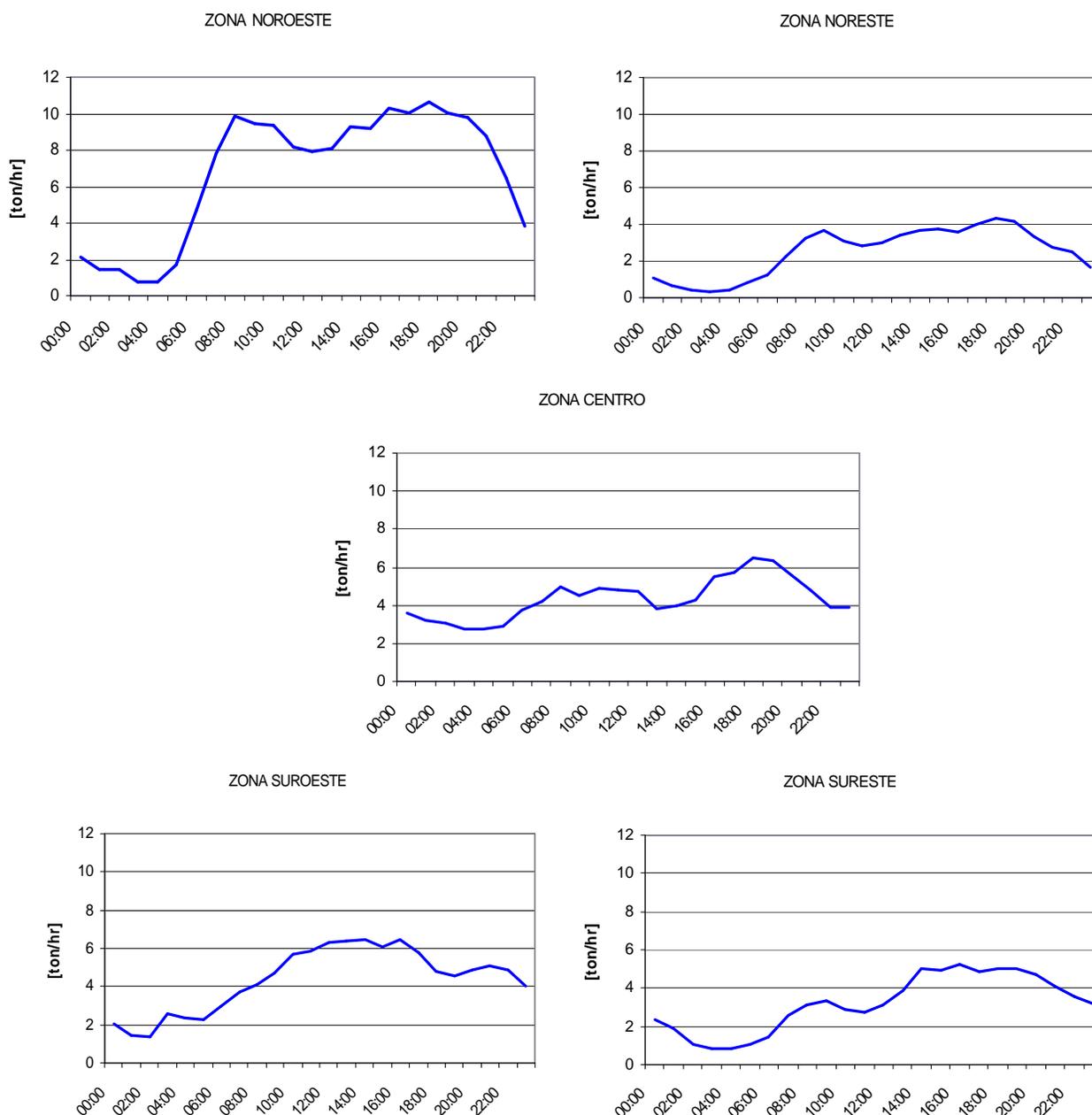
Con el propósito de que el inventario de emisiones sea utilizado para la modelación fotoquímica, se distribuyeron las emisiones de manera temporal, tomando como base el día 2 de abril del 2002, al igual que en los otros sectores inventariados. Para el caso de las fuentes móviles, la Zona Metropolitana del Valle de México se dividió en cinco zonas, de forma similar a las zonas en que se reporta el Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA). De esta manera y tomando como base el Estudio de aforos y velocidades en la red vial primaria del área metropolitana de la Ciudad de México, realizado en el año 2000 para la SETRAVI; se obtuvo un aforo representativo de cada zona.

A continuación se muestra, a manera de ejemplo, el comportamiento de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV); cabe mencionar que para el resto de los contaminantes criterio, el perfil temporal es similar. En la Figura 4.3.1, se aprecian las variaciones del perfil de emisiones de cada zona. Las cinco zonas tienen un comportamiento similar, ya que en todas ellas se presentan dos picos: uno por la mañana y otro por la tarde con un valle intermedio; en la zona Noroeste, la cual tiene los niveles de emisión mayores, el pico matutino se tiene entre la 7:00 y las 9:00 hrs., mientras que el vespertino está entre las 17:00 y las 19:00 hrs.

Para la zona Noreste el pico de la mañana es entre las 8:00 y las 11:00 hrs. y el de la tarde es de 18:00 a 20:00 hrs. En la zona Centro los picos matutino y vespertino se tienen de las 7:00 a las 9:00 y de las 17:00 a las 19:00 hrs. respectivamente.

La zona Suroeste es atípica al resto de las zonas, ya que se tiene un ligero incremento entre las 2:00 y las 5:00 hrs, y un nivel relativamente constante entre las 11:00 y las 17:00. Por último, en la zona Sureste, el pico matutino es de 8:00 a 11:00 hrs y el vespertino es de 15:00 a 17:00 hrs.

Figura 4.3.1 Comportamiento horario de las emisiones de COV por zona



Esto da una idea de los horarios en que existe la mayor cantidad de vehículos circulando: por la mañana cuando las personas se trasladan hacia los centros escolares o de trabajo, y por la tarde cuando regresan a sus hogares.

Emisiones anuales de las fuentes móviles

Las fuentes móviles aportan la mayor parte de las emisiones de toda la ZMVM; esto es debido a la conjunción de diversos factores que influyen en la emisión de contaminantes, tales como el aumento constante del número de vehículos en circulación, la cantidad de combustible que consumen (cerca de 135 mil unidades consumen diesel) y las tecnologías de control incorporadas en los vehículos, por ejemplo, el 34% de los vehículos a gasolina no cuentan con sistemas de control de emisiones y generan el 53% de las emisiones de COV.

En la Tabla 4.3.8 se muestran las emisiones causadas por las fuentes móviles carreteras en la Zona Metropolitana del Valle de México, por contaminante y tipo de vehículo en el año 2002; así mismo, en la Tabla 4.3.9 se presenta su contribución porcentual.

Tabla 4.3.8 Emisiones de las fuentes móviles en la ZMVM, 2002

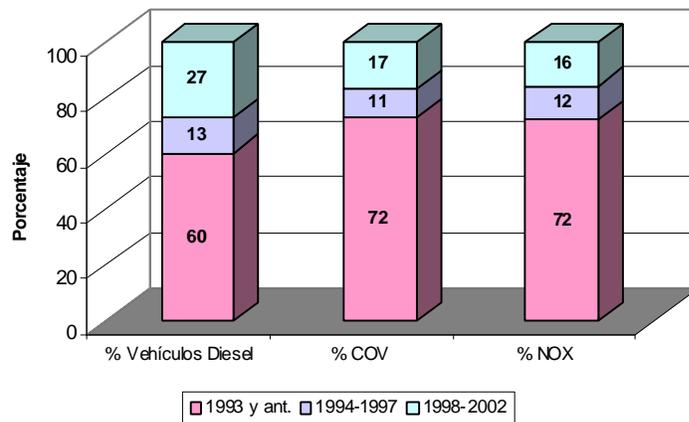
Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Autos Particulares	735	424	2,549	815,092	52,894	84,310	4,149	77,519	2,194
Taxis	159	91	542	184,638	14,931	21,724	1,067	19,974	499
Combis	31	17	108	84,308	3,837	8,165	401	7,507	85
Microbuses	52	33	139	172,336	9,847	19,041	1,360	17,540	91
Pick Up	100	60	310	136,357	11,028	14,078	755	12,968	255
Vehículos = 3 Ton	236	168	434	321,773	23,881	28,522	1,327	26,285	277
Tractocamiones	2,215	1,944	457	21,830	24,422	8,768	357	8,385	27
Autobuses	635	555	199	11,340	9,424	3,482	145	3,324	12
Vehículos > 3 Ton	258	213	128	149,479	5,756	9,926	696	9,084	25
Motocicletas	23	13	63	29,948	291	6,331	308	5,944	7
Total	4,444	3,518	4,929	1,927,101	156,311	204,347	10,565	188,530	3,472

Tabla 4.3.9 Contribución porcentual de las fuentes móviles en la ZMVM, 2002

Tipo de Vehículo	Emisiones [%]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Autos Particulares	16.5	12.1	51.6	42.2	33.7	41.2	39.2	41.1	63.3
Taxis	3.6	2.6	11.0	9.6	9.6	10.6	10.1	10.6	14.4
Combis	0.7	0.5	2.2	4.4	2.5	4.0	3.8	4.0	2.4
Microbuses	1.2	0.9	2.8	8.9	6.3	9.3	12.9	9.3	2.6
Pick Up	2.3	1.7	6.3	7.1	7.1	6.9	7.1	6.9	7.3
Vehículos = 3 Ton	5.3	4.8	8.8	16.7	15.3	14.0	12.6	13.9	8.0
Tractocamiones	49.8	55.1	9.3	1.1	15.6	4.3	3.4	4.4	0.8
Autobuses	14.3	15.8	4.1	0.6	6.0	1.7	1.4	1.8	0.3
Vehículos > 3 Ton	5.8	6.1	2.6	7.8	3.7	4.9	6.6	4.8	0.7
Motocicletas	0.5	0.4	1.3	1.6	0.2	3.1	2.9	3.2	0.2
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

En las tablas anteriores se observa como la mayor cantidad de las emisiones contaminantes por fuentes móviles es aportada por los autos particulares; excepto en el caso de las PM₁₀ y PM_{2.5}, donde los tractocamiones generan el mayor porcentaje de toneladas al año de estos contaminantes (50% y 55% respectivamente).

Gráfica 4.3.7 Contribución porcentual a las emisiones de COV y NOX de los vehículos a diesel por estrato tecnológico



En la Gráfica 4.3.7, se tiene la comparación porcentual entre la emisión de los precursores de ozono (compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno) y el número de vehículos a diesel en circulación estimado para la ZMVM en el año 2002 de acuerdo al año modelo. Se observa que el 60% de los vehículos (años modelo 1993 y anteriores), emite el 72% de los compuestos orgánicos volátiles y de los óxidos de nitrógeno.

Los vehículos años modelo 1994 a 1997 (tecnología EPA 94) representan el 13% de la flota vehicular, los cuales emiten el 11% de los compuestos orgánicos volátiles y el 12% de los óxidos de nitrógeno. Finalmente, los vehículos que corresponden a los años modelo 1998-2002 (tecnología EPA 98) representan el 27% de la flota de vehículos a diesel y aportan el 17% y el 16% de los compuestos orgánicos volátiles y de los óxidos de nitrógeno, respectivamente.

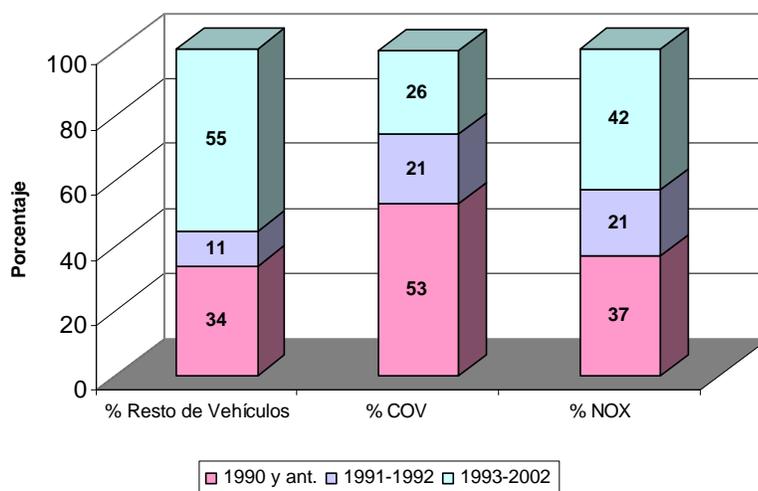
Complementando este análisis, en la Gráfica 4.3.8, se consideró el resto de la flota, es decir, vehículos que utilizan gasolina, GLP o GNC como combustible; también de acuerdo al año modelo correspondiente a los estratos tecnológicos y su correspondiente aporte de emisiones de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno.

En esta gráfica se observa que los vehículos que no cuentan con sistemas para controlar emisiones (años modelo 1990 y anteriores) representan el 34% de los vehículos que utilizan gasolina, gas LP o gas natural comprimido y contribuyen a las emisiones de COV y de NOX con el 53% y el 37% respectivamente; el 11% de los

vehículos corresponde a los años modelo 1991 y 1992 que ya tienen incorporados algunos sistemas de control de emisiones como encendido electrónico y convertidor catalítico de dos vías, los cuales emiten el 21% tanto de compuestos orgánicos volátiles como de óxidos de nitrógeno.

Por último, los vehículos correspondientes a los años modelo 1993 a 2002 (55%), que son los menos contaminantes debido a que están equipados con sistemas de control de emisiones avanzados, tales como convertidor catalítico de tres vías, canister para controlar las emisiones evaporativas, computadoras a bordo y sensores de oxígeno, aportan el 26% de los compuestos orgánicos volátiles es y el 42% de los óxidos de nitrógeno.

Gráfica 4.3.8 Contribución porcentual a las emisiones de COV y NOX de los vehículos a gas LP y gas natural comprimido



4.3.5 Emisiones de las fuentes móviles por entidad federativa

Como ya se ha mencionado anteriormente, lo que consideramos como Zona Metropolitana del Valle de México son todas las delegaciones de Distrito Federal y algunos municipios conurbados del Estado de México; por lo que en la elaboración del presente inventario se obtienen por separado las emisiones de cada una de estas entidades y posteriormente son conjuntadas.

Tabla 4.3.10 Emisiones por las fuentes móviles para el Distrito Federal

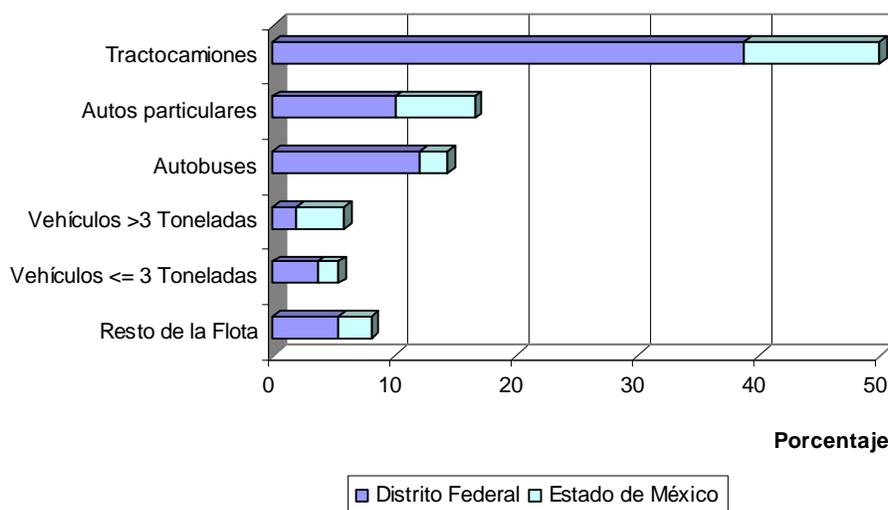
Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Autos Particulares	445	257	1,471	382,196	30,563	41,535	2,047	38,190	1,378
Taxis	143	82	483	156,458	13,436	18,711	919	17,204	454
Combis	6	3	18	16,850	768	1,632	80	1,501	17
Microbuses	32	21	90	115,126	7,194	13,622	1,095	12,548	59
Pick Up	43	26	127	50,709	4,511	5,587	287	5,147	120
Vehículos = 3 Ton	161	106	297	283,161	20,745	24,672	1,151	22,731	246
Tractocamiones	1,718	1,508	269	16,686	18,937	6,783	276	6,488	21
Autobuses	535	468	134	8,275	7,816	2,837	116	2,712	10
Vehículos > 3 Ton	83	69	36	38,581	2,128	2,809	224	2,575	8
Motocicletas	21	12	55	26,253	269	5,426	264	5,094	6
Total	3,187	2,552	2,980	1,094,295	106,367	123,614	6,459	114,190	2,319

Tabla 4.3.11 Emisiones por las fuentes móviles para el Estado de México

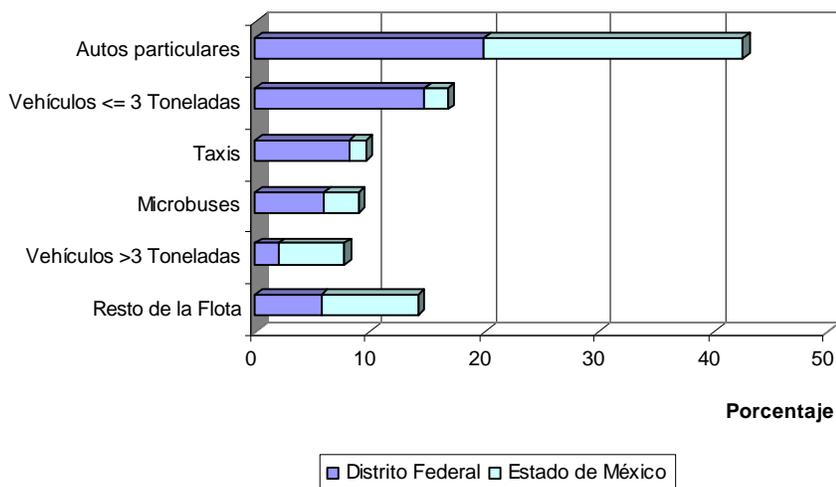
Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Autos Particulares	290	167	1,078	432,896	22,331	42,775	2,102	39,329	816
Taxis	16	9	59	28,180	1,495	3,013	148	2,770	45
Combis	25	14	90	67,458	3,069	6,533	321	6,006	68
Microbuses	20	12	49	57,210	2,653	5,419	265	4,992	32
Pick Up	57	34	183	85,648	6,517	8,491	468	7,821	135
Vehículos = 3 Ton	75	62	137	38,612	3,136	3,850	176	3,554	31
Tractocamiones	497	436	188	5,144	5,485	1,985	81	1,897	6
Autobuses	100	87	65	3,065	1,608	645	29	612	2
Vehículos > 3 Ton	175	144	92	110,898	3,628	7,117	472	6,509	17
Motocicletas	2	1	8	3,695	22	905	44	850	1
Total	1,257	966	1,949	832,806	49,944	80,733	4,106	74,340	1,153

En las siguientes gráficas se muestran las cinco categorías de vehículos que emiten más toneladas de contaminantes al año, y una sexta categoría que representa en conjunto al resto de la flota. También las fracciones pertenecientes al Distrito Federal y al Estado de México. Es importante aclarar que en estas gráficas la categoría correspondiente al resto de la flota representa un porcentaje mayor que alguna de la cinco más contaminantes; esto es el resultado de agrupar en una sola categoría los tipos de vehículo restantes, y por ello la suma de los menos contaminantes puede ser mayor que una o varias de las otras categorías.

En la Gráfica 4.3.9, se tienen los porcentajes de las emisiones de PM₁₀, la cual indica que los tractocamiones aportan prácticamente la mitad de las emisiones de este contaminante, seguido de los autos particulares y los autobuses. También es necesario mencionar que, a excepción de los vehículos mayores de 3 toneladas, en todas las categorías mostradas, la mayor parte de las emisiones corresponden al Distrito Federal por tener un mayor número de vehículos matriculados.

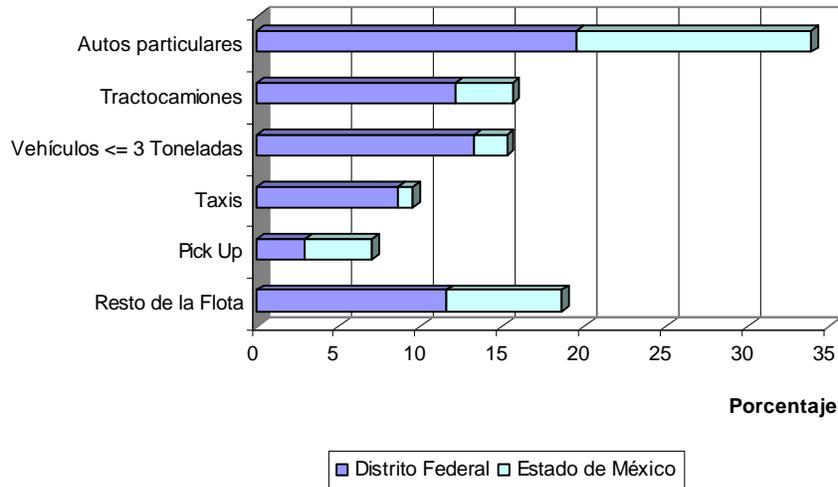
Gráfica 4.3.9 Porcentajes de las emisiones de PM₁₀, de acuerdo al tipo de vehículo

En la Gráfica 4.3.10, se presentan las emisiones de CO donde poco menos de la mitad de este contaminante corresponde a los autos particulares, que es más del doble de lo que emiten los vehículos menores de 3 toneladas. En cuanto a los porcentajes de cada entidad, en el caso de los autos particulares, las emisiones son casi las mismas en las dos entidades; en cambio, en la siguiente categoría la gran mayoría de las emisiones pertenecen al Distrito Federal.

Gráfica 4.3.10 Porcentajes de las emisiones de CO, de acuerdo al tipo de vehículo

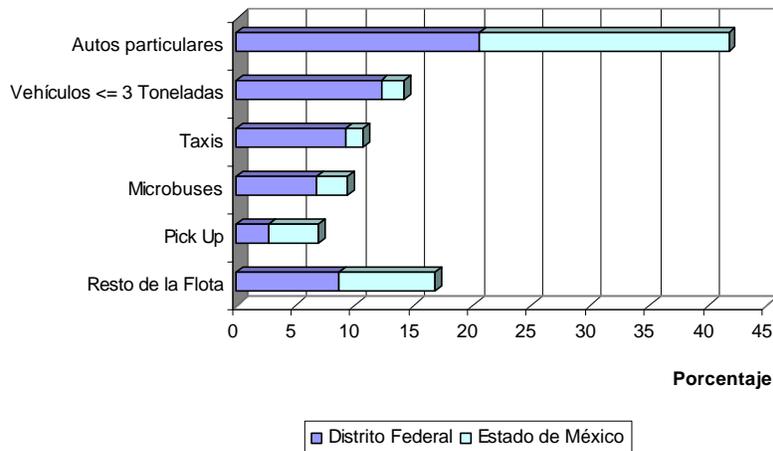
En la Gráfica 4.3.11, observamos que los autos particulares son los que emiten la mayor cantidad de Óxidos de Nitrógeno (34%) en toda la ZMVM, con una contribución ligeramente mayor por parte de las unidades que circulan en el Distrito Federal. A los autos particulares les siguen los tractocamiones y los vehículos menores de 3 toneladas, los cuales emiten casi el mismo porcentaje de NOX, en los que más de dos terceras partes de las emisiones provienen del Distrito Federal.

Gráfica 4.3.11 Porcentajes de las emisiones de NOx, de acuerdo al tipo de vehículo

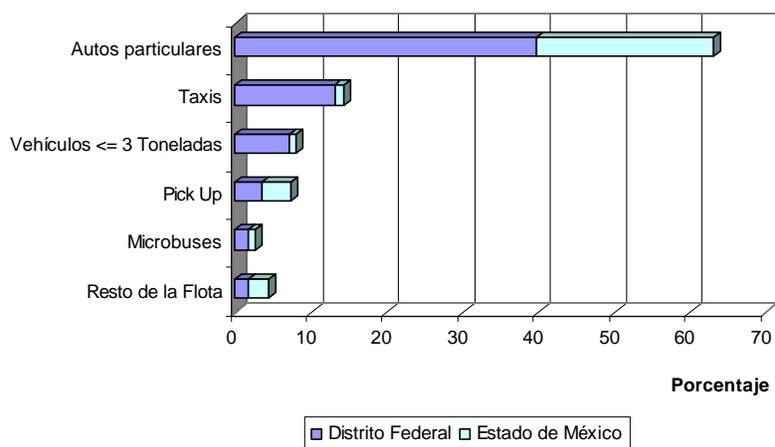


En la gráfica que representa la distribución porcentual de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (Gráfica 4.3.12), se indica que los vehículos que más aportan a estas emisiones son nuevamente los autos particulares (42%), y el porcentaje proveniente del Distrito Federal es casi igual al del Estado de México. Muy por debajo de los particulares están los vehículos menores de 3 toneladas y los taxis, cuyas emisiones son casi en su totalidad generadas en el Distrito Federal.

Gráfica 4.3.12 Porcentajes de emisiones de COV, de acuerdo al tipo de vehículo



Por último, en la Gráfica 4.3.13, se muestran los porcentajes para amoniaco en donde la categoría predominante, son los autos particulares que contribuyen con más del 60% de las emisiones, seguidos de los taxis (14%) y los vehículos menores de 3 toneladas (8%). En estas tres categorías las emisiones son en su mayoría correspondientes al Distrito Federal.

Gráfica 4.3.13 Porcentajes de las emisiones de NH₃, de acuerdo al tipo de vehículo

De estas gráficas podemos concluir que los autos particulares influyen significativamente en las emisiones de todos los contaminantes analizados, a excepción de las partículas menores a 10 micras donde los tractocamiones son los principales emisores.

4.4 FUENTES NATURALES

4.4.1 Vegetación y suelos

La vegetación tiene una influencia positiva en el medio en el que vivimos, ya que además de crear un ambiente estético favorable, por medio de sus procesos metabólicos normales también genera oxígeno²¹ y contribuye a mejorar la calidad del aire, sin embargo, a pesar de éstos beneficios, también se liberan hidrocarburos (principalmente isoprenos y monoterpenos), que junto con los óxidos de nitrógeno que se generan en el suelo por el proceso de nitrificación-desnitrificación de la materia orgánica, son precursores de ozono, el cual es uno de los principales contaminantes que deterioran la calidad del aire de la ZMVM.

La importancia de cuantificar estas emisiones, radica en determinar el grado de participación en la formación del ozono y enfocar las campañas de reforestación mediante la selección de las especies a ser plantadas, con base en sus tasas de emisión de hidrocarburos, seleccionando aquellas que generen compuestos menos reactivos.

Las áreas verdes de la ZMVM, se identifican de acuerdo al uso del suelo donde se encuentran. De los 3,565 km² de superficie que comprende la ZMVM, los principales usos de suelo se distribuyen de la siguiente manera: 41% es agrícola, 34% es urbano y 24% son suelos para uso forestal (Tabla 4.4.1 y Mapa 4.4.1).

Tabla 4.4.1 Uso de suelo en la ZMVM

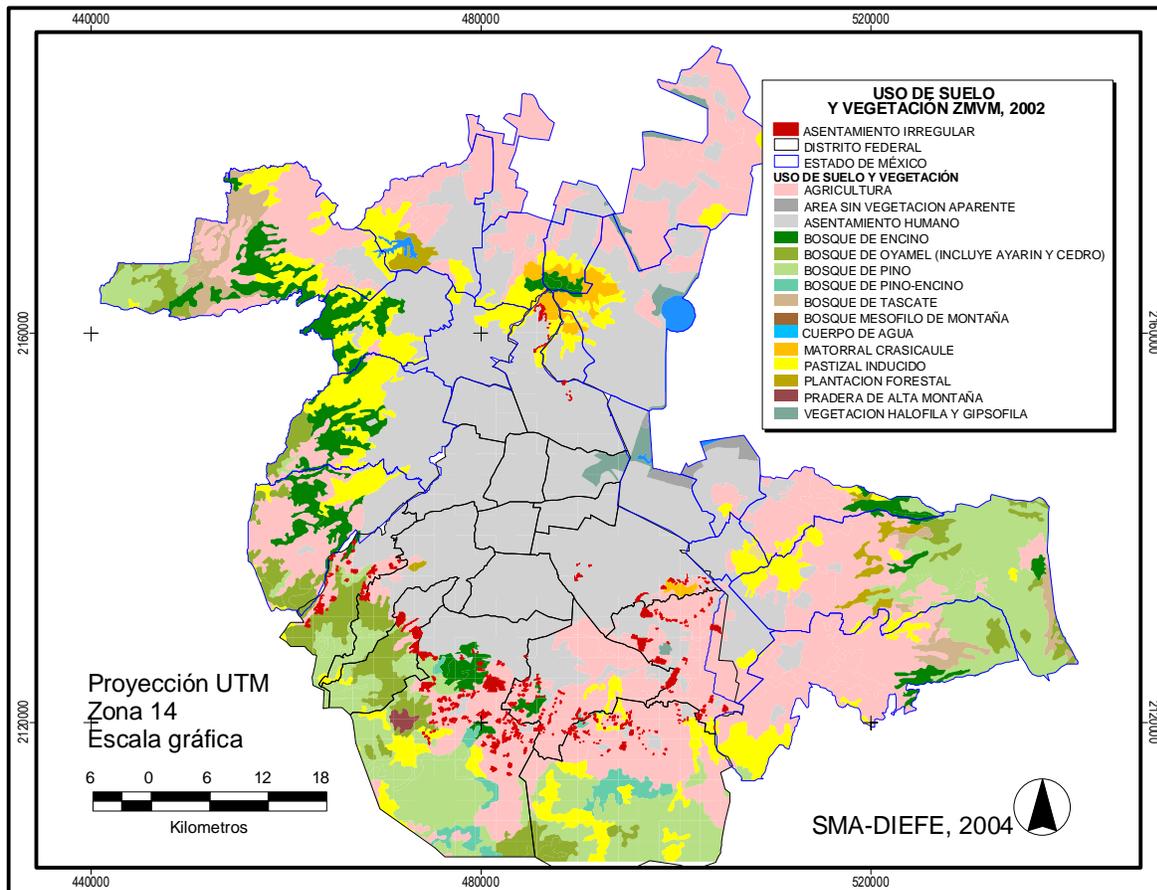
Uso de suelo	Distrito Federal		Estado de México*		ZMVM	
	[Km ²]	%	[Km ²]	%	[Km ²]	%
Agrícola	446	13	1,008	28	1454	41
Forestal	392	11	459	13	851	24
Urbano	638	18	565	16	1203	34
Otros	7	N/S	50	1	57	1
Total	1,483	42	2,082	58	3,565	100

Nota: El uso de suelo "Otros" incluye a los cuerpos de agua, matorral y áreas sin vegetación aparente.

* Solo incluye los 18 municipios conurbados

²¹ Cada día se produce en una hectárea arbolada, el oxígeno suficiente para 52 personas (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1993).

Mapa 4.4.1 Uso de Suelo y vegetación de la ZMVM



Metodología para el cálculo de las emisiones generadas por la vegetación y suelos

El cálculo de las emisiones se desarrolló con base en el *Programa para Inventario de Emisiones para México*, Manual VII “Desarrollo del Inventario de Recursos Naturales” (ERG, 2002²²).

El modelo utilizado para la estimación de las emisiones biogénicas fue el GloBEIS 3²³, por sus siglas en inglés Global Biosphere Emissions and Interaction System, el cual fue desarrollado por el Centro Nacional para Investigaciones Atmosféricas (NCAR), para la Comisión de Conservación de Recursos Naturales de Texas (TNRCC) (Yarwood et al, 2002 en ERG, 2002). Este modelo incorpora las ecuaciones y estudios más recientes para calcular emisiones biogénicas, y además permite el ingreso de una mayor cantidad de datos para cambiar las entradas del modelo con información de la ZMVM, así como generar emisiones para múltiples pares de coordenadas (latitud/longitud) de varios días.

²² Eastern Research Group, Inc.

²³ Recomendado por Eastern Research Group, Inc. (2002), en el documento de “Evaluación del Inventario de emisiones de la ZMVM, 1998”.

Para la estimación de emisiones se requiere de tres tipos de información:

1.- Uso de suelo, donde se define el área de estudio o dominio en Km², se clasifica el uso del suelo en cuatro tipos de uso, forestal, urbano, agrícola y otros. Se distribuyen las superficies de cada uso de suelo por especie vegetal dominante de acuerdo a la clasificación que incluye el GloBEIS.

2.- Meteorología, de los datos horarios del día a modelar de temperatura y radiación "PAR" por sus siglas en inglés, (Photosynthetically Activated Radiation²⁴); en éste inventario se modeló un día representativo de cada temporada climatológica del área de estudio: seca fría-febrero 15, seca cálida-abril 2 y lluvias-agosto 17.

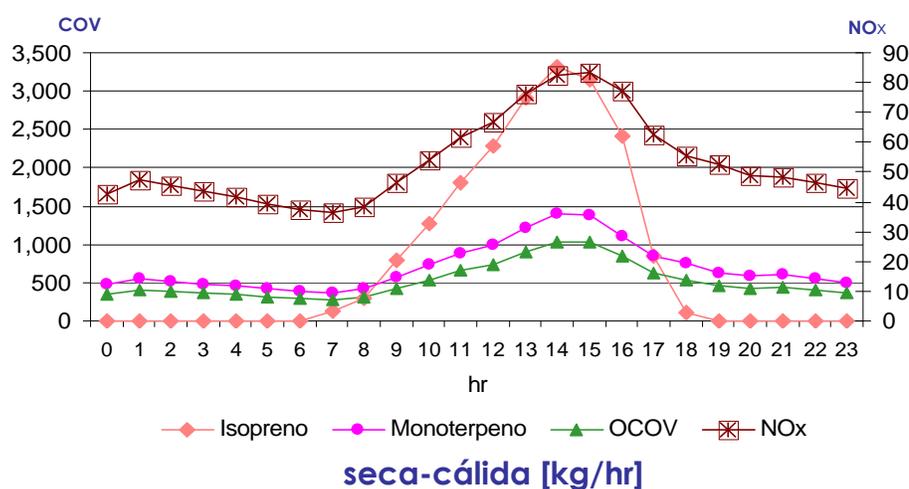
3.- Factores de emisión por especie vegetal o categoría, que para éste caso, se utilizaron los que se incluyen en el GloBEIS.

Resultados de las emisiones generadas por la vegetación y suelos

Emisiones horarias de la vegetación y suelos

En la Zona Metropolitana del Valle de México, diariamente se emiten aproximadamente 49 toneladas de COV generados por la vegetación y poco más de 1 tonelada de óxidos de nitrógeno, como resultado de los procesos bioquímicos del suelo. Con el fin de mostrar la distribución horaria de las emisiones, la gráfica 4.4.1 muestra las emisiones correspondientes al 2 de abril, el cual fue el día representativo de la temporada seca-cálida.

Gráfica 4.4.1 Emisiones biogénicas horarias generadas durante la temporada



OCOV = Otros compuestos orgánicos volátiles

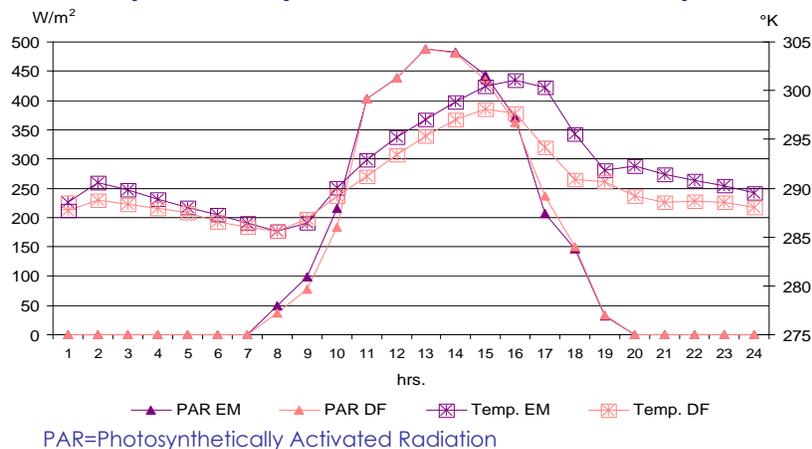
²⁴ La radiación solar en la parte del espectro visible de 400 a 700 nm es conocida como PAR y la fracción de onda corta (de 200 a 400 nm) es la utilizada para la fotosíntesis de las plantas (Pinker *et al.*, 1992 en Kirk Baker, 2001).

En forma general, las emisiones de COV y NOx siguen un comportamiento similar al de la temperatura a través del día, aún cuando se ha comprobado que las emisiones de isopreno están más relacionadas al incremento de radiación, incluso cuando el comportamiento de los contaminantes es similar al de la temperatura y radiación, los picos de las emisiones no siempre coinciden con los valores más altos de éstas.

En particular, para el caso del isopreno, algunos autores sugieren que este comportamiento se debe a que la producción de dicho hidrocarburo, es para incrementar la tolerancia térmica de la planta y que existe cierto límite de radiación que puede soportar la hoja, después del cual, ésta sufre cierto daño y deja de incrementar sus emisiones (Sharkey y Singaas, 1995; en Benjamín, *et al*, 1995).

Debido a que las emisiones horarias de estos compuestos siguen un comportamiento similar al de la temperatura y el PAR (Gráfica 4.4.2), tenemos que los COV presentan las mayores emisiones en horas de elevada radiación y temperatura las cuales oscilan entre las 13:00 y 15:00 horas del día. Es conveniente aclarar que las temperaturas mayores, no siempre corresponden a las horas de mayor radiación, ya que la temperatura también se ve influenciada por otras variables ambientales como la humedad y el viento de la zona, por mencionar algunas.

Gráfica 4.4.2 Temperatura y PAR del Distrito Federal y Estado de México



Emisiones anuales de la vegetación y suelos por entidad

Distrito Federal

Se tiene que de las 5,764 toneladas anuales que se estimó, se emiten en el DF, el principal contaminante es el monoterpeno con 2,922 toneladas anuales, lo cual representa el 51% de las emisiones de los COV del DF y siguen en orden de importancia, los OCOV contribuyendo con 1,974 toneladas anuales (34% de los COV) (Tabla 4.4.2).

Tabla 4.4.2 Emisiones biogénicas del Distrito Federal [ton/año]

Temporada	Isopreno	Monoterpeno	OCOV	Total COV	NOx
Seca-Fría	179	865	594	1,638	52
Lluvias	441	1,351	904	2,696	202
Seca-c�alida	248	706	476	1,430	42
Total	868	2,922	1,974	5,764	296

Total de COV = COT

OCOV=Otros compuestos orgánicos volátiles

De total de COV que se genera en el Distrito Federal, aproximadamente el 60% se generan en las delegaciones de Tlalpan y Milpa Alta, donde el principal compuesto que se emite es el monoterpeno; generado principalmente por especies forestales como el pino. Otras delegaciones que siguen en importancia de emisión son, La Magdalena Contreras y  lvaro Obregón, contribuyendo en conjunto con un 23% a las emisiones de COV.

Estado de México

Las emisiones de COV generadas en el Estado de México ascienden a 10,880 toneladas anuales, las principales emisiones corresponden al isopreno con 5,152 ton/año y el monoterpeno con 3,188 ton/año, los cuales representan el 47% y el 29% del total en el Estado de México, respectivamente (Tabla 4.4.3).

Tabla 4.4.3 Emisiones biogénicas del Estado de México [ton/año]

Temporada	Isopreno	Monoterpeno	OCOV	Total COV	NOx
Seca-Fría	976	870	699	2,545	86
Lluvias	2,647	1,473	1,169	5,289	132
Seca-c�alida	1,529	845	672	3,046	76
Total	5,152	3,188	2,540	10,880	294

Total de COV = COT

OCOV=Otros compuestos orgánicos volátiles

Las mayores emisiones de monoterpeno se tienen en los municipios de Iztapaluca y Chalco, debidas principalmente a las áreas de pino que existen en la zona y en menor proporción a algunas zonas de coníferas. Algunos municipios que son importantes por sus emisiones de isopreno son: Nicolás Romero, Atizapán de Zaragoza y Huixquilic n, generadas principalmente en las áreas de encino y en general por las zonas forestales.

Zona Metropolitana del Valle de México

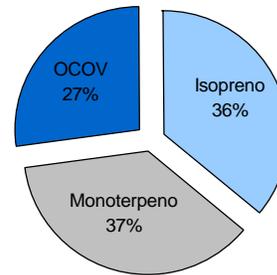
Las emisiones anuales de COV generados por las fuentes biogénicas en la ZMVM, ascienden a 16,644 toneladas y las de los óxidos de nitrógeno a 590 toneladas. El isopreno y monoterpeno son los que más se emiten y representan el 36% y 37% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, respectivamente (ver Figura siguiente).

Figura 4.4.1 Emisiones biogénicas y porcentaje de emisión por tipo de COV en la ZMVM

Temporada	Isopreno	Monoterpeno	OCOV	Total COV	NOx
Seca-Fría	1,155	1,735	1,293	4,183	138
Lluvias	3,088	2,824	2,073	7,985	334
Seca-cálida	1,777	1,551	1,148	4,476	118
Total	6,020	6,110	4,514	16,644	590

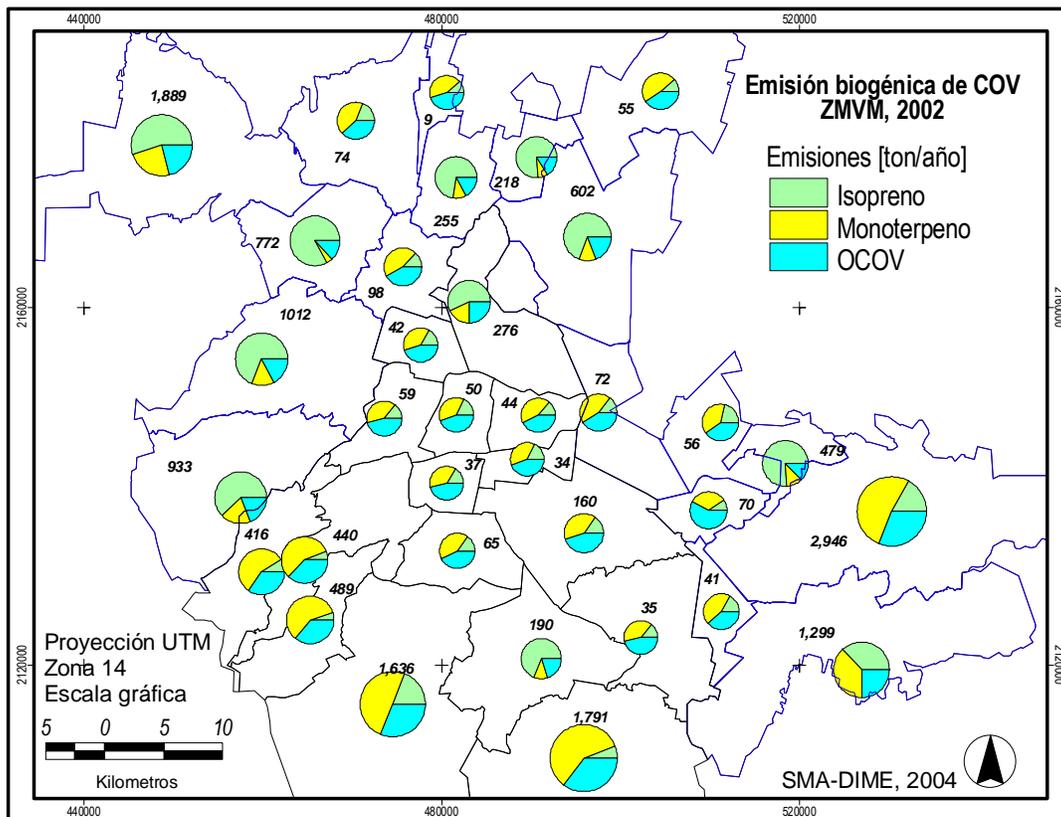
Total de COV = COT

OCOV=Otros compuestos orgánicos volátiles



Debido a que los COV son los compuestos más elevados de las emisiones biogénicas, en el Mapa 4.4.2, se muestran las emisiones por municipio y delegación en toneladas por año, así como la contribución de isopreno, monoterpeno y otros compuestos orgánicos volátiles en cada uno de ellos.

Mapa 4.4.2 Emisiones de hidrocarburos biogénicos de la ZMVM [ton/año]



Con respecto a las emisiones generadas por la vegetación de la ZMVM, el Distrito Federal contribuye con el 35% de los COV y el 65% restante lo generan los municipios conurbados del Estado de México. En el mapa anterior se pueden observar que las zonas forestales son las de mayor emisión de COV

4.4.2 Erosión eólica del suelo

El desequilibrio hidrológico de la cuenca del Valle de México se originó sobre todo por el deterioro causado por las actividades antropogénicas, como son, quemas y prácticas agrícolas, la devastación de bosques y cambios de uso de suelo, entre los principales (SMA-Universidad de Chapingo, 2000²⁵).

Esto llevó a la alteración del régimen hidrológico que ha ocasionado la remoción de los suelos, haciendo a esta zona cada vez más susceptible a la erosión. Aunado a esto, los vientos convectivos que existen en la cuenca y que se producen durante las horas más calientes del día, provocan remolinos que se levantan a gran altura, llevando a la suspensión grandes cantidades de polvo, principalmente en época de secas.

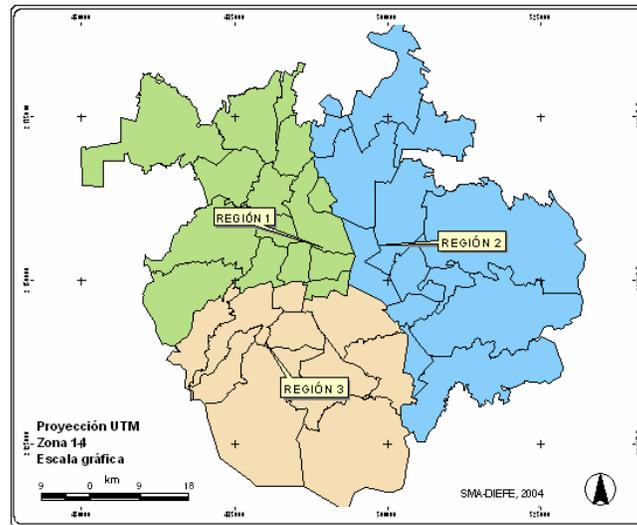
Para la estimación de partículas por erosión eólica, se utilizaron las áreas susceptibles²⁶, dividiendo a la ZMVM en tres regiones, para obtener condiciones meteorológicas específicas de las mismas; ver la siguiente lista y el Mapa 4.4.3, donde se muestran los municipios y delegaciones de cada región.

REGIÓN 1	REGIÓN 2	REGIÓN 3
Atizapán de Zaragoza	Acolman	Álvaro Obregón
Azcapotzalco	Atenco	Cuajimalpa de Morelos
Cuautitlán	Coacalco	Iztapalapa
Cuautitlán Izcalli	Chalco	La Magdalena Contreras
Gustavo A. Madero	Chicoloapan	Milpa Alta
Huixquilucan	Chimalhuacán	Tláhuac
Miguel Hidalgo	Ecatepec	Tlalpan
Naucalpan de Juárez	Ixtapaluca	Xochimilco
Nicolás Romero	La Paz	
Tlalnepantla de Baz	Nezahualcóyotl	
Tultitlán		
Venustiano Carranza		

²⁵ Bases para el manejo Ambiental de la Zona Oriente del Valle de México. Diagnóstico y Evaluación de Riesgo de la Erosión Cólica en la Ciudad del Valle de México y Áreas Adyacentes.

²⁶ El cálculo de las emisiones incluye a los municipios de Acolman, Atenco y Texcoco que aunque no forman parte de la zona de estudio, están cerca de la ZMVM y poseen amplias superficies susceptibles de erosión.

Mapa 4.4.3 Regiones para el cálculo de emisiones por erosión eólica



Las emisiones de PM_{10} generadas por la erosión de suelos se calcularon con base en el Programa de Inventario de Emisiones para México (Radian International, 1997), con la ecuación modificada de erosionabilidad del suelo, desarrollada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés).

En lo que se refiere a las $PM_{2.5}$, se estimaron con base en el perfil de especiación de material particulado propuesto por CEIDARS²⁷, donde se considera que las $PM_{2.5}$ representan aproximadamente el 11% de las partículas suspendidas totales (PST).

Los usos de suelo predominantes se clasifican en: bosques, pastizales, matorrales, agricultura y área urbana (INEGI, 2001²⁸). Los suelos dominantes son: Litosol, Andosol, Regosol, Vertisol, Feozem y Solonchac, dichos tipos de suelo presentan en general una textura de media a gruesa, compuesta de aproximadamente 50% de arena y en menor proporción limo y arcilla (GDF-Universidad de Chapingo, 2000¹⁹).

Los datos meteorológicos (temperatura y viento) para el cálculo por región, fueron tomados de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y los valores de precipitación fueron proporcionados por la Dirección General Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), para el año 2002.

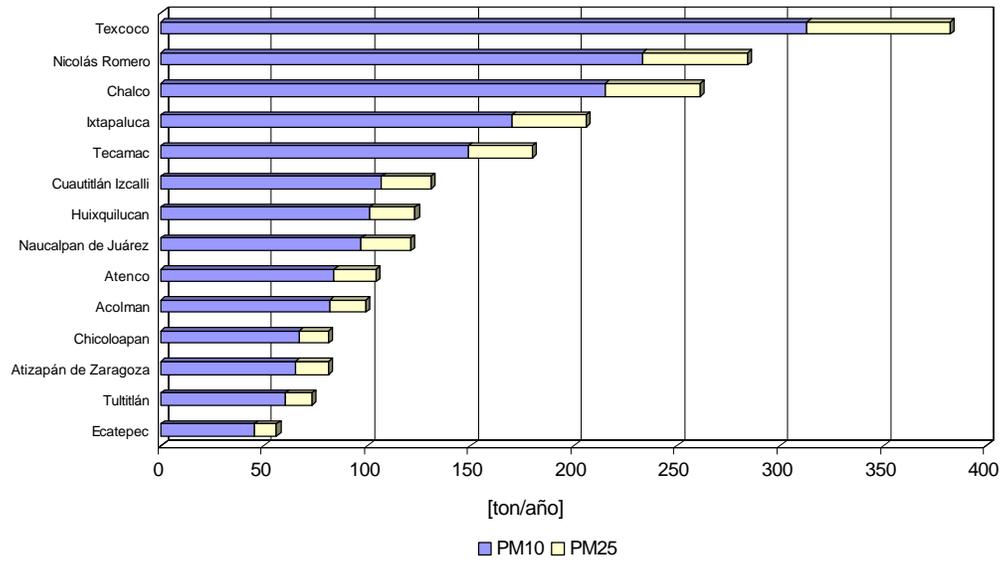
La superficie considerada como susceptible de erosión eólica en la Zona Metropolitana del Valle de México, es de 193,609 hectáreas (ha), correspondiéndole 48,938 ha al Distrito Federal y 144,671 ha al Estado de México.

En total en la ZMVM se generan en promedio 2,071 ton/año de PM_{10} (456 son $PM_{2.5}$) por erosión eólica, siendo en los municipios de Texcoco, Nicolás Romero, Chalco e Iztapaluca, donde se genera el 45% de esta cantidad (Gráfica 4.4.3).

²⁷ California Emission Inventory And Reporting System (CEIDARS). Particulate Matter (PM) Speciation Profiles. Summary of overall size fractions and reference documentation.

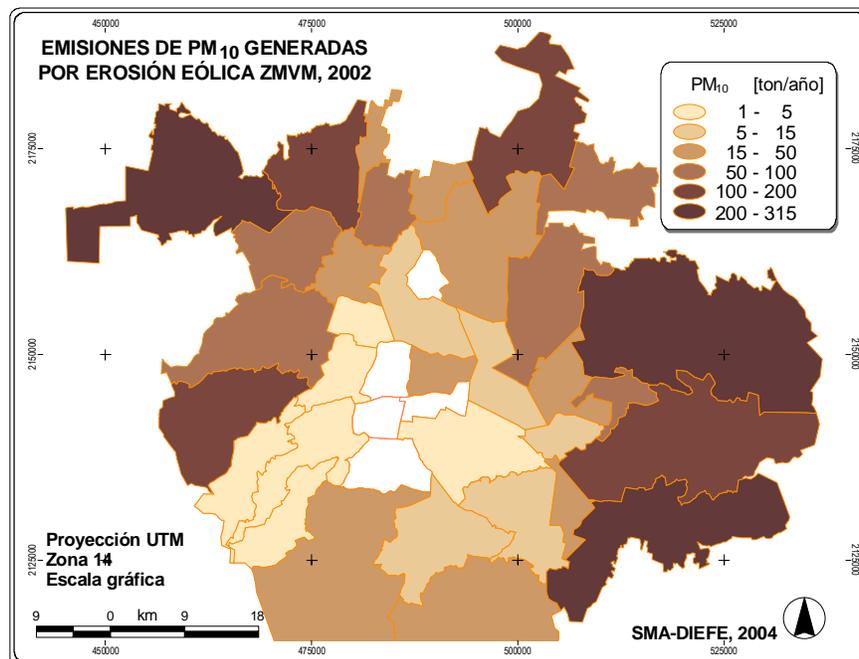
²⁸ Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2000.

Gráfica 4.4.3 Principales emisores de partículas



La contribución de PM₁₀, por delegación y municipio que presentan áreas susceptibles a ser erosionadas, se muestran en el Mapa 4.4.4, y como se mencionó, los municipios de mayor emisión son Texcoco y Nicolás Romero y Chalco, con emisiones de más de 200 toneladas anuales, siguiendo en importancia Ixtapaluca, Tecamac y Cuatitlán Izcalli, con emisiones que van de 100 a 200 toneladas al año.

Mapa 4.4.4 Distribución de emisiones de partículas ZMVM, 2002



4.5 GASES EFECTO INVERNADERO

De acuerdo con las predicciones climáticas del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change por sus siglas en inglés), de continuar el crecimiento en las emisiones y concentraciones atmosféricas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), la temperatura de la atmósfera terrestre podría elevarse entre 1.5 y 3.5 grados centígrados a lo largo del próximo siglo. Como causa de este aumento en la temperatura, el nivel medio del mar podría elevarse entre 50 y 150 centímetros y se generarían cambios en los patrones climáticos, con posibles efectos catastróficos en diversas zonas del planeta. Algunos científicos afirman que los recientes acontecimientos de aumento de precipitación pluvial y mayor intensidad y número de huracanes, son parte de los efectos del cambio climático. Por lo anterior, es de suma importancia y entre otras acciones, dar seguimiento a la generación de gases de efecto invernadero y continuar con el desarrollo de inventarios de emisiones de estos contaminantes.

De acuerdo con el IPCC los principales gases de efecto invernadero a considerar son: bióxido de carbono, (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). La importancia relativa de estos gases, es debida a su potencial de calentamiento de la atmósfera; esto es el efecto integrado de calentamiento, producido por un kilogramo del gas en cuestión, con referencia al CO_2 , por lo tanto se expresa en Tg de CO_2 equivalente. En la Tabla 4.5.1 se presenta el potencial de calentamiento de los principales GEI.

Tabla 4.5.1 Potencial de calentamiento de GEI a 100 años [Tg CO_2 Eq.]

Gas	Potencial de calentamiento
Bióxido de carbono	1
Metano	21
Óxido nitroso	310

IPCC, 1996 en EPA, 2003²⁹

Con el objeto de ampliar el inventario de emisiones, en las secciones anteriores se estimó la emisión de metano (CH_4), sin embargo, las emisiones de CO_2 se reportan en cuatro grandes categorías: transporte, industria, residencial/comercial y servicios; esto debido a que se estimaron con base en la metodología del estudio "Inventario de Emisiones de Gases Efecto Invernadero Asociados a la Producción y Uso de la Energía en la ZMVM"³⁰, el cual utiliza los factores de emisión del IPCC.

Los resultados de este capítulo presentan las emisiones de CO_2 que se generaron en la ZMVM, debidas al consumo de combustibles fósiles y ligadas a las actividades antropogénicas de esta metrópoli, utilizándose el balance de energía de la ZMVM (capítulo 2 del presente Inventario).

²⁹ EPA, 2003. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2001

³⁰ Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Asociados a la Producción y Uso de la Energía en la Zona Metropolitana del Valle de México. Reporte del Grupo de Energía y Ambiente del Instituto de Ingeniería, UNAM para la Comisión Ambiental Metropolitana; Septiembre, 2000.

La siguiente ecuación representa el cálculo de estimación de emisiones de CO₂ generados durante el proceso de combustión de combustibles fósiles.

$$ET_i = \sum_j \sum_k A_{kjm} * F_{jikm}$$

Donde:

ET_i = Emisión total del GEI (i), [kg/año]

A_{kjm} = Actividad energética del sector (j) utilizando la tecnología (m) para el combustible (k) [TJ/año]

F_{jikm} = Factor de emisión del gas (i) asociada a la actividad (j) utilizando la tecnología [m] y el combustible (k), [kg/TJ]

La tabla 4.5.2 presenta la Distribución de energía, los factores de emisión y las emisiones de CO₂ estimadas, por cada uno de los tipos de combustible y sector

Tabla 4.5.1.2 Distribución de energía, factores de emisión y Emisiones de CO₂ por tipo de combustible y sector

Tipo de combustible por sector	Energía consumida ¹ [TJ/año]	Factor de emisión ² [kg/TJ]	Emisiones de CO ₂ [ton/año]
Transporte	291,051		20,400,593
Gasolina Premium	28,670	69,300	1,986,830
Gasolina Magna	196,522	69,300	13,618,988
PEMEX Diesel	58,688	74,070	4,347,039
Gas Natural	649	56,100	36,388
Gas LP	6,522	63,070	411,348
Industria	204,742		11,779,732
Diesel Industrial bajo Azufre	9,565	74,067	708,460
Gas Natural	177,691	56,100	9,968,493
Gas LP	17,486	63,070	1,102,779
Residencial/Comercial	38,399		2,393,157
Gas Natural	4,097	56,100	229,821
Gas LP	34,302	63,067	2,163,336
Servicios	14,887		930,644
Gasóleo Doméstico	14	74,067	1,003
Gas Natural	1,195	56,100	67,031
Gas LP	13,678	63,067	862,610
Total	549,079		35,504,126

TJ = 10¹² joules

PJ = 10¹⁵ joules

Fuente: 1) Elaborada con datos de PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 2002; PEMEX Refinación, 2002; y Secretaría de Energía, 2002.

2) IPCC: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Workbook, volume 2. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5a.htm>), Reference Manual, Volume 3

<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6a.htm> / asumiendo que los quemadores se encuentran sin equipo de control.

Adicionalmente se anexa la generación de CO₂ estimada con el modelo Landfill US-EPA, correspondiente a la degradación de los residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios ubicados dentro del área de estudio.

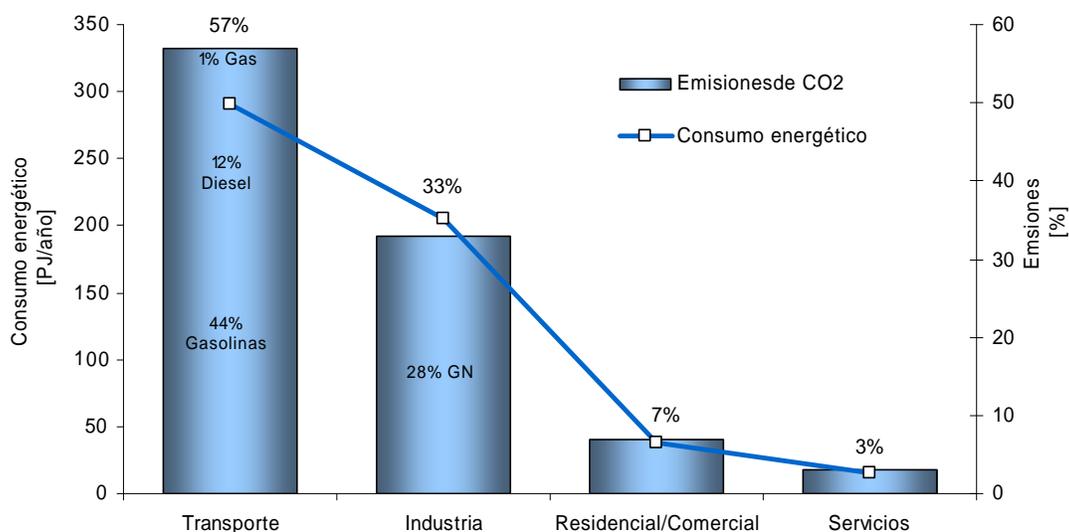
Tabla 4.5.3 Emisiones de CO₂ en Rellenos sanitarios de la ZMVM

Relleno sanitario	Emisiones de CO ₂ [ton/año]
Prados de la Montaña	48,270
Bordo Poniente	230,740
Santa Catarina	138,700
Total	417,710

Por lo tanto las emisiones totales de CO₂ en la Zona Metropolitana del Valle de México ascienden a 35.9 millones de toneladas por año, el 99% por el proceso de combustión de combustibles fósiles y el 1% por el proceso de degradación de residuos sólidos municipales.

Debido a que las emisiones de CO₂, son directamente proporcionales al consumo de combustible, en la gráfica 4.5.1 se muestra el consumo energético por cada uno de los sectores estimados, así como su emisión de CO₂. El sector transporte es el mayor emisor contribuyendo con el 57% del CO₂, siendo la combustión de gasolina la que genera la mayor emisión (44%); el sector industrial representa el 33% de las emisiones destacando por la combustión de Gas Natural (28%); por último se tiene que los el sectores, residencial/comercial y de servicios emiten el 10% restante.

Gráfica 4.5.1 Consumo energético y emisiones de CO₂ por sector en la ZMVM, 2002



5. EVOLUCIÓN DE LA EMISIONES 1994-2002

5.1 GENERALIDADES

Aunque anteriormente se han realizado recálculos de los inventarios de emisiones donde se han homologado los métodos y técnicas de estimación con la metodología que se emplea en el inventario de emisiones más reciente, cabe mencionar que en el presente recálculo, se incluyen los resultados del análisis actualizado de nueva información publicada o disponible recientemente.

Antes de mostrar los resultados, los cuales se obtuvieron considerando las mismas fuentes de información y procedimientos referidas en el inventario de emisiones 2002, se presentan las mejoras relevantes realizadas al cálculo de las emisiones de los inventarios de 1994 y 1996.

Para el caso de la flota vehicular de 1994 y 1996, primeramente se analizaron por año modelo las bases de datos del PVVO del Distrito Federal de cada semestre, a partir del segundo semestre de 1998¹ hasta el segundo semestre del 2002, para definir la flota vehicular por año modelo de los años 1998, 1999, 2000, 2001 y 2002. Una vez determinada y analizada la flota vehicular de estos años, con la información de la base de datos de 1998 y la del año 2002 se obtuvo la Tasa de Crecimiento Compuesto Anual (TCCA) entre estos años para cada año modelo, y a partir de ésta se proyectaron retrospectivamente las flotas de los años 1994 y 1996, que junto con las flotas vehiculares reales de 1998, 2000 y 2002, se presentan en la Tabla 5.1.1.

Tabla 5.1.1. Evolución de la flota vehicular en la ZMVM, 1994-2002

Tipo de Vehículo	1994	1996	1998	2000	2002
Autos Particulares	1,744,209	1,743,946	1,978,296	2,307,857	2,712,262
Taxis	68,741	117,700	109,195	115,686	115,974
Combis	33,865	34,520	19,276	18,242	19,485
Microbuses	31,047	31,219	31,440	29,301	32,236
Pick Up's	129,801	124,243	140,210	142,190	175,021
Vehículos = 3 Ton	169,099	178,092	241,115	333,612	273,396
Tractocamiones	52,509	56,619	55,173	62,907	75,571
Autobuses	30,759	32,076	32,887	25,419	30,683
Vehículos > 3 Ton	55,267	50,107	55,299	41,630	59,225
Motocicletas	37,667	52,412	81,758	88,366	94,437
TOTAL	2,352,964	2,420,934	2,744,649	3,165,210	3,588,290

Nota: Para el caso de los años 2000 y 2002, la información presentada es la misma que aparece en sus respectivos inventarios de emisiones de la ZMVM.

¹ La base de datos del programa de verificación vehicular del gobierno del Distrito Federal del segundo semestre de 1998 es la más antigua disponible.

Los factores de emisión utilizados en los inventarios de emisiones de 1998 y posteriores, son los mismos y se obtuvieron de las mediciones realizadas por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y reportados en el inventario de emisiones de la ZMVM del año 1998 y los obtenidos de las corridas realizadas, aplicando sus respectivos datos, con los modelos MOBILE-5 México y MOBILE-6 México. Solamente para los años 1994 y 1996 se realizó un ajuste a los factores medidos por el IMP con base a las fracciones de cambio que presentan las corridas del MOBILE-5 México de 1998 a 1994.

La actividad industrial se divide en subsectores productivos con base en la Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP), a partir de la cual se distribuyen las emisiones generadas por las fuentes fijas; donde los factores determinantes son la capacidad de los equipos de combustión, los tipos de combustibles y los factores de emisión empleados, los cuales, son los mismos que se utilizaron en el inventario de emisiones 2002 y en el recálculo 1994-2000.

Para el cálculo de las emisiones generadas por las fuentes puntuales de 1994 al año 2000, tenemos que se partió de la base de datos de la industria del año 2002 "Datgen 2002", se identificaron e eliminaron las industrias que iniciaron operación a partir de 1995 para conformar la base con el número de industrias y emisiones de 1994, para el año 1996 se eliminaron las industrias que iniciaron operación a partir de 1997 y así sucesivamente. Así mismo, de la base de datos del inventario de emisiones 2002, se obtuvo la cantidad y tipo de combustibles utilizados por cada industria para conocer la distribución porcentual de estos por subsector.

Lo anterior se realizó con la finalidad de distribuir de igual manera, con base a estos porcentajes, los consumos de combustibles industriales reportados por PEMEX para los años 1994, 1996, 1998 y 2000, y posteriormente con los consumos resultantes en cada subsector para cada año, adjudicar proporcionalmente la emisión correspondiente, con base a la relación de consumo-emisión de cada subsector por contaminante reportado en el inventario de emisiones del año 2002. Además en específico para el cálculo de las emisiones de SO_2 , se tomó en cuenta el contenido de azufre reportado por PEMEX para cada uno de los años.

Solamente se realizó por separado el cálculo de las emisiones del sector de generación de energía eléctrica, para lo cual en los años de 1994 y 1996, se utilizaron factores de emisión sin control para equipos de combustión mayores a 3,000 caballos caldera, para los años 1998, 2000 y 2002, se tomó la emisión medida reportada por las termoeléctricas.

5.2 EMISIONES DE LA ZMVM POR TIPO DE FUENTE Y SECTOR 1994-2002

En resumen, las emisiones totales en peso y porcentaje generadas en cada uno de los años de cálculo del periodo 1994-2002 en la Zona Metropolitana del Valle de México, se muestran en las tablas 5.1 a la 5.10, en ellas se reportan las toneladas de partículas menores a 10µm (PM₁₀), de bióxido de azufre (SO₂), de monóxido de carbono (CO), de óxidos de nitrógeno (NO_x), de compuestos orgánicos totales (COT) y de compuestos orgánicos volátiles (COV)².

5.2.1 Inventario de emisiones de la ZMVM, 1994

De las emisiones liberadas en 1994, tenemos que de las partículas PM₁₀, las fuentes de área (específicamente los caminos no pavimentados), son las que generan la mayor cantidad, seguido de las fuentes móviles, donde la contribución mayoritaria la aportan la actividad de los vehículos con motores a diesel; del bióxido de azufre la industria contribuye con más del 75%; del monóxido de carbono las fuentes móviles son responsables de casi el 100% de la emisión total; de los óxidos de nitrógeno aunque las fuentes puntuales con las termoeléctricas tiene una importante contribución, las fuentes móviles con el 82% son la principal fuente generadora de este contaminante; de las emisiones de compuestos orgánicos totales tenemos que las fuentes de área aportan más del 50%, pero aproximadamente la mitad corresponde a emisiones de metano de los rellenos sanitarios, los cuales no se consideran reactivos, por tal motivo de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles los automotores siguen siendo la principal fuente, seguida muy de cerca por las fuentes de área.

Tabla 5.2.1. Recálculo de emisiones de la ZMVM, 1994

Sector	Emisiones [ton /año]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	5,384	26,828	7,602	29,789	80,577	75,562
Fuentes de área	14,500	62	6,541	13,325	465,040	200,848
Fuentes móviles	9,597	8,580	3,808,298	203,096	366,397	337,443
Vegetación y suelos	1,899	N/A	N/A	549	14,655	14,655
Total	31,380	35,470	3,822,441	246,759	926,669	628,508

N/A.-No Aplica

² Evolución de las Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México 1994-2002, Gobierno del Distrito Federal Secretaría del Medio Ambiente, 2004.

Tabla 5.2.2. Recálculo de emisiones porcentual de la ZMVM, 1994

Sector	Emisiones [%]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	17.2	75.6	0.2	12.1	8.7	12.0
Fuentes de área	46.2	0.2	0.2	5.4	50.2	32.0
Fuentes móviles	30.6	24.2	99.6	82.3	39.5	53.7
Vegetación y suelos	6.1	N/A	N/A	0.2	1.6	2.3
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

5.2.2 Inventario de emisiones de la ZMVM, 1996

De las emisiones liberadas en 1996, tenemos que el comportamiento de los principales sectores de cada uno de los contaminantes, es similar a la del año de 1994, donde solamente los totales de cada contaminante disminuyen en 1996, las partículas PM₁₀ se reducen en un 6%, el bióxido de azufre en un 9%, el monóxido de carbono en un 15%; los óxidos de nitrógeno en un 6%, las emisiones de compuestos orgánicos totales en un 10% y los compuestos orgánicos volátiles solo en un 3%.

Tabla 5.2.3. Recálculo de emisiones de la ZMVM, 1996

Sector	Emisiones [ton /año]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	5,214	24,869	7,552	29,616	80,265	75,265
Fuentes de área	14,128	53	6,092	11,985	408,370	207,376
Fuentes móviles	8,413	7,439	3,220,830	184,179	319,930	294,780
Vegetación y suelos	1,793	N/A	N/A	561	15,183	15,183
Total	29,548	32,361	3,234,474	226,341	823,748	592,604

N/A.-No Aplica

Tabla 5.2.4. Recálculo de emisiones porcentual de la ZMVM, 1996

Sector	Emisiones [%]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	17.8	76.8	0.2	13.1	9.7	12.7
Fuentes de área	47.4	0.2	0.2	5.3	49.6	35.0
Fuentes móviles	28.7	23.0	99.6	81.4	38.8	49.7
Vegetación y suelos	6.1	N/A	N/A	0.2	1.8	2.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

5.2.3 Inventario de emisiones de la ZMVM, 1998

En las tablas 5.2.5 y 5.2.6, se observa que el sector transporte sigue teniendo importantes aportaciones de casi todos los contaminantes: genera el 99% del monóxido de carbono (CO), el 78% de los óxidos de nitrógeno (NO_x), el 27% de los compuestos orgánicos totales (COT), el 37% de los compuestos orgánicos volátiles (COV), el 20% de las partículas menores a 10 µm (PM₁₀) y el 24% del bióxido de azufre (SO₂). Las fuentes de área, principalmente con los caminos no pavimentados, contribuyen con el 63% de las emisiones de PM₁₀ y emiten cerca del 60% de los COT y el 43% de los COV. El sector industrial contribuye con el 76% de las emisiones de bióxido de azufre, con el 13% de las PM₁₀ y con el 16% de las emisiones de óxidos de nitrógeno y de los COV.

Tabla 5.2.5. Recálculo de emisiones de la ZMVM, 1998

Sector	Emisiones [ton /año]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	4,178	12,098	7,576	29,718	80,807	75,819
Fuentes de área	20,506	62	8,140	12,697	417,044	204,056
Fuentes móviles	6,453	3,749	1,778,255	148,740	190,894	176,123
Vegetación y suelos	1,670	N/A	N/A	488	20,004	20,004
Total	32,807	15,909	1,793,971	191,643	708,749	476,002

N/A.-No Aplica

Tabla 5.2.6. Recálculo de emisiones porcentual de la ZMVM, 1998

Sector	Emisiones [%]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	12.7	76.0	0.4	15.5	11.4	15.9
Fuentes de área	62.5	0.4	0.5	6.6	58.8	42.9
Fuentes móviles	19.7	23.6	99.1	77.6	26.9	37.0
Vegetación y suelos	5.1	N/A	N/A	0.3	2.8	4.2
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

5.2.4 Inventario de emisiones de la ZMVM, 2000

Las emisiones anuales en peso y por ciento liberadas en la ZMVM en el año 2000, se presentan en las Tablas 5.2.7 y 5.2.8; se observa que el contaminante más abundante sigue siendo el CO, emitiéndose a la atmósfera alrededor de 2 millones de toneladas al año, generadas casi exclusivamente por las fuentes móviles; le sigue en orden de importancia las emisiones de COT con más de 700 mil toneladas anuales, siendo las fuentes de área las que generan el 58% y referente a los COV, se emitieron 476 mil toneladas en este año, las fuentes de área contribuyen con el 43%, las fuentes móviles con el 37% y las fuentes puntuales con el 16%.

Referente a la contaminación por NO_x, se estima que se liberaron al aire cerca de 200 mil toneladas y el 79% lo generaron las fuentes móviles; de las PM₁₀, que es otro de los contaminantes que representan mayor problema en la ZMVM, se tiene que de las casi 25 mil toneladas al año que se emiten, el 55% lo generan las fuentes de área principalmente por las que se desprenden de los caminos no pavimentados debido al tránsito vehicular.

Tabla 5.2.7. Recálculo de emisiones de la ZMVM, 2000

Sector	Emisiones [ton /año]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	4,148	4,752	7,748	29,577	80,633	75,613
Fuentes de área	13,826	44	6,870	12,388	420,213	210,107
Fuentes móviles	5,287	4,348	2,018,788	157,239	210,816	194,517
Vegetación y suelos	1,736	N/A	N/A	568	12,751	12,751
Total	24,997	9,144	2,033,406	199,772	724,413	492,988

N/A.-No Aplica

Tabla 5.2.8. Recálculo de emisiones porcentual de la ZMVM, 2000

Sector	Emisiones [%]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	16.6	52.0	0.4	14.8	11.1	15.3
Fuentes de área	55.3	0.5	0.3	6.2	58.0	42.6
Fuentes móviles	21.2	47.6	99.3	78.7	29.1	39.5
Vegetación y suelos	6.9	N/A	N/A	0.3	1.8	2.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

5.2.5 Inventario de emisiones de la ZMVM, 2002

A continuación en las Tablas 5.2.9 y 5.2.10, se resumen las emisiones generadas por las fuentes puntuales, fuentes de área, fuentes móviles y las fuentes naturales en el año 2002. En ellas se puede apreciar que el contaminante más abundante en peso sigue siendo el CO, emitiéndose a la atmósfera cerca de 2 millones de toneladas al año; de las más de 23.5 mil toneladas de partículas PM₁₀, alrededor del 60% corresponden a partículas geológicas que se desprenden del suelo pavimentado, no pavimentado y del que carece de cubierta vegetal; referente a los COT se emiten más de 709 mil toneladas y el 22% es CH₄; en el caso de las más de 490 mil toneladas de COV, las fuentes de área y móviles contribuyen con el 82%, casi en la misma proporción; otro de los contaminantes más abundantes en este inventario, sigue siendo los NO_x, se emiten más de 188 mil toneladas y de ellas las fuentes móviles contribuyen con el 83%.

Tabla 5.2.9. Inventario de emisiones de la ZMVM, 2002

Sector	Emisiones [ton /año]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	4,246	3,579	6,880	19,543	75,933	71,072
Fuentes de área	12,781	40	7,612	11,818	412,432	213,854
Fuentes móviles	4,444	4,929	1,927,101	156,311	204,347	188,530
Vegetación y suelos	2,071	N/A	N/A	590	16,644	16,644
Total	23,542	8,548	1,941,593	188,262	709,356	490,100

N/A.-No Aplica

Tabla 5.2.10. Recálculo de emisiones porcentual de la ZMVM, 2002

Sector	Emisiones [%]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Fuentes puntuales	18.0	41.9	0.4	10.4	10.7	14.5
Fuentes de área	54.2	0.5	0.4	6.3	58.1	43.6
Fuentes móviles	19.0	57.7	99.3	83.0	28.8	38.5
Vegetación y suelos	8.8	N/A	N/A	0.3	2.3	3.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

5.2.6 Evolución del Inventario de emisiones de la ZMVM, 1994-2002

En la Tabla 5.2.11, se muestra la evolución de las emisiones totales por contaminante de 1994 al año 2002, en ella se observa una disminución en la generación de las emisiones de todos los contaminantes, en dicho periodo, la generación de SO₂ disminuye 76% debido principalmente a la reducción del contenido de azufre en los combustibles; las partículas PM₁₀ también se ven inhibidas (25%) principalmente por la reducción del contenido de azufre en las gasolinas y al aumento de los días al año con lluvias de más de 0.254 mm de precipitación, lo cual repercute en un aumento en la humedad del suelo y tiene como consecuencia un menor desprendimiento de partículas en los caminos no pavimentados, que es el principal contribuyente de las partículas geológicas presentes en la atmósfera de la ZMVM; la reducción de CO (29%) se debe principalmente al cambio tecnológico del parque vehicular donde el porcentaje de KRV de vehículos con control de emisiones aumentó del 6% al 20% y aquellos que no cuentan con control de emisiones disminuyó del 23% al 12%; por los mismos motivos se deben las reducciones de NO_x (10%) y de los COV (8%).

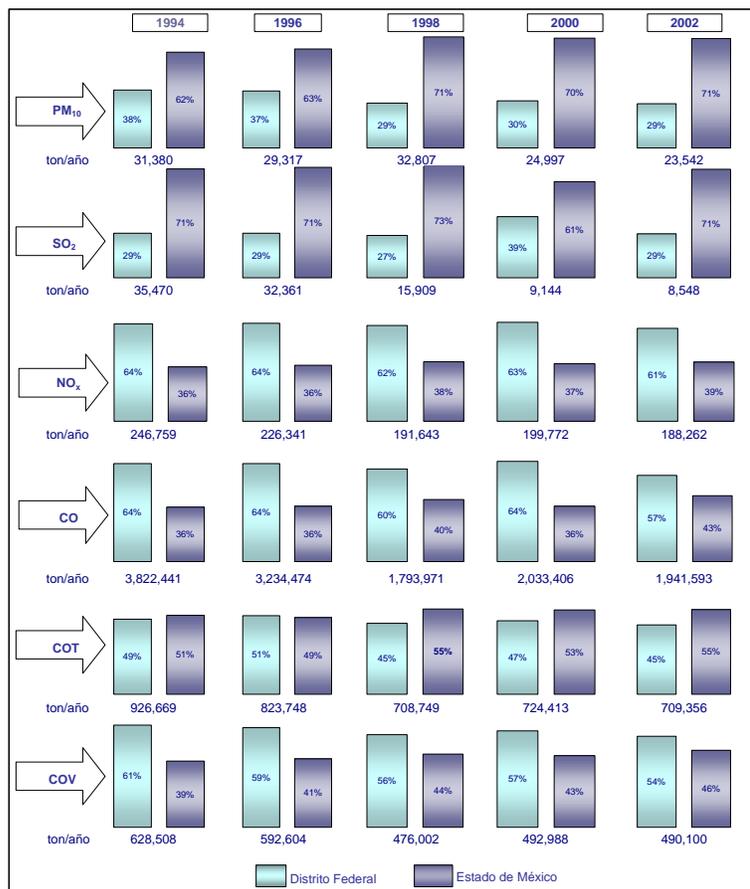
A diferencia de los COV, los COT disminuyen en un porcentaje mayor (14%), esto por que se reducen también las emisiones de metano que no forman parte de los COV, debido al cierre de algunos rellenos sanitarios que aunque siguen emitiendo CH₄, no es en las mismas cantidades que si estuvieran recibiendo más basura.

Tabla 5.2.11. Evolución de la emisión de contaminantes en la ZMVM, 1994-2002

Año del inventario	Emisiones [ton/año]					
	PM ₁₀	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
1994	31,380	35,470	3,822,441	246,759	926,669	628,508
1996	29,548	32,361	3,234,474	226,341	823,748	592,604
1998	32,807	15,909	1,793,971	191,643	708,749	476,002
2000	24,997	9,144	2,033,406	199,772	724,413	492,988
2002	23,542	8,548	1,941,593	188,262	709,356	490,100

En la Figura 5.2.1, además de lo ya mencionado anteriormente, también podemos observar, la contribución porcentual de las emisiones por entidad. En ella, se observa que en todos los años del periodo la tendencia de contribución por entidad es similar, por ejemplo en el año 2002 para el caso de las PM₁₀ y el SO₂ el Estado de México emite más del 70%, y para el CO, NO_x y los COV el Distrito Federal emite el 57% 61% y 54% respectivamente y solo debido a las emisiones de metano de los rellenos sanitarios es que en el estado de México se emiten más COT(55%).

Figura 5.2.1. Análisis comparativo de las emisiones 1994-2002



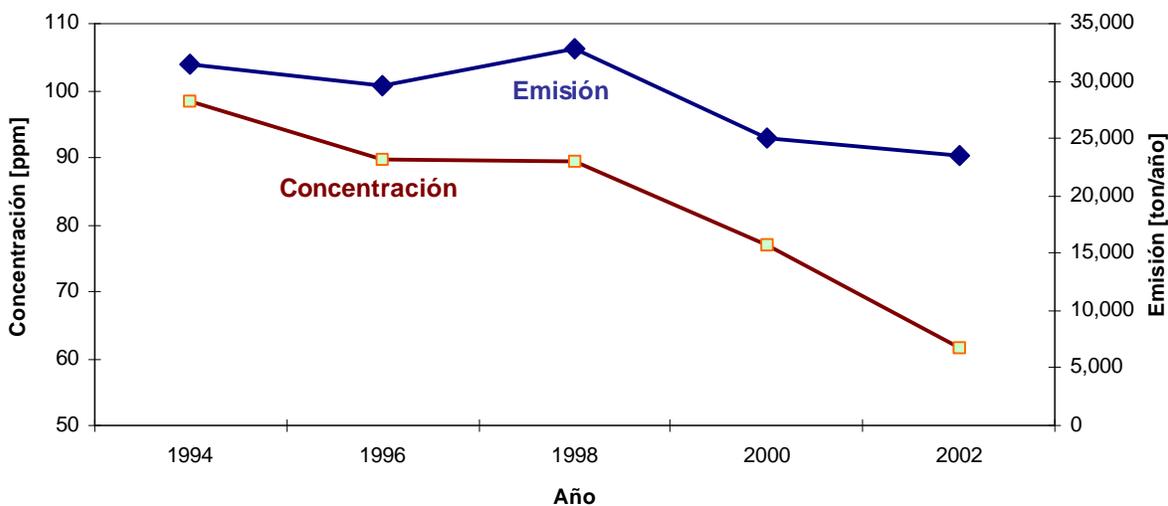
5.3 TENDENCIAS DE EMISIONES Y CONCENTRACIÓN

Con el fin de validar la evolución del inventario de emisiones, procedemos a analizar la tendencia de las emisiones estimadas junto con la tendencia monitoreadas de la calidad del aire de las partículas PM_{10} , SO_2 , CO y NO_x en la ZMVM durante el periodo de 1994 al año 2002.

5.3.1 Tendencias de emisiones y concentración de PM_{10}

La Gráfica 5.3.1, muestra que el comportamiento de las partículas PM_{10} de 1994 al 2002 en concentración y emisión es similar, solamente se observa un incremento mayor en las emisiones del año 1998, esto es debido a que dentro de las fuentes de área aumentaron las emisiones de los caminos no pavimentados, a consecuencia de que en este año la humedad del suelo disminuyó por la ausencia prolongada de lluvias y aumento de la temperatura, lo cual provoca que la carga de partículas de los suelos se desprenda con mayor facilidad.

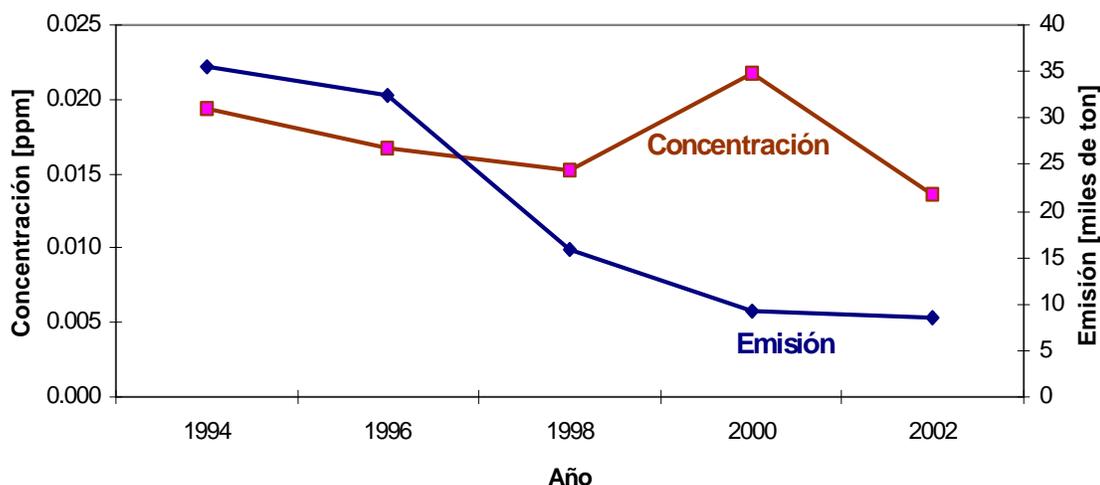
Gráfica 5.3.1. Tendencias de emisiones y concentración de PM_{10} en la ZMVM (1994-2002)



5.3.2 Tendencias de emisiones y concentración de SO₂

La tendencia de las emisiones y concentración del SO₂ es similar, ambos van a la baja, solamente los promedios de concentración de este contaminante registrados por la RAMA indican un aumento en el año 2000 que posiblemente fue consecuencia de que en la periferia de la ZMVM algunas industrias consumieron sin autorización combustibles líquidos con alto contenido de azufre, el cual no se refleja en las emisiones por no contar con esta información. Ver Gráfica 5.3.2.

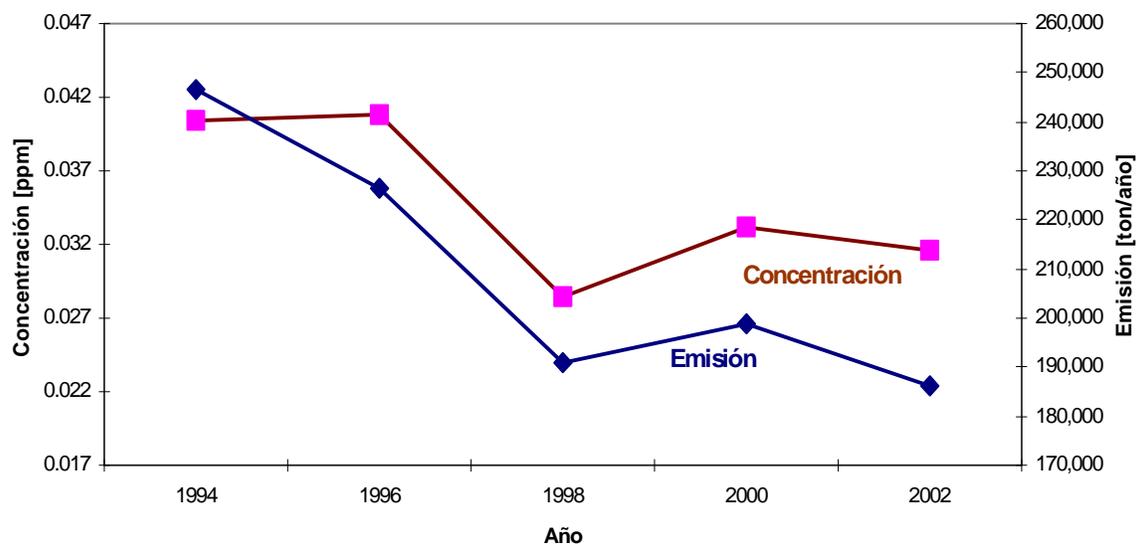
Gráfica 5.3.2. Tendencias de emisiones y concentración de SO₂ en la ZMVM (1994-2002)



5.3.3 Tendencias de emisiones y concentración de NO_x

En la Grafica 5.3.3, se observa que la tendencia de las emisiones y concentración de los NO_x es similar en todo el período, cuando las emisiones bajan o suben la concentración se comporta de igual manera, solamente se aprecia una baja del 6% en las emisiones de 1994 a 1996 que no se refleja en las concentraciones ambientales que posiblemente es debido a que las condiciones meteorológicas fueron adversas a la dispersión. Es notorio el incremento de las emisiones de 1998 al año 2000, a consecuencia de la mayor actividad vehicular, dada por el crecimiento del parque vehicular y las modificaciones realizadas en 1999 al PHNC, el cual exentaba a los vehículos 1993 y posteriores para que no tuvieran restricciones a la circulación. La disminución presentada del año 2000 al 2002, se debe principalmente a la instalación de nuevas tecnologías de control en algunos sectores industriales, principalmente el de generación de energía eléctrica.

Gráfica 5.3.3. Tendencias de emisiones y concentración de NO_x en la ZMVM (1994-2002)

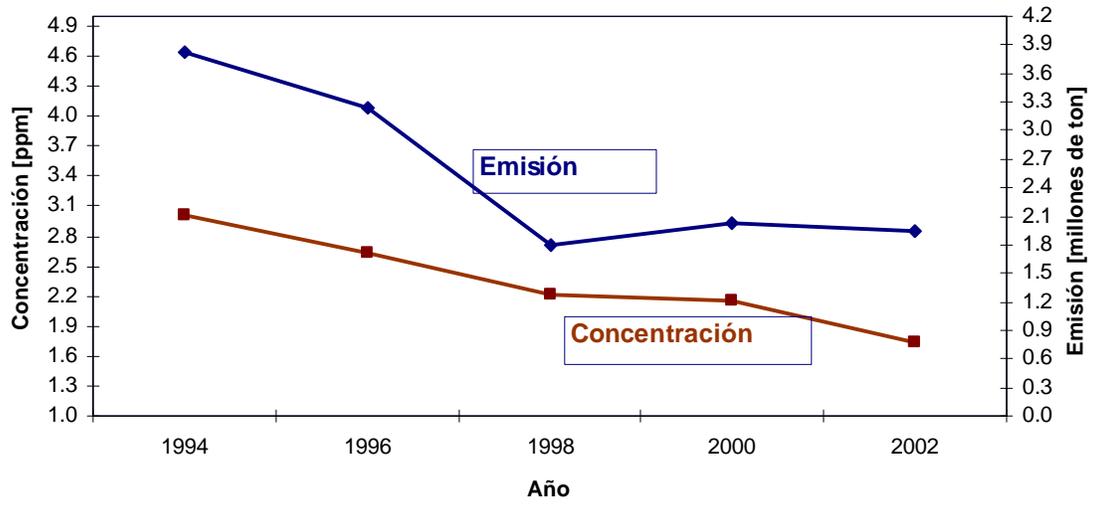


5.3.4 Tendencias de emisiones y concentración de CO

En el periodo 1994 al 2002 las concentraciones promedio anual y la emisión del monóxido de carbono fue disminuyendo. En la Gráfica 5.3.4, es notoria la baja de emisiones en 1998, la cual es consecuencia de que de 1996 a 1998 aumentaron casi al doble los vehículos con sistemas de control (pasaron de 430 mil a 721 mil), y los recorridos ponderados disminuyeron de acuerdo al análisis realizado a la base de datos del PVVO del año 2000 y los resultados del estudio realizado por la UAM³ y el aumento registrado de 1998 al año 2000, se debe también a los mismos argumentos presentados en el mismo periodo para los NO_x.

³ Informe de encuestas por muestreo sobre el programa Hoy No Circula, Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco, octubre 1994.

Gráfica 5.3.4. Tendencias de emisiones y concentración de CO en la ZMVM (1994-2002)





6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



6.1 CONCLUSIONES

El presente inventario de emisiones, como cualquier otro inventario que se elabora, tiene un cierto grado de incertidumbre, el cual depende de la calidad y de la disponibilidad de la información con que se cuente, del tratamiento de ésta y del proceso metodológico del cálculo de las emisiones. Basados en las recomendaciones y aprendizaje del desarrollo de los inventarios anteriores, se hizo un esfuerzo para recopilar la mejor información disponible y aplicar adecuadamente las metodologías de cálculo. Además, se realizó un control de calidad en el manejo de cada dato, respaldando así cada cálculo. En forma interna en la Secretaría del Medio Ambiente se realizó un procedimiento de aseguramiento de calidad y finalmente el documento, junto con las memorias de cálculo fueron enviadas a la SEMARNAT, INE, CENICA, SE-GEM, IMP y al MIT, para que emitieran sus comentarios.

Es importante mencionar, que para calcular las emisiones del presente inventario, se tomó como base la metodología de los manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México, publicados por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, sin dejar de observar las distintas recomendaciones hechas por el Dr. Mario Molina Pasquel y el Eastern Research Group Inc.

Como resultado de la auditoria realizada al Inventario de Emisiones del año 1998, se tomaron las recomendaciones sugeridas para mejorar el cálculo de las emisiones correspondientes al año 2002 y para poder realizar comparaciones con el recálculo de los inventarios realizado de los años 1994, 1996, 1998 y 2000, se hicieron los ajustes correspondientes, con la finalidad de ver la evolución que han tenido las emisiones. Es de mencionarse las mejoras realizadas en la estimación de la flota vehicular anterior a 1998, donde se analizó el parque vehicular por año modelo de las últimas nueve bases de datos del Programa de Verificación Vehicular del Gobierno del Distrito Federal, para obtener un función que refleje el comportamiento del crecimiento o decremento vehicular por año modelo, y estimar la flota vehicular de los años 1994 y 1996.

Una de las aportaciones importantes del presente inventario, es la inclusión del cálculo de las partículas que se desprenden de las vialidades (pavimentadas y sin pavimento) por el tránsito vehicular, las cuales asciende a 12 mil toneladas anuales; cabe mencionar, que junto con la erosión eólica, representan el 61% del aporte total de PM_{10} de origen geológico. Por otro lado, las mediciones realizadas durante 1997 y 2002 para conocer la composición química de la atmósfera en la ZMVM, se ha encontrado que aproximadamente el 50% de las PM_{10} son de origen geológico¹.

¹ Analysis of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the Atmosphere of Mexico City during 2000-2002 y Chemical composition of PM_{10} in Mexico City during winter 1997.

Se puede concluir que se tienen estimaciones más precisas en los inventarios de emisiones que reflejan que la generación de emisiones de todos los contaminantes inventariados en la ZMVM, desde 1994 hasta el año 2002, han disminuido. La generación de SO₂ disminuyó en un 76% debido principalmente a la reducción del contenido de azufre en los combustibles; las partículas PM₁₀ también se ven inhibidas (25%) principalmente por la reducción del contenido de azufre en las gasolinas y al aumento de los días al año con lluvias. La reducción de CO (29%) se debe principalmente al cambio tecnológico del parque vehicular donde el porcentaje de KRV de vehículos con sistema de control de emisiones aumentó del 6% al 20% y aquellos que no cuentan con sistema de control de emisiones disminuyó del 23% al 12%; por los mismos motivos se deben las reducciones de NO_x (10%) y de los COV (8%).

6.2 RECOMENDACIONES

Para los usuarios del presente inventario que requieran conocer los datos de donde proviene cada una de las emisiones estimadas, se presenta el ANEXO A, en él se reporta la memoria de cálculo, se registra la información utilizada, así como el cálculo realizado y las consideraciones que se hicieron para la obtención de cada cifra aquí reportada.

De las recomendaciones pendientes para mejorar el desarrollo de los inventarios de emisiones como resultado de la Evaluación del Inventario de Emisiones de la ZMVM de 1998, realizado por Eastern Research Group, Inc. y del Análisis Y Diagnóstico del Inventario de Emisiones de la ZMVM realizado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, hace falta verificar cuantas empresas están activas y cuantas son históricas, identificar el contenido de solvente de la mezcla de asfalto que se utiliza en las vialidades de los municipios que integran la ZMVM, actualizar la metodología de cálculo de las emisiones generadas por el tratamiento del agua residual, emplear algunos modelos para asignar los kilómetros recorridos por tipo de vehículo, sustituir totalmente las metodologías actuales por otras más detalladas, como mediciones directas en laboratorio, mediciones indirectas y mediciones de túnel.

Es importante mencionar que además de lo anterior, aún se requiere de la realización de más estudios para caracterizar los niveles de actividad de la flota vehicular que circula en la ZMVM. Así mismo, es necesario contar con el apoyo de recursos económicos y humanos para continuar con el proceso de obtención de factores de emisión locales, así como incluir las emisiones de sectores faltantes, entre los que se pueden mencionar, los procesos de cocción de alimentos en taquerías, los actividades de demolición y construcción de estructuras, actividades relacionadas con la ganadería, el manejo y aplicación de fertilizantes y plaguicidas.

Se deberán instrumentar nuevas medidas para incentivar al sector industrial en la entrega de la Cédula de Operación Anual (COA), y propiciar la integración de la información que contienen en una base única y común para las diferentes autoridades ambientales que convergen en la ZMVM. Además es necesario aumentar el control de calidad de los datos que se entregan en la COA, debido a que en ocasiones contienen datos erróneos o simplemente no se reportan, incrementando así el grado de incertidumbre del inventario de emisiones de fuentes puntuales.

El desarrollo del inventario de emisiones deberá aumentar su nivel de resolución espacial y temporal, esto se refiere a cubrir una mayor detalle las superficie de las entidades involucradas y fortalecer la estimación horaria de las emisiones con el desarrollo de estudios que nos permitan identificar los horarios en los que se generan las emisiones en los hogares y en general por todas las actividades cotidianas que

realizan las personas dentro de la ZMVM, como ir a trabajar, a la escuela, preparar los alimentos, entre otras; en este contexto, es de suma importancia desagregar las actividades en los diferentes sectores contaminantes, como por ejemplo la categoría de combustión comercial/institucional y sus sectores definidos en: baños públicos, tortillerías, panaderías, tintorerías, hoteles, centros deportivos y puestos semifijos, entre los principales. Así mismo, una de las prioridades en la realización del inventario es el desarrollo de factores de emisión de termoeléctricas, vehículos a diesel y unidades viejas a gasolina.

Uno de los problemas ambientales más frecuentes en la ZMVM, es la generación de ozono fotoquímico. Para que esto suceda es necesaria la combinación de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles; de éstos últimos se generaron más de 487 mil toneladas, de las cuales aproximadamente el 42% es producto de las fuentes de área. Dicho lo anterior, es necesario realizar estudios de aquellas categorías que más emiten, principalmente de las que provienen de cálculos con factores percápita, con el fin de precisar su emisión e identificar posibles medidas para el control de la generación de estos contaminantes.

Es necesario proponer alternativas de verificación y validación para los factores de emisión utilizados en aquellos sectores de mayor contribución de contaminantes; por ejemplo, el uso comercial y doméstico de solventes, el cual genera más del 11% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Para esto, se propone la realización de un estudio que nos proporcione el balance del consumo de solventes en la ZMVM, que permita identificar la cantidad y variedad de los compuestos orgánicos utilizados, así como su reactividad atmosférica asociada con la formación de ozono, con la finalidad de validar el factor de emisión y crear alternativas de sustitución o eliminación de los compuestos orgánicos más reactivos en los productos comerciales que los contienen.

Es necesario contar con un programa que determine a nivel metropolitano y a detalle el parque vehicular circulante; este debe ser capaz de proporcionar la información actualizada anualmente. Lo anterior significa integrar información del Distrito Federal del Estado de México y vehículos con placa federal.

Referente al cálculo de las emisiones de caminos no pavimentados, es necesario realizar, entre otros, estudios de humedad del suelo y determinar la carga de sedimento en estos caminos y también en las vialidades pavimentadas.

Finalmente y no menos importante, es la homologación de la metodología de cálculo de los contaminantes criterio, con la de gases de efecto invernadero, así como el desarrollo de una metodología propia para la estimación de las emisiones de COV por especie, de partículas menores a 2.5 μm , de amoníaco y de tóxicos.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aeropuertos y Servicios Auxiliares, julio 2003. Número de operaciones de vuelo por tipos de aeronave. Subdirección de Operación ASA, Gerencia de Informática y Estadística de ASA.

Aeropuertos y Servicios Auxiliares, 2002. Volumen de Turbosina y Gas Avión 100/130, suministrado al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México 2002. Dirección General Adjunta de Finanzas y Operación/Subdirección de Operaciones.

Benjamin, M. T., Sudol, M., Bloch, L. Y Winer, A. M., 1996. Low -emitting urban forest: a taxonomic methodology for assigning isoprene and monoterpene emission rates. Atmospheric Environment vol. 30 No. 9.1437-1452 pp. Great Britain.

Birth, T. L. y Geron, C. D., 1995. User's guide to personal computer version of the Biogenic Emissions Inventory System (PC-BEIS), version 2.0. Computer Science Corporation, Research Triangle Park, NC 27709. Emissions Modeling Division, Air and Energy Engineering Research laboratory. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711.

California Emission Inventory and Reporting System (CEIDARS), 2000. Particulate Matter (PM) Speciation Profiles. Summary of overall size fractions and reference documentation.

Cámara Nacional de la Industria de Artes Gráficas (CANAGRAF), junio 2000. Estadísticas de consumo de pinturas y tintas.

Cámara Nacional de la Industria de Baños y Balnearios (CANAIBAL), junio 2000. Base de datos de baños públicos.

Center for Environmental Research and Technology, University of California, 2001. Investigation of Emission Rates of Ammonia and Other Toxic and Low-Level Compounds Using FTIR.

Colorado Institute for Fuels and High Altitude Engine Research, 1998 .Heavy-Duty Diesel Vehicle Testing for the Northern Front Range Air Quality Study.

Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad, 1997. Estudio No. 5 Definición de Políticas de Modernización, Inspección Sustitución, Eliminación Definitiva, Adaptación de Vehículos y Combustibles Alternos.

Comisión Nacional del Agua, 2002. Inventario Nacional de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Consulta por Internet, <http://www.cna.gob.mx> (junio).

Confederación de Cámaras Industriales de los Estados Unidos Mexicanos (CONCAMIN), 2002. Sistema de Información Empresarial Mexicana "SIEM" 2002. Estadística, Empresas de Servicios en el Distrito Federal por CMAP.

CORENADER, 2003. Inventario de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal. Consulta por Internet, <http://www.sma.df.gob.mx> (agosto 2003).

Departamento de Agricultura de los Estado Unidos, 1993. Consulta por Internet, http://64.233.167.104/search?q=cache:YQuagCUqScEJ:www.pvem.org.mx/2004/julio04/r ep_estados.htm+oxigeno+suficiente+para+52+personas&hl=es (julio, 2004).

E. Vega, E. Reyes, H. Ruiz, J. García, G. Sánchez, G. Martínez-Villa, U. González, J. C. Chow, J. G. Watson, 2004. Análisis of PM_{2.5} and PM₁₀ in the Atmosphere of Mexico City during 200-2002. Journal of the Air & Waste Management association. Volumen 54. Julio.

ERG, 2002. Evaluación del Inventario de emisiones de la ZMVM, 1998. Preparado por: Eastern Research Group, Inc. (ERG), para: Asociación de Gobernadores del Oeste y Comité Binacional de Asesoría. 8959 Cal. Center Dr., Suite 260 Sacramento, Cal. 95826-3259.

ERG, 2002. Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Volumen VII- Desarrollo de Inventario de Recursos Naturales. Final. Preparado por: Eastern Research Group, Inc. (ERG), para: Asociación de Gobernadores del Oeste y Comité Binacional de Asesoría. 8959 Cal. Center Dr., Suite 260 Sacramento, Cal. 95826-3259.

Fehsenfeld F., J. Calvert, R. Fall, P. Goldan, A. Guenther, C. N. Hewitt, B. Lamb, S. Liu, M. Trainer, H. Westberg y P. Zimmerman, 1992. Emmissions of volatile organic compounds from vegetation and the aplicaciones for atmospheric chemistry. Global Biogeochemical Cycles. 6, 4, 389-430 pp.

Ferrocarril y Terminal del Valle de México S.A. de C.V., 2003. Programa de Administración y Operación de Locomotoras Foráneas y de Patio y Factores de Rendimiento por Uso de Diesel. Información de la Subdirección de Transporte.

Ferrocarril y Terminal del Valle de México, S.A. de C.V., 2002 Consumo de Diesel por Locomotoras, 2002. Distribución de Vías Férreas por Delegación y Municipio y Rendimiento de Combustible. Información de la Subdirección de Transporte

Gaceta Oficial del Distrito Federal, Noviembre 2002. Acuerdo por el que se ordena la publicación del programa integral de transporte y vialidad 2001-2006.

GDF, 1994. Base de Datos de Recursos Materiales de Instalaciones Médicas del D.D.F., IMSS, ISSSTE, SSA, y Privados. Generado por la Dirección de Prevención y Control de la Contaminación. Archivo Magnético.

GDF-Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DCGOH), 2002. Información sobre las plantas de tratamiento de agua residual ubicadas en el Distrito Federal.

GDF-Dirección General del Heróico Cuerpo de Bomberos, 2002. Información del número de Incendios en estructuras del Distrito Federal por delegación y tipo de estructura.

GDF-Dirección Técnica de Desechos Sólidos, 1999. Encuesta Formato de Requisición para Rellenos Sanitarios (vía fax).

Gerardo Álvarez Sánchez y Rodrigo Perrusquía Máximo, 1998. Discusión del Modelo Computacional MOBILE 5^a.3 para la Determinación de Factores de Emisión de Contaminantes Emitidos por vehículos Automotores en la ZMCM. ESIQIE, IPN.

Grupo Aereopuertario de la Ciudad de México (AICM), agosto 2002. Operación horaria de aeronaves. Gerencia de Sistemas, Comunicaciones e Información de la Subdirección de Finanzas y Administración.

<http://www.colorin.com/pintureria>, (julio 2001).

<http://www.pinturasevery.com.co>, (julio 2001).

<http://www.quidelta.com>, (julio 2001).

<http://www.siem.gob.mx/portalsiem/estadisticas/cmmaps2002.asp>.

IMP; 1998. Investigación sobre material particulado y deterioro atmosférico-Inventario de amoniaco para la ZMCM. Subdirección de Protección ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. 24 p.

INEGI, 1997. Cultivos anuales de México. VII Censo Agropecuario. 429 p. México, DF.

INEGI, 1998. Cultivos perennes de México. VII Censo Agropecuario (octubre, 1991). 393 p. México, DF.

INEGI, 2001. Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2000. México, DF.

INEGI, diciembre 2001. Cuaderno Estadístico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: Distrito Federal, XII Censo General de Población y Vivienda 2000. Resultados Definitivos; Tabulados Básicos Nacionales por Entidad Federativa.

INEGI, 1998. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares. Características de las viviendas por Niveles de Ingresos de sus Hogares.

INEGI, 1997. Clasificación Mexicana de Actividades y Productos, Censos Económicos 1994.

ISSSTE-Delegaciónn Zona Norte, 1999. Inventario de calderas y equipos de esterilización.

José Navar y Eduardo Treviño, 1997. Estimación del tonelaje de partículas de suelo que potencialmente contribuyen a la contaminación del aire en el área metropolitana de Monterrey, México. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N.L. Aceptado Dic. 1997. 21-31v pp.

Judith C. Chow, John G. Watson, Sylvia A. Edgerton, Elizabeth Vega, 2002. Chemical composition of PM_{2.5} and Pm₁₀ in Mexico City during winter 1997. The Science of the Total Environment 287 (2002) 177-201.

Kirk Baker, 2001. Evaluation of PAR Estimation Methods. Lake Michigan Air Directors Consortium. DRAFT – 6/15/01.

Luisa T. Molina y Mario J. Molina, 2002., Air Quality in the México Megacity. An Integrated Assessment. Kluwer Academic Publishers. 375 p. Norwell, MA 02061, U.S.A.

Lamb, B., Westberg, H., Allwine, G., Quales, T., 1985. Biogenic hydrocarbons emissions from deciduous and coniferous trees in the Unites States. Journal of Geophysical Research. Vol. 90, No. D1. February 20.

Mendoza-Dominguez, Alberto, James G. Wilkinson, Yueh-Jiun Yang, and Armistead G. Russell, 2000. Modeling and Direct Sensitivity Analysis of Biogenic Emissions Impacts on Regional Ozone Formation in the Mexico–U.S. Border Area. School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia. Journal of the Air & Waste Management Association. Vol. 50, January 2000.

National Academy Press, 2000. Modeling Mobile Source Emissions.

OCDE, 1995. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. Vol. 3. IPCC.

Orea, C. M., 1999. Caracterización Ambiental de las Áreas de Emisión Edafológica de PM₁₀ en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México. 129 p. p.

PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 1997. Efecto del Gas LP en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 2002. Distribución de GLP en la ZMVM 2002.

PEMEX Refinación, 2002. Distribución de gasolina por estación de servicio en la ZMVM 2002.

PEMEX Refinación, 2002. Parámetros de Calidad de Combustibles Líquidos ZMVM 2002. Subdirección Comercial.

PEMEX Refinación, 2003. Tanques de Almacenamiento de Productos Instalados en las Terminales del Valle de México. Terminal Azcapotzalco/Subgerencia de Calidad de Productos.

PEMEX Refinación, julio 2003. Venta de productos petrolíferos en la Zona Metropolitana del Valle de México. Gerencia de Comercialización.

PEMEX Refinación, julio 2003. Hojas de Seguridad de Productos Petrolíferos. Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial.

Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal, 2002. Estadística Distribución de Mezcla Asfáltica en el D.F. 2002.

Radian Corporation, mayo 1996. Biogenic Sources Preferred Methods. Final Report. Area Sources Committee-Emission Inventory Improvement Program. Vol. V. Research Triangle Park, North Carolina, 27709.

Radian International, 1998. Aguascalientes Vehicle Emissions Measurement Study.

Radian International, 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen II-Fundamentos de Inventarios de Emisiones. Asociación de Gobernadores del Oeste y Comité Asesor Binacional. 0389. Old Placerville Road Sacramento, CA 95827.

Radian International, marzo 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V-Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final. Asociación de Gobernadores del Oeste y Comité Asesor Binacional. 0389. Old Placerville Road Sacramento, CA 95827.

Radian International, 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen VI Desarrollo de Inventario de Emisiones de Vehículos Automotores. Asociación de Gobernadores del Oeste y Comité Asesor Binacional. 0389. Old Placerville Road Sacramento, CA 95827.

Robert Perry, 1991. Manual del Ingeniero Químico. Vol. I, 2ª Ed. en español. Tabla 3-2, 3-37.

Ruíz Suárez, L.G., Imaz Gispert M., Montero M.O., Hernández Galicia F., Conde C. y Castro T., 1994. Cálculos y mediciones de hidrocarburos naturales en el valle de México. Reporte Técnico para CONSERVA. DF y Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México.

S.A. Edgerton, J.L. Arriaga, J. Archuleta, X. Bian, J.E. Bossert, J.C. Chow, R.L. Coulter, J.C. Doran, P.V. Dpskey, S. Elliot, J.D. Fast, J.S. Gaffney, F. Guzmán, J.M. Hubbe, J.T. Lee, E.L. Malone, N.A. McNair, W. NET, E. Ortiz, R. Petty, M. Ruiz, W.J. Shaw, G. Sosa, E. Vega, J.G. Watson, C.D. Whiteman, S. Zhong, 1998. Particulate Air Pollution in Mexico City. A Collaborative Research Project: U.S. Department of Energy (DOE)-PEMEX.

SAGARPA-DF, 2002. Datos de superficie sembrada por delegación, cultivo y ciclo agrícola. Centro de Estadística Agropecuaria.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2003. Estadística Básica del Autotransporte Federal 2002.

Secretaría de Energía, 2002. Ubicación de Plantas de Almacenamiento de GLP. Consulta por Internet, <http://www.energia.gob.mx/servicios/trapubgaslp/estados/df.hfm> (mayo, 2002)

Secretaría de Energía, agosto 2003. Informe trimestral de compra-venta de GLP por planta de almacenamiento. Dirección de Enlace, Estadística y Asuntos Especiales de la Dirección General de Gas LP.

Secretaría de Salud, 2002. Anuario Estadístico Año 2000, Boletín N°20 Información Estadística 2000 – volumen 1. Recursos Físicos, Materiales y Humanos y Tipo de Recursos por Institución Distrito Federal 2002. Consulta por Internet, <http://ssa.gob.mx>.

Secretaría de Transportes y Vialidad, 2001. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2000.

Secretaría de Transportes y Vialidad, 2002. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2001.

Secretaría del Medio Ambiente, 2000. Cobertura digital de asentamientos irregulares.

Secretaría del Medio Ambiente/Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, 2004. Cédula de Operación Anual, Año Base 2002.

Secretaría del Medio Ambiente/Dirección General de Gestión Ambiental del Aire/Subdirector de Meteorología y Modelación, 2002. Archivo magnético: Base de datos de temperatura ambiente y altura de capa de mezcla, año 2002.

Secretaría del Medio Ambiente/Dirección General de Regulación y Gestión Ambiental de Agua, Suelos y Residuos, 2001. Avances Relevantes del Programa de Recuperación de Vapores Fase II en el Distrito Federal.

Secretaría del Medio Ambiente/Dirección General de Regulación y Gestión Ambiental de Agua, Suelos y Residuos, 2002. Laboratorio de Análisis Ambiental. Convenio de Asistencia Técnica UNAM-GDF 2002. Informe de Prueba de Combustibles NOM-086-ECOL-1994.

Secretaría del Medio Ambiente-Universidad de Chapingo, 2000. Bases para el Manejo Ambiental de la Zona Oriente del Valle de México. Diagnóstico y Evaluación de Riesgo de la Erosión Eólica en la Cuenca del Valle de México y Áreas Adyacentes.

SEMARNAT, 2000. Imagen de satélite LANDSAT TM. 5 Bandas, resolución de 30 m.

SEMARNAT, 2000. Inventario Nacional Forestal 2000. Cartografía digital, escala 1:250,000.

Sierra Research Inc., junio 1994. Evaluation of MOBILE Vehicle Emission Model. J.A. Volpe National Transportation Systems Center and U.S. Department of Transportation.

Subsecretaría de Hidrocarburos/Dirección General de Gas L.P./Dirección de Operación y Supervisión, agosto 2001. Estaciones Autorizadas de Abastecimiento y Predios Tolerados de Gas L.P. para Carburación en la ZMVM 2001.

TÜV Rheinland de México S.A. de C.V., agosto 2000. Programa para la Reducción y Eliminación de Fugas de GLP en las Instalaciones Domésticas de la ZMVM.

U. S. Environmental Protection Agency, 2003. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2001. Washington. D.C. 20360.

U.S. Environmental Protection Agency, mayo 2002. User's Guide to Mobile 6.2. Mobile Source Emission Factor Model.

U.S. Environmental Protection Agency, mayo 2001. Emission Factor and Inventory Group and Easton Research Group, INC/Documentation For The 1996 Base Year National Toxics Inventory For Area Sources.

U.S. Environmental Protection Agency, 2000. Emission Factor and Inventory Group (MD-14) Emissions, Monitoring and Analysis Division/Documentation for the 1996 Base Year National Toxics Inventory For Aircraft Sources. Consulta por Internet, <http://www.epa.gov/ttn/chief/nti/aircrpt.pdf> (Junio, 2000)

U.S. Environmental Protection Agency, diciembre 2000. Emission Factors and Inventory Group EMAD/OAQPS. Versión 8.0, Source Classification Codes. 454/C-00-003.

U.S. Environmental Protection Agency, diciembre 2000. Emission Factors and Inventory Group EMAD/OAQPS. Versión 8.0, FIRE emission factors. 454/C-00-003.

U.S. Environmental Protection Agency, diciembre 2000. Emission Factors and Inventory Group EMAD/OAQPS. Versión 8.0, Especiate 3.1.

U.S. Environmental Protection Agency, diciembre 2000. Emission Factors and Inventory Group EMAD/OAQPS. Versión 8.0, Development and selection of ammonia emission factors Sec. 5: Ammonia emissions from combustion. 454/C-00-003.

U.S. Environmental Protection Agency, 2000. Copilation of Air Pollutant Emission Factors, volume I. Stationary Point and Area Sources. AIRCHIEF V.8. Fifth Edition, Cap. 1.3 Fuel Oil Combustion, 1.4 Natural Gas Combustión, 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion

U.S. Environmental Protection Agency, abril 1999. Engine Programs and Compliance Division Office of Mobile Sources/Evaluation of Air Pollutant Emissions From Subsonic Commercial Jet Aircraft.

U.S. Environmental Protection Agency, septiembre 1999. Office of Air Quality Planning and Standards/Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development: A Beginner's Guide for Point and Area Sources. Consulta por internet, <http://www.epa.gov/ttn/chief>.

U.S. Environmental Protection Agency, septiembre 1999. User's Guide to Tanks 4.0.

U.S. Environmental Protection Agency, 1999 .Aircraft Engine Emission User Guide and Database (FAEED 3.1). Consulta en internet, <http://www.epa.gov/otaq/aviation.htm>

U.S. Environmental Protection Agency, septiembre 1999. TANKS. Versión 4.0.

U.S. Environmental Protection Agency, mayo 1998. User's Manual Landfill Gas Emissions Model V.2.01. Washington, DC 20460. Consulta por Internet, <http://www.epa.gov/ttn/atw/landfill/landflpg.html>.

U.S. Environmental Protection Agency, agosto 1996. Emission Inventory Improvement Program: Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions. Vol. III, Chapter 5. Research Triangle Park, North Carolina. Air Chief Vol.8.

U.S. Environmental Protection Agency, mayo 1994. User's Guide to Mobile 5. Mobile Source Emission Factor Model.

U.S. Environmental Protection Agency, febrero 1980. AP-42 Supplement 10 for compilation of Air Pollutant Emission Factors. Third Edition. Research Triangle Park, North California, Office of Air Quality Planning and Standards.

Kirstin Thesing and E.H. Pechan and Associates, Inc., 2000. Nonroad Source Inventory Development Aircraft, Locomotives, and Commercial Marine vessels (CMv) Section 4; Part II. Consulta por Internet, <http://www.epa.gov/ttn/chief/eidocs/portllsec4.pdf>. (agosto 2000)

V. Ramírez, B. J. Jairo, 2001. Inventario de emisiones biogénicas en el Valle de Aburrá. Revista de Ingeniería y Gestión Ambiental. Universidad Pontificia Boliviana. Vol. 17, No. 32-33. 2001.

Watson y Chow, 2000. Reconciling Urban Fugitive Dust Emissions Inventory and Ambient Source Contribution Estimates: Summary of Current Knowledge and Needed Research. Desert Research Institute. Energy and Environmental Engineering Center. Reno, NV.

Yarwood, G., Wilson, G., Emery, CH. y Guenther, A. 1999. Development of GloBEIS—A State of the Science Biogenic Emissions Modeling System. Final Report. Prepared for: Mr Mark Estes Texas Natural Resource Conservation Commission, Austin Texas. Prepared by: ENVIRON International Corporation, Novato Cal. y National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado.

Yarwood, G., Wilson, G., Shepard, S. y Guenther, A., 2002. User's guide to the Global Biosphere Emissions and Interaction System (GloBEIS) Version 3.0.

ANEXO

A. MEMORIAS DE CÁLCULO

A.1 FUENTES PUNTUALES

El inventario de emisiones para fuentes puntuales en la ZMVM del año 2002, está integrado por las emisiones de 4,653 industrias, de las cuales, 2,701 se encuentran ubicadas en el Distrito Federal y 1,952 en el Estado de México. Para fines de cálculo, se utilizaron los datos que proporciona el industrial en la cédula de operación anual (COA). Se calcularon las emisiones de 778 industrias con información del año 2002, 60 industrias con información del año 2001, 1,443 industrias con información del año 2000, 218 industrias con información del año 1998 y 2,154 industrias con datos históricos (del año 1997 y anteriores).

Las actividades realizadas para estimar las emisiones fueron las siguientes:

- Control de calidad de la información de la COA
- Captura de datos de la COA
- Cálculo de emisiones
- Análisis de resultados

Como parte de las mejoras en la realización del inventario de emisiones del año 2002 se modificaron las siguientes variables:

- Factores de emisión por combustión y proceso.
- Actualización de las características de los combustibles y solventes.
- Consideraciones para el cálculo de las emisiones por combustión y por proceso.
- Recálculo de las emisiones de las industrias de jurisdicción local del Distrito Federal con información de 1998 e históricas
- Recálculo de las emisiones de las industrias de jurisdicción local del Estado de México y la industrias de jurisdicción Federal

A.1.1 Factores de emisión por combustión

Para el cálculo de las emisiones por combustión, se utilizaron los factores de emisión que se describen en las siguientes tablas, de acuerdo al tipo de combustible y considerando la capacidad de los equipos, además de los equipos de control reportados.

Tabla A.1.1 Factores de emisión para combustión de gas natural

Contaminante	Control	Caldera industrial >3,000 c.c. [kg/10 ⁶ m ³]	Caldera comerc/inst. <3000 c.c. [kg/10 ⁶ m ³]	Horno Residencial <10 c.c. [kg/10 ⁶ m ³]
PM ₁₀	Sin control	121.6	121.6	182.8
PM _{2.5}	Sin control	121.6	121.6	182.8
SO ₂	Sin control	9.6	9.6	9.6
CO	Sin control	1344	1344	640
NO _x	Sin control	3760	1600	1504
	QBN*	2240	800	
	RG**	1600	512	
COT	Sin control	176	176	180
COTNM	Sin control	139.2	139.2	118.8
NH ₃	Sin control	51	7.8	7.8
CH ₄	Sin control	36.8	36.8	
COV	Sin control	88	88	

*Quemador bajo NO_x

** Recirculación de gases

Tabla A.1.2 Factores de emisión para combustión de gas L.P.

Contaminante	Caldera > 3000 C.C.		Caldera < 3000 C.C.	
	Butano [kg/m ³]	Propano [kg/m ³]	Butano [kg/m ³]	Propano [kg/m ³]
PM ₁₀	0.072	0.072	0.06	0.048
SO ₂	0.0108S ^a	0.012S ^a	0.0108S ^a	0.012S ^a
CO	0.432	0.384	0.252	0.228
NO _x	2.52	2.28	1.8	1.68
COT	0.72	0.06	0.072	0.06
CH ₄	0.0240	0.0240	0.0240	0.0240

^aS = 0.009 g/m³

Proporción de gases en el gas L.P: Butano: 40, Propano: 60

Fuente: PEMEX Gas y Petroquímica Básica.

Tabla A.1.3 Factores de emisión para combustión de diesel

Contaminante	Control	Caldera >3,000 C.C. [kg/m ³]	Caldera <3000 C.C. [kg/m ³]
PM ₀	S/control	--	0.12
PM ₅	S/control	0.03	0.03
SO ₂	S/control	17.04S*	17.04S*
CO	S/control	0.6	0.6
NO _x	S/control	2.88	2.4
	QBN/RG	1.2	1.2
COT	S/control	0.1248	0.03024
COTNM	S/control	0.0912	0.024
NH ₃	S/control	0.096	0.096
CH ₄	S/control	0.0336	0.00624

*S = % azufre = 0.04

Tabla A.1.4 Factores de emisión para combustión de gasóleo

Contaminante	Caldera >3000 C.C. [kg/m ³]	Caldera >3000 C.C. [kg/m ³]
PM _{2.5}	0.43344	0.43344
PM ₁₀	0.59472	0.59472
SO ₂	18S*	18S*
CO	0.6	0.6
NO _x	5.64	5.64
CH ₄	0.0336	0.0336
COT	0.1248	0.1248
COTNM	0.0912	0.0912
NH ₃	0.096	0.096

S = % azufre = 0.08

Tabla A.1.5 Factores de emisión para combustión de combustóleo

Contaminante	Caldera > 3000 C.C.		Caldera < 3000 C.C.	
	COP [kg/m ³]	COL [kg/m ³]	COP [kg/m ³]	COL [kg/m ³]
PM ₁₀	0.7929(S)+0.2919	0.8496	0.96365(S)+0.31835	1.03248
SO ₂	18.84S*	18.84S*	18.84S*	18.84S*
CO	0.6	0.6	0.6	0.6
NO _x	5.64	5.64	6.6	6.6
COT	0.1248	0.1248	0.1536	0.1536
COTNM	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible
CH ₄	No disponible	No disponible	No disponible	No disponible
NH ₃	0.096	0.096	0.096	0.096

COP: Combustóleo pesado. S = % azufre = 3.6, NOM-086-Ecol-1994

COL: Combustóleo ligero. S = % azufre = 1.49, NOM-086-Ecol-1994

A.1.2 Factores de emisión para proceso

Para el cálculo de las emisiones generadas por el proceso productivo se utilizaron factores de emisión de acuerdo con el Source Code Clasification (SCC¹) de la EPA. Los factores utilizados son factores sin control, ya que en el reporte de la cédula de operación anual, el industrial proporciona información de los equipos de control con que cuenta, así como la eficiencia de dichos equipos.

Para realizar las conversiones de los factores de emisión se realizaron las siguientes actividades:

- Se seleccionó de la base de datos FIRE 6.23 los procesos que fueron reportados en las COA'S 2002.
- Se Localizó el código SCC que representa el proceso o actividad productiva.

*S es el contenido de azufre en el combustible líquido consumido en la ZMVM.

Fuente: PEMEX subdirección comercial, Fax de 19 de Septiembre de 2001 PXR-SC-ASC 104/01

Los factores de emisión para los combustibles reportados fueron obtenidos del AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (US EPA, 1999).

¹ SCC source classification code 2000

- c. Se identificaron las unidades de los factores en el FIRE 6.23 para hacer las conversiones del sistema ingles al sistema métrico^b.

Los factores de emisión representan las cantidades de contaminantes emitidos por cada actividad del proceso. En las siguientes tablas se presentan los factores de emisión utilizados en el inventario de emisiones.

Tabla A.1.6 Factores de emisión para la Industria alimenticia, bebidas y tabaco

SCC	Nombre del proceso	kg/unidad				Unidad
		PM ₁₀	SO ₂	NO _x	COV	
Tostado de café						
3-02-002-01	Tostador de flama directa	0.55	0.20	0.05	1.30	Toneladas de granos verdes
3-02-002-02	Tostador de flama indirecta	0.30	0.20	0.05	1.30	Toneladas de granos verdes
3-02-002-03	Enfriador de grano	0.10	-	-	-	Toneladas de granos verdes
Molido de trigo						
		PM ₁₀				
3-01-007-31	Recibo de grano	0.03				Toneladas de grano recibido
3-01-007-32	Prelimpieza de manejo	0.02				Toneladas de grano recibido
3-01-007-34	Molino	21.35				Toneladas de grano recibido
Maíz: Molido en seco						
3-01-007-41	Recibo de grano	0.03				Toneladas de grano recibido
3-01-007-42	Secado de grano	0.34				Toneladas de grano recibido
3-01-007-43	Prelimpieza/manejo	0.02				Toneladas de grano recibido
3-01-007-44	Limpieza	1.85				Toneladas de grano recibido
Maíz: Molido húmedo						
3-01-007-51	Recibo de grano	0.08				Toneladas de grano recibido
3-01-007-52	Manejo de grano	0.38				Toneladas de grano recibido
3-01-007-53	Limpieza de grano	1.85				Toneladas de grano recibido
3-01-007-54	Secador	0.13				Toneladas de grano recibido
Avena / Molino						
3-01-007-60	Molido	0.75				Toneladas de grano recibido
Arroz / Molino						
3-01-007-70	Recibo de grano	0.05				Toneladas de grano recibido
3-01-007-72	Prelimpieza/manejo	0.38				Toneladas de grano recibido
3-01-007-73	Secado	0.01				Toneladas de grano recibido
Manufactura de alimentos						
3-01-008-04	Manejo	0.23				Toneladas de grano recibido
3-01-008-05	Molido	0.03				Toneladas de grano recibido
3-01-008-06	Enfriador de polvos	0.05				Toneladas de grano recibido
Producción de cerveza						
		PM ₁₀	PM _{2.5}	COV		
3-02-009-01	Manejo de grano	0.02	-	-	Toneladas de grano procesado	
3-02-009-02	Secado de grano agotado	0.15	0.05	0.33	Toneladas de grano procesado	
3-02-009-04	Secado de malta	0.01	-	-	Toneladas de grano seco	
Fermentación de whisky						
		PM ₁₀	COV			
3-02-010-01	Manejo de grano	0.23	-	Toneladas de grano procesado		
3-02-010-02	Secado de grano	1.5	1.3	Toneladas de grano procesado		
3-02-010-03	Envejecimiento	-	4.54	1000 litros producidos		
3-02-010-04	Tanque de fermentación	-	0.36	1000 litros producidos		
Vinos, brandys y alcohol						
		COV				
3-02-011-04		0.36	1000 litros producidos			
3-02-011-05		0.82	1000 litros producidos			
3-02-011-06		2.09	1000 litros producidos			
Procesamiento de pescado						
		PM ₁₀	COV			
3-02-012-01	Cocido: Desecho de pescado fresco	-	0.02	Toneladas de pescado producidas		
3-02-012-02	Cocido: Desecho de pescado no fresco	-	1.59	Toneladas de pescado producidas		
3-02-012-04	Cocido para conserva	-	0.75	Toneladas de pescado procesadas		
3-02-012-05	Secador de tubo	0.48	1.75	Toneladas de padecería de pescado		
3-02-012-06	Secador a fuego directo	0.76	3.25	Toneladas de padecería de pescado		

^b Appendix A miscellaneous data and conversions factor 9/85 (reformatted 1/95) appendix A-1

Continúa...

SCC	Nombre del proceso	kg/unidad					Unidad
		PM ₁₀	SO ₂	NO _x	COV	CO	
Carne ahumada							
3-02-013-01	Operaciones combinadas	0.14	0.05	0.35	0.04	0.3	Toneladas de carne ahumada
Procesamiento de cacahuates				NO_x			
3-02-017-99	Otros no clasificados			0.03			Toneladas procesadas
Procesamiento de aceite vegetal				COV			
3-02-019-06	General: Aceite de maíz			8.49			Toneladas alimentadas al extractor
3-02-019-07	General: Aceite de semilla de algodón			7.95			Toneladas alimentadas al extractor
3-02-019-09	General: Aceite de cacahuete			9.40			Toneladas alimentadas al extractor
3-02-019-16	Extracción de aceite			7.61			Toneladas alimentadas al extractor
3-02-019-17	Preparación de harina			0.50			Toneladas alimentadas al extractor
3-02-019-18	Refinación de aceite			0.21			Toneladas alimentadas al extractor
3-02-019-19	Pérdidas fugitivas			0.85			Toneladas alimentadas al extractor
3-02-019-20	Almacenamiento de solventes			0.08			Toneladas de semilla procesada
Panaderías				COV			
3-02-032-01	Cocido de pan: proceso de esponjamiento			6.51			Toneladas de pan horneadas
3-02-032-02	Cocido de pan: proceso de amasado			0.50			Toneladas de pan horneadas
Proceso de tabaco			SO₂		COV		
3-02-032-99	Otros no clasificados		0.24		0.17		Toneladas de producto
Elaboración de pan en aceite			PM₁₀		COV		
3-02-036-01	Cocido en recipiente: general		0.073		0.01		Toneladas procesadas
Cereal			PM₁₀				
3-02-040-01	Secado		0.30				Toneladas secadas

Tabla A.1.7 Factores de emisión para la industria textil

SCC	Nombre del proceso	Kg/unidad	Unidad
Operaciones de fabricación generales misceláneos		COV	
3-30-001-02	Pintado	129.94	Toneladas de material procesadas
3-30-001-04	Tiendas de campaña: calentamiento	0.21	Toneladas de material procesadas
Impregnación de hule/caucho		COV	
3-30-002-11	Impregnación	60.06	Toneladas de recubrimiento aplicado
3-30-002-12	Recubrimiento húmedo	544.80	Toneladas de recubrimiento aplicado
3-30-002-13	Recubrimiento fluido caliente	60.06	Toneladas de recubrimiento aplicado
3-30-002-14	Mezcla de recubrimiento húmedo	54.48	Toneladas de recubrimiento mezclado
Cuero y productos del cuero		COV	
3-20-999-98	Otros no clasificados	2.28	Litros de material procesado
Operaciones de recubrimiento de superficies			
Revestimiento de telas		COV	
4-02-011-01	Operaciones de revestimiento	726.40	Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-011-02	Mezclado de revestimiento	90.80	Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-011-05	Limpieza del equipo	90.80	Toneladas de solvente en el recubrimiento
Impresión en telas		COV	
4-02-011-11	Impresión en telas por rodillo	128.94	Toneladas de tela
4-02-011-12	Impresión en telas por rodillo (2)	126,212.00	Líneas de impresión
4-02-011-13	Impresión en telas por pantalla rotatoria	20.88	Toneladas de tela
4-02-011-14	Impresión en telas por pantalla rotatoria (2)	28,148.00	Líneas de impresión
4-02-011-15	Impresión en telas por pantalla plana	71.73	Toneladas de tela
4-02-011-16	Impresión en telas por pantalla plana (2)	28,148.00	Líneas de impresión
4-02-011-99	Otros no clasificados	908.00	Toneladas de solvente en el recubrimiento
Teñido de telas		COV	
4-02-012-01	Toneladas de tinte: general	98.10	Toneladas de tinte consumidos

Tabla A.1.8. Factores de emisión para la industria de la Madera y productos de madera, incluye muebles

SCC	Nombre del proceso	kg/unidad				Unidad
Operaciones de triplay/aglomerados		PM₁₀	SO₂	NO_x	COV	
3-07-007-03	Secado aglomerado	0.16	-	-	-	Toneladas procesadas
3-07-007-04	Secado de porta tabla	-	0.78	5.18	18.57	Toneladas secos madera pegada/emparejada
3-07-007-05	Tabla roca: secador	-	0.00	0.14	0.50	Toneladas de producto seco
3-07-007-06	Tabla roca: presecador	-	-	0.03	0.50	Toneladas de producto seco
3-07-007-07	Tabla roca: presurización	-	-	-	0.73	Toneladas de producto seco
3-07-007-09	Tabla roca: estufa de secado	-	-	0.05	-	Toneladas de producto seco
Operaciones de aserrado		PM₁₀				
3-07-008-01	General: Descortezamiento	0.005				Toneladas de leña procesada
3-07-008-02	General: Aserrado de leños	0.09				Toneladas de leña procesada
3-07-008-03	General: Manejo de pila de polvo de aserrado	0.16				Toneladas de polvo de aserrín
Operaciones varias de trabajo de madera		PM₁₀				
3-07-030-01	Venteo de tolva de almacenamiento de desecho de madera	0.26				Toneladas de desecho de madera
3-07-030-02	Llenado externo de tolva de almacenamiento de desecho de madera	0.54				Toneladas de desecho de madera
Operaciones de recubrimiento de superficies						
SCC	Nombre del proceso	kg/unidad				Unidad
Recubrimiento de superficies de muebles de madera		COV				
4-02-019-01	Operación de recubrimiento (c, COV)	726.40				Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-019-03	Mezcla de recubrimiento	90.80				Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-019-99	Otros no clasificados	908.00				Toneladas de solvente en el recubrimiento

Tabla A.1.9 Factores de emisión para la Industria del papel y productos del papel, imprentas y editoriales

Operaciones de recubrimientos superficiales					
SCC	Nombre del proceso	kg/Unidad			Unidad
Recubrimiento de papel		COV			
4-02-013-01	Operación de recubrimiento	635.60			Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-013-03	Mezclado del recubrimiento	136.20			Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-013-05	Limpieza del equipo	136.20			Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-013-99	Otras no clasificadas	908.00			Toneladas de solvente en el recubrimiento
Impresión/publicidad. Proceso de impresión					
Secadores		SO₂	NO_x	COV	
4-05-001-01	Secador: General	75.07	16.02	908.00	Toneladas de solvente en la tinta
Impresión		COV			
4-05-002-01	Impresión Tipográfica 2751	108.05			Toneladas de tinta
4-05-002-11	Impresión Tipográfica 2751	544.80			Toneladas de solvente en tinta
4-05-002-12	Impresión Tipográfica 2751	0.18			Litros de tinta
4-05-003-01	Flexográfica 2751	322.79			Toneladas de tinta
4-05-003-11	Flexográfica 2751	867.14			Toneladas de solvente en tinta
4-05-003-12	Flexográfica 2751	0.53			Litros de tinta
4-05-003-14	Flexográfica Limpieza con Alcohol Propílico	908.00			Toneladas de solvente consumido
4-05-004-01	Litográfica 2752	89.89			Toneladas de tinta
4-05-004-11	Litográfica 2752	454.00			Toneladas de solvente en tinta
4-05-004-12	Litográfica 2752	0.15			Litros de tinta
4-05-005-01	Fotograbado 2754	322.79			Toneladas de tinta

Continúa tabla anterior

4-05-005-11	Fotograbado 2754	867.14	Toneladas de solvente en tinta
4-05-005-12	Fotograbado 2754	0.53	Litros de tinta base agua.
4-05-005-13	Fotograbado 2754	1.49	Litros de tinta base solvente.
4-05-006-01	Mezclado de tintas	908.00	Toneladas solvente en tinta
4-05-007-01	Almacenaje de solventes	908.00	Toneladas solvente almacenado
Solventes adelgazantes de la tinta		COV	
4-05-002-02	Keroseno	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-002-03	Espíritus Minerales	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-003-02	Carbitol	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-003-03	Celosolve	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-003-04	Alcohol Etilico	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-003-05	Alcohol Isopropílico	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-003-06	Alcohol N-Propílico	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-003-07	Nafta	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-005-02	Dimetil-formamida	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-005-03	Acetato de Etilo	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-005-06	Metil, Etil Cetona	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-005-07	Metil, Isobutil Cetona	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-005-10	Tolueno	908.00	Toneladas solvente añadido
4-05-005-99	Otros no clasificados	908.00	Ton de solvente añadido

Tabla A.1.10 Factores de emisión de la Industria química, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico

SCC	Nombre del proceso	kg/Unidad		Unidad
Manufactura química				
Limpiadores químicos		PM₁₀	COV	
3-01-009-01	Secado por aspersión: Jabones y detergentes	30.03	0.03	Toneladas producidas
3-01-009-02	Limpiadores especiales	-	750.74	Toneladas producidas
Fabricación de pinturas		PM₁₀	COV	
3-01-014-01	Mezcla y manejo general	2.35	15.01	Toneladas de pintura producida
3-01-014-02	Manejo de pigmentos	8.51	-	Toneladas de pigmento procesado
Fabricación de barnices		COV		
3-01-015-01	Adecuación de aceite	20.02		Toneladas producidas
3-01-015-02	Oleo resinas	75.07		Toneladas producidas
3-01-015-03	Alquidalicas	80.08		Toneladas producidas
3-01-015-05	Acrílicas	10.01		Toneladas producidas
Manufacturas de tintas de impresión		PM₁₀	COV	
3-01-020-01	Vehículo de cocimiento: General	-	60.06	Toneladas de material producido
3-01-020-02	Vehículo de cocimiento: Aceites	-	20.02	Toneladas de material producido
3-01-020-03	Vehículo de cocimiento: Olefinas	-	75.07	Toneladas de material producido
3-01-020-04	Vehículo de cocimiento: Alkidalicos	-	80.08	Toneladas de material producido
3-01-020-05	Mezcla de pigmentos	0.85	3.10	Toneladas de pigmento producido
Preparaciones farmacéuticas		COV		
3-01-060-01	Secadores de vacío	0.21		100 kg de producto
3-01-060-02	Reactores	0.00		100 kg de producto
3-01-060-03	Unidades de destilación	5.36		100 kg de producto
3-01-060-04	Filtros	0.04		100 kg de producto
3-01-060-05	Extractores	0.003		100 kg de producto
3-01-060-06	Centrifugas	0.003		100 kg de producto
3-01-060-07	Cristalizadores	0.003		100 kg de producto
SCC	Nombre del proceso	kg/Unidad		Unidad
3-01-060-08	Sistemas de escape	0.003		100 kg de producto
3-01-060-09	Secadores de aire	0.77		100 kg de producto
3-01-060-10	Transporte / almacenamiento	0.03		100 kg de producto
3-01-060-11	Procesos de recubrimiento	100.10		Toneladas de solvente en recubrimiento
3-01-060-12	Procesos de granulación	100.10		Toneladas de solvente consumido
Hule y productos plásticos misceláneos. Grupos principales				
Manufactura de llantas		COV		
3-08-001-01	Encementado de cara lateral y área de huella	104.19		1000 unidades producidas
3-08-001-02	Vulcanizado por inmersión	6.04		1000 unidades producidas
3-08-001-03	Vulcanizado de cuerdas	8.31		1000 unidades producidas
3-08-001-04	Construcción de llanta	32.96		1000 unidades producidas

Continúa ...

3-08-001-05	Encementado de área de huella	15.07	1000 unidades producidas
3-08-001-06	Atomización llanta (green tire spraying)	137.02	1000 unidades producidas
3-08-001-07	Curado de llanta	2.00	1000 unidades producidas
3-08-001-08	Mezclado de solventes	4.90	Toneladas de solvente
3-08-001-20	Encementado de área de huella y cara lateral	817.20	Toneladas de solvente usado
3-08-001-21	Encementado de huella y acabado final	817.20	Toneladas de solvente usado
3-08-001-22	Vulcanizado final	817.20	Toneladas de solvente usado
3-08-001-23	Secado final de llanta	835.36	Toneladas de solvente usado
Reencauchado		COV	
3-08-005-01	Máquinas de raspado de cuero	272.40	1000 unidades procesadas
Fabricación de productos plásticos		COV	
3-08-007-01	Perforado, extrusión / cortado, etc.	5.902	Toneladas de material procesadas
3-08-007-03	Consumo de solvente	294.65	Toneladas de solvente usado
3-08-007-04	Consumo de adhesivo	294.65	Toneladas de adhesivo aplicado
Productos de fibra de vidrio con resina		COV	
3-08-007-21	Gel coat por rodillo	470.47	Toneladas de recubrimiento aplicado
3-08-007-22	Gel coat por atomizado	300.30	Toneladas de recubrimiento aplicado
3-08-007-23	Resina - general por rodillo	250.25	Toneladas de recubrimiento aplicado
3-08-007-24	Resina - general por atomizado	110.11	Toneladas de recubrimiento aplicado
Operaciones de recubrimiento de superficies			
Revestimiento superficial de partes plásticas		COV	
4-02-022-01	Recubrimiento	726.40	Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-022-03	Mezclado del recubrimiento	90.8	Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-022-05	Limpieza del equipo	90.8	Toneladas de solvente en el recubrimiento
4-02-022-99	Otros no clasificados	908.00	Toneladas de solvente en el recubrimiento

Tabla A.1.11 Factores de emisión de Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón

SCC	Nombre del proceso	kg/Unidad				Unidad
Productos minerales						
Cerámica arcillosa						
		PM₁₀	SO₂	NO_x	COV	
3-05-008-01	Secado	17.87	1.20	0.80	0.002	Toneladas alimentadas al proceso
3-05-008-02	Cribado	32.33	3.70	1.15	-	Toneladas alimentadas al proceso
Dosificación de cemento						
		PM₁₀				
3-05-011-01	General (no fugitivas)	0.05				Metros cúbicos de concreto producido
3-05-011-06	Trasferencia: Arena / agregados para elevarlos a la tolva	0.01				Toneladas procesadas
3-05-011-07	Vaciado de cemento: Tolva de almacenamiento	0.06				Toneladas procesadas
3-05-011-08	Peso de tolva: Llenado de cemento arena / agregados	0.00454				Toneladas procesadas
3-05-011-09	Mezclado: Llenado de cemento / arena / agregados	0.01				Toneladas procesadas
3-05-011-10	Llenado de tránsito mezclado en camiones	0.00454				Toneladas procesadas
3-05-011-11	Llenado de Batch - seco en el camión	0.01				Metros cúbicos de concreto producido
3-05-011-20	Productos: Cemento / asbestos	0.05				Toneladas producidas

Tabla A.1.12 Otros factores para recubrimientos superficiales (emisiones evaporativas)

SCC	Nombre del proceso	kg/unidad	Unidad
Operaciones de recubrimiento de superficies			
Aplicación de recubrimientos superficiales – General -		COV	
4-02-001-01	Pinturas: Base Solvente	508.48	Toneladas de recubrimiento Aplicado
4-02-001-10	Pinturas: Base Solvente	0.67	Litros de recubrimiento procesado
4-02-002-01	Pinturas: Base Agua	111.68	Toneladas de recubrimiento Aplicado
4-02-002-10	Pinturas: Base Agua	0.16	Litros de recubrimiento procesado
4-02-003-01	General: Barniz/Laca	454.00	Toneladas de recubrimiento Aplicado
4-02-003-10	General: Barniz/Laca	0.40	Litros de recubrimiento procesado
4-02-004-01	General: Laqueado	699.16	Toneladas de recubrimiento Aplicado
4-02-004-10	General: Laqueado	0.73	Litros de recubrimiento procesado
4-02-005-01	General: Esmaltado	381.36	Toneladas de recubrimiento Aplicado
4-02-005-10	General: Esmaltado	0.42	Litros de recubrimiento procesado
4-02-006-01	General: Primer	599.28	Toneladas de recubrimiento Aplicado
4-02-006-10	General: Primer	0.79	Litros de recubrimiento procesado
4-02-007-01	General: Aplicación de Adhesivo	576.58	Toneladas de recubrimiento Aplicado
4-05-007-10	General: Adhesivo	0.53	Litros de recubrimiento procesado
Horno de recubrimiento – General		SO_x	COV
4-02-008-01	General	2.50	27.03
4-02-008-10	General	0.12	1.56
Solventes adelgazantes		COV	
4-02-009-01	General: Especifico en comentarios	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-02	Acetona	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-03	Acetato de Butilo	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-04	Alcohol Butílico	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-05	Carbitol	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-06	Celosolve	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-07	Acetato de Celosolve	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-08	Dimetil formamida	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-09	Acetato Etilico	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-10	Alcohol Etilico	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-11	Gasolina	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-12	Alcohol Isopropilico	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-13	Acetato Isopropilico	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-14	Keroseno	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-15	Solventes de Lactol	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-16	Acetato Metilico	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-17	Alcohol Metilico	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-18	Metil Etil Cetona	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-19	Metil Isobutil Cetona	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-20	Solventes minerales	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-21	Nafta	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-22	Tolueno	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-23	Varsol	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-24	Xileno	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-25	Benceno	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-26	Turpentino	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-27	Hexilen glicol	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-28	Oxido de Etileno	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-29	Metil Cloroformo	908.00	Toneladas de solvente usado
4-02-009-31	Percloroetileno	908.00	Toneladas de solvente usado

Clasificación Mexicana de Actividades y Productos (CMAP)

La clave CMAP, contiene cuatro niveles de agregación, sector, subsector, rama y actividad. Esta agregación obedece al criterio básico para identificar la actividad de las unidades estadísticas, partiendo de lo general hacia niveles de mayor especificación de una manera gradual.

La industria de la ZMVM, está incluida en los sectores 3 “Industrias Manufactureras” y 4 “Electricidad y Agua”, los cuales se dividen en 10 subsectores y 55 ramas como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla A.1.13 Descripción de los sectores, subsectores y ramas de la industria en la ZMVM

Sector	Subsector	Rama	Descripción
3			Industrias manufactureras
	31		Productos alimenticios, bebidas y tabaco
		3111	Industria de la carne
		3112	Elaboración de productos lácteos
		3113	Elaboración de conservas alimenticias. Incluye concentrados para caldos. excluye las de carne y leche exclusivamente
		3114	Beneficio y molienda de cereales y otros productos agrícolas
		3115	Elaboración de productos de panadería
		3116	Molienda de nixtamal y fabricación de tortillas
		3117	Fabricación de aceites y grasas comestibles
		3119	Fabricación de cocoa, chocolate y artículos de confitería
		3121	Elaboración de otros productos alimenticios para el consumo humano
		3122	Elaboración de alimentos preparados para animales
		3130	Industria de las bebidas
		3140	Industria del tabaco
	32		Textiles, prendas de vestir e industria del cuero
		3211	Industria textil de fibras duras y cordelería de todo tipo
		3212	Hilado tejido y acabado de fibras blandas excluye de punto
		3213	Confección con materiales textiles. Incluye la fabricación de tapices y alfombras de fibras blandas
		3214	Fabricación de tejidos de punto
		3220	Confección de prendas de vestir
		3230	Industria del cuero, pieles y sus productos. Incluye los productos de materiales sucedáneos. Excluye calzado y prendas de cuero.
		3240	Industria del calzado excluye de hule y/o plástico
	33		Industria de la madera y productos de madera. Incluye muebles
		3311	Fabricación de productos de aserradero y carpintería. Excluye muebles
		3312	Fabricación de envases y otros productos de madera y corcho. Excluye muebles
		3320	Fabricación y reparación de muebles principalmente de madera. Incluye colchones
	34		Papel y productos de papel, imprentas y editoriales
		3410	Manufactura de celulosa, papel y sus productos
		3420	Imprentas, editoriales e industrias conexas
	35		Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón de hule y de plástico
		3511	Petroquímica básica
		3512	Fabricación de sustancias químicas básicas. Excluye las petroquímicas básicas
		3513	Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas
		3521	Industria farmacéutica
		3522	Fabricación de otras sustancias y productos químicos
		3540	Industria del coque. incluye otros derivados del carbón mineral y del petróleo
		3550	Industria del hule
		3560	Elaboración de productos de plástico

Continúa tabla anterior

36		Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón
	3611	Alfarería y cerámica, excluye materiales de construcción
	3612	Fabricación de materiales de arcilla para la construcción
	3620	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
	3691	Fabricación de cemento, cal, yeso y otros productos a base de minerales no metálicos
37		Industrias metálicas básicas
	3710	Industria básica del hierro y del acero
	3720	Industrias básicas de metales no ferrosos. Incluye el tratamiento de combustibles nucleares
38		Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión
	3811	Fundición y moldeo de piezas metálicas ferrosas y no ferrosas
	3812	Fabricación de estructuras metálicas, tanques y calderas industriales. Incluso trabajos de herrería
	3813	Fabricación y reparación de muebles metálicos
	3814	Fabricación de otros productos metálicos, excluye maquinaria y equipo
	3821	Fabricación y/o reparación de maquinaria y equipo para fines específicos con o sin motor eléctrico integrado. Incluye maquinaria agrícola
	3822	Fabricación y/o reparación de maquinaria y equipo para usos generales con o sin motor eléctrico integrado. Incluye armamento
	3823	Fabricación y/o ensamble de maquinas de oficina, calculo y procesamiento informativo
	3831	Fabricación y/o ensamble de maquinaria, equipo y accesorios eléctricos. Incluye para la generación de energía eléctrica
	3832	Fabricación y/o ensamble de equipo electrónico de radio, televisión, comunicaciones y de uso medico
	3833	Fabricación y/o ensamble de aparatos y accesorios de uso domestico. Excluye los electrónicos
	3841	Industria automotriz
	3842	Fabricación, reparación y/o ensamble de equipo de transporte y sus partes. Excluye automóviles y camiones
	3850	Fabricación, reparación y/o ensamble de instrumentos y equipo de precisión. Incluye instrumental quirúrgico excluye los electrónicos
39		Otras industrias manufactureras-
	3900	Otras industrias manufactureras
4		Electricidad y Agua.
41		Electricidad
	4100	Generación de energía eléctrica

La adjudicación de la clave CMAP, se realizó tomando en cuenta la actividad principal de cada industria establecida en la ZMVM, así como sus principales productos.

Así tenemos que una industria, cuya actividad principal es la maquila de productos plásticos y tiene como producto principal juguetes, estaría dentro del subsector 35 "Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón de hule y de plástico", la rama 3560 "Elaboración de productos de plástico" y la actividad 356011 "Fabricación de juguetes plásticos".

A.1.3 Consideraciones para el cálculo de emisiones por combustión

La información para estimar las emisiones por combustión de una industria en particular consiste en determinar la capacidad del equipo de combustión, el consumo y tipo de combustible utilizado, el tipo de quemador y si cuenta con algún sistema de control para los gases de combustión y horarios de operación, ver diagrama A.1.1.

Existen conversiones previas a la selección del factor de emisión, como la capacidad térmica del equipo y las unidades de consumo de combustibles, entre

otras conversiones, las cuales se realizaron de acuerdo al Apéndice A del AP-42 1995 de la US-EPA.

Si el equipo de control se encuentra relacionado con el punto de generación de algún contaminante, se analiza la siguiente información: el tipo de equipo de control, contaminante que controla y la eficiencia del equipo.

Toda la información es evaluada, analizada y procesada con la siguiente ecuación:

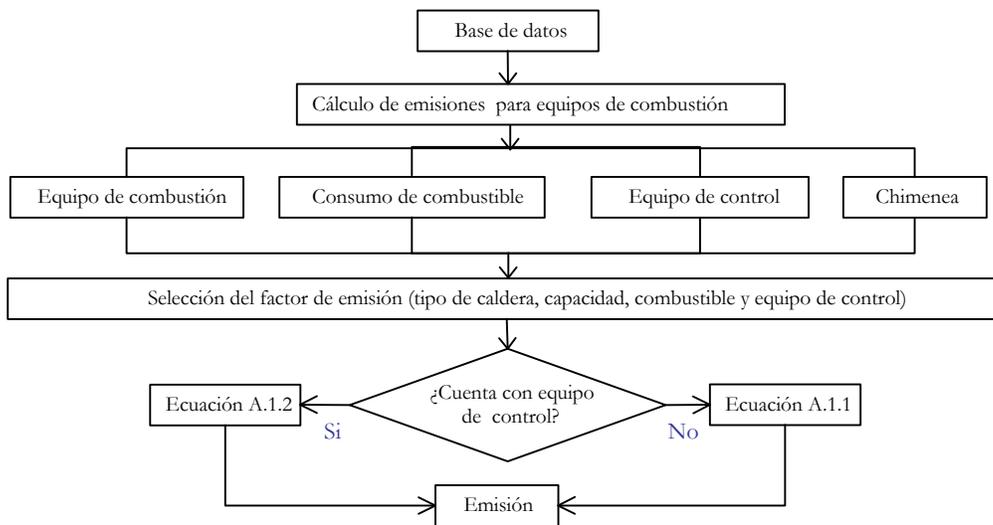
$$E = A \times FE \quad \text{Ecuación A.1.1 (Sin control)}$$

$$E = A \times FE \left(\frac{1-EC}{100} \right) \quad \text{Ecuación A.1.2 (Con control)}$$

Donde

- E: Emisión de contaminante
- A: Tasa de actividad
- FE: Factor de emisiones, [kg de contaminante emitido por m3 de combustible quemado]
- EC: Eficiencia del sistema de control [%]

Figura A.1.1 Etapas para el cálculo de emisiones en equipos de combustión



Para el cálculo de las emisiones por combustión se consideró lo siguiente:

1. Los contaminantes por combustión evaluados para este inventario de emisiones, son PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_x , CO, HCT, HCNM, CH_4 , COV's y NH_3 .
2. De la cédula de operación anual, se toma el consumo y tipo de combustible reportado por la industria para cada equipo de combustión reportado en la Tabla A.1.14, así como la capacidad térmica de los mismos, se aplica el factor de emisión correspondiente y se realiza el cálculo de las emisiones, tomando en cuenta las horas y los días de operación de los equipos.
3. Si el equipo de combustión cuenta con equipo para controlar sus emisiones, se considera la eficiencia de control, y la emisión de este equipo debe ser afectada por dicha eficiencia para estimar la emisión total, la emisión controlada y la emisión sin control, es decir la emisión que realmente se emite a la atmósfera.
4. Si no se reporta el consumo de combustibles, o el dato es confuso en la COA, pero se conoce el tipo de combustible utilizado, el consumo del combustible se determina por medio de cálculos de ingeniería, basados en la capacidad térmica del equipo, su horario de operación y el poder calorífico del combustible.
5. Cuando se desconocen las horas al año de trabajo de los equipos, pero se conoce el consumo y tipo de combustible utilizado, así como su capacidad térmica, se puede determinar las horas de operación anual de dichos equipos y con esto calculamos las emisiones anuales.
6. Cuando se desconoce el tipo de combustible utilizado, no se realiza el cálculo de emisión por combustión, debido a que no se puede establecer el factor de emisión a utilizar.
7. Cuando los datos de capacidad térmica del equipo de combustión y los consumos de combustibles son incongruentes, no se realiza el cálculo de las emisiones por combustión, debido a la gran incertidumbre de los datos.

Tabla A.1.14 Equipos de combustión utilizados en la industria

Equipos de combustión por calentamiento directo	Equipos de combustión calentamiento indirecto
Hornos	Calderas
Estufas	Generador de vapor
Dragas	Boyer
Paylas	Intercambiadores de calor
Quemadores	Calentadores de aceite
Hornillas	Otros
Tómbolas de secado	
Tostadores	
Freidoras	
Otros	

Consumo de combustibles en la ZMVM

En el caso de todas aquellas industrias cuyo consumo de combustibles no pudo ser verificado, ya sea por un documento extra (facturas) o por la negativa del industrial a la aclaración de la información, se realizaron cálculos de acuerdo a las capacidades de los equipos de combustión, horas de operación y poder calorífico del combustible en cuestión.

El consumo de gas natural en la ZMVM se verificó a través del documento "información final consumo Secretaría del Medio Ambiente abril 2002.xls"¹, en él, se reportan las industrias que consumen gas natural en la ZMVM. Con esta información, se comparó el consumo de gas natural reportado por las industrias en la COA; cabe mencionar que para este caso se consideraron las industrias que reportan un consumo de gas natural "dudoso", de acuerdo a las capacidades de los equipos de combustión y las horas de operación del mismo, en su caso se tomó el consumo reportado en el documento mencionado y se recalcularon las emisiones generadas por la combustión del combustible.

Una vez obtenida la sumatoria del consumo de combustibles, que reportan las industrias en la ZMVM, se comparó con los datos de ventas globales de combustibles para ZMVM reportados por PEMEX, con el fin de validar las consideraciones anteriores. Con el consumo de combustible validado para cada industria, se procede al cálculo de las emisiones por combustión, para un mayor entendimiento se presenta el siguiente ejemplo.

Ejemplo 0. Cálculo de las emisiones de una caldera que utiliza gas natural como combustible

Parámetros de operación asumidos:

Nombre del equipo:	Caldera	Capacidad:	2000 CC (Caballos Caldera) 7064 MJ/h
Combustible que utiliza:	Gas Natural	Cantidad:	4,000,000 m ³ /año
Equipo de control:	Quemador de Bajo NOx (QBN)	Eficiencia:	40%
Horas de operación:	8	Días al año:	313

Factores de emisión:

Los factores de emisión de los contaminantes están referidos al equipo de combustión, la capacidad del equipo y al tipo de combustible que utiliza; y para el caso del Gas Natural sería:

¹ Remitida a la Secretaria del Medio Ambiente del GDF, el 24 de mayo de 2002 por PEMEX Gas y Petroquímica Básica.

De la tabla A.1.1, para gas natural, se toma el factor de emisión correspondiente de acuerdo a la capacidad del equipo (<3000 CC) y se realiza la estimación de las emisiones como se describe a continuación:

La ecuación general para estimar emisiones totales de los contaminantes es la siguiente:

$$\text{Emisión} = \text{Consumo de combustible anual (m}^3\text{/año)} * \text{Factor de emisión}$$

Cálculo de emisiones totales

PM ₁₀	=	4,000,000 m ³ /año	*	121.6 kg/10 ⁶ m ³	=	486 kg/año
SO ₂	=	4,000,000 m ³ /año	*	9.6 kg/10 ⁶ m ³	=	38.4 kg/año
CO	=	4,000,000 m ³ /año	*	1,344 kg/10 ⁶ m ³	=	5376 kg/año
NO _x	=	4,000,000 m ³ /año	*	1,600 kg/10 ⁶ m ³	=	6,400 kg/año
COT	=	4,000,000 m ³ /año	*	176 kg/10 ⁶ m ³	=	704 kg/año
COV	=	4,000,000 m ³ /año	*	88 kg/10 ⁶ m ³	=	352 kg/año

Estimación de las emisiones sin control.

Las emisiones de NO_x son controladas con un equipo (quemador de Bajo NO_x), con una eficiencia de control del 40%. La ecuación para estimar estas emisiones es como sigue:

$$\text{Emisión sin control} = \text{Emisión total} * (1 - \text{Eficiencia del equipo de control})$$

$$\text{NO}_{x\text{sin control}} = 6,400 \text{ kg/año} * (1 - 0.40) = 3,840 \text{ kg/año}$$

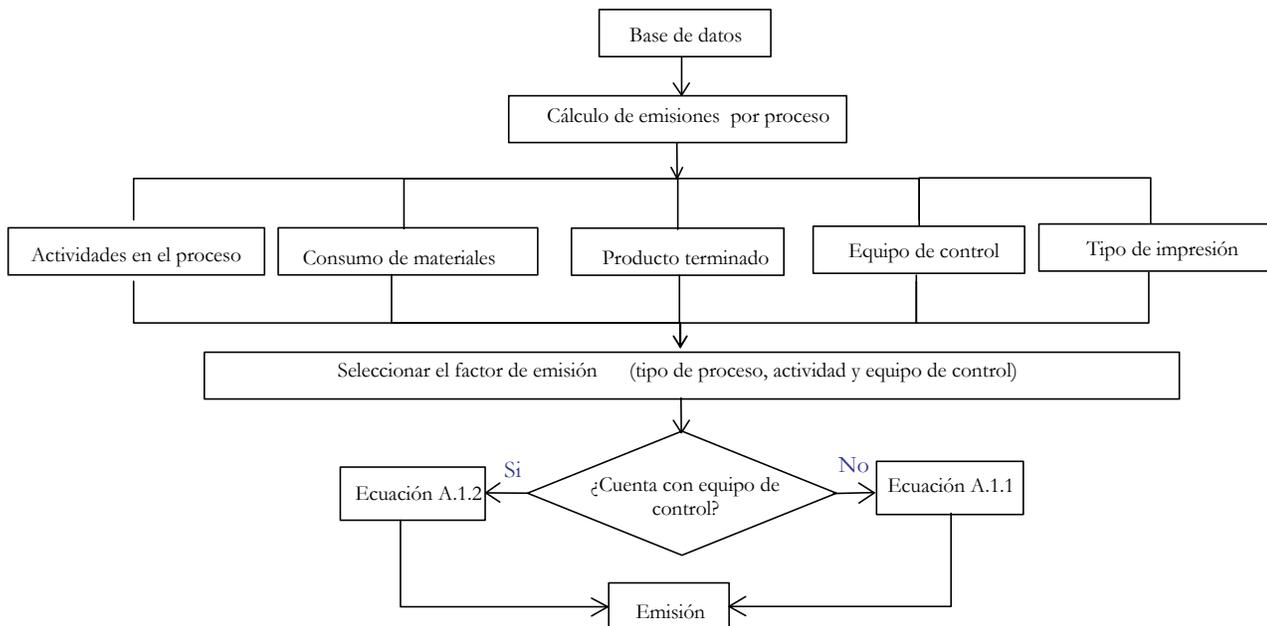
Esta emisión sin control es la reportada en el inventario de emisiones ya que es la emisión que realmente se descarga a la atmósfera.

A.1.4 Consideraciones para el cálculo de emisiones por proceso

Para realizar la valoración de las emisiones en el proceso se utilizaron factores de emisión del FIRE 6.23 de la EPA, estos representan las cantidades de contaminantes emitidos en un equipo u operación por cada etapa del proceso.

El cálculo de las emisiones por proceso en la industria, consiste en revisar la información proporcionada en la cédula de operación anual (ver figura siguiente). Si cuenta con equipos de control se determina la siguiente información: ¿El equipo se encuentra relacionado al punto de generación del contaminante?, ¿Que tipo de equipo y contaminante controla? y ¿Cuál es su eficiencia de control?. Lo anterior es suficiente para seleccionar los factores de emisión a utilizar.

Figura A.1.2 Etapas para el cálculo de emisiones por proceso.



Para el cálculo de emisiones en el área de procesos se tienen 3 tipos de estimaciones: 1) por factores de emisión para equipos de combustión de calentamiento directo; 2) por factores de emisión del FIRE 6.23 y 3) por datos reportados en estudios de emisiones medidos en campo.

Para el cálculo de las emisiones por proceso se trabajó de la siguiente manera:

- A. Con la información referida a las materias primas, productos y/o actividad emisora de contaminantes, se identifica el factor de emisión del SCC² correspondiente a la actividad y/o proceso.
- B. Si no se tienen las unidades que reporta el factor de emisión (kg/ton, kg/lit, kg/producto, kg/materia prima consumida) y no se puede llegar a las unidades requeridas, entonces no se realiza el cálculo de emisiones por SCC, ya que no se cuenta con la información necesaria para la estimación de emisiones por actividad productiva. En estos casos, se identifican industrias con actividades similares y se relacionan para obtener una emisión aproximada.
- C. En el giro de impresión, es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones para el cálculo, ya que existen diversos tipos de impresión como son:

- Impresión Flexográfica
- Impresión Tipográfica
- Impresión Litográfica
- Fotograbado
- Impresión Serigráfica

² EPA 454/C-00-003, Diciembre 2000, Emission Factors and inventory Group EMAD/OAQPS Versión 8.0, Source Classification Codes, octubre 2000.

- Impresión Offset
- Rotograbado

- A cada uno de las anteriores actividades le corresponde un factor de emisión por lo que se debe tener en cuenta que:

- La impresión *Offset* es similar a la impresión *Litográfica*, ambas son usadas para la fabricación de libros, folletos, periódicos, y por lo tanto se considerará el factor de la impresión Litográfica para ambos tipos de impresión.

- Para la Impresión, *Tipográfica* y *Serigráfica* se considerará el factor de la impresión *Tipográfica* debido a que tienen un proceso similar, por lo que el factor de emisión representa las condiciones de operación de estas dos actividades.

- El factor de emisión del *Fotograbado* será el mismo para el *Rotograbado*, ya que ambos son procesos similares y uso (etiquetas, revistas, periódicos, cajas de cartón y materiales de empaque flexible).

D. Cuando se reporten solventes adelgazantes (ya sea para impresión o para recubrimiento) y no se encuentren dentro del catalogo de "solventes adelgazantes" (como por ejemplo el thinner), entonces se englobará dicho solvente dentro del catalogo "general específico" para el caso de recubrimiento y en "otros no clasificados" para impresión.

E. Para la estimación por SCC en cuanto a las actividades de recubrimiento e impresión, se debe tener en cuenta que la cantidad de solvente que se evapora totalmente es la suma del solvente contenido en el recubrimiento por fabricación y/o tinta, más el solvente utilizado para el adelgazamiento de la tinta y recubrimiento.

F. Cuando se reporten hornos, se debe tener en cuenta que la actividad de un horno a otro varia, así por ejemplo se tienen actividades de recubrimiento, pintado, curado, polimerizado, secado, entre otros. Las diferencias se muestran a continuación:

- Horno de Curado, incluye el proceso de recubrimiento y secado.
- Horno de recubrimiento, solamente el recubrimiento.
- Horno de polimerizado, incluye el proceso de polimerización por electricidad o temperatura.
- Horno de secado, proceso de secado.

Además de los hornos, en los procesos productivos, también se cuentan con actividades como el Pintado manual o por pistola y recubrimiento de spray o rociado en casetas de pinturas.

G. Cuando alguna de las actividades desarrolladas en el proceso no se encuentre en el SCC, se verifica si dicha actividad, materia prima y/o productos se puede englobar en algún factor como actividad general, o en otros no clasificados o en una actividad y/o materia prima similar, para así realizar el calculo por SCC.

- H. Si se reporta algún equipo de control y se conoce su eficiencia, la emisión total es afectada por dicha eficiencia para estimar las emisiones totales, con control y sin control.
- I. Los gastos volumétricos se consideran en base seca y condiciones normales de presión y temperatura para poder estimar las emisiones de contaminantes.
- J. Cuando no se especifican los horarios de operación de los equipos de proceso se considera el horario de labores diarias.
- K. Si no se especifica o reporta la capacidad de los equipos de combustión de calentamiento directo, éstos, se considerarán menores a 3,000 caballos caldera, para estimar una emisión aproximada sin importar el tipo de combustible.
- L. Cuando no se especifica el tipo de quemador, éste, para fines de cálculo se considerará como quemador normal.
- M. Si la emisión de algún contaminante es reportado en kg/hr, pero no se reporta el tiempo de operación del equipo emisor, no se realiza el cálculo anual para la emisión reportada, ya que si se considera el tiempo que labora la empresa se estimaría una emisión errónea y por consiguiente alta, por lo que, las emisiones de estas industrias se estimaran con factores de emisión tomando en cuenta las materias primas y productos que puedan generar emisiones de acuerdo a las actividades productivas en que sean utilizadas.
- N. Cuando no se cuenta con datos reportados de mediciones o de cálculos de ingeniería se calcularán las emisiones utilizando los factores de emisión.
- O. Si se tienen emisiones reportadas en la COA o en el estudio de emisiones, se realizará una comparación con las emisiones estimadas por factores de emisión correspondientes. De dicha comparación se reportará la emisión más congruente de acuerdo a la actividad productiva, horas de operación, equipos de control, materia prima, producto y las demás variables que afecten la emisión de contaminantes.
- P. Para el caso de los productos plásticos, cuando no se especifiquen datos de las actividades, todos los proceso se engloban en producción de productos plásticos.

A continuación se presentan algunos ejemplos de como se realizó el cálculo por factores de emisión, para las emisiones por proceso.

Ejemplo 1. Cálculo por FE para proceso.

Clave CMAP: 342002

Actividad principal: Impresión de revistas

Materias primas	Cantidad	Unidades
Papel	10,533,528	Ton/año
Tinta	54,267	kg/año
Lamina fotosensible	34,565	pzas/año
Reveladores	5250	Lts/año
Goma arábica	592	kg./año
Goma para encuadernado	20,826	kg./año

Cálculo de emisiones por impresión tipográfica

Se identifica la actividad principal, materias primas y productos, se relaciona la actividad con el SCC.

El SCC correspondiente a esta actividad es el 4-05-002-01 y el factor de emisión a utilizar es 108.052 kg de COV por tonelada de tinta utilizada, entonces:

Si se tienen 54,267 kg de tintas la emisión será:

$$E_{COV} = (54.267 \text{ ton tinta/año} * 108.052 \text{ kg COV/ton tinta}) * (1\text{ton}/1000\text{kg}) = 5.86 \text{ ton de COV/año}$$

Para el caso de libros y revistas se estima la emisión de COV's por el uso de pegamentos, el cual corresponde al SCC 4-02-007-01 (Aplicación de adhesivo), y el factor de emisión es de 576.58 kg de COV, por tonelada de pegamento aplicado.

Si se tienen: 21,418 kg de pegamento, equivalente a 21.418 toneladas.

$$E_{COV} = (576.58 \text{ kg COV/ton peg.} * 21.418 \text{ ton peg./año}) * (1\text{ton}/1000\text{kg}) = 12.35 \text{ ton de COV/año}$$

Emisión total de COV's = 12.35 + 5.86 = 18.21 ton de COV/año

Ejemplo 2. Cálculo por FE para proceso.

Clave CMAP: 311403

Actividad principal: Tostado y comercialización de café.

Materias primas	Cantidad	Unidades
Café	12,000	Kg/año
Azúcar	3,500	Kg/año

Cálculo de emisiones por proceso de tostado de café

El SCC que le corresponde es el 3-02-002-02 y los factores correspondientes se observan a continuación:

Operación	kg/unidad				Unidad
	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	COV	
Tostador de flama indirecta	0.30	0.20	0.05	1.30	Toneladas. de granos verdes

Si se tienen 12,000 kg de café la emisión equivalente a 12 toneladas

$$E_{PM10} = (0.3 \text{ kg/ton de grano} * 12 \text{ ton/año}) * (1 \text{ ton}/1000 \text{ kg}) = 0.0036 \text{ ton/año de PM10}$$

$$E_{SO2} = (0.2 \text{ kg/ton de grano} * 12 \text{ ton/año}) * (1 \text{ ton}/1000 \text{ kg}) = 0.0024 \text{ ton/año de SO2}$$

$$E_{NOx} = (0.05 \text{ kg/ton de grano} * 12 \text{ ton/año}) * (1 \text{ ton}/1000 \text{ kg}) = 0.0006 \text{ ton/año de NOx}$$

$$E_{COV's} = (1.3 \text{ kg/ton de grano} * 12 \text{ ton/año}) * (1 \text{ ton}/1000 \text{ kg}) = 0.0156 \text{ ton/año de COV}$$

A.1.5 Emisiones por hora

Una vez determinadas las emisiones generadas por los equipos de combustión y las emisiones generadas por proceso productivo, se realizó la suma de las emisiones con la finalidad de obtener la emisión total de cada una de las industrias ubicadas en la ZMVM.

Con la emisión total de cada una de las industrias, y las horas anuales laboradas, se obtiene la emisión por hora para los diferentes contaminantes.

El total de horas laboradas por cada una de las industrias, se determina de acuerdo al número de horas y los días que labora durante el año.

Esta emisión horaria se distribuye de acuerdo con la hora de inicio de operación de la industria y las horas laboradas durante un día.

Ejemplo 3.

Una empresa que emite 20 toneladas anuales de NO_x, y labora 9 horas diarias de lunes a sábado (313 días/año), tendría la siguiente emisión por hora.

$$\text{Emisión total} = 20 \text{ ton/año de NO}_x$$

$$\text{Horas anuales} = 9 \text{ hr/día} * 313 \text{ día/año} = 2,817 \text{ hr/año}$$

$$\text{Emisión horaria} = 20 \text{ ton/año} / 2,817 \text{ hr año} = 0.0071 \text{ ton/hr} = 7.1 \text{ kg/hr}$$

Considerando que esta empresa inicia sus labores a partir de las 7:00 hrs, se tiene el siguiente perfil:

Hora	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
NOx (kg/h)	0	0	0	0	0	0	0	0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	0	0	0	0	0	0	0

Con la distribución horaria de cada una de las industrias, se realizó la sumatoria de las emisiones por hora y se obtuvo la emisión total correspondiente a la hora en cuestión. Cabe mencionar que los perfiles horarios se determinaron por cada contaminante.

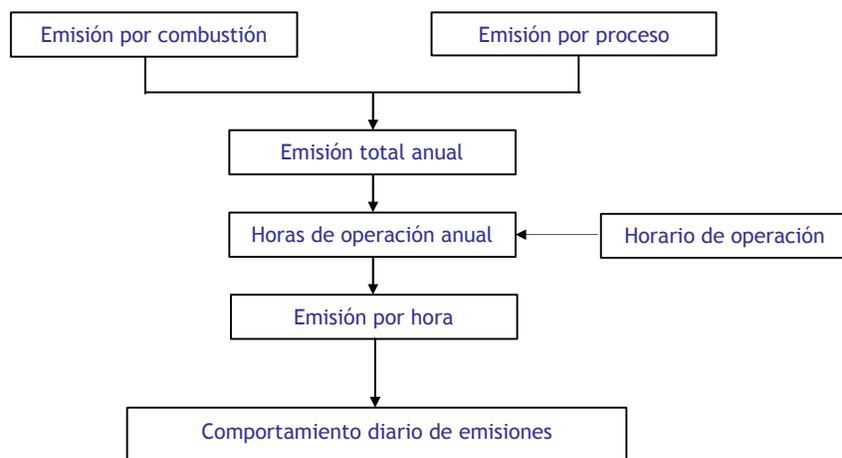
Es importante mencionar que las industrias de jurisdicción Federal y del Estado de México, proporcionan información de los horarios de operación, pero no cuenta con información respecto al horario de inicio de sus operaciones de las empresas.

Los horarios de operación de las empresas ubicadas en las entidades antes mencionadas respecto de la industria local del D.F. muestran prácticamente el mismo perfil, por lo que con la información de horarios de operación de las industrias de jurisdicción local del D.F., se realizó una distribución de los horarios de inicio de operación para las empresas que no reportan este dato.

Para las industrias que reportan 24 de horas de operación, se consideró que su inicio de operación es a las 6:00 horas de manera arbitraria, ya que esto no afecta en la distribución de las emisiones, porque las emisiones serán constantes para cada hora durante el tiempo que la industria opere.

Esta metodología se aplicó para cada uno de los contaminantes evaluados en el Inventario de Emisiones para la ZMVM 2002.

Figura A.1.3 Etapas para el cálculo de emisiones por hora



A.1.6 Consideraciones para la especiación de hidrocarburos

Para la especiación de hidrocarburos se separaron las emisiones de Compuestos Orgánicos Totales (COT), en emisiones generadas por la combustión de combustibles fósiles y emisiones generadas por actividades productivas (emisiones por proceso).

Hidrocarburos por combustión

Para la especiación de los hidrocarburos (HCT³, HCNM⁴ y CH₄^{*}) con relación a los COT generados por combustión, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones

$$\text{COT} = \text{HCT} + \text{ALDEHIDOS}$$

$$\text{HCT} = \text{COT} - \text{ALDEHIDOS}$$

$$\text{HCNM} = \text{HCT} - \text{CH}_4$$

La determinación de aldehídos presentes en los COT generados por la combustión, se realizó de acuerdo con los porcentajes según el tipo de combustible, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla A.1.15 Porcentaje de aldehídos presentes en la formación de COT por combustión

% Peso	Nombre químico	Actividad
7.67756	Formaldehído	Equipos de combustión externa - gas natural
7.01649	Formaldehído	Equipos de combustión externa - gas LP
0.08823	Formaldehído	Equipos de combustión externa - destilado o residual

Fuente: Especiate versión 3.1 del Air chief 8.0 del año 2000, de la USEPA.

Para determinar la cantidad de Compuestos Orgánicos Volátiles por combustión, se consideró el porcentaje de este contaminante presente en la formación de COT, se consideró de acuerdo al tipo de combustible y la capacidad de los equipos de combustión, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla A.1.16 Porcentaje de COV's contenido en los COT por combustión

Contaminante	Gas Natural		Diesel		Gasóleo		Gas L.P
	Todas las capacidades	>3000 CC	<3000 CC	>3000 CC	<3000 CC	Todas las capacidades	
COV	50.0	82.8	82.8	82.8	82.8	64.6	

Fuente: Vol.5 Desarrollo de inventario de emisiones de fuentes de área. Manuales del programa de inventarios de emisiones de México. Mar/31/97

3 Hidrocarburos totales
4 Hidrocarburos no metánicos
* Metano

Hidrocarburos generados por proceso

Para la especiación de los Hidrocarburos derivados de los COT emitidos por proceso, se consideraron los porcentajes de hidrocarburos reportados en el espedate 3.2 del Air Chief 8.0 de la USEPA del año 2000. Para esta especiación se toma en cuenta la contribución porcentual de cada uno de los hidrocarburos que conforman a los Compuestos Orgánicos Reactivos, los aldehídos, el metano, etc., y se manejan los mismos criterios que en la especiación por combustión como se muestra a continuación.

$$\text{COT} = \text{HC} + \text{Aldehídos}$$

$$\text{HCT} = \text{COT} - \text{Aldehídos}$$

$$\text{HCNM} = \text{HC} - \text{Metano}$$

En la siguiente tabla se observan los porcentajes de los hidrocarburos que conforman los COT generados por las actividades productivas, de acuerdo al subsector y la rama de industrial.

Tabla A.1.17 Porcentajes de COV, CH₄, Aldehídos e Hidrocarburos respecto del total de COT generados por proceso

GIRO	% COV*	% CH ₄	% ALDEHIDOS	% HC
INDUSTRIA ALIMENTICIA (31)				
3111/3112/3113	90.34	0	0	100
3114/3116	100	0	0	100
3115	100	0	0	100
3117/3119/3121/3122	90.34	0	0	100
3130	100	0	0	100
3140	100	0	0	100
INDUSTRIA DEL VESTIDO (32)				
3211	100	0	0	100
3212	100	0	0	100
3213/3214/3220	100	0	0	100
3230	100	0	0	100
3240	99.23	0	0	100
PRODUCTOS DE LA MADERA Y SUS DERIVADOS (33)				
3311	100	0	0	100
3312/3320	98.89	0	0	100
PRODUCTOS DE IMPRESIÓN (34)				
3410	100	0	0	100
3420	93.83	0	2.73	97.27
INDUSTRIA QUÍMICA (35)				
3511	90.81	0	0	100
3512	98.87	0	0	100
3513	83.76	5.09	1.97	98.03
3521	91.08	0	0	100
3522	96.69	0	0	100
3540	77.6	22.4	0	100
3550/3560	100	0	0	100
PRODUCTOS MINERALES NO METÁLICOS (36)				
3611	82.29	0	0	100
3612	79.2	18.6	1.6	98.4
3620	79.2	18.6	0	100
3691	100	0	0	100
INDUSTRIA METÁLICA BÁSICA (37)				
3710	68.7	0	0	100
3720	68.7	0	0	100
INDUSTRIA METÁLICA SECUNDARIA (38)				
3811/3812/3813/3814	100	0	0.35	99.65
3821/3822	94.25	0	0	100
3823/3831/3832/3833	100	0	12.45	87.55
3841	94.67	0	0	100
3842	94.67	0	0	100
3850	100	0	12.45	87.55
OTRAS INDUSTRIAS MANUFACTURERAS (39)				
3900	82.43	9.02	3.36	96.64
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (41)**				
4100	50	20.9	8	92

* Cuando los COV no suman el 100%, el faltante corresponde a otros hidrocarburos tales como: Acetona, percloroetileno, cloruro de metileno entre otros; **Corresponde a la combustión de Gas Natural.

Fuente: Especifica 3.2 del Air Chief 8.0 de la USEPA del año 2000

A.2 FUENTES DE ÁREA

Esta memoria de cálculo presenta los fundamentos básicos que deben ser considerados para la estimación de emisiones, así como los elementos que son aplicables a los diversos tipos de fuentes para evitar su doble conteo, por otro lado se identifican las herramientas asociadas por la metodología de estimación como son encuestas, factores de emisión, balance de materiales, extrapolación y ajustes a los modelos de estimación empleados.

A.2.1 Combustión en fuentes estacionarias

Las emisiones contaminantes que se generan en este sector, fueron estimadas mediante la siguiente ecuación:

$$E_{ik} = FE_{ik} * C_k$$

Donde:

E_{ik} = Emisión del contaminante i [kg/año] asociado al combustible k .

FE_{ik} = Factor de emisión del contaminante i [kg/m³] al combustible k .

C_k = Volumen de combustible k [m³/año].

Tabla A.2.1 Factores de emisión por combustión sin control

Para calderas industriales/comerciales/institucionales <3000 c.c.* y para hornos, quemadores y estufas**

Tipo de combustible	Factores de emisión por contaminante									Unidades
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV	CH ₄	NH ₃	
Gas natural*	121.6	121.6	9.6	1,344	1,600	176	88	36.8	7.8	kg/millón m ³
Gas LP**	0.053	0.053	0.0002	0.238	1.728	0.065	0.042	0.024	N/D	kg/m ³
Gas natural*	182.8	182.8	9.6	640	1,505	180	90	36.8	7.8	kg/millón m ³

Fuente: AIRCHIEF V.8. Copilation of Air Pollutant Emission Factors, V.I Stationary Point and Area Sources Fifth Edition. Cap. 1.4 Natural Gas Combustion " Tablas 1.4-1; 1.4-2"; Cap. 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion " Tabla 1.5-1".

Las emisiones de HCT y HCNM, se estiman utilizando las siguientes ecuaciones, los aldehídos con el factor de emisión¹ para gas LP de 0.0047 kg/m³ y para el gas natural de 1.42 kg/millón m³.

$$E_{HCT} = E_{COT} - E_{Aldh.}$$

$$E_{HCNM} = E_{HCT} - E_{CH4}$$

Donde:

E_{HC} = Emisión de Hidrocarburos Totales.

E_{COT} = Emisión de Compuestos Orgánicos Totales.

E_{Aldh} = Emisión de Aldehídos.

E_{HCNM} = Emisión de Hidrocarburos No Metanos.

E_{CH} = Emisión de Metano.

¹ Environmental Protection Agency U.S. Emission Factor and Inventory Group and Eastm Research Group, INC/ Documentation For Tehe 1996 Base Year National Toxics Inventory For Area Sorces. May31, 2001

Combustión comercial/institucional

Esta categoría incluye las emisiones por combustión de gas LP en todos los establecimientos comerciales e institucionales y la combustión de gas natural para las industrias que no reportaron sus consumos ante la autoridad ambiental para ser evaluadas y reportadas individualmente en el inventario de fuentes fijas; la tabla siguiente, muestra la cantidad de combustible distribuido por sector.

Tabla A.2.2 Consumo de combustible del sector Industrial/comercial/institucional [m³]

Entidad federativa	Comercial/institucional		Industrial	Residencial	
	Gas LP	Gas Natural	Gas Natural	Gas LP	Gas Natural
Distrito Federal	194,491	36,174,768	484,169,073	959,760	124,027,777
Estado de México	165,678	N/D	1,509,506,232	958,433	N/D
ZMVM	360,178	36,174,768	1,993,675,305	1,918,193	124,027,777

El consumo y la distribución del combustible fueron obtenidos con datos de Pemex Gas y Petroquímica Básica 2002, de la Secretaría de Energía: Prospectivas del mercado de gas natural y gas LP 2002-2011 y del consumo de combustible reportado en la COA 2003.

ND: No determinado

Para evitar una sobre estimación en la emisión de Compuestos Orgánicos Totales por combustión de gas L.P., deberá restar la cantidad de gas L.P. emitido a la atmósfera por emisiones fugitivas en instalaciones a gas L.P. y de los hidrocarburos no quemados en los equipos de combustión, ver apartado *Fugas en instalaciones a gas L.P.*, en el caso del gas natural no se consideran las emisiones fugitivas; la tabla A.2.3. muestra la estimación de emisiones por sector y tipo de combustible.

Tabla A.2.3 Emisiones en el sector industrial/comercial/institucional [ton/año]

Conta- minante	Comercial / Institucional									Industrial		
	Gas L.P.			Gas Natural			Total			Gas Natural		
	D.F.	E.M.	ZMVM	D.F.	E.M.	ZMVM	D.F.	E.M.	ZMVM	D.F.	E.M.	ZMVM
PM ₁₀	16.48	16.56	33.04	4.4	N/E	4.4	20.88	16.56	37.44	58.9	183.6	242.4
PM _{2.5}	16.48	16.56	33.04	4.4		4.4	20.88	16.56	37.44	58.9	183.6	242.4
SO ₂	0.06	0.06	0.12	0.3		0.3	0.36	0.06	0.42	4.6	14.5	19.1
CO	73.99	74.37	148.36	48.6		48.6	122.59	74.37	196.96	650.7	2,028.8	2,679.5
NO _x	537.20	540.00	1077.20	57.9		57.9	595.1	540	1135.1	774.7	2,415.2	3,189.9
COV	13.05	13.12	26.18	3.2		3.2	16.25	13.12	29.37	42.6	132.8	175.4
COT	20.21	20.31	40.52	6.4		6.4	26.61	20.31	46.92	85.2	265.7	350.9
CH ₄	7.46	7.50	14.96	1.3		1.3	8.76	7.5	16.26	17.8	55.6	73.4
NH ₃	0.00	0.00	N/E	0.3		0.3	0.3	0	0.3	3.8	11.8	15.6
HCNM	11.28	11.34	22.63	5.0		5.0	16.18	11.24	27.42	67.2	209.5	276.6
HCT	18.75	18.84	37.59	6.3		6.3	25.05	18.84	43.89	85.0	265.0	350.0
Aldh.	1.46	1.47	2.93	0.1		0.1	1.56	1.47	3.03	0.2	0.6	0.8

N/E: No estimado

Combustión habitacional

Esta incluye el proceso de combustión en estufas y boilers de casa habitación que utilizan como combustible gas natural y/o gas L.P. para la cocción de alimentos y calentamiento de agua. Con datos de Pemex y de la Secretaría de Energía, se estimó que en el año 2002, el suministro de gas L.P. del sector residencial en la ZMVM fue de 1,918,193 m³, de los cuales se pierden 100,300 m³ por fugas en instalaciones a gas L.P., más las fugas por almacenamiento y distribución de por lo menos 5,514 m³; por lo tanto, para estimar las emisiones por combustión sólo se consideraran 1,812,378 m³, la tabla siguiente muestra las emisiones estimadas asociadas al consumo de combustibles.

Tabla A.2.4 Consumo de combustible y emisiones “Combustión habitacional”

Consumo de combustible [m ³]	Distrito Federal			Estado de México			ZMVM			
	Gas LP	Gas natural	Total	Gas LP	Gas Natural	Total	Gas LP	Gas Natural	Total	
	907,052	124,027,777		905,326			1,812,378	124,027,777		
Emisiones [ton/año]	PM ₁₀	48.07	22.7	70.77	47.98	N/E	47.98	96.05	22.7	118.75
	PM _{2.5}	48.07	22.7	70.77	47.98	N/E	47.98	96.05	22.7	118.75
	SO ₂	0.18	1.2	1.38	0.18	N/E	0.18	0.36	1.2	1.56
	CO	215.88	79.4	295.28	215.47	N/E	215.47	431.35	79.4	510.05
	NO _x	1,567.39	186.7	1,754.09	1564.40	N/E	1564.40	3131.79	186.7	3318.49
	COV	38.09	11.2	49.29	38.01	N/E	38.01	76.1	11.2	87.3
	COT	58.96	22.3	81.26	58.85	N/E	58.85	117.81	22.3	140.11
	CH ₄	21.77	4.6	26.37	21.73	N/E	21.73	43.5	4.6	48.1
	NH ₃	0.00	1.0	1	0.00	N/E	0.00	0	1.0	1
	HCNM	32.93	17.6	50.53	32.86	N/E	32.86	65.79	17.6	83.39
	HCT	54.70	22.1	76.8	54.59	N/E	54.59	109.29	22.1	131.39
	Aldh.	4.26	0.2	4.46	4.26	N/E	4.26	8.52	0.2	8.72

N/E: No estimado

A.2.2 Fuentes móviles que no circulan por carretera

Operación de locomotoras foráneas y de patio

En el presente inventario se evaluaron las emisiones generadas por la combustión de diesel en las locomotoras de patio y foráneas. La estimación se realiza por el producto del combustible utilizado por las locomotoras y el factor de emisión correspondiente, estos factores se presentan a continuación

Tabla A.2.5 Factores de emisión para diesel en locomotoras [gramos/lit]

PM ₁₀	PM _{2.5} *	SO ₂	CO	NO _x	COT	COR	CH ₄	HCNM	HCT*	NH ₃	Aldehidos**
1.4	1.3	0.764	7.5	59.1	2.5	2.43	N/E	2.3	2.3	N/E	0.0004.7*

Fuente: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

*Nonroad sources inventory development section 4; parte II KIRSTIN THESING.
<http://www.epa.gov/ttn/chief/eidocs/portilsec4.pdf>.

** Documentation For The 1996 Base Year National Toxics Inventory For Area Sources.
<http://www.epa.gov/ttn/chief/nti/area96.pdf>.

El factor de emisión para bióxido de azufre, se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$FE_{[kgSO_2/lts]} = \delta_{[kg/lts]} * C_{[%w]} * 2_{[kgSO_2/Kg S]}$$

Donde²:

(δ) Densidad del combustible = 0.830 kg/lts

(C) Contenido de azufre = 0.046 %w

Sustituyendo datos, tenemos que:

$$FE_{[SO_2]} = 0.000764_{[kgSO_2/ltscombustible]} / 1000 = 0.764_{[gr de SO_2/ltscombustible]}$$

El volumen de combustible utilizado en las locomotoras de patio, fue estimado con la información de la tabla y la ecuación siguientes, además de considerar un rendimiento del diesel de 146.1 litros por hora de operación³, sin embargo dependiendo de la información proporcionada la presente ecuación puede variar.

$$C_{CLP} = NUM_{LOD} * NUM_{VD} * TO_{LD} * R * NUM_{VS} * 54$$

Donde:

C_{CLP} = Consumo de combustible para locomotoras de patio [lts/año].

NUM_{LOD} = Numero de locomotoras por día de operación.

² Fuente: PEMEX Refinación 2002, Oficio fechado 23 de Agosto de 2003/ TADA1447/03 H02 Archivo Magnético/ Información hasta el mes de agosto de 2002.

³ Ferrocarril y Terminal del Valle de México, S.A. de C.V./Subdirección de Transporte. Programa de administración y operación de locomotoras foráneas y de patio y factores de rendimiento de diesel, ZMVM 2000.

NUM_{VD} = Numero de viajes por día y locomotora.

TO_{LD} = Tiempo de operación diaria por locomotora [hr/día].

R = Rendimiento de combustible [lts/km].

NUM_{VS} = Numero de viajes por semana.

54 = Numero de semanas por año.

Tabla A.2.6 Nivel de actividad y consumo de diesel en locomotoras de patio

Patio/Sector	Destino/área de operación	NUM _{LOD}	NUM _{VS}	NUM _{VD}	TO _{LD}	*C _{CLF} [l/año]
Valle de México	Tlanepantla	6	5	1	8	1,893,456
Pantaco	Azcapotzalco	1	5	1	8	315,576
Lechería	Tultitlán	6	5	1	8	1,893,456
Xalostoc	Ecatepec	6	4	1	8	1,514,765
Vallejo	Azcapotzalco	1	12	3	8	2,272,147
Julia	Miguel Hidalgo	1	12	3	8	2,272,147
Tlanepantla	Tlanepantla	4	12	3	8	9,088,589
Peralvillo	Gustavo A. Madero	1	4	1	8	252,461
Tacuba - Naucalpan	Naucalpan	4	4	1	8	1,009,843
Consumo de combustible por entidad federativa						
Distrito Federal						5,112,331
Estado de México						15,400,109
ZMVM						20,512,440

Fuente: Estimaciones con datos de la Terminal Ferroviaria del Valle de México, 2002.

El consumo de diesel quemado por las locomotoras foráneas, se estimó con las ecuaciones que se presentan a continuación y considerando los datos de la tabla siguiente, se tomó el mismo factor de rendimiento de combustible utilizado para las locomotoras de patio.

$$C_{CLF} = KRV * NUM_{VD} * 2 * NUM_{VS} * 54 * R$$

Donde:

C_{CLF} = Consumo de combustible para locomotoras foráneas [lts/año].

KRV = Kilómetros recorridos por viaje de locomotora.

NUM_{VD} = Numero de viajes por día y locomotora.

R = Rendimiento de combustible [lts/km].

NUM_{VS} = Numero de viajes por semana.

54 = Numero de semanas por año.

$$E_i = (C_i * FE_{i,l}) / 1000$$

Donde

E_i = Emisión del contaminante i [ton/año].

C_i = Consumo de combustible por tipo de locomotora l [lts/año].

FE_{i,l} = Factor de emisión del contaminante i [kg/lts] por tipo de locomotora l.

1000 = Factor de conversión de kilogramos a toneladas.

Se considero que las emisiones de COV son del 97.2% de los COT's⁴ y que las emisiones de metano y aldehidos son no significativas; por lo tanto, las emisiones de los hidrocarburos no metanos serán iguales a la emisión de los hidrocarburos totales y estos igual a los compuestos orgánicos totales. Por otra parte las emisiones de NH₃ no fueron estimadas por carecer de información referente al factor de emisión.

Tabla A.2.7 Consumo combustible por entidad federativa locomotoras foráneas

ID_Tren	Líneas	KR _v		NUM _{VD}	NUM _{VS}	C _{CLF} [lt/año]		
		D.F.	EDOMEX			DF	EDOMEX	ZMVM
IPACG	MOR-JUA	9	26	1	2	6,026	17,410	23,436
TMXBAR	A	1	29	1	6	2,107	57,845	59,953
RPAMY	MOR-JUA	9	26	1	3	9,040	26,114	35,154
DMC	B-H-SH-S-G	7	46	1	7	17,078	106,962	124,040
2DMC	B-H-SH-S-G	7	46	1	7	17,078	106,962	124,040
3DMC	B-H-SH-S-G	7	46	1	7	17,078	106,962	124,040
4DMC	B-H-SH-S-G	7	46	1	7	17,078	106,962	124,040
TMC	S-VK	3	51	1	3	3,072	50,836	53,908
TMXECA	S	3	25	1	6	6,145	49,975	56,120
DMXGD	B	4	17	1	7	9,909	38,983	48,892
DMXIR	B	4	17	1	7	9,909	38,983	48,892
TMI	B-H	4	21	1	3	4,247	20,853	25,100
TMXREY	S-VK	3	51	1	6	6,145	101,671	107,816
IMXMZ	B	4	17	1	6	8,493	33,414	41,908
DMXMY	MOR-JUA	0	26	1	7	0	60,934	60,934
2DMXMY	MOR-JUA	0	26	1	5	0	43,524	43,524
DMXNL	MOR-B-BC	4	43	1	7	9,909	99,917	109,826
IPANL	MOR-JUA	0	26	1	6	0	52,229	52,229
APANL	MOR-JUA	0	26	1	5	0	43,524	43,524
2DMXNL	MOR-JUA	0	26	1	7	0	60,934	60,934
OMP	S-H-SH	3	29	1	7	7,169	67,978	75,148
DMP	S-H-SH	3	29	1	7	7,169	67,978	75,148
TMXTEO	B	4	17	1	6	8,493	33,414	41,908
DMXTL	MOR-JUA	0	26	1	7	0	60,934	60,934
TMT	A	1	29	1	3	1,054	28,923	29,976
OMV	S-H-SH	3	29	1	7	7,169	67,978	75,148
GMV	S-H-SH	3	29	1	1	1,024	9,711	10,735
DMXVC	B-H-SH-V	4	46	1	7	9,909	108,970	118,879
IMV	B-H-SH-S	7	46	1	4	9,759	61,121	70,880
2DMXVC	B-H-SH-S	7	46	1	7	17,078	106,962	124,040
2IPANL	MOR-JUA	0	26	1	7	0	60,934	60,934
XTMXVIT	B	4	17	1	6	8,493	33,414	41,908
Total		155	1,357	32	213	220,631	1,933,311	2,153,948

Fuente: DIME-SMA-DF con datos de la Terminal Ferroviaria del Valle de México "TFVM" 2002. ID_TREN: Clave de identificación de la locomotora foránea.

4 Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Area Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo. Pág 5-2 a 5-7.

La emisiones estimadas se presentan a continuación:

Tabla A.2.8 Estimación de emisiones en locomotoras de patio

Destino/área de operación	Emisiones [ton/año]						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Azcapotzalco	3.62	3.33	1.72	19.41	152.93	6.47	6.29
Gustavo A. Madero	0.35	2.93	1.51	1.89	14.92	0.63	0.61
Miguel Hidalgo	3.18	1.95	1.01	17.04	134.28	5.68	5.52
Ecatepec de Morelos	2.12	1.30	0.67	11.36	89.52	3.79	3.68
Naucalpan de Juárez	1.41	14.14	7.29	7.57	59.68	2.52	2.45
Tlalnepanitla de Baz	15.37	2.44	1.26	82.37	649.04	27.46	26.69
Tultitlán	2.65	11.7	6.9	14.20	111.90	4.73	4.60

Emisiones por entidad federativa

Área de operación	Emisiones [ton/año]						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Distrito Federal	21.56	19.84	10.23	115.50	910.15	38.50	37.42
Estado de México	7.16	6.58	3.39	38.34	302.14	12.78	12.42
ZMVM	28.72	26.42	13.62	153.84	1,212.29	51.28	49.85

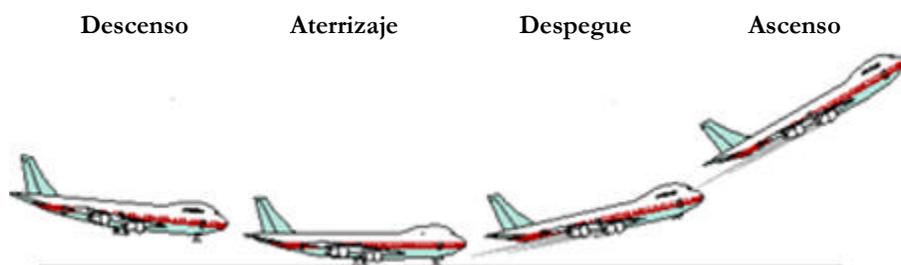
Tabla A.2.9 Estimación de emisiones en locomotoras foráneas

Entidad Federativa	Consumo de diesel [lts/año]	Emisiones [ton/año]						
		PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	COV
Distrito Federal	374,306	0.52	0.48	0.25	2.81	22.12	0.94	0.91
Estado de México	1,933,314	2.71	2.49	1.28	14.50	114.26	4.83	4.70
ZMVM	2,307,620	3.23	2.97	1.53	17.31	136.38	5.77	5.61

Operación de aeronaves

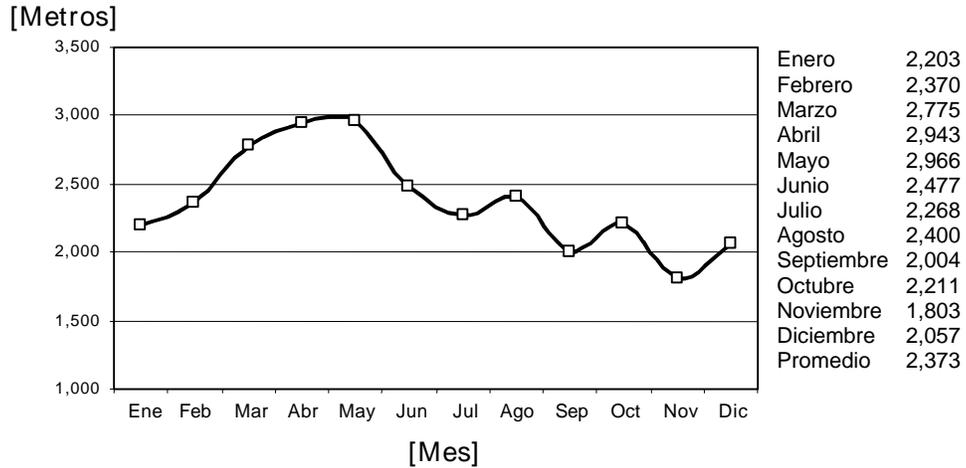
Las emisiones generadas por las aeronaves en las operaciones de vuelo y maniobras son directamente proporcionales al número de ciclos de operaciones de vuelo (LOTs, por sus siglas en inglés), esta actividad se realiza en cuatro modos de operación y a diferentes períodos de tiempo por modo de operación (TIM), los cuales están en función de la altura de capa de mezclado en área de estudio, ver figura A.2.1., Sus movimientos en tierra se realizan por carreteo con motor apagado y por medio de otro vehículo, por lo que las emisiones por movimiento en tierra no son evaluadas.

Figura A.2.1 Ciclo de vuelo “Aterrizaje-Despegue”



Con datos de la zona de estudio, se determinó la altura de capa de mezclado máxima promedio mensual (AMPM) presentada en la gráfica siguiente.

Gráfica A.2.1 Perfil altura de mezclado máxima promedio mensual (AMPM-2002)

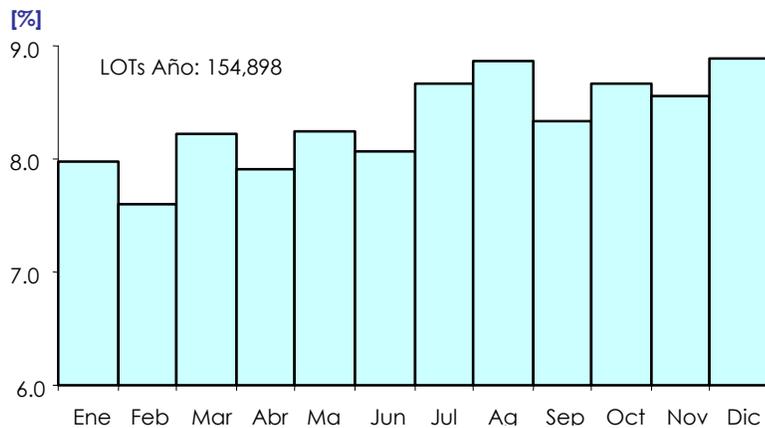


Fuente: DIME-SMA-DF 2002, con datos del Servicio Meteorológico Nacional

Las emisiones se calculan aplicando el programa FAEED 3.1⁵, el cual estima las emisiones de óxidos de azufre (SOx), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y de hidrocarburos (HCT).

Cálculo de ciclos de operación de vuelo "LOTs": El número de ciclos de operación de vuelo se determina con la suma de las operaciones de llegada y salida por tipo de aeronave; durante el año a inventariar se registraron 154,898 LOT's⁶, un promedio de 12,906 LOT's por mes, como lo muestra abajo

Gráfica A.2.1 Frecuencia de ciclos de operación de vuelo "LOT's" en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, 2002



Fuente: DIME-SMA-DF, con datos del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México "AICM", 2002.

5 U.S. Environmental Protection Agency "EPA". FAA Aircraft Engine Emission User Guide and Database (FAEED 3.1) <http://www.epa.gov/otaq/aviation.htm>.

6 Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México/ <http://aicm.com.mx/Principal/Corporativo/aicmcifras/Operaciones.htm>.

Estimación del tiempo en modo (App_TIM, Cli_Tim): El modelo FAEED 3.1, fue ajustado en el módulo *Tiempo en Modo de Operación (TIM)* de Aproximación (App) y Ascenso (Cli), como una función de la altura de mezclado máxima promedio anual; el procedimiento de ajuste se obtiene por diferencia de altura de mezclado, como lo muestran las ecuaciones siguientes; en ambas ecuaciones, se observa que una fracción de ella se encuentra encerrada en un cuadro, a esta fracción se le conoce como factor de corrección o factor de ajuste al tiempo en modo de operación.

$$TIM_{App} = TIM_{App-Def} * \left[\frac{H}{900} \right]$$

$$TIM_{Cli} = TIM_{Cli-Def} * \left[\frac{H-150}{750} \right]$$

fc

fc

Donde:

TIM_{App} = Tiempo real en modo de aproximación [minutos].

$TIM_{App-Def}$ = Tiempo modo de aproximación [minutos] "programa FAEED 3.1.

TIM_{Cli} = Tiempo real en modo de ascenso [minutos].

$TIM_{Cli-Def}$ = Tiempo en modo de ascenso [minutos] "programa FAEED 3.1".

fc_{Cli} = Factor de corrección del tiempo en modo de ascenso.

fc_{App} = Factor de corrección del tiempo en modo de aproximación.

H = AMPM a condiciones locales para el tiempo y región de interés [metros].

Estimación del factor de corrección (fc APP_TIM, fc Cli_TIM): Este factor se calcula con el cociente que se encuentra enmarcado en las ecuaciones, obteniéndose así los siguientes resultados.

Tabla A.2.10 Factor de corrección del tiempo de aproximación y ascenso de las aeronaves

Mes	AMPM	*AMPM	Factor de corrección	
			fc App	fc Cli
Enero	2,203	900	2.45	2.74
Febrero	2,370	900	2.63	2.96
Marzo	2,775	900	3.08	3.50
Abril	2,943	900	3.27	3.72
Mayo	2,966	900	3.30	3.75
Junio	2,477	900	2.75	3.10
Julio	2,268	900	2.52	2.82
Agosto	2,400	900	2.67	3.00
Septiembre	2,004	900	2.23	2.47
Octubre	2,211	900	2.46	2.75
Noviembre	1,803	900	2.00	2.20
Diciembre	2,057	900	2.29	2.54
Anual	2,373	900	2.64	2.96

*AMPM: Altura máxima promedio de mezclado "modelo FAEED"

AMPM: Altura máxima promedio de mezclado "monitoreo"

Ajuste del tiempo en modo (Cli_TIM, App_TIM): Para obtener el ajuste de los tiempos en modo Cli_TIM y App_TIM para las condiciones locales, se realiza la siguiente rutina.

1. Capturar la información sobre el tipo de aeronave y número de operaciones de vuelo en el programa FAEED 3.1 (El manual del usuario especifica el procedimiento de captura de la información), cierra el programa y enseguida abre la base de datos en Excel, identifica las celdas Cli_TIM y App_TIM, cada una de ellas contiene el tiempo en modo por omisión para las aeronaves seleccionadas.
2. El tiempo en modo real, se calcula utilizando el factor de corrección por modo de operación (tabla A.2.10) y con las dos ecuaciones anteriores.
3. Los resultados se reportan en la tabla A.2.11 (aproximación "Cli_TIM") y tabla A.2.12 (ascenso "App_TIM").
4. Ajusta los tiempos por modo de operación en la hoja de Excel y ciérrala, procede a la estimación de emisiones utilizando el programa FAEED 3.1. Actívalo.
5. Seleccione View/Print pollutants produced by current inventory, esta acción mostrara en pantalla las características del tipo de aeronave seleccionada, su nivel de actividad, tiempos en modo de operación y el nivel de emisión que genera por tipo de aeronave, como lo muestra la figura A.2.2; la tabla A.2.13 muestra las emisiones estimadas por la operación de aeronaves en el año 2002, obtenidas con el programa FAEED 3.1. en la cual se incluye los cambios realizados al modulo de tiempo por modo de operación.

Tabla A.2.11 Tiempo en modo de aproximación (App_TIM) mensual por tipo de aeronave

AC_MODEL	TIM _{App-Def*}	TIM _{App-Def**}
AN-72	4.0	10.55
SE 210 CARAVELL	4.0	10.55
B707-100B	4.0	10.55
B52-H	1.6	4.22
B727-100	4.0	10.55
B737-100	4.0	10.55
B737-100	4.0	10.55
B747 (CARG)	4.0	10.55
B747 (CARG)	4.0	10.55
B757-200(CARG)	4.0	10.55
B767-300	4.0	10.55
C-12A/B/C	1.6	4.22
337H SKYMASTER	4.5	11.87
CONVAIR-LINER	4.5	11.87
550 CITATION	1.6	4.22
FALCON 100	1.6	4.22
FALCON 20	1.6	4.22
F-15 EAGLE	1.6	4.22
DC-10	4.0	10.55
DC8	4.0	10.55
DHC-6	4.5	11.87
A340-300	4.0	10.55
A320	4.0	10.55
A300B	4.0	10.55
A330	4.0	10.55
B52	1.6	4.22
SABRELINER 75A	1.6	4.22
F100	4.0	10.55
F-14A	1.6	4.22
GULFSTREAM 3	1.6	4.22
IL-62M	4.0	10.55
IL 96	4.0	10.55
IL-86	4.0	10.55
C-141	4.5	11.87
F-16	1.6	4.22
JETSTAR	1.6	4.22
L-1011-500	4.0	10.55
35/36	1.6	4.22
LEARJET 24D	1.6	4.22
LEARJET 24D	1.6	4.22
L-1011-100	4.0	10.55
MD-11	4.0	10.55
MU-300 (DIA.I)	1.6	4.22
MD-90-30	4.0	10.55
SABRELINER 75A	1.6	4.22
TU-134B	4.0	10.55

* Tiempo en modo default "modelo FAEED"

** Tiempo en modo corregido.

Tabla A.2.12 Tiempo en modo de ascenso (Cli_TIM) mensual por tipo de aeronave

AC_MODEL	TIM _{Cli-Def*}	TIM _{Cli-Def**}
AN-72	2.20	6.52
SE 210 CARAVELL	2.20	6.52
B707-100B	2.20	6.52
B52-H	0.50	1.48
B727-100	2.20	6.52
B737-100	2.20	6.52
B737-100	2.20	6.52
B747 (CARG)	2.20	6.52
B747 (CARG)	2.20	6.52
B757-200(CARG)	2.20	6.52
B767-300	2.20	6.52
C-12A/B/C	0.50	1.48
337H SKYMASTER	2.50	7.41
CONVAIR-LINER	2.50	7.41
550 CITATION	0.50	1.48
FALCON 100	0.50	1.48
FALCON 20	0.50	1.48
F-15 EAGLE	0.50	1.48
DC-10	2.20	6.52
DC8	2.20	6.52
DHC-6	2.20	6.52
A340-300	2.20	6.52
A320	2.20	6.52
A300B	2.20	6.52
A330	2.20	6.52
B52	0.50	1.48
SABRELINER 75A	0.50	1.48
F100	2.20	6.52
F-14A	0.50	1.48
GULFSTREAM 3	0.50	1.48
IL-62M	2.20	6.52
IL 96	2.20	6.52
IL-86	2.20	6.52
C-141	2.50	7.41
F-16	0.50	1.48
JETSTAR	0.50	1.48
L-1011-500	2.20	6.52
35/36	0.50	1.48
LEARJET 24D	0.50	1.48
LEARJET 24D	0.50	1.48
L-1011-100	2.20	6.52
MD-11	2.20	6.52
MU-300 (DIA.I)	0.50	1.48
MD-90-30	2.20	6.52
SABRELINER 75A	0.50	1.48
TU-134B	2.20	6.52

Figura A.2.2 Pantalla de resultados del programa FAAED 3.1

UNID	AC_MODEL	AC_MFGR	ENG_ID	NUM_ENGS	ENG_MFGR
218	AN-72	RUSSIAN	D-36	2	ZWKB
4	SE 210 CARAVELL	AEROSPATIALE	JT8D-9	2	P&W
494	B707-100B	BOEING	JT3D-3B	4	P&W
173	B52-H	BOEING	TF33-P-3	8	P&W
529	B727-100	BOEING	JT3D-7, 7A & 7B (REC)	3	P&W
10	B737-100	BOEING	JT8D-17	2	P&W
10	B737-100	BOEING	JT8D-17	2	P&W
18	B747 (CARG)	BOEING	JT9D-7F (MOD V)	4	P&W
18	B747 (CARG)	BOEING	JT9D-7F (MOD V)	4	P&W
194	B757-200(CARG)	BOEING	RB211-535E4	2	RR
544	B767-300	BOEING	PW4060	2	P&W
149	C-12A/B/C	BEECH	PT6A-41	2	P&W
160	337H SKYMASTER	CESSNA	TSTO-360C	2	TEL/CON
226	CONVAIR-LINER	GENERAL DYNAMIC	DART RDA7	2	RR
505	550 CITATION	CESSNA	JT15D-4 (4B, 4C & 4D)	2	P&W

TOTAL EMISSIONS (TONS/ANNO)					
TOTAL LOTs	SUM HC	SUM CO	SUM NOx	SUM SOx	SHOKE No.
MET 154898	1763866.7	2937894.2	2753435.2	32.610	35.00
ENG 154898	3888620.5	6476881.5	6070223.3	71.930	35.00

For units, press F2. Press F10 to print this data. Press ESC to exit.

Después de los pasos anteriores, las emisiones son las siguientes:

Tabla A.2.13 Emisión por operación de aeronaves

Emisiones [ton/año]			
SO ₂	CO	NO _x	HCT
0.03261	2,937.89	2,753.43	1,763.87

La emisión de aldehídos es del 18.46% de los COT's y las emisiones de metano son del 9.6% de los COT's⁷; las emisiones de COV's para aeronaves de pistón son el 96% de los COT. Las emisiones de partículas PM₁₀, fueron estimadas considerando el factor de emisión propuesto por la EPA en función al número de ciclos de operación de vuelo "0.10736 kg/LOTs", el producto de este factor y el número de ciclos de operaciones de vuelo para el 2002 (154,898 LOTs/año), da como resultado la emisión de partículas a la atmósfera. Por otra parte las emisiones de partículas menores a 2.5 micrómetros, se calculan considerando que el 96.7% de PM₁₀ es PM_{2.5}⁸. Por su parte la emisión de hidrocarburos no-metano se estima, restando la emisión de hidrocarburos totales, menos la emisión de metano. El resultado de los contaminantes descritos, es reportado a continuación.

Tabla A.2.14 Emisión del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México

Emisiones [ton/año]						
COT	COV	HCNM	CH ₄	Aldehídos	PM ₁₀	PM _{2.5}
1,783.71	1,712.36	11,592.63	171.24	329.27	16.8	16.0

7 U.S. Environmental Protection Agency, Emission Factor and Inventory Group (MD-14) Emissions, Monitoring and Analysis Division/ Documentation for the 1996 Base Year National Toxics Inventory For Aircraft Sorces, June 2 2000, www.epa.gov/ttn/chieft/nti/aircrpt.pdf.

8 California Emission Invenwntory And Reporting System (CEIDARS) – Particulate Matter (PM) Speciation Profiles- Summary of Overall Size Fractions and Referenc Documentation.

Terminales de autobuses.

Para realizar los cálculos de las emisiones contaminantes producidas por la actividad de los autobuses que se encuentran en las terminales de autobuses del Distrito Federal, es necesario determinar el número de autobuses que permanecen en reposo dentro de estas. Lo anterior es sobre la base de la composición por año modelo de la flota de autobuses federales de pasajeros y al número de corridas que se realizan anualmente en cada una de las terminales.

Tabla A.2.15 Distribución por año modelo de la flota de autobuses.

Año Modelo	Centrales camioneras			
	Norte	Oriente	Poniente	Sur
1978 y ant.	12,338	8,571	9,258	4,233
1979	9,552	6,636	7,168	3,277
1980	14,965	10,396	11,229	5,134
1981	15,841	11,004	11,886	5,435
1982	12,020	8,350	9,019	4,124
1983	5,333	3,705	4,002	1,830
1984	10,030	6,967	7,526	3,441
1985	13,771	9,566	10,333	4,725
1986	10,348	7,189	7,765	3,550
1987	6,129	4,258	4,599	2,103
1988	8,836	6,138	6,630	3,031
1989	15,283	10,617	11,468	5,244
1990	29,611	20,570	22,220	10,160
1991	53,651	37,270	40,259	18,407
1992	72,914	50,652	54,714	25,017
1993	103,642	71,998	77,773	35,558
1994	59,621	41,417	44,738	20,456
1995	16,477	11,446	12,364	5,653
1996	7,562	5,253	5,674	2,595
1997	23,641	16,423	17,740	8,111
1998	35,422	24,607	26,580	12,153
1999	39,800	27,648	29,865	13,655
2000	71,402	49,601	53,579	24,498
2001	87,163	60,550	65,405	29,905
2002	60,656	42,136	45,515	20,811
Total	796,008	552,968	597,309	273,106

Fuente: Estadística Básica. Autotransporte Federal de Turismo. SCT, 2002.

Tabla A.2.16 Número de corridas por terminal de autobuses.

Terminal	No. de corridas al año
Norte	796,008
Oriente	552,968
Poniente	597,309
Sur	273,106

Fuente: Estadística Básica. Servicios Auxiliares del Autotransporte. SCT, 2002.

Para estos autobuses la actividad vehicular es referida al tiempo que los autobuses permanecen en reposo con el motor encendido y se considera un tiempo

predeterminado de 15 minutos,⁹ debido a que se desconoce el tiempo real en México.

Todos los factores de emisión PARA HCT, CO y NOx, fueron obtenidos utilizando el modelo MOBILE5-México modificado para diversas zonas de la República Mexicana, considerando la velocidad mínima (4 km/hr) del modelo, por lo tanto, la más cercana al reposo; los resultados son una función de los factores de emisión por escape en autobuses a diesel (HDDV).

Los factores de emisión para los compuestos orgánicos totales (COT's), para los compuestos orgánicos volátiles (COV's) y para los hidrocarburos no metánicos (HCNM) fueron obtenidos en relación con el factor de emisión para hidrocarburos totales, de acuerdo a las fracciones utilizadas en el Inventario de Emisiones para Fuentes Móviles 2002:

$$\text{COT} = 1.033 \text{ HCT}; \text{ COV} = 0.988 \text{ HCT}; \text{ HCNM} = 0.958 \text{ HCT}$$

El valor del factor de emisión para los hidrocarburos como metano, es la diferencia entre el factor de emisión para hidrocarburos totales (HCT) y el factor de emisión para los hidrocarburos no metánicos (HCNM):

$$\text{CH}_4 = \text{HCT} - \text{HCNM}$$

Para las emisiones de partículas menores a 10 micrones (PM₁₀) se utilizó el modelo MOBILE6-México, recientemente publicado y modificado para diversas zonas de la República Mexicana.

$$\text{PM}_{10} = 1.645 \text{ gr/hr}$$

Las emisiones de partículas menores a 2.5 micrones (PM_{2.5}) son calculadas con las fracciones de tamaño de partícula reportados por el Comité de Recursos del Aire de California (CARB, por sus siglas en inglés) como parte de su programa de desarrollo de inventarios de emisiones.

$$\text{PM}_{2.5} = 0.92 \text{ PM}_{10}$$

Nota: Los factores de emisión para PM₁₀, PM_{2.5} y NH₃ son iguales para todos los años modelo.

En el caso de las emisiones de amoníaco (NH₃) se utilizó el modelo MOBILE6-México:

$$\text{NH}_3 = 0.0168 \text{ gr/Km}$$

En este inventario se evaluó por primera ocasión las emisiones de Bióxido de Carbono (CO₂), cuyos factores de emisión por año modelo, se obtuvieron con el modelo MOBILE6-México.

⁹ Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen V: Terminales de Autobuses y Camiones, 1997.

Tabla A.2.17 Factores de emisión por año modelo de los autobuses.

Factores de emisión [kg del contaminante/km]				
Año Modelo	CO	CO2	NOx	HCT
1978 y ant.	0.0468	1.097	0.0317	0.0139
1979	0.0466	1.097	0.0316	0.0139
1980	0.0468	1.097	0.0318	0.0140
1981	0.0468	1.097	0.0317	0.0139
1982	0.0462	1.097	0.0313	0.0138
1983	0.0460	1.097	0.0312	0.0137
1984	0.0461	1.097	0.0313	0.0137
1985	0.0459	1.097	0.0312	0.0137
1986	0.0457	1.097	0.0310	0.0136
1987	0.0458	1.097	0.0311	0.0137
1988	0.0453	1.097	0.0308	0.0135
1989	0.0452	1.097	0.0307	0.0135
1990	0.0449	1.011	0.0305	0.0134
1991	0.0447	1.011	0.0304	0.0134
1992	0.0454	1.011	0.0309	0.0136
1993	0.0475	1.011	0.0234	0.0100
1994	0.0397	0.987	0.0197	0.0084
1995	0.0419	0.987	0.0208	0.0089
1996	0.0383	0.987	0.0191	0.0072
1997	0.0380	0.987	0.0191	0.0072
1998	0.0378	0.987	0.0191	0.0072
1999	0.0375	0.987	0.0191	0.0072
2000	0.0372	0.987	0.0191	0.0072
2001	0.0344	0.987	0.0107	0.0067
2002	0.0344	0.987	0.0107	0.0067

La siguiente ecuación muestra el cálculo de emisiones:

$$E_{ijk} = [(NV_{ij}) (FE_{jk}) (V) (Tr)] / 1,000,000$$

Donde.

E_{ijk} = Emisión en la terminal i, vehículo año modelo j, contaminante k [ton/año]

NV_{ij} = Número de vehículos año modelo j, en la terminal i [vehículos/año].

FE_{jk} = Factor de emisión del vehículo año modelo j, del contaminante k [gr/km]

V = Velocidad utilizada para obtener los factores de emisión [km/hr].

Tr = Tiempo en reposo promedio de los vehículos [hr].

1,000,000 = Factor de conversión de gramos a toneladas.

Con la finalidad de ilustrar la forma en que se realizaron los cálculos, a continuación se muestra un ejemplo de la obtención de las emisiones de CO₂ para un autobús año modelo 1979 que se localiza en la central del norte.

$$E_{CO_2,1979,Norte} = [(9,552) (1,097) (4) (0.25)] / 1,000,000 = 10.4785 \text{ ton/año}$$

En el caso de las partículas menores a 10 micrones (PM₁₀), la ecuación de estimación es modificada debido a que el factor de emisión fue obtenido para emisiones en reposo y no es necesario considerar el factor velocidad ya que las unidades son en Kg/hr.

$$E_{ijk} = [(NV_{ij}) (FE_{jk}) (Tr)] / 1,000,000$$

Donde.

E_{ijk} = Emisión en la terminal i, vehículo año modelo j, contaminante k [ton/año]
 NV_{ij} = Número de vehículos año modelo j, en la terminal i [vehículos/año].

FE_{jk} = Factor de emisión del vehículo año modelo j, del contaminante k [gr/km]

Tr=Tiempo en reposo promedio de los vehículos [hr].

1,000,000= Factor de conversión de gramos a toneladas.

Tabla A.2.18 Emisiones por año modelo de las terminales de autobuses

Año Modelo	Emisión [ton/año]									
	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	NO _x	HCT	HCNM	CH ₄	COV	COT	NH ₃
1976 y ant.	0.01	0.01	1.81	1.23	0.54	0.52	0.02	0.53	0.56	N/S
1977	0.00	0.00	0.26	0.17	0.08	0.07	0.00	0.08	0.08	N/S
1978	0.00	0.00	0.28	0.19	0.08	0.08	0.00	0.08	0.08	N/S
1979	0.00	0.00	0.33	0.22	0.10	0.09	0.00	0.10	0.10	N/S
1980	0.00	0.00	0.32	0.22	0.09	0.09	0.00	0.09	0.10	N/S
1981	0.00	0.00	0.21	0.14	0.06	0.06	0.00	0.06	0.07	N/S
1982	0.00	0.00	0.21	0.14	0.06	0.06	0.00	0.06	0.07	N/S
1983	0.00	0.00	0.32	0.22	0.10	0.09	0.00	0.10	0.10	N/S
1984	0.01	0.00	1.35	0.92	0.40	0.39	0.02	0.40	0.42	N/S
1985	0.01	0.01	1.82	1.23	0.54	0.52	0.02	0.54	0.56	N/S
1986	0.01	0.01	1.96	1.33	0.59	0.56	0.02	0.58	0.60	N/S
1987	0.01	0.00	1.31	0.89	0.39	0.38	0.02	0.39	0.41	N/S
1988	0.01	0.01	1.69	1.15	0.50	0.47	0.02	0.50	0.52	N/S
1989	0.01	0.01	1.55	1.05	0.46	0.43	0.02	0.46	0.48	N/S
1990	0.01	0.01	1.82	1.25	0.54	0.51	0.02	0.54	0.56	N/S
1991	0.03	0.02	6.51	4.43	1.95	1.85	0.08	1.93	2.02	N/S
1992	0.03	0.02	6.29	4.28	1.89	1.81	0.08	1.87	1.96	N/S
1993	0.03	0.03	8.81	4.36	1.86	1.79	0.08	1.84	1.92	N/S
1994	0.04	0.04	9.05	4.52	1.93	1.85	0.08	1.73	1.99	N/S
1995	0.02	0.02	5.22	2.61	1.12	1.07	0.05	1.10	1.15	N/S
1996	0.02	0.02	3.63	1.83	0.69	0.66	0.03	0.68	0.71	N/S
1997	0.03	0.03	5.90	2.98	1.12	1.08	0.05	1.11	1.15	N/S
1998	0.05	0.05	11.06	5.63	2.12	2.04	0.09	2.09	2.18	N/S
1999	0.02	0.02	4.46	2.29	0.86	0.83	0.04	0.85	0.89	N/S
2000	0.07	0.06	13.66	7.07	2.66	2.56	0.11	2.62	2.74	N/S
Total	0.40	0.37	89.80	50.40	20.70	19.80	0.90	20.30	21.40	N/S

N/S: No significativo

Tabla A.2.19 Emisiones totales por terminal de autobuses

Terminal	Emisión [ton/año]										
	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	CO ₂	NO _x	HCT	HCNM	CH ₄	COV	COT	NH ₃
Norte	0.33	0.30	33.0	806.7	17.9	7.9	7.6	0.3	7.8	8.2	0.0134
Oriente	0.23	0.21	22.9	560.4	12.4	5.5	5.3	0.2	5.4	5.7	0.0093
Poniente	0.25	0.23	24.7	605.3	13.4	5.9	5.7	0.2	5.9	6.1	0.0100
Sur	0.11	0.10	11.3	276.8	6.1	2.7	2.6	0.1	2.7	2.8	0.0046
Total	0.92	0.84	91.9	2,249.2	49.8	22.0	21.2	0.8	21.8	22.8	0.0373

N/S: No significativo

A.2.3 Uso de solventes

Al no contar con información referente a la cantidad de solventes que son incinerados o utilizados durante el proceso de combustión ya sea para aprovechamiento de energía o simplemente como un control de sus emisiones, se considera que todo el solvente utilizado se evaporara durante su procesamiento o paulatinamente durante el uso del producto que lo contenga, por lo que en este apartado solo se estimaran las emisiones de compuestos orgánicos totales “COT’s” y los compuestos orgánicos volátiles “COV’s”, por otra parte la emisión de CH₄ no se estimara debido a que solo se encuentra dentro de los productos elaborados como propelente y no se cuenta con esta información, en particular la emisión de aldehídos se estimara sólo en la categoría de uso comercial y doméstico de solventes; la estimación de sus emisiones, se realizó con metodología de factor de emisión percapita; utilizando la ecuación A.2.10, excepto en la aplicación de asfalto y particularmente en el D.F. para el cual se utilizara como factor de actividad el nivel de consumo o distribución de mezcla asfáltica. Por su parte las emisiones de HCT y HCNM, se estimara con la ecuación A.2.11 y la ecuación A.2.12 respectivamente.

$$E_{i,j} = (FA) * (FE_{i,j})$$

Donde:

$E_{i,j}$ = Emisión en [kg/año] del contaminante i referido a la actividad j.

FA = Factor o nivel de actividad [hab/año] en el área de estudio.

$FE_{i,j}$ = Factor de emisión [kg/ hab/año] del contaminante i referido a la actividad j.

El nivel de actividad (FA) es referido en función al nivel de población en el área de estudio y se presenta en la tabla siguiente.

Tabla A.2.20 Indicadores de actividad poblacional

Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Población 2002	8,632,712	8,644,663	17,277,375
% Población	49.9	50.1	100

Fuente:1) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Diciembre 2001. Cuaderno Estadístico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Distrito Federal, XII Censo General de Población y Vivienda 2000, Resultados Definitivos; Tabulados Básicos Nacionales por Entidad Federativa. 2) Consejo Nacional de Población, Septiembre de 1998. Escenarios Demográficos y Urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1990-2010. 3) Francisco Covarrubias, Abril de 2000. Prospectivas de la Urbanización en la Ciudad de México 1970-2020. 4) Consejo Nacional de Población, 2002. Proyecciones Municipales de población 1995-2010.

$$E_{HCT} = E_{COT} - E_{Aldh}$$

Donde:

E_{HCT} : Emisión de Hidrocarburos Totales.

E_{COT} : Emisión de Compuestos Orgánicos Totales.

E_{Aldh} : Emisión de Aldehídos.

$$E_{HCNM} = E_{HCT} - E_{CH4}$$

Donde:

E_{HCNM} : Emisión de Hidrocarburos No Metanos.

E_{HCT} : Emisión de Hidrocarburos Totales.

E_{CH_4} : Emisión de Metano.

Cabe mencionar que la emisión de HCT y las de HCNM será igual a la emisión de los COT's, solo si carece de CH_4 y Aldehídos, por ejemplo, en el uso comercial y doméstico de solventes, si emite aldehídos.

Recubrimientos de superficies industriales

Los recubrimientos para superficies industriales consisten en la aplicación de una capa de pintura, barniz o laca a un objeto con propósito decorativo y/o de protección, entre estos objetos se encuentran los de mobiliario, latas, automóviles, aviones y otros equipos de transporte, maquinaria, aparatos domésticos, madera, alambre y otros productos misceláneos y en operaciones de mantenimiento industrial, entre otras. Los solventes contenidos en los recubrimientos se evaporan en la medida en que estos compuestos son utilizados. El factor de emisión y las emisiones estimadas por entidad y contaminante se reportan a continuación.

Tabla A.2.21 Emisiones por recubrimientos de superficies industriales

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.28	11,050	11,065	22,115
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.26	10,917	10,932	21,849

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Pintura automotriz

La aplicación de pintura automotriz en carrocerías, engloba la reparación y restauración de automóviles, camiones ligeros y otros vehículos en talleres pequeños, como parte de la reparación de una colisión. Las emisiones se generan durante la limpieza, resanado, pintado y pulido y son influenciadas por el contenido de solventes en el producto. El factor de emisión y las emisiones estimadas por entidad federativa y contaminante, se reportan en la tabla A.2.22.

Tabla A.2.22 Emisiones por aplicación de pintura automotriz

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.140	1,208	1,211	2,418
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.137	1,184	1,186	2,370

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Recubrimiento de superficies arquitectónicas

Los recubrimientos para superficies arquitectónicas con el propósito de proteger y mejorar la superficie de interiores y exteriores, implica la aplicación de una capa de pintura, barniz o laca entre otros para dar una mejor estética visual a una superficie terminada. Las emisiones estimadas por entidad federativa para el contaminante COT's, COV's, así como los factores de emisión utilizados, se reportan en la tabla siguiente.

Tabla A.2.23 Emisiones en recubrimientos de superficies arquitectónicas.

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.360	11,740	11,757	23,497
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.183	10,214	10,228	20,442

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V-Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Pintura en tránsito

La aplicación de pintura en tránsito, consiste en el pintado de carriles, banquetas, marcas de dirección o señalamientos viales, señales de estacionamiento y superficies pavimentadas para facilitar el flujo de tránsito vehicular. La pintura utilizada, en mayor proporción son base solvente y en menor proporción las de base agua, generalmente se aplican con spray o en formas de cintas termoplásticas o preformadas que son aplicadas con epóxicos sobre la superficie de calles y avenidas; factores tales como la durabilidad de la pintura, tipo de pavimento, densidad del tráfico y posición de las señales, determina la frecuencia con la que la pintura debe ser reaplicada y por lo tanto tendrá influencia sobre una mayor o menor emisión anual de COT's. Las emisiones estimadas por entidad federativa para el contaminante COT's, COV's y los factores de emisión se reportan en la tabla A.2.24.

Tabla A.2.24 Emisiones por aplicación de pintura de tránsito.

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.0400	352	346	698
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.0395	345	341	686

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V-Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Limpieza de superficies industriales

La limpieza de superficies industriales es un proceso físico en el cual se utilizan solventes orgánicos (ej. Destilados de petróleo, hidrocarburos clorados, cetonas y alcoholes, entre otros) y se seleccionan dependiendo del coeficiente de solubilidad, la sustancia a remover, su toxicidad, flamabilidad, velocidad de evaporación y otras propiedades fisicoquímicas. Entre las sustancias a remover se encuentran las grasas, aceites, ceras, depósitos de carbón, óxidos y alquitranes de superficies tales como metales, plásticos, vidrios y otros. Las emisiones por entidad federativa y los factores de emisión se muestran a continuación.

Tabla A.2.25 Emisiones en limpieza de superficies industriales

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.80	15,538	15,560	31,099
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.08	9,323	9,336	18,659

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V-Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Lavado en seco

Las operaciones de lavado en seco consisten en la limpieza de ropa mediante el uso de solventes orgánicos no acuosos como son el percloroetileno y gas nafta entre los da mayor uso. La extracción del exceso de solvente en la prenda se realiza por medio de una corriente de vapor de agua. Las emisiones de COT's, se presentan cuando los solventes se evaporan durante el proceso, especialmente en el equipo de lavado y de los sistemas de recuperación o disposición de solventes. Las emisiones de percloroetileno no son consideradas fotoquímicamente reactivas por lo tanto no tendrá emisiones de COV's al igual que los solventes sintéticos. Solo los procesos de lavado en seco que usan solventes derivados del petróleo tendrá emisiones de COV's al 100%. Por otra parte si solo se conoce la cantidad total de solventes o emisiones de COT's, se puede asumir que las emisiones de COV's constituyen el 58% del COT's (U.S. EPA, 1991a). A continuación se presentan las emisiones y los factores de emisión de esta categoría

Tabla A.2.26 Emisiones por lavado en seco "Tintorerías"

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.6007	5,185	5,193	10,378
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.3484	3,008	3,011	6,020

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V-Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Artes gráficas

En la impresión de periódicos, revistas, libros y en diferentes materiales de impresión, la composición de las tintas es variable, pero todas están constituidas de tres componentes principales: pigmentos, aglutinantes y solventes; la mayoría de los solventes utilizados son de uso común en la formulación de tintas, y en cantidades menores son utilizadas para la limpieza del equipo y/o un componente más en las soluciones fuente para sumergir los sistemas en la impresión litográfica. Las emisiones por entidad federativa y los respectivos factores de emisión se encuentran en la tabla siguiente.

Tabla A.2.27 Emisiones en artes gráficas

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.4	3,453	3,457	6,911
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.4	3,453	3,457	6,911

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Aplicación de asfalto

La emisión de hidrocarburos que provienen de la evaporación del solvente destilado de petróleo, es una función directa del tipo de diluyente y cantidad que se utiliza para licuar el cemento asfáltico. La mezcla asfáltica que se produce y utiliza en el Distrito Federal, es una mezcla del tipo densa de $\frac{3}{4}$ convencional; para su elaboración en la planta de asfalto no se requiere de solventes, aditivos, emulsificantes o cualesquiera otro tipo de compuestos volátiles, únicamente se realiza el proceso de triturado y mezclado, su elaboración es exclusivamente con asfalto AC20 (mejor conocido como chapopote con un nivel de dureza 20) y triturado basáltico ambos en una proporción de 7% y 93% respectivamente y son mezclados en caliente, esto significa que las emisiones generadas se dan en función directa del contenido de solventes en el licuado asfáltico y de la cantidad de asfalto en la mezcla.

Para el año 2002, la planta de asfalto registra un nivel de producción del orden de las 543,827 toneladas de mezcla asfáltica, de las cuales fueron rechazadas 8,351 toneladas, lo que implica que en el Distrito Federal se distribuyeron 535,475 toneladas de mezcla asfáltica para el mantenimiento y/o nuevas de calles y avenidas principales, como lo muestra la tabla A.2.28. La metodología aplicada es la referida en el Programa de Inventario de Emisiones para México, Vol. V de Fuentes de área; la cual indica que primero es necesario determinar el contenido de asfalto en la mezcla, el cálculo se realiza con las siguientes ecuaciones.

$$A = MA * \%A$$

$$E = A * \%D_A$$

$$E = MA * \%A * \%D_A * \%EV$$

Donde:

E= Emisión de COT's [ton/año].

MA= Masa asfáltica distribuida en la zona de aplicación [ton/año].

%A = Por ciento en peso de asfalto en la mezcla [%p].

%D_A = Por ciento en peso del diluyente en el asfalto [%p].

A= La cantidad de asfalto AC20 en la mezcla asfáltica [ton/año].

%EV= Evaporación del contenido de solvente como curado rápido (95%).

Por otra parte el contenido de COT del diluyente en el asfalto se obtiene del documento Programa para Inventarios de Emisiones de México, el cual, indica un valor de 0.34% de diluyente en el asfalto (Ciudad de México) y 6.2% (resto del país). En el Distrito Federal se utilizaron 543,827 toneladas de mezcla asfáltica, equivalentes a 121 ton de COT durante el año 2002, la tabla A.2.29, muestra los resultados obtenidos por delegación y cliente.

Tabla A.2.28 Distribución de mezcla asfáltica [ton], Distrito Federal-2002

Cliente	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Álvaro Obregón	4,211	6,186	5,238	6,194	1,198	1,394	1,841	1,167	1,362	1,745	2,073	3,743	36,353
Azcapotzalco	965	484	571	570	652	1,826	3,687	941	897	1,817	1,868	1,197	15,474
Benito Juárez	430	312	124	180	329	203	365	1,221	1,066	698	476	302	5,706
Coyoacán	969	2,094	575	454	9,421	440	2,471	478	894	8,092	2,950	1,132	29,971
Cuajimalpa	380	391	337	467	377	255	264	412	468	492	385	1,033	5,262
Cuauhtémoc	752	973	750	986	839	923	906	2,897	4,220	1,812	2,428	228	17,714
Gustavo Madero	4,500	7,135	8,165	8,616	3,236	2,638	699	0	0	0	0	0	34,989
Iztacalco	695	1,915	1,455	801	757	194	298	0	51	541	2,597	917	10,222
Iztapalapa	4,418	6,474	4,368	3,288	3,676	2,240	0	0	0	0	0	0	24,465
M. Contreras	269	672	311	681	658	173	376	319	259	876	821	528	5,943
Miguel Hidalgo	447	592	470	593	486	380	589	556	485	676	661	469	6,402
Milpa Alta	296	237	394	281	237	143	0	0	0	920	1,333	1,021	4,863
Tláhuac	423	868	727	828	506	527	606	921	922	997	1,478	1,775	10,576
Tlalpan	695	860	930	1,331	890	722	883	891	1,206	2,395	2,852	6,845	20,500
V. Carranza	440	765	2,239	3,386	3,817	3,974	187	223	3,148	4,004	5,755	7,635	35,573
Xochimilco	1,507	886	2,171	6,172	4,700	1,569	3,110	2,129	1,312	2,053	1,944	1,331	28,883
Convenios Del.	0	773	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	773
F.C. de Abastos	27	86	103	49	44	131	110	1,111	119	109	154	87	2,129
S. T. y Viabilidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S. T. Eléctrico D.F.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I. Deporte del D.F.	0	0	894	126	0	0	0	0	0	0	0	0	1,020
C.I. Exrta 100	0	0	11	8	460	1,275	1,305	997	625	475	682	331	6,169
C.A. D.F.	0	0	0	186	68	140	104	7	0	0	0	0	505
D.G.S.U.	2,837	2,948	2,113	3,456	6,431	4,948	6,881	3,834	4,690	12,000	8,488	3,421	62,046
D.G.C.O.H.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	581	633
D.G.O.P.	253	11	12,978	3,083	16,814	29,949	31,275	18,517	8,504	0	16,312	9,933	147,629
Planta de Asfalto	0	0	0	2	0	2	2	36	49	9	49	9	157
L. F. del Centro	164	228	245	237	160	169	149	182	223	377	243	124	2,501
CAPUFE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Particulares	682	1,639	1,015	11,199	1,845	249	117	461	55	1,019	28	708	19,017
Total	25,359	36,528	46,183	53,173	57,601	54,464	56,227	37,303	30,555	41,107	53,626	43,350	535,475
Rechazo	731	1,041	435	410	443	660	615	707	1,620	1,357	195	136	8,351
Distribución total	26,091	37,570	46,617	53,583	58,044	55,124	56,842	38,009	32,176	42,464	53,821	43,486	543,827

Fuente: Planta de asfalto del Gobierno del Distrito Federal, 2003.

Tabla A.2.29 Emisiones por la aplicación de asfalto, Distrito Federal, 2002

Delegación/Clientes	Emisiones de COT [ton/mes]												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Álvaro Obregón	0.95	1.40	1.19	1.40	0.27	0.32	0.42	0.26	0.31	0.40	0.47	0.85	8.23
Azcapotzalco	0.22	0.11	0.13	0.13	0.15	0.41	0.84	0.21	0.20	0.41	0.42	0.27	3.50
Benito Juárez	0.10	0.07	0.03	0.04	0.07	0.05	0.08	0.28	0.24	0.16	0.11	0.07	1.29
Coyoacán	0.22	0.47	0.13	0.10	2.13	0.10	0.56	0.11	0.20	1.83	0.67	0.26	6.79
Cuajimalpa	0.09	0.09	0.08	0.11	0.09	0.06	0.06	0.09	0.11	0.11	0.09	0.23	1.19
Cuauhtémoc	0.17	0.22	0.17	0.22	0.19	0.21	0.21	0.66	0.96	0.41	0.55	0.05	4.01
Gustavo Madero	1.02	1.62	1.85	1.95	0.73	0.60	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.93
Iztacalco	0.16	0.43	0.33	0.18	0.17	0.04	0.07	0.00	0.01	0.12	0.59	0.21	2.32
Iztapalapa	1.00	1.47	0.99	0.74	0.83	0.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.54
Magdalena Contreras	0.06	0.15	0.07	0.15	0.15	0.04	0.09	0.07	0.06	0.20	0.19	0.12	1.35
Miguel Hidalgo	0.10	0.13	0.11	0.13	0.11	0.09	0.13	0.13	0.11	0.15	0.15	0.11	1.45
Milpa Alta	0.07	0.05	0.09	0.06	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.21	0.30	0.23	1.10
Tláhuac	0.10	0.20	0.16	0.19	0.11	0.12	0.14	0.21	0.21	0.23	0.33	0.40	2.40
Tlalpan	0.16	0.19	0.21	0.30	0.20	0.16	0.20	0.20	0.27	0.54	0.65	1.55	4.64
Venustiano Carranza	0.10	0.17	0.51	0.77	0.86	0.90	0.04	0.05	0.71	0.91	1.30	1.73	8.06
Xochimilco	0.34	0.20	0.49	1.40	1.06	0.36	0.70	0.48	0.30	0.47	0.44	0.30	6.54
Convenios Del.	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18
F.C. de Abastos	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.02	0.25	0.03	0.02	0.03	0.02	0.48
S. T. y Viabilidad	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S. T. Eléctrico D.F.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
I. Deporte del D.F.	0.00	0.00	0.20	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23
C.I. exruta 100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.29	0.30	0.23	0.14	0.11	0.15	0.07	1.40
C.A. D.F.	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11
D.G.S.U.	0.64	0.67	0.48	0.78	1.46	1.12	1.56	0.87	1.06	2.72	1.92	0.77	14.05
D.G.C.O.H.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.13	0.14
D.G.O.P.	0.06	0.00	2.94	0.70	3.81	6.78	7.08	4.19	1.93	0.00	3.69	2.25	33.44
Planta de Asfalto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.04
L. F. del Centro	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.09	0.06	0.03	0.57
CAPUFE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Particulares	0.15	0.37	0.23	2.54	0.42	0.06	0.03	0.10	0.01	0.23	0.01	0.16	4.31
Total	5.74	8.27	10.46	12.04	13.05	12.34	12.74	8.45	6.92	9.31	12.15	9.82	121.29

La cantidad de asfalto aplicado y disponible para el Distrito Federal, fue utilizada para desarrollar un factor de emisión per cápita (FE_{COT}), que permitiera estimar las emisiones correspondientes al Estado de México y considerando que la mezcla asfáltica distribuida tiene las mismas características, propiedades físicas y químicas. Dicho factor es obtenido con el cociente de la emisión entre el número de habitantes del Distrito Federal, como se muestra a continuación:

$$FE_{COT} = 121.329 \text{ [ton COT/año]} / 8,632,712 \text{ [hab/año]} = 1.40 \cdot 10^{-5} \text{ [ton COT/hab-año]}$$

El nivel de población del Estado de México es de 8,644,663 habitantes en el año 2002, con éstos datos, las emisiones estimadas se muestran en la tabla A.2.30.

$$E_{COT} = 1.30 \cdot 10^{-5} \text{ [ton COT/hab/año]} * 8,632,712 \text{ [hab/año]} = 121.9 \text{ [ton. COT/año]}$$

Tabla A.2.30 Emisiones por la aplicación asfalto

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.0136	123	123	246
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.0136	123	123	246

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Uso comercial y doméstico de solventes.

El uso y consumo de solventes, se caracteriza por la presencia de hidrocarburos en productos comerciales y de consumo que sirven como propulsores, agentes para el secado y agentes limpiadores en casa habitación, industria y servicios. Los solventes utilizados incluyen a las naftas especiales, alcoholes y diversos cloro y fluorocarbonos que son emitidos durante el uso de productos con contenido de solventes. Los factores de emisión y las emisiones estimadas por contaminante se muestran en las tablas siguientes.

Tabla A.2.31 Emisiones de COT por uso comercial y doméstico de solventes

Actividad j	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	0.067	578	579	1,157
Productos domésticos	0.520	4,489	4,495	8,984
Productos de cuidado personal	1.520	13,121	13,140	26,261
Productos de cuidado automotor	0.880	7,597	7,607	15,204
Adhesivos y selladores	0.380	3,280	3,285	6,565
Pesticidas comerciales y domésticos	1.170	10,100	10,114	20,214
Productos misceláneos	0.040	345	346	691
Total	4.577	39,513	39,566	79,079

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Tabla A.2.32 Emisiones de COV por uso comercial y doméstico de solventes

Actividad j	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	0.046	399	399	798
Productos domésticos	0.359	3,097	3,102	6,199
Productos de cuidado personal	1.049	9,054	9,066	18,120
Productos de cuidado automotor	0.607	5,242	5,249	10,490
Adhesivos y selladores	0.262	2,263	2,266	4,530
Pesticidas comerciales y domésticos	0.807	6,969	6,979	13,948
Productos misceláneos	0.028	238	239	477
Total	3.158	27,262	27,302	54,564

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Tabla A.2.33 Emisiones aldehídos por uso comercial y doméstico de solventes

Actividad j	Factor de Emisión* [kg/habitante]	Emisiones [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	0.0008840	7.6	7.6	15.2
Productos domésticos	0.0000180	0.156	0.156	0.312
Productos de cuidado personal	0.0000000	0.00	0.00	0.00
Productos de cuidado automotor	0.0000000	0.00	0.00	0.00
Adhesivos y selladores	0.0000673	0.58	0.58	1.16
Pesticidas comerciales y domésticos	0.0022900	19.7	19.8	39.5
Productos misceláneos	0.0000000	0.00	0.00	0.00
Total	0.0032593	28.036	28.136	56.172

Fuente*: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

La estimación de HCT se realiza considerando la descripción de hidrocarburos presentada en el Manual de Inventario de Emisiones de México Volumen II, de la cual se deduce que la emisión de HCT es la diferencia de los COT menos la emisión de los aldehídos, como se muestra en la esta ecuación:

$$E_{HCT} = E_{COT} - E_{Aldh}$$

Donde:

E_{HCT} : Emisión de Hidrocarburos Totales.

E_{COT} : Emisión de Compuestos Orgánicos Totales.

E_{Aldh} : Emisión de aldehídos.

Tabla A.2.34 Emisiones de HCT, por el consumo de solventes

Actividad j	Emisiones [ton/año]		
	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	571	571	1,142
Productos domésticos	4,489	4,495	8,984
Productos de cuidado personal	13,121	13,140	26,261
Productos de cuidado automotor	7,597	7,607	15,204
Adhesivos y selladores	3,280	3,285	6,565
Pesticidas comerciales y domésticos	10,080	10,094	20,174
Productos misceláneos	345	346	691
Total	39,484	39,538	79,022

Fuente: Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Debido a que la estimación de metano es cero, la emisión de hidrocarburos nometánicos, los cuales se estiman por diferencia entre la emisión de HCT menos la emisión de CH_4 , es igual a los HCT.

A.2.4 Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo

Almacenamiento masivo de combustibles líquidos

Las emisiones de COT en tanques de almacenamiento masivo pueden ser estimadas con base en la metodología descrita en el AP-42 (U.S. EPA, 1995a)¹⁰. Las emisiones de los tanques de almacenamiento son la suma de las pérdidas en reposo y de trabajo; las primeras ocurren como consecuencia de los cambios de temperatura que conduce al venteo del vapor del tanque a la atmósfera; las pérdidas de trabajo, resultan de los cambios en el nivel del líquido del tanque, principalmente por las operaciones de llenado y vaciado. Típicamente la forma más sencilla de aplicar la serie de ecuaciones que rigen el sistema de evaporación es utilizando el software TANKS (U.S. EPA, 1999)¹¹ desarrollado por la EPA en el año de 1996 y modificado en una versión 4.0 en septiembre de 1999.

Para la aplicación y demostración del programa Tanks 4.0 se ha seleccionado la terminal de almacenamiento y distribución Satélite Sur con el tanque de almacenamiento TV-5, y lo llamaremos TAD-TV5-AZC-2002 para la cual se obtuvo la información de la tabla A.2.35. La aplicación del programa TANKS, se describe a continuación en cuatro módulos, definiendo en cada punto la información requerida por el sistema (para mayor información sobre el uso y aplicación del modelo TANKS, ver el manual del usuario).

Tabla A.2.35 Características físicas y operación TAD-TV5-AZC-2002

TAD	CTA	TTA	TT	TCT	PT	PTST	TSM	SM	CA	CNT [Galones]	DT [Pies]	ATT [Pies]	AOT [Pies]	COP [Galones]	NRA	DCA [Galones/año]
AZC	TV-5	VCTF/MIF	DGD	S	B,B	B,B	PMS-VMSS	AyA	P	4,200,000	134	40.0	36.2	3,820,152	29	108,839,455

TAD	Terminal de almacenamiento y distribución	PMS-VMSS	Primario montado sobre-vapor más sello secundario
SS	Satélite Sur	AyA	Autosoportada y atornillada
CTA	Clave del tanque de almacenamiento	SM	Soporte del sello mecánico
TTA	Tipo del tanque de almacenamiento	CA	Combustible almacenado
VCTF/MIF	Vertical con techo fijo y membrana interna flotante	P	Gasolina Premium
TT	Domo geodésico	CNT	Capacidad nominal del tanque
DGD	Cónica	DT	Diámetro del tanque
TCT	Tipo de construcción del tanque	ATT	Altura total del tanque
S	Soldado	AOT	Altura de operación del tanque
PT	Pintura del tanque	COP	Capacidad de operación del tanque
B.B	Blanco y en buen estado	NRA	Numero de recargas anuales
PTST	Pintura de la tapa superior del tanque	DCA	Descarga anual del combustible
TSM	Tipo de sello mecánico		

¹⁰ AP-42 (U.S. EPA, 1995a), Sección 7.1.3.1, Total Losses from Fixed Roof Tanks (Pérdidas Totales de los Tanques con Techo Fijo), Febrero 1996.

¹¹ USR'S GUIDE to TANKS, Storage Tank Emissions Calculation Software Version 4.0, September 30, 1999

Modulo I: Identificación: Permite registrar la información de ubicación y nombre de la empresa así como la identificación del tanque de almacenamiento a evaluar.

Figura A.2.3 Identificación del tanque de almacenamiento TAD-TV5-AZC-2002

Field	Value
Identification No:	TAD-TV5-AZC-2002
* Description:	TANQUE DE ALMACENAMIENTO MASIVO DE GASOLINA PREMIUM
* State:	Distrito Federal
* City:	México
* Company:	PEMEX

Modulo II Características físicas: Se registrar información básica sobre las características físicas del tanque de almacenamiento, sobre su diseño y operación.

Figura A.2.4 Características físicas, diseño y operación del tanque de almacenamiento

TAD-TV5-AZC-2002

Section	Field	Value
Tank Characteristics:	Diameter (ft):	133.989
	Tank Volume (gal):	3,820,152.00
	Turnovers per year:	28.49087
	Net Throughput (gal/yr):	108,839,455.00
	Self Supporting Roof?	Yes
	Number of Columns:	0
	Effective Column Diameter:	0
	Internal Shell Condition:	Light Rust (D)
	External Shell Color/Shade:	White/White (D)
	External Shell Condition:	Good (D)
Rim Seal System:	Primary Seal:	Vapor-mounted
	Secondary Seal:	Rim-mounted
Deck Characteristics:	Deck Type:	Welded
	Deck Fitting Category:	Typical
	View/Add Fittings	

Modulo III Selección del sitio: El programa, cuenta con información sobre meteorología para la gran mayoría de las ciudades de los Estados Unidos. Para el caso de la zona de estudio se diseñó la base de datos¹² correspondiente como lo muestra la figura A.2.5 con información de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico "RAMA" excepto el nivel de radiación o insolación solar que por cuestiones de validación se optó por considerar la información de Los Ángeles California incluida en el programa. El sistema cuenta con una serie de ecuaciones para la estimación de parámetros promedio anual de temperatura y velocidad del viento.

¹² Información de la Subdirección de análisis de información - RAMA /DGGAA/SMA/GDF (para garantizar la calidad de la información se consideró que todos los días hayan contado con al menos el 75% de los datos, es decir, al menos 18 datos. Los promedios mensuales de velocidad del viento se obtuvieron a partir de promedios diarios de 24 horas. Las estaciones de monitoreo que cumplieron el criterio del 75% de los datos son. TAC, EAG, SAG, TLA, XAL, MER, PED, CES, PLA, HAN, PLA.

Figura A.2.5 Selección de sitio y despliegue de características meteorológicas

The screenshot shows two windows from a software application. The left window, titled 'Meteorological', displays a city selection dropdown set to 'MEXICO, DF 2002'. Below this, it shows fields for 'City: MEXICO' and 'State: DF 2002'. A table of monthly meteorological data is shown, with columns for Month, Daily Maximum Ambient Temp. (F), Daily Minimum Ambient Temp. (F), Solar Insulation Factor (Btu/(ft²*day)), and Average Wind Speed (mph). The right window, titled 'Internal Floating Roof Tank', has tabs for Identification, Physical Characteristics, Site Selection, Tank Contents, and Monthly Calculations. The 'Site Selection' tab is active, showing 'Nearest Major City: MEXICO, DF 2002' and several calculated meteorological values: Daily Average Ambient Temperature (F): 73.00, Annual Average Maximum Temperature (F): 74.00, Annual Average Minimum Temperature (F): 51.41, Average Wind Speed (mph): 1.98, Annual Average Solar Insulation Factor (Btu/(ft²*day)): 1,567.1816, and Atmospheric Pressure (psia): 11.3. A 'Sort by State Name' button is located at the bottom right of this window.

Month	Daily Maximum Ambient Temp. (F)	Daily Minimum Ambient Temp. (F)	Solar Insulation Factor (Btu/(ft ² *day))	Average Wind Speed (mph)
JAN	71	44	891.5287	1.86
FEB	71	47	1157.71823	1.96
MAR	78	51	1523.53054	2.12
APR	79	52	1923.2907	2.02
MAY	80	55	2033.7007	2.22
JUN	76	55	2095.88562	2.22
JUL	73	55	2265.62507	1.85
AUG	74	55	2075.89761	2.04
SEP	73	56	1682.16554	1.84
OCT	74	54	1328.09222	1.79
NOV	69	47	1000.98668	1.92
DEC	70	46	827.75743	1.95
ANN	74	51.41	1567.1816	1.98

Modulo IV Contenido del tanque: El programa TANKS considera la ley de Raoult y cuenta con información disponible sobre las propiedades físicas y químicas de mezclas de líquidos así como de sustancias puras, por ejemplo en el caso de la gasolina se presenta la información en función al PVR¹³, sin embargo, si el programa no contemple un compuesto o mezcla de compuestos, existe un modulo para anexar esta información.

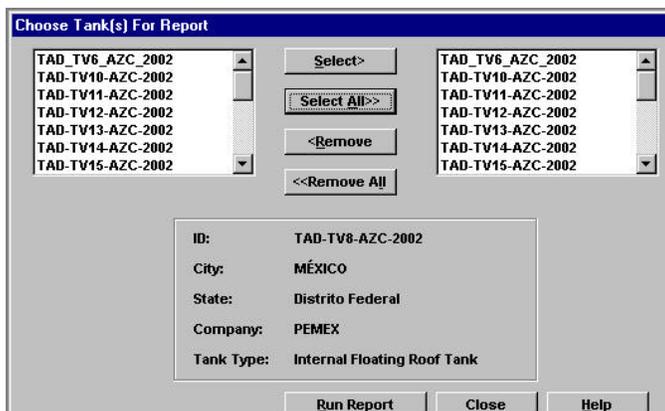
Figura A.2.6 Propiedades químicas y físicas de la gasolina

The screenshot shows the 'Vertical Fixed Roof Tank' window with the 'Physical Characteristics' tab selected. It displays the 'Chemical Category of Liquid' as 'Petroleum Distillates' and 'Single or Multi-Component Liquid' as 'Single'. The 'Chemical Name' is 'Gasoline (RVP 8)'. Below this, several physical properties are listed with their values: Average Liquid Surface Temperature (F): 75.875925, Minimum Liquid Surface Temperature (F): 64.290979, Maximum Liquid Surface Temperature (F): 87.460871, Bulk Liquid Temperature (F): 73.78, Vapor Pressure (psia) at Liquid Surface Temperature: 5.5034, Liquid Molecular Weight: 92, and Vapor Molecular Weight: 68. On the right side, there are buttons for 'Calculate Mixture Properties', 'Delete Mixture', 'Next Mixture >', '< Previous Mixture', and 'Add Mixture'. At the bottom, it indicates 'Mixture 1 of 1' and has buttons for 'Copy', 'Run Report', 'Save', 'Close', and 'Help'.

Alimentados los datos necesarios al modelo, se procede a obtener el resultado de las emisiones; en la barra de herramientas seleccionar el menú REPORT posteriormente el menú ANNUAL y el menú SUMMARY aparecerá una pantalla como se muestra en la figura A.2.8. en la cual deberá seleccionar SELECT ALL>> y posteriormente RUN REPORT. Active DESTINATION PRINTER y pulse OK, en este momento los resultados obtenidos serán impresos.

13 Presión de vapor RAID

Figura A.2.7 Modulo de selección del reporte de emisiones



La secuencia de cálculo para el resto de los tanques de almacenamiento es similar, sólo puede variar su contenido (gasolina, turbosina, combustible industrial, diesel) y las características físicas y químicas. La tabla siguiente muestra los resultados obtenidos.

Tabla A.2.36 Estimado de emisiones del TAD-TV3-SS-2002

TAD	CTA	CA	COP [Galones]	DCA [Galones/año]	Emisiones [COT] [ton/año]
AZC	TV-5	P	3,820,152	108,839,455	3.8

TAD: Terminal de almacenamiento y distribución

AZC: Azcapotzalco

CTA: Clave de identificación del tanque de almacenamiento

CA: Combustible almacenado

P: Gasolina Premium

COP: Capacidad de operación

DCA: Distribución del combustible almacenado

COT: Compuestos orgánicos totales

Debido a que el contenido de metano y etano en la gasolina es despreciable, la emisión de compuestos volátiles o reactivos, son iguales a los COT emitidos a la atmósfera. Por otra parte, por la ausencia de aldehídos y metano las emisiones de hidrocarburos no metánicos y hidrocarburos totales son iguales a las emisiones de compuestos orgánicos totales, es decir.

$$E_{COT} = E_{COV} = E_{HCNM} = E_{HCT}; E_{CH_4} = 0; E_{Aldehídos} = 0$$

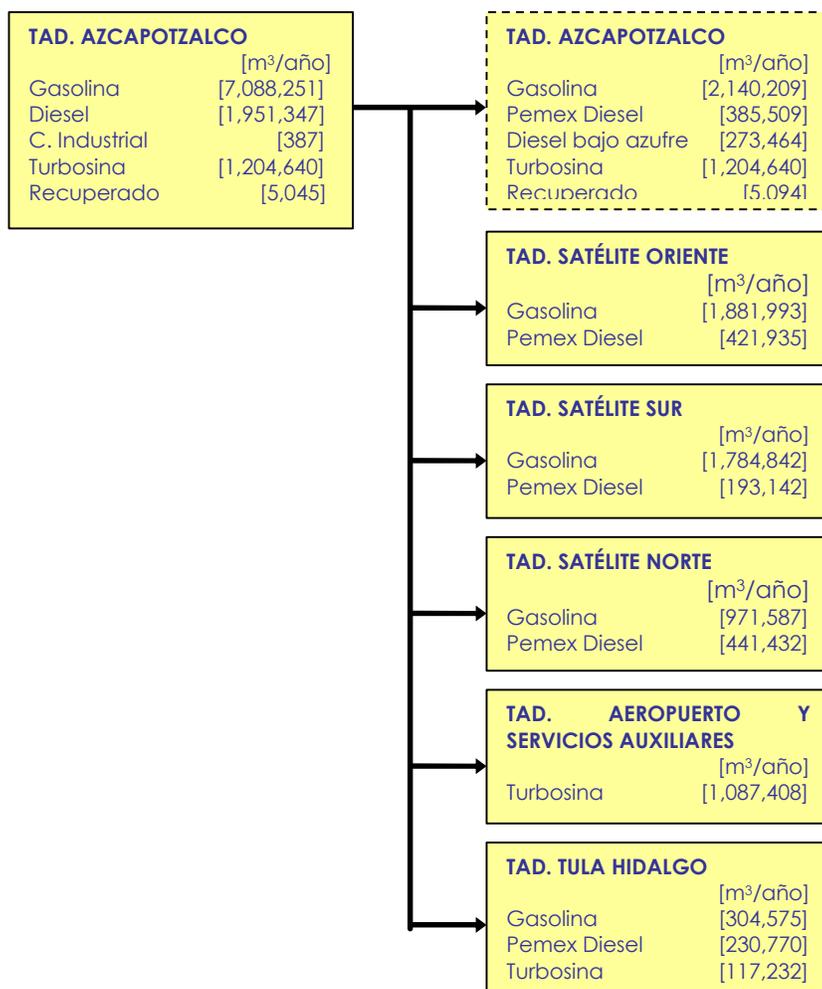
Los productos refinados que son distribuidos en la Zona Metropolitana del Valle de México llegan a través de poliductos a la terminal de almacenamiento y distribución Azcapotzalco; esta, cuenta con una capacidad de almacenamiento de 1.5 millones de barriles, misma que cubre la demanda del Valle de México por espacio de 10 días. La misma terminal comercializa los productos PEMEX Magna, PEMEX Premium, PEMEX Diesel, Turbosina y Combustible Industrial en la ZMVM, siendo sus centros abastecedores las refinerías Miguel Hidalgo en Tula y Lázaro Cárdenas en Minatitlan y la terminal marítima de Tuxpan.

A través de poliductos, la terminal Azcapotzalco abastece de PEMEX Magna, PEMEX Premium y PEMEX Diesel a las terminales de almacenamiento y distribución de Añil

(Satélite Oriente) y Barranca del Muerto (Satélite Sur) en el Distrito Federal, a la terminal San Juan Ixhuatepec (Satélite Norte) en el estado de México y Tula en Hidalgo; el combustible denominado Turbosina fue distribuido a la Terminal Aeropuerto y Servicios Auxiliares (ASA) y la terminal de almacenamiento ubicada en Tula Hidalgo (se desconoce al consumidor final).

Todas las terminales realizan su distribución a estaciones de servicio y auto abasto así como al sector industrial, su transferencia es por medio de auto-tanque, la figura A.2.8 muestra el tren de distribución de combustibles por terminal de almacenamiento. El modelo TANKS fue utilizado en todas las terminales, excepto en la terminal Tula y el segundo bloque de la terminal Azcapotzalco, debido a que esta fue transferida por carro tanque al consumidor final en el caso de combustible industrial y a estaciones de servicio y auto consumo, la tabla A.2.37 muestra los resultados obtenidos.

Tabla A.2.37 Tren de distribución y almacenamiento de combustibles de la ZMVM



Fuente: Elaborado con datos de PEMEX Refinación

Tabla A.2.38 Emisiones por terminal de almacenamiento y distribución "TAD"

Delegación/Municipio	Terminal de Almacenamiento y Distribución	COT
Miguel Hidalgo	Azcapotzalco	36.7
Iztacalco	Satélite Oriente	15.8
Álvaro Obregón	Satélite Sur	9.4
Tlanepantla	Satélite Norte	8.6
Venustiano Carranza	Aeropuerto y Servicios Auxiliares	0.55
Distrito Federal		62.45
Estado de México		8.6
Zona Metropolitana del Valle de México		71.05

La emisión de COV por almacenamiento de gasolina es igual al 100% de los COT de gasolina

La emisión de COV por el uso de turbosina es igual al 96% de los COT por uso de turbosina.

La emisión de COV por el uso de diesel es igual al 97.2% de los COT por uso de diesel.

Distribución y venta de gasolina

Las emisiones por la evaporación de hidrocarburos que se emiten en las estaciones de servicio son producidas por la gasolina; el diesel por tener presiones de vapor muy bajas no evapora considerablemente. Las emisiones inician por las *perdidas en tránsito (la cual llamaremos E1)*, incluyen el recorrido de autotanques a partir de la terminal de almacenamiento y distribución hasta la estación de servicio (con carga y sin carga); el segundo punto emisor se da en la estación de servicio durante el llenado de tanques subterráneos de almacenamiento de combustible con traspaso de vapores, conocida como *perdidas por descarga de pipas a estaciones de servicio (la llamaremos E2)*; otro punto emisor se da por la *respiración del tanque subterráneo (E3)*; sus emisiones ocurren diariamente y son atribuibles a cambios en la presión barométrica.

En el llenado de tanques de los automóviles se producen emisiones por dos procesos, el desplazamiento de vapores por la *recarga de gasolina en los automóviles (E4)*, en donde la cantidad de vapores desplazados depende de la temperatura de la gasolina, de la temperatura del tanque del automóvil, la Presión de Vapor Reid¹⁴ de la gasolina, y la tasa de llenado del tanque; el último punto emisor del ciclo es por *derrames de combustibles en la recarga (E5)* estas dependen de varios factores incluyendo el tipo de descarga por control automatizado o manual (por el operador) en la estación de servicio, la configuración del tanque del vehículo y la técnica del operador. Los factores de emisión correspondientes a cada etapa se encuentran presentes en la tabla A.2.38, estos fueron previamente calculados y convertidos de mg/lit a ton/m³.

14 Presión de vapor Reid: presión absoluta a 37.8 °C en kilopascales. Difiere de la presión de vapor verdadera de la muestra, debido a pequeñas evaporaciones de la muestra y a la presencia de vapor de agua y aire en los espacios confinados. Se determina con el Método ASTM D323-94.

Tabla A.2.39 Factores de emisión en distribución y venta de gasolina

Punto emisor	Fuente de Emisión "Actividad"	Factor de emisión COT [mg/lit]
E1	Perdidas en tránsito	0.05
	Autotank cargado	6.50
	Autotank vacío	
E2	Descarga de pipas a estaciones de servicio	1,046.8
E3	Respiración del tanque subterráneo	120
E4	Recarga de gasolina en automóviles	1,079.5
E5	Derrames de combustibles en la recarga	80.0
	Total	2,326.3

Se asume que las emisiones de COV constituyen el 100% de los COT.

En general la estimación de emisiones se realizó por estación de servicio y en todo momento se considerará la eficiencia del sistema de recuperación de vapores SRV¹⁵.

Los datos obtenidos por PEMEX Refinación, indican que en el Distrito Federal se distribuyeron 4,010,117 m³ de gasolina en 312 estaciones de servicio, mientras que en el Estado de México (18 municipios conurbados) se presentó una distribución de 2,453,864 m³ de gasolina en 208 estaciones de servicio y 624,270 m³ fueron desplazados a 92 estaciones de servicio ubicadas en otros municipios del Estado de México y del Estado de Hidalgo colindantes a la ZMVM, los cuales no son considerados dentro de la zona de estudio del presente inventario de emisiones, ver tabla siguiente.

Tabla A.2.40 Distribución de gasolinas y diesel por entidad federativa, 2002

Entidad	#E S	Gasolina Premium	Gasolina magna	Total Gasolinas	Diesel
Distrito Federal*	312	574,173	3,435,944	4,010,117	625,074
Estado de México*	208	269,260	2,184,604	2,453,864	537,882
ZMVM	520	843,433	5,620,548	6,463,981	1,162,956
PEMEX **	612	902,429	6,185,822	7,088,251	1,677,882
Otros Municipios*	92	58,996	565,274	624,270	393,825
Diferencia	0	0	0	0	121,101A

Fuente: *PEMEX Refinación/ Terminal de Almacenamiento y Distribución Azcapotzalco/ por estación de servicio

** PEMEX Refinación/ Gerencia de Coordinación Comercial/ oficio SCP-0628/03 Exp.-A-2, Julio de 2003.

A: Distribución a transporte férreo.

A continuación se presenta la secuencia de cálculo de algunos factores de emisión corregidos y un ejemplo de aplicación utilizando información de las gasolineras A, B, que representan a las estaciones de servicio con clave E03758 y E02517 respectivamente.

¹⁵ El sistema de recuperación de vapores es un conjunto de accesorios, tuberías, conexiones y equipos especialmente diseñados para recuperar y controlar la emisión de vapores de gasolina producidos en las operaciones de transferencia de este combustible a las estaciones de servicio y estaciones de autoconsumo, que de otra manera serían emitidos a la atmósfera.

Estimación de emisiones por pérdidas en tránsito E1

Las gasolineras A y B son un caso real y los consumos de gasolina por tipo se presentan en la tabla A.2.40, las emisiones totales por pérdidas en tránsito incluyen tanto el recorrido de la terminal a granel a la gasolinera y viceversa (con carga y sin carga). El nivel de emisiones depende del grado de venteo que se presente en tránsito que, a su vez, depende de la hermeticidad en el tanque, el ajuste de la presión en la válvula de alivio, la presión en el tanque al principio del recorrido y la presión de vapor del combustible transportado, el grado de saturación de vapor del combustible en el espacio vapor del tanque.

Las emisiones no son directamente proporcionales a la duración del traslado; los factores de emisión se presentan para condiciones de tránsito típicas (punto medio del intervalo de emisión) y extremas (puntos extremos del intervalo de emisión) ver tabla A.2.41, la referencia a las condiciones extremas se hace para el caso poco probable en que todos los factores determinantes que se mencionaron se combinen para ocasionar emisiones máximas.

Tabla A.2.41 Consumo de gasolina en las estaciones de servicio

Gasolineras		Venta de gasolina [m ³ /año]		
		Premium	Magna	Total
A	E03758	4,360	18,197	22,557
B	E02517	1,037	14,920	15,957

Tabla A.2.42 Factores de emisión evaporativas en autotanques en tránsito

Cargada con Producto		Regresando con Vapor	
[mg/litro]	[ton/m ³]	[mg/litro]	[ton/m ³]
0 - 0.1	0 - 0.0000001	0 - 13.0	0 - 0.000013

Para el análisis se considera el factor de emisión en el punto medio del rango de emisión.

La estimación de emisiones se realiza con la siguiente ecuación y los resultados se presentan en la tabla A.2.42.

$$\text{Emisiones} = \sum_{i=1}^n ([FE_{tc,i,c} + FE_{tv,i,c}] * C_{vi})$$

Donde:

Emisiones = Emisiones totales de recarga (ton/año)

n= Número de gasolineras

$FE_{tc,i,c}$ = Factor de emisión de pérdida en tránsito “cargada con producto” para la gasolina transportada a la estación i en condiciones de tránsito c (ton/m³).

$FE_{tv,i,c}$ = Factor de emisión de pérdida en tránsito “regreso con vapor” para la gasolina transportada de la estación i en condiciones de tránsito c (ton/m³).

C_{vi} = Combustible vendido en la gasolinera i [m³/año].

El término c, indica que las emisiones de tránsito durante el transporte de gasolina a las estaciones A, la selección del factor de emisión es el punto medio del intervalo.

$$E_{[COT's]} = ([0.00000005+0.0000065]*[22,557+15,957]) = 0.2523 \text{ [ton/año]}$$

Tabla A.2.43 Emisiones estimadas al aire E1

Gasolineras	Emisión COT [ton/año]		
	Cargada con Producto	Regresando con Vapor	Total
A E03758	0.0011	0.1466	0.1477
B E02517	0.0008	0.1037	0.1045

Estimación de emisiones por la descarga de pipas a estaciones de servicio E2

Las emisiones de COT de gasolina por la descarga de las pipas en las gasolineras A, B; después que las pipas llegan a las gasolineras y descargan en los tanques de almacenamiento subterráneos. Esta descarga es similar a la carga de las pipas en la terminal de despacho a granel ambas cuenta con el SRV, para la estimación de sus emisiones deberá considerar:

- La cantidad de gasolina que fue vendida en las gasolineras A,B.
- Ambas gasolineras aplican el modo de operación conocido como carga sumergida con balance de vapor, este servicio tiene la característica de recupera los vapores desplazados durante la descarga de gasolina y los lleva de regreso al tanque de la pipa de distribución.
- El factor de emisión obtenido, fue calculado de la siguiente manera¹⁶:

$$FE_{dp} = 12.46 * ((S * P * M) / (T))_{[lb/100galones]} * (0.000453592) * (1 / 0.003785412) = \text{[ton/m}^3\text{]}$$

Donde:

FE_{dp} = Factor de emisión por descarga de las pipas durante la carga de combustible [lb/1000 galones]

S = Factor de saturación 1 [adimensional]¹³

P = Presión de vapor verdadera del líquido 5.5034 [PSIA] @ RVP 8¹⁷

M = Peso molecular de los vapores 68 [lb/lb-mol]

T = Temperatura del líquido en la descarga, equivalente a la temperatura ambiente 533.76[°R]¹⁸

$$FE_{dp} = 0.0010468 \text{ [ton/m}^3\text{]} \quad \text{equivalentes a } 1,046.8 \text{ [mg/lt]}$$

Las emisiones totales del llenado de tanques subterráneos pueden estimarse con la ecuación A.2.18 y las emisiones estimadas se presentan en la tabla A.2.43

¹⁶ Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

¹⁷ El RVP reportado por PEMEX para el año 2000 de la gasolina premium y magna fue de 7.6 y 7.8 respectivamente. Con el objeto de homologar las propiedades físicas del combustible en el almacenamiento masivo de combustibles, decidió utilizar un RVP máximo de 8 y las propiedades fisicoquímicas establecidas en el programa TANKS.

¹⁸ Información proporcionada por la Subdirección de Análisis e Información - DRAMA-DGGAA-SMA-GDF.

$$\text{Emisiones} = \sum_{i=1}^n C_{vi} \times FE_{dp}$$

Estación de servicio A + B

$$\begin{aligned} \text{Emisiones} &= && [22,557 * 0.0010468] &+ & [15,954 * 0.0010468] \\ &= && 23.62 &+ & 16.70 = 40.32 \text{ [ton/año]} \end{aligned}$$

El llenado de tanques con la técnica de balance de vapor, regresa los hidrocarburos desplazados del tanque de la gasolinera al tanque de la pipa, la eficiencia de control del sistema fluctúa de 93 a 100 por ciento con respecto a las emisiones no controladas "Este criterio se conoce como factor de corrección de la emisión (Fc)" y en la ZMVM se estima que dicha eficiencia es del 94.5%¹⁹. Por lo tanto, de la emisión total el 94.5% es recuperado y enviado al tanque de la pipa para su posterior tratamiento en las terminales de almacenamiento masivo y el resto 5.5% son emisiones fugitivas (ver siguiente ecuación)

$$E_{[CO]a} = E_t * Fc$$

$$Fc = (1 - 0.945)$$

Tabla A.2.44 Emisiones estimadas al aire y recuperadas E2

Gasolineras		Emisiones de COT [ton/año]	
		Aire	Recuperadas
A	E03758	1.2991	22.3209
B	E02517	0.9185	15.7815

Estimación de emisiones por respiración de tanques subterráneos E3

La cantidad de emisiones por pérdidas debidas a la respiración de tanques de almacenamiento subterráneos depende principalmente de la evaporación y los cambios en la presión barométrica. Por otro lado, la frecuencia de extracción del tanque también puede afectar las emisiones debido a que el aire fresco que entra, incrementa la tasa de evaporación, en la estimación de estas emisiones deberá considerarse:

- El volumen de gasolina que fue vendida en las gasolineras A,B.
- Se ha estimado una tasa de emisión por respiración "FER" promedio para gasolineras estadounidenses de 120 mg/litro de gasolina equivalente a 0.00012 [ton/m³].
- Eficiencia del SRV 95% (Fc = (1-0.945)); el 5.5% de las emisiones son al aire y el 94.5% recuperadas.

¹⁹ La eficiencia de los SRV varía en función al sistema o tecnología instalada, la eficiencia máxima es del 97%, la mínima es del 95% y la promedio es del 94.5% este último dato es la eficiencia promedio de todas las estaciones de servicio, Dirección General de Regulación y Gestión Ambiental de Agua, Suelos y Residuos -SMA-GDF, con datos de pruebas de eficiencia y tasa volumétrica por tecnología y empresas instaladoras.

Las pérdidas totales por respiración de los tanques de almacenamiento subterráneos se estiman, con la tasa de emisión promedio por respiración y el factor de corrección por la instalación del SRV; las emisiones estimadas se presentan en la tabla A.2.44.

$$E = \sum_{i=1}^n C_{Si} * FE_r * F_c$$

Donde:

E= Emisiones de COT por respiración del tanque subterráneo [ton/año].

n= Número de gasolineras.

FE_r= Factor de emisión de pérdida por respiración del tanque 0.00012 [ton/m³].

C_{Si}= Combustible suministrado en la gasolinera i (m³/año).

F_c= Factor de corrección por implementación del SRV (1-0.945)

Emisiones = [(22,557*0.00012)+(15,957*0.00012)]

Emisiones totales [A + B] = [2.70684+1.91484]

Emisiones al aire [A + B] = [(2.70684*(1-0.945))+(1.91484*(1-0.945))]
[0.1488+0.1053]

Emisiones recuperadas [A + B] = [(2.70684*(0.945))+(1.91484*(0.945))]
[2.5579+1.8095]

Tabla A.2.45 Emisiones Estimadas al Aire y Recuperadas E3

Gasolineras		Emisiones de COT [ton/año]	
		Aire	Recuperadas
A	E03758	0.1488	2.5579
B	E02517	0.1053	1.8095

Estimación de emisiones por recarga de gasolina en vehículos E4

Estas emisiones están integradas por los vapores desplazados del tanque del vehículo, que son transferidos al espacio vapor del tanque de almacenamiento subterráneo. La cantidad de emisiones de los vapores desplazados dependerá de la temperatura de la gasolina, la temperatura del tanque del vehículo, la presión de vapor de Reid de la gasolina (PVR) y de la tasa de despacho. Para estimar las emisiones primero se determino el factor de emisión correspondiente con la siguiente ecuación.²⁰

$$FE_{cg} = ((264.2) * ((-5.9099) - (0.0949 * DT)) + (0.0884 * Ts) + (0.485 * (PVR)))$$

Donde:

FE_{cg}= Factor de emisión no controlada de COT para recarga de combustible [mg/litro].

20 Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

ΔT = Diferencia entre la temperatura del combustible despachado y el tanque del vehículo (°F).

T_s = Temperatura del combustible despachado (temperatura ambiente promedio 23.2°C [73.76°F]).

PVR= Presión de Vapor de Reid 7.8 [PSIA].

La temperatura del combustible despachado es de 23.2°C (73.76 °F), y la temperatura del combustible en el tanque del vehículo es de aproximadamente 25°C (77°F).

$$DT = (77-73.6) = 3.24 \text{ °F.}$$

A continuación se muestra la sustitución de datos para calcular el factor de pérdida por desplazamiento sin control:

$$FE_{cg} = ((264.2) * ((-5.91) - (0.095 * 3.24) + (0.089 * 73.76) + (0.49 * (7.8)))) = 1,079 \text{ [mg/lts]}$$

$$FE_{cg} = 1,079.5 * (1/1000000) = 0.00107952 \text{ [ton/m}^3\text{]}$$

Las pérdidas totales por respiración de los tanques de almacenamiento subterráneos pueden estimarse con la ecuación A.2.21 y con la tasa de emisión promedio por respiración y el factor de corrección por la instalación del SRV ($e=94.5\%$), los estimados se presentan en la tabla A.2.45.

$$E = \sum_{i=1}^n C_{vi} * FE_{cg} * F_c$$

Donde:

E = Emisión de COT [ton/año]

FE_{cg} = Factor de emisión no controlada de COT para recarga de combustible 0.00107952 [ton/m³].

n = Número de gasolineras.

C_{vi} = Combustible vendido en la gasolinera i [m³/año].

F_c = Factor de corrección por implementación del SRV [1-0.945].

$$E \text{ [COT]total} = [A + B] = [(22,557 * 0.00107952) + (15,957 * 0.00107952)] \\ [24.3507 + 17.2259]$$

$$E \text{ [COT]aire} = [A + B] = [(24.3057 * (1 - 0.945)) + (17.2259 * (1 - 0.945))] \\ [1.3392 + 0.9474]$$

$$E \text{ [COT]recuperadas} = [A + B] = [(24.3057 * (0.945)) + (17.2259 * (0.945))] \\ [22.9680 + 16.2784]$$

Tabla A.2.46 Emisiones Estimadas al aire y recuperadas E4

Gasolineras		Emisiones de COT [ton/año]	
		Aire	Recuperadas
A	E03758	1.3392	22.9680
B	E02517	0.9474	16.2784

Estimación de emisiones por derrames de combustible en la recarga E5

Las pérdidas por derrames también se presentan durante la recarga de combustible. El factor de emisión estadounidense para derrames (FE_d) se ha estimado en 80 mg/litro de combustible despachado. La cantidad real del derrame depende de diversos factores, tales como las características comerciales de la gasolinera, la configuración del tanque, y especialmente las técnicas del operador. Las pérdidas totales de la recarga pueden estimarse como sigue.

$$E = \sum_{i=1}^n C_{Vi} * FE_d * F_c$$

Donde:

E= Emisiones totales por recarga [ton/ año].

n= Número de gasolineras.

EF_d = Factor de emisión por derrame, gasolinera i [0.00008 ton/ m³].

C_{Vi} = Combustible vendido en la gasolinera i [m³/año].

F_c = Factor de corrección por implementación del SRV (1-0.945).

$$E[\text{COT}]_{\text{total}} = [A+B] = [(22,557*0.00008)+(15,957*0.00008)] \\ [1.8045+1.2765]$$

$$E[\text{COT}]_{\text{aire}} = [A+B] = [(1.8045*(1-0.945))+(1.2765*(1-0.945))] \\ [0.0548+0.07020]$$

$$E[\text{COT}]_{\text{recuperada}} = [A+B] = [(1.804*(0.945))+(1.2765*(0.945))] \\ [1.7047+1.2062]$$

Tabla A.2.47 Emisiones estimadas al aire y recuperadas E5

Gasolineras		Emisiones de COT [ton/año]	
		Aire	Recuperadas
A	E03758	0.0548	1.7047
B	E02517	0.0702	1.2062

Nota importante: El sistema de cálculo mostrado, se realiza para cada una de las estaciones de servicio ubicadas en la ZMVM, las emisiones reportadas en el inventario de emisiones son las emitidas al aire y no las emisiones recuperadas, las cuales serán tratadas en las terminales de almacenamiento masivo para su condensación y adición a la gasolina líquida. La tabla siguiente, muestra las emisiones estimadas por entidad federativa y etapa: como muestra la siguiente codificación por etapas:

E1: Emisiones por perdidas en tránsito.

E2: Emisiones por descarga de pipas a estaciones de servicio.

E3: Emisiones por respiración de tanques subterráneos.

E4: Emisiones por recarga de gasolina en vehículos.

E5: Emisiones por derrames de combustible en la recarga.

Et: Emisiones totales del sistema de distribución.

NES: Número de estaciones de servicio evaluadas.

Debido a que el contenido de metano y etano en la gasolina es despreciable, la emisión de compuestos volátiles o reactivos, son iguales a los COT emitidos a la atmósfera, por otra parte, por la ausencia de aldehídos y metano, las emisiones de hidrocarburos no metánicos y las de hidrocarburos totales, son iguales a las emisiones de Compuestos orgánicos totales, es decir.

$$E_{COT} = E_{COV} = E_{HCNM} = E_{HCT}; E_{CH_4} = 0; E_{Aldehídos} = 0$$

Tabla A.2.48. Emisiones de COT por la distribución de gasolina en estaciones de servicio

NES	Delegación/Municipio	Gasolina [m ³]			Diesel [m ³]	Emisión [ton/año]					
		Premium	Magna	Total		E1	E2	E3	E4	E5	Et
17	Azcapotzalco	24,141	201,598	225,738	62,096	1.48	13.00	1.49	13.40	0.99	30.36
28	Coyoacán	79,561	382,639	462,200	26,218	3.03	26.61	3.05	27.44	2.03	62.16
8	Cuajimalpa de Morelos	19,019	91,311	110,329	13,359	0.72	6.35	0.73	6.55	0.49	14.84
31	Gustavo A. Madero	44,688	383,827	428,515	166,802	2.81	24.67	2.83	25.44	1.89	57.63
15	Iztacalco	23,508	178,512	202,020	28,515	1.32	11.63	1.33	11.99	0.89	27.17
45	Iztapalapa	56,278	531,538	587,816	101,669	3.85	33.84	3.88	34.90	2.59	79.06
2	Magdalena Contreras, La	5,440	27,101	32,541	0	0.21	1.87	0.21	1.93	0.14	4.38
1	Milpa Alta	0	13,720	13,720	0	0.09	0.79	0.09	0.81	0.06	1.85
19	Álvaro Obregón	63,860	265,013	328,873	81,739	2.15	18.93	2.17	19.53	1.45	44.23
2	Tláhuac	4,180	57,101	61,282	11,239	0.40	3.53	0.40	3.64	0.27	8.24
7	Tlalpan	18,101	119,122	137,223	31,978	0.90	7.90	0.91	8.15	0.60	18.46
5	Xochimilco	14,341	111,419	125,760	13,979	0.82	7.24	0.83	7.47	0.55	16.91
34	Benito Juárez	68,907	265,106	334,014	20	2.19	19.23	2.20	19.83	1.47	44.92
49	Cuauhtémoc	53,542	304,817	358,359	21,125	2.35	20.63	2.37	21.28	1.58	48.20
28	Miguel Hidalgo	69,340	262,740	332,080	3,635	2.18	19.12	2.19	19.72	1.46	44.66
21	Venustiano Carranza	29,268	240,378	269,646	62,699	1.77	15.52	1.78	16.01	1.19	36.27
9	Atizapán de Zaragoza	28,702	123,437	152,139	11,539	1.00	8.76	1.00	9.03	0.67	20.46
4	Coacalco de Berriozábal	3,980	36,384	40,365	13,141	0.26	2.32	0.27	2.40	0.18	5.43
11	Cuautitlán de Romero	8,420	89,480	97,900	31,035	0.64	5.64	0.65	5.81	0.43	13.17
7	Cuautitlán Izcalli	13,140	83,439	96,580	40,997	0.63	5.56	0.64	5.73	0.42	12.99
7	Chalco	8,603	72,072	80,674	24,343	0.53	4.64	0.53	4.79	0.35	10.85
6	Valle de Chalco Solidaridad	1,300	41,526	42,827	12,397	0.28	2.47	0.28	2.54	0.19	5.76
2	Chicoloapan	1,060	10,962	12,022	2,560	0.08	0.69	0.08	0.71	0.05	1.62
5	Chimalhuacán	2,721	62,230	64,951	9,181	0.43	3.74	0.43	3.86	0.29	8.74
49	Ecatepec de Morelos	42,301	498,797	541,098	138,953	3.54	31.15	3.57	32.13	2.38	72.78
8	Huixquilucan	19,801	64,687	84,488	13,432	0.55	4.86	0.56	5.02	0.37	11.36
10	Ixtapaluca	4,742	75,673	80,414	18,364	0.53	4.63	0.53	4.77	0.35	10.82
19	Naucalpan de Juárez	56,543	302,955	359,498	28,558	2.35	20.70	2.37	21.34	1.58	48.35
13	Nezahualcóyotl	11,764	196,812	208,576	14,502	1.37	12.01	1.38	12.38	0.92	28.05
5	Nicolás Romero	4,260	47,420	51,680	4,020	0.34	2.98	0.34	3.07	0.23	6.95
5	Paz, La	2,841	43,007	45,847	13,742	0.30	2.64	0.30	2.72	0.20	6.17
5	Tecámac	5,181	39,745	44,925	18,842	0.29	2.59	0.30	2.67	0.20	6.04
31	Tlalnepantla de Baz	45,741	299,059	344,801	107,896	2.26	16.69	2.08	17.47	1.08	39.57
12	Tultitlán	8,160	96,920	105,080	34,378	0.50	6.05	0.69	6.24	0.46	13.94
312	Distrito Federal	574,173	3,435,944	4,010,117	625,074	26.27	230.88	26.47	238.10	17.64	539.35
208	Estado de México	269,260	2,184,604	2,453,864	537,882	15.88	138.12	16.00	142.69	10.36	323.05
520	ZMVM	843,433	5,620,548	6,463,981	1,162,956	42.15	369.00	42.46	380.79	28.00	862.40
612	Total PEMEX	902,429	6,185,822	7,088,251	1,556,781	46.00	408.00	47.00	420.00	30.71	951.71
92	Otros municipios	58,996	565,274	624,270	393,825	3.85	39.00	4.54	39.21	2.70	89.31

Nota: ECOT = ECOV = EHCNM = EHCT; Otros: incluye a 20 Municipios entre el Estado de México y del Estado de Hidalgo.

Carga de combustible en aeronaves

La estimación de hidrocarburos emitidos a la atmósfera, ocurre por desplazamiento cuando se recarga el tanque de una aeronave, la cantidad de vapores desplazados dependen de la temperatura y presión de vapor del combustible, de la temperatura del tanque y la tasa de recarga del combustible, se estima que las emisiones de COV constituyen el 100% de los COT, dado que se supone que las fracciones de metano y etano son despreciables. Las emisiones fueron estimadas considerando el volumen de venta o distribución de combustibles multiplicado por los factores de emisión del combustible correspondiente.

$$FEa = 12.46 * [SP(PM)/T]$$

Donde:

FEa= Factor de emisión en libras de COT por 1,000 galones de combustible usado.

S= Factor de saturación.

P= Presión de vapor verdadera del combustible [PSIA] @ temperatura ambiente.

PM= peso molecular de los vapores [lb/lb mol].

T= Temperatura de la masa del líquido cargado @ temperatura ambiente [°R]

Tabla A.2.49 Propiedades (PM y P, S) y factor de emisión de combustibles

Combustible	S ²¹	P @73.36°F [PSIA]	PM [lb/lbmol]	T [°R]	Factor de emisión [lb COT/1000 gal]
Turbosina	1.45	0.009	130	533.36	0.0379
Gas avión 100/130	1.45	5	65.3	533.36	9.733

Fuente: PEMEX Gas y Petroquímica Básica/ Programa Para Inventarios de Emisiones de México.

Para estimar las emisiones en la recarga de combustible se aplica el producto del factor de emisión y el consumo de combustible, como se indica a continuación:

$$Ea = [FEa * Ca]/2202.6$$

Donde:

Ea = Emisiones totales producidas en la carga de combustible en aviones [ton/año].

FEa= Factor de emisión para la carga de combustibles en aviones [lb COT/1000 gal].

Ca = Distribución del combustible [1000 gal].

Durante el periodo a inventariar, en la ZMVM se suministro 1,204,640 m³ de turbosina de los cuales 1,087,408 m³ (287,262 mil galones) fueron enviados a la terminal de almacenamiento y distribución de ASA para su redistribución en aeronaves (ver tabla A.2.49). El resto del combustible 117,232 m³, fue enviado a la terminal Tula en Hidalgo, se desconoce si esta consumo fue transferida al campo militar no. 37-D, Sta. Lucía, en el estado de México, debido a su cercanía.

21 Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

Tabla A.2.50 Distribución de combustibles de aeronaves [miles de galones]

Mes	Turbosina	Gas avión 100/130
Enero	25,151	N/D
Febrero	22,369	N/D
Marzo	24,798	N/D
Abril	23,700	N/D
Mayo	24,466	N/D
Junio	23,739	N/D
Julio	25,645	N/D
Agosto	26,072	N/D
Septiembre	22,165	N/D
Octubre	23,416	N/D
Noviembre	22,007	N/D
Diciembre	23,736	N/D
Total	287,262	N/D

Fuente: Aeropuerto y servicios auxiliares/ Gerencia de combustibles
N/D: No disponible

Tabla A.2.51 Emisiones de COT por recarga de aeronave [ton/mes]

Mes	Turbosina
Enero	0.4424
Febrero	0.3935
Marzo	0.4362
Abril	0.4169
Mayo	0.4304
Junio	0.4176
Julio	0.4511
Agosto	0.4586
Septiembre	0.3899
Octubre	0.4119
Noviembre	0.3871
Diciembre	0.4175
Total	5.0531

COV=COT

Almacenamiento y distribución de gas LP

El termino gas L.P., es empleado para definir una familia de hidrocarburos llamados gases líquidos, los más prominentes de esta familia son el propano y el butano. La importancia de estimar las emisiones de estos hidrocarburos radica en la alta concentración en el ambiente de la ZMVM de propano y butano, componentes principales del gas L.P., su causa principal son las fugas que se presentan por almacenamiento y distribución, las cuales involucra a las terminales de almacenamiento y distribución de gas LP (TAD_GLP), en estas se realizan procesos de trasvasado al tanque de almacenamiento masivo o dispensario, la descarga de semirremolques, la recarga de autotanques y el llenado de recipientes portátiles; La distribución del producto consiste en la descarga de autotanques en estaciones de servicio, tanques estacionarios y la distribución y venta de recipientes portátiles. El factor de emisión de COT y COV de la fuente emisora es multiplicado por el

suministro de gas LP de la ZMVM, asociado a la actividad realizada por entidad federativa.

$$E_{i,j} = (F_A) * (FE_{i,j})$$

Donde:

$E_{i,j}$ = Emisión en [kg/año] del contaminante i referido a la actividad j.

$FE_{i,j}$ = Factor de emisión del contaminante i, actividad j

F_A = Factor de actividad

Tabla A.2.52 Factores de emisión para Almacenamiento y Distribución de GLP

Categoría	Actividad j	Factor de emisión COT's	Unidades
Almacenamiento masivo de Gas L.P. en terminales.	Almacenamiento	5440.16	Kg/terminal
	Carga de autotanques	0.471	
	Descarga de semirremolques	0.179	
	Llenado de recipientes portátiles	0.563	
Distribución de Gas L.P.	Estaciones de servicio	8.356	Kg/ton GLP
	Tanques estacionarios	0.474	
	Venta de tanque portátil	0.00086	

Fuente: Memoria técnica del estudio: Efecto de los Componentes del Gas Licuado de Petróleo en la acumulación de Ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México, 1997/ PEMEX-Gas y Petroquímica Básica.

Las emisiones de metano se pueden estimar por balance de materiales, considerando que el contenido promedio de metano por litro de GLP es de 0.01%vol y su densidad es de 0.555 kg/lit²²; por lo tanto, en una tonelada de gas L.P. "o" COT que se fuga a la atmósfera contiene 1.03E-3 toneladas de metano.

Base de cálculo = Volumen de Gas LP = 1 lit

$$\delta_{Gas\ LP} = 0.555\ ton/m^3$$

$$\delta_{CH_4} = 0.554\ ton/m^3 \text{ "aproximadamente"}$$

$$V_{CH_4} = 0.01\%Vol$$

Contenido de metano en 1 lit GLP

$$= 1\ lit * (0.01\%/100) = 1 * 10^{-5} \text{ [lit de CH}_4\text{]} = (1 * 10^{-5} / 1000) 0.554 = 5.54 * 10^{-8} \text{ [ton CH}_4\text{]}$$

$$\text{Peso de 1 lit GLP} = (1\ lit\ GLP / 1000\ lit/m^3) * 0.555 \text{ [ton/m}^3\text{]} = 5.55 * 10^{-4} \text{ [ton GLP]}$$

Por lo tanto, se estima que por cada tonelada de GLP que se emite a la atmósfera por fugas contiene:

$$\frac{5.54 * 10^{-8}\ ton\ CH_4}{5.55 * 10^{-4}\ ton\ GLP} = 9.98 * 10^{-5} \frac{\text{ton CH}_4}{\text{ton GLP "COT"}}$$

22 Información proporcionada por Pemex Gas y Petroquímica Básica / Análisis de calidad de gas licuado en el I-PG -Ducto, Terminal Tula 2002.

Se asume que las emisiones de COV son el 98.4% de COT y debido a que no se emiten aldehídos, las emisiones de Hidrocarburos Totales "HCT", es igual a la emisión de "COT", la diferencia entre los COT menos el CH₄ es igual a los Hidrocarburos no Metano²³.

Por su parte, los indicadores de actividad están relacionados a:

- Numero de plantas de almacenamiento y distribución,
- Distribución a tanque estacionario al sector servicios e industria en su totalidad, mientras que solo el 29% del suministro al sector residencial se realiza por tanque estacionario,
- El nivel de descarga en las terminales de almacenamiento, en las cuales se desconoce el porcentaje de distribución por semirremolques y por ductos, por lo tanto se considera que en su totalidad la distribución de gas L.P. a la ZMVM se realiza por carrotanque y la distribución por entidad federativa se estima por relación entre él numero de plantas ubicadas por entidad federativa, es decir que el 76.3% del producto fue transferido al Estado de México, mientras que el 23.7% a las terminales del Distrito Federal,
- La cantidad de combustible transferido por tanque portátil, considera el 71% del suministro al sector residencial y por entidad federativa, el resto fue transferido por autotanques,
- El suministro a tanques estacionarios es el mismo proporcionado para la carga en autotanques,
- Y por ultimo, las ventas por recipiente portátil serán la misma que el suministro o llenado de recipientes portátiles por entidad federativa.

Tabla A.2.53 Indicadores de actividad del almacenamiento y distribución del gas L.P.

Categoría	Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM	Unidades
Almacenamiento masivo de Gas L.P. en terminales.	Almacenamiento	29	9	38	Kg/terminal ton/año
	Carga de autotanques	481,582	463,947	945,529	
	Descarga de semirremolques	1,262,892	392,274	1,655,166	
	Llenado de recipientes portátiles	280,142	280,530	560,672	
Distribución de Gas L.P.	Estaciones de servicio	36,905	112,060	148,965	ton/año
	Tanques estacionarios	481,582	463,947	945,529	
	Venta de tanque portátil	280,142	280,530	560,672	

Fuente: DIME-SMA-DF: Distribución de Energía Asociada a Combustibles Fósiles en la ZMVV 1990-2003, con datos de la Secretaría de Energía, PEMEX Gas y Petroquímica Básica.

23 Fuente: * Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

La tabla siguiente muestra las emisiones obtenidas por actividad y entidad federativa.

Tabla A.2.54 Estimación de emisiones distribución de GLP

Actividad j	Emisiones [ton/año]								
	Estado de México			Distrito Federal			ZMVM		
	COT	COV	CH ₄	COT	COV	CH ₄	COT	COV	CH ₄
Contaminante	225.7	222.1	0.022	70.1	68.9	0.007	295.8	291.0	0.030
Almacenamiento									
Carga de autotanques	174.1	171.3	0.017	65.3	64.2	0.006	239.4	235.5	0.024
Descarga de semirremolques	340.0	334.6	0.033	105.5	103.8	0.010	445.5	438.4	0.044
Llenado de recipientes portátiles	241.0	237.2	0.024	74.8	73.6	0.007	315.8	310.8	0.032
Estaciones de servicio	308.4	303.4	0.030	936.4	921.4	0.093	1,244.8	1,224.8	0.124
Tanques estacionarios	228.3	224.6	0.022	219.9	216.4	0.022	448.2	441.0	0.045
Venta de tanque portátil	0.2	0.2	0.000	0.2	0.2	0.000	0.5	0.5	0.000
Total	1,517	1,493	0.148	1,472	1,448	0.145	2,990	2,942	0.299

Fugas en instalaciones de gas L.P.

Las emisiones de gas L.P. por fugas y hidrocarburos no quemados se emiten dentro del sector Industrial, comercial/servicios y residencial, en la cual aplica la metodología desarrollada en el estudio de PEMEX Gas y Petroquímica Básica en conjunto con el Instituto Mexicano del Petróleo, así como del estudio desarrollado por el TÚV Rheinland de México S.A. de C.V. de los cuales se obtuvieron los siguientes factores de emisión presentes en la tabla A.2.54, por otra parte se asume que el 98.4% de los COT son COV.

Tabla A.2.55 Factor de emisión para fugas de gas LP en uso doméstico

Categoría	Sector	Fuente de emisión "Actividad"	COT	Unidades
Accesorios en instalaciones domésticas	**Residencial	Tanque portátil "TP"	3.03E-05	ton/#TP
		Conexiones en TP	2.07E-03	
		Picteles en TP	1.97E-03	
		Válvulas de paso en TP	2.42E-05	
		Reguladores en TP	1.09E-03	
		Tanque estacionario "TE"	1.05E-03	ton/#TE
		Válvulas de paso en TE	2.42E-05	
		Reguladores en TE	1.09E-03	
		Estufas	1.21E-04	ton/#EF
		Calentadores	1.21E-04	ton/#CAL
		*Servicios	0.271	kg/ton GLP
		*Industria	0.695	
Apagado y encendido de pilotos	**Residencial	Pilotos apagados en estufas	1.02E-03	ton/#Efc
		Pilotos apagados en calentadores	1.57E-07	ton/#CAL
		Pilotos encendido de estufas	2.24E-04	ton/#Efc
		Pilotos encendido de calentadores	1.57E-07	ton/#CAL
HNQC	**Residencial	Estufas	5.42E-03	ton/#Efc
		Calentadores	2.33E-03	ton/#CAL
		*Servicios	15	kg/ton GLP
		*Industria	15	

Fuente: * PEMEX Gas y Petroquímica Básica/ Instituto Mexicano del Petróleo/ TÜV Rheinland de México S.A. de C.V.

** Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

HNQC: Hidrocarburos no quemados por combustión.

TP: Número de tanques portátiles

TE: Número de tanques estacionarios

ESTF: Número de estufas a GLP,

ESTFcp: Número de estufas con piloto

CAL: Número de calentadores.

Para estimar la emisión de contaminantes, el factor de emisión fue multiplicado por el número de accesorios, como se muestra:

$$E_{i,j} = (F_A) * (FE_{i,j})$$

Donde:

$E_{i,j}$ = Emisión en [ton/año] del contaminante i referido a la actividad j.

F_A = Nivel de actividad en la zona de estudio

$FE_{i,j}$ = Factor de emisión del contaminante i, en la actividad j.

Abajo se muestra la población y vivienda del D.F., esta información es necesaria para estimar el número de accesorios o equipos "tanques portátiles, estacionarios, estufas y calentadores" en casa habitación; por otra parte se requiere de factores de saturación del equipamiento en viviendas como lo muestra la tabla respectiva.

Tabla A.2.56 Indicadores demográficos del Distrito Federal, 2002

Población	Viviendas
8,644,663	2,181,525

1) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Diciembre 2001. Cuaderno Estadístico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México / Distrito Federal, XII Censo General de Población y Vivienda 2000 / Resultados Definitivos; Tabulados Básicos Nacionales por Entidad Federativa. 2) Consejo Nacional de Población, Septiembre de 1998. Escenarios Demográficos y Urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1990-2010. 3) Francisco Covarrubias, Abril de 2000. Prospectivas de la Urbanización en la Ciudad de México 1970-2020. 4) Consejo Nacional de Población, 2002. Proyecciones Municipales de población 1995-2010.

Tabla A.2.57 Factores de saturación de equipos a GLP en casa habitación del D.F.**Factor de saturación de estufas a GLP**

Estufas a GLP	0.971
Con piloto	0.798
Sin piloto (encendido con cerillo)	0.095
Encendido electrónico	0.107

Factor de saturación de calentadores a GLP

Factor de saturación de calentadores a GLP	0.637
--	-------

Factor de saturación de instalaciones a GLP

Con tanque portátil.	0.808
Con tanque estacionario.	0.192

Fuente: Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH-2000) Características de las viviendas por niveles de ingresos de sus hogares.

Estimación del número de accesorios en la zona de estudio (D.F).

Se considera el primer argumento sobre la necesidad de que cada vivienda ocupe por lo menos una estufa, esto es:

$$\# \text{ Viviendas} = \# \text{ Estufas} = 2,181,525$$

El producto del número de estufas por el factor de saturación de estufas a GLP da como resultado las estufas que utilizan GLP:

$$\# \text{ Estufas}_{\text{GLP}} = \# \text{ Estufas} * 0.971 = 2,118,019$$

Se asume también que por lo menos cada estufa tiene un tanque portátil, por lo que el producto del número de estufas a GLP y el factor de saturación de estufas a tanque portátil, da como resultado el número de tanques portátiles, es decir:

$$\# \text{ Tanques Portátil} = \# \text{ Estufas}_{\text{GLP}} * 0.808 = 1,710,576 \text{ Recipientes portátil}$$

El producto del número de estufas a GLP y el factor de saturación de estufas a tanque estacionario, da como resultado el número de tanques estacionarios, es decir:

$$\# \text{ Tanques Estacionarios} = \# \text{ Estufas}_{\text{GLP}} * 0.192 = 407,442 \text{ Recipientes estacionarios}$$

El número de calentadores estimado, se cálculo por el producto del número de viviendas y el factor de saturación de calentadores a GLP, es decir:

$$\# \text{ Calentadores} = \# \text{ Viviendas} * 0.637 = 1,388,637 \text{ Calentadores}$$

El número de estufas con piloto fue estimado por el producto del número de estufas a GLP y el factor de saturación de estufas a GLP con piloto, es decir:

$$\# \text{ Estufas con piloto a gas L.P.} = \# \text{ Estufas} * 0.798 = 1,690,179$$

De la misma forma se estimaron el número de estufas de encendido electrónico y sin piloto. simultáneamente se proceso la información para el Estado de México (ver tabla siguiente).

Tabla A.2.58 Equipamiento estimado por entidad federativa

Tipo	Distrito Federal	Estado de México
Estufas	2,118,525	2,020,665
Estufas GLP	2,118,019	1,961,842
Estufas encendido electrónico	226,628	209,917
Estufas con piloto	1,690,179	1,565,550
Estufas sin piloto	201,212	186,375
Calentadores a GLP	1,388,637	1,286,243
Tanque portátil "TP"	1,710,576	1,584,443
Tanque estacionario "TE"	407,442	377,399

Fuente: DIME-SMA-DF con datos de INEGI

Para la estimación de emisiones se sustituyeron los datos del nivel de actividad correspondientes, así como el factor de emisión asociado a la actividad, ver tabla A.2.58 para el Distrito Federal y la tabla A.2.59 para el Estado de México. Las emisiones de metano fueron estimadas por balance de materiales, considerando que el contenido promedio de metano en un litro GLP es de 0.01%vol y su densidad del GLP²⁴ es de 0.555 kg/lit y la del metano es de 0.5539 kg/lit¹⁰, por lo tanto, cada tonelada de GLP (COT) que se fuga a la atmósfera contiene $9.98 \cdot 10^{-5}$ toneladas de metano y las emisiones de COV se consideran como el 98.4% de los COT, por otra parte, la estimación de HCNM y HCT fue estimada con las siguientes relación.

$$E_{HCNM} = E_{COT} - E_{CH_4} - E_{Aldh}$$

$$E_{HCT} = E_{COT} - E_{Aldh}$$

24 Información proporcionada por PEMEX Gas y Petroquímica Básica / Análisis de calidad de gas licuado en el I-PG –Ducto, Terminal Tula 2002.

Tabla A.2.59 Emisiones por fugas en instalaciones domésticas a GLP en el Distrito Federal

Categoría	Fuente de emisión "Actividad"	Emisión [ton/año]	
		COT	COV
Accesorios en Instalaciones domésticas	Tanque portátil "TP"	52	51.2
	Conexiones en TP	3,541	3,484.3
	Picteles en TP	3,370	3,316.1
	Válvulas de paso en TP	41	40.3
	Reguladores en TP	1,865	1,835.2
	Tanque estacionario "TE"	428	421.2
	Válvulas de paso en TE	10	9.8
	Reguladores en TE	444	436.9
	Estufas	256	251.9
Apagado y encendido de pilotos	Calentadores	168	165.3
	Apagados en estufas	1,724	1,696.4
	Apagados en calentadores	0.22	0.2
	Encendido de estufas	379	372.9
HNQC	Encendido de calentadores	0.22	0.2
	Estufas	11,480	11,296
	Calentadores	3,236	3,184.2

Tabla A.2.60 Emisiones por fugas en instalaciones domésticas a GLP en el Estado de México

Categoría	Fuente de emisión "Actividad"	Emisión [ton/año]	
		COT	COV
Accesorios en instalaciones domésticas	Tanque portátil "TP"	48	47.2
	Conexiones en TP	3,280	3,227
	Picteles en TP	3,121	3,071
	Válvulas de paso en TP	38	37.4
	Reguladores en TP	1,727	1,699
	Tanque estacionario "TE"	396	389.7
	Válvulas de paso en TE	9	8.9
	Reguladores en TE	411	404.4
	Estufas	237	233.2
	Calentadores	156	153.5
Apagado y encendido de pilotos	Apagados en estufas	1,597	1,571
	Apagados en calentadores	0.20	0.2
	Encendido de estufas	351	345.4
	Encendido de calentadores	0.20	0.2
HNQC	Estufas	10,633	10,463
	Calentadores	2,997	2,949

Tabla A.2.61 Emisiones por fugas en instalaciones comerciales e industriales

Entidad	Categoría	Emisión [ton/año]				
		COT	COV	CH ₄	HCNM	HCT
Distrito Federal	Industria	42.5	41.8	0.004	42.5	42.5
	Servicios	133.9	131.7	0.013	133.8	133.9
	Total	176.4	173.5	0.017	176.3	176.4
Estado de México	Industria	66.5	65.5	0.007	66.5	66.5
	Servicios	84.7	83.3	0.008	84.7	84.7
	total	151.2	148.8	0.015	151.2	151.2

Tabla A.2.62 Emisiones por HNQ en el sector comercial e industrial a GLP, D.F.

Categoría	Emisión [ton/año]				
	COT	COV	CH ₄	HCNM	HCT
Industria	2,351	2,313	0.235	2,350	2,351
Servicios	2,887	2,841	0.288	2,887	2,887
Total	5,238	5,154	0.523	5,237	5,238

Tabla A.2.63 Emisiones por HNQ en el sector comercial e industrial a GLP, Edo. Méx.

Categoría	Emisión [ton/año]				
	COT	COV	CH ₄	HCNM	HCT
Industria	3,678	3,619	0.367	3,678	3,678
Servicios	1,827	1,798	0.182	1,827	1,827
total	5,505	5,417	0.549	5,505	5,505

A.2.5. Fuentes industriales ligeras y comerciales

Panaderías

La emisión de hidrocarburos clasificados en el presente inventario como COT son principalmente el etanol, como subproducto obtenido durante el proceso de fermentación de la levadura y el horneado de la misma para la elaboración de pan, pasteles y otros artículos horneados. Las emisiones provenientes de este proceso biológico dependen de un gran número de variables como la cantidad de azúcares fermentables en la masa, el tiempo y temperatura de horneado entre los principales.

Con el objeto de validar el factor de emisión propuesto en el manual de inventario de emisiones para México, se procedió a identificar el número de panaderías de la delegación Iztapalapa, ya que es la de población mas alta y se cuenta con la totalidad de las panaderías de la zona y de ellas se obtuvo la cantidad en peso de masa utilizada; del Sistema de Información Empresarial "SIEM" y del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática se considero el número de establecimientos ubicados en el Distrito Federal, más alto y de reciente publicación, estimando a este numero de establecimientos el consumo de masa asociada.

Tabla A.2.64 Número de establecimientos y masa horneada

Fuente de información	Número Establecimientos	Masa horneada [ton/año]
Iztapalapa "SIFA"	128	14,491
INEGI ¹	2,507	X = 283,822

Fuente: * Encuesta 1997 DGPC- RAMA-SIE

** INEGI / XV Censo Industrial INEGI 1999, Cuadro MANA 03. Características principales de las unidades económicas manufactureras, según entidad federativa y rama de actividad.

Con la ecuación siguiente, se estima el consumo *per cápita* de masa horneada por habitante en el Distrito Federal.

$$C_{MP} = X/Hab$$

Donde:

C_{MP} : Cantidad de masa horneada por habitante en el Distrito Federal.

X: Cantidad de masa horneada asociada al número de establecimientos en el D.F.

Hab: Número de habitantes en el área de estudio.

Área de estudio: Distrito Federal

Nivel de población: 8,605,239 habitantes en el año 2000.

$$C_{MP} = (283,822/8,605,239)*1000 = 32.98 \text{ [kg masa/hab/año]}$$

La Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos "EPA U.S." reporta²⁵ que el factor de emisión de Compuestos Orgánicos Totales "FE_{COT}" es de 5 a 8 kilogramos por tonelada de masa horneada²⁶, considerando como el factor más probable para México el de 8 kilogramos/tonelada de masa horneada, con la información anterior se calcula el factor de emisión de COT'S percapita "FE_{COT_P}" con la siguiente ecuación.

$$FE_{COT_P} = C_{MP} * FE_{COT}$$

Donde:

FE_{COT_P}= Factor de emisión [kg COT/hab-año].

C_{MP} = Cantidad de masa horneada por habitante En el Distrito Federal.

FE_{COT}= Factor de emisión [kg COT/ ton masa-año].

Análisis dimensional

$$FE_{COT_P} = \frac{[\text{kg masa/hab/año}] * ([\text{kg COT/ton masa}] * [\text{ton masa/kg masa}])}{[\text{kg de COT/hab/año}]}$$

$$FE_{COT_P} = 32.98 * ((8) * (1/1000 \text{ kg masa})) = 0.26389 \text{ [kg de COT/hab/año]}$$

25 U.S. Environmental Protection Agency "EPA U.S." August 1996. Emission Inventory Improvement Program: Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions. Vol. III, Chapters 5. Research Triangle Park, North Carolina. Formato digital Air Chief Vol. 8.

26 Adams, 1992

El factor de emisión calculado de 0.26384 kg. COT/hab/año; para estimar las emisiones del Distrito Federal y Estado de México.

El cálculo de la estimación de emisiones se realiza de la forma siguiente:

$$E_{i,j} = (F_A) * (FE_{i,j})$$

Donde:

$E_{i,j}$ = Emisión en [kg/año] del contaminante i referido a la actividad j.

F_A = Factor o nivel de actividad [hab/año] en el área de estudio.

$FE_{i,j}$ = Factor de emisión [kg/ hab/año] del contaminante i referido a la actividad j.

El nivel de actividad (F_A) es referido en función al nivel de población en el área de estudio y se presenta a continuación.

Tabla A.2.65 Indicadores de actividad poblacional

Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Población 2002	8,632,712	8,644,663	17,277,375
% Población	49.9	50.1	100

Fuente: 1) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Diciembre 2001. Cuaderno Estadístico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México / Distrito Federal, XII Censo General de Población y Vivienda 2000 / Resultados Definitivos; Tabulados Básicos Nacionales por Entidad Federativa. 2) Consejo Nacional de Población, Septiembre de 1998. Escenarios Demográficos y Urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1990-2010. 3) Francisco Covarrubias, Abril de 2000. Prospectivas de la Urbanización en la Ciudad de México 1970-2020. 4) Consejo Nacional de Población, 2002. Proyecciones Municipales de población 1995-2010.

Las emisiones estimadas por entidad federativa son las siguientes:

Tabla A.2.66 Emisiones generadas por panaderías

Contaminante	Factor de emisión [kg/habitante]	Emisiones de COT [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.26389	2,278	2,281	4,559
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.26389	2,278	2,281	4,559

Fuente: Metodología Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo.

El proceso de fermentación carece de la generación de metano y aldehídos, por lo tanto la emisión de HCT y HCNM son iguales a la emisión de COT.

Esterilización en hospitales

Las emisiones de COT por la esterilización en hospitales fueron estimadas usando la metodología de factor de emisión, como una función del número de camas. Los

factores de emisión fueron multiplicados por el número de camas de un hospital, el cual deberá cumplir con el rango establecido para la selección del factor.

Tabla A.2.67 Factores de emisión para esterilización en hospitales

Rango	Factor de emisión [kg/cama-año]
200 >x<500	0.590
x<200	0.770
x>500	0.820

Fuente: Procedures for Estimating and Allocating Area Source missions of Air Toxics, EPA Contract No. 68-02-4254 Work Assignment No.105

El nivel de actividad fue obtenido de la base de datos del inventario 1994 en la cual se establece la ubicación, el número de camas totales (censales + no censales) para el Distrito Federal al mismo año se estimaba un total de 106 unidades de hospitalización con 25,489 camas; la actualización de la base de datos para el año dos mil²⁷ indica que ya existían 111 unidades de hospitalización con 22,733 camas.

De 1994 al año 2000 la plantilla de centros hospitalarios en el Distrito Federal presenta un incremento del 4.5% y un decremento del 10.8% en el número de camas; Los registros obtenidos para el Distrito Federal del año 1994 se mantendrán vigentes, ya que se desconoce la ubicación de los nuevos registros, sin embargo se ajustara el número de camas a cada uno de los registros existentes.

$$\begin{aligned} & (\# \text{ camas}_{1994} - \# \text{ camas}_{2000}) / \# \text{ camas}_{1994} \\ & (25,489 - 22,733) / 25,489 = 0.11 \\ & fa = 1 - 0.11 = 0.89 \end{aligned}$$

Ahora, la metodología de estimación de emisiones consiste en lo siguiente:

$$E_{i,j} = (F_{A_j}) * (FE_{i,j}) * fa$$

Donde:

$E_{i,j}$ = Emisión del contaminante i (COT) [kg/año] referido al hospital j.

$FE_{i,j}$ = Factor de emisión del contaminante i (COT) [kg/cama - año] referido al hospital j

F_{A_j} = Nivel de actividad del hospital j [camas/año] ubicado en el área de estudio.

fa = Factor de ajuste 0.89

Es necesario saber el número de camas por hospital, ya que los factores de emisión establecidos, son referidos por rangos.

Ejemplo:

²⁷ En el año de 1999 se enviaron varios oficios a diferentes institutos de seguridad social de gobierno y privadas, con el objeto de definir el número de camas (las cuales permanecieron casi constantes), con este sistema se determino que ningún instituto realiza operaciones de incineración y que los residuos son enviados a una empresa tratadora de residuos biológicos infecciosos acreditada.

Un hospital del IMSS ubicado en Álvaro Obregón, en el año de 1994 contaba con 1,606 camas, estimar las emisiones por esterilización para el año 2002.

El factor de emisión a utilizar, esta referido en la tabla A.2.66 (mayor a 500 camas).

$$E_{\text{COT}} = (1,606 * 0.820 * 0.89) / 1,000 = 1.172 \text{ [ton/año]}$$

La emisión de COT para el resto de resto de los hospitales ubicados en la base de datos correspondiente, se le aplico el procedimiento anterior y los resultados obtenidos se resumen a continuación.

Tabla A.2.68 Indicadores de actividad y estimación de emisiones en hospitales

Delegación/Municipio	# Hospital	#3 Camas	Emisión COT=COV [ton/año]
Álvaro Obregón	8	3,208	2.092
Azcapotzalco	8	3,943	2.801
Benito Juárez	8	2,444	1.706
Coyoacán	5	955	0.685
Cuajimalpa de Morelos	2	22	0.015
Cuauhtémoc	21	4,371	2.794
Gustavo A. Madero	15	2,922	1.658
Iztacalco	3	396	0.222
Iztapalapa	10	2,015	1.375
Magdalena Contreras	2	30	0.021
Miguel Hidalgo	8	812	0.516
Milpa Alta	1	44	0.030
Tláhuac	1	45	0.031
Tlalpan	7	2,733	1.873
Venustiano Carranza	6	1,469	1.059
Xochimilco	1	80	0.055
Atizapán	1	249	0.147
Cuautitlán	1	227	0.134
Ecatepec	1	211	0.124
Naucalpan	4	343	0.264
Nezahualcoyotl	1	489	0.289
Tlanepantla	1	188	0.145
Distrito Federal	106	25,489	16.933
Estado de México	9	1,707	1.103
ZMVM	115	27,196	18.036

La estimación de emisiones de metano es cero por no contenerlo en su composición de los solventes utilizados, por lo tanto las emisiones de HNM y HCT son iguales a la emisión de COT.

A.2.6. Manejo de residuos

Rellenos sanitarios

La producción *per cápita* de basura en la ZMVM se estima en 0.90 kg./hab/día²⁸; en el año 2002 se generaron cerca de 5,575,179 toneladas de residuos sólidos de variada composición (ver tabla siguiente) y de estos solo el 10% es recuperado y aproximadamente el 90% es ubicado en sitios de disposición final.

Tabla A.2.69 Composición de los residuos sólidos municipales

Concepto	Composición [%W]
Papel y Cartón	23.42
Metal	3.5
Vidrio	7.44
Textiles	1.22
Plástico	10.91
Materia Orgánica	41.23
Otros (sin clasificar)	12.23

Fuente: Dirección Técnica de Desechos Sólidos. (1997)

Comúnmente el relleno sanitario es un método que se usa para la eliminación de residuos sólidos municipales, el cual para la disposición final de los residuos, se vierten en un lugar previamente elegido y construido de manera adecuada; Específicamente se manifiestan dos formas de contaminación ambiental tanto al aire como al suelo y agua:

El Metano (CH₄) y el Dióxido de Carbono (CO₂) son los principales constituyentes de los gases que se desprenden de un relleno sanitario, su metodología de estimación es el modelo LANDFILL²⁹ y requiere de información relacionada al sitio de disposición (tasa de aceptación anual, año de apertura, año de clausura, capacidad del sitio) ver la tabla siguiente. Por otra parte, la estimación de los HCT = HCNM + CH₄ y los COT = HCT toda vez que la emisión de aldehídos es despreciable, mientras que la emisión de COV = 0.5% COT. Entre los COV que se emiten en un relleno sanitario se encuentran los Triclorometano, Acetona, Percloroetileno, Fluorometano entre muchos otros.

²⁸ Censo de población y vivienda INEGI 1992

²⁹ El modelo se desarrolló en el CENTRO DE TECNOLOGÍA DE CONTROL "CTC", Para la Agencia de Protección Ambiental "EPA", de los Estados Unidos.

Tabla A.2.70 Indicadores de actividad en Rellenos Sanitarios

Sitio de Disposición	Año de Apertura	Año de Clausura	Rango de Aceptación Anual Promedio [ton/año]	Cantidad Dispuesta [ton/año]
Bordo Poniente Etapa I	1985	1992	542,816	3,799,716
Bordo Poniente Etapa II	1988	1993	635,473	3,177,366
Bordo Poniente Etapa III	1991	1992	3,300,571	6,601,143
Bordo Poniente Etapa IV	1993	En uso	1,508,315	10,558,205
Santa Catarina	1982	En uso	882,750	15,006,750
Prados de la Montaña	1987	1994	764,752	5,353,270

Fuente: Dirección Técnica de Desechos Sólidos 1999.

Los resultados de la aplicación del programa, se presentan en la tabla A.2.70., por otra parte, la suma de metano y los hidrocarburos no metanos dan como resultado la emisión de hidrocarburos totales.

Tabla A.2.71 Emisiones en rellenos sanitarios

Ubicación	Sitio	Emisiones [ton/año]						
		CO	CO2	COV	COT	CH4	HCNM	HCT
Álvaro Obregón	Prados de la Montaña	19.00	48,270	752.22	18,346	17,590	756	18,346
Nezahualcóyotl	Bordo Poniente E1a E4	90.84	230,740	4,192.93	88,304	84,090	4,214	88,304
La Paz	Santa Catarina	54.61	138,700	2,162.14	52,733	50,560	2,173	52,733
ZMVM		164.45	417,710	7,107.29	159,383	152,240	7,143	159,383

Fuente: Emisiones estimadas con el programa LANDFILL.

A.2.5 Tratamiento de aguas residuales

Para estimar las emisiones de esta categoría, se recomienda utilizar el modelo CHEMDAT9 o el WATER8, si no cuenta con información suficiente, aplicar el factor de emisión de 1.3×10^{-5} kg de COT/litro de agua tratada, aplicando la siguiente ecuación.

$$E_{COT} = (VART * FE_{COT}) / 1000$$

Donde:

E_{COT} : Emisión de compuestos orgánicos totales [ton/año]

VART: Volumen de agua residual tratada [lt/año]

FE_{COT} : Factor de emisión [kg COT/l agua tratada-año]

1000: Factor de conversión de kilogramos a toneladas

Por lo tanto, únicamente se requiere de conocer la cantidad de agua residual tratada en el área de estudio; en la cual, para el año 2002 se estimó un nivel de tratamiento de aguas municipales del orden de los 198,190,200 m³, de los cuales el 52% fueron tratadas en el Distrito Federal y el 48% en el Estado de México, ver tablas siguientes, en las mismas tablas se presentan las emisiones de COT obtenidas. Por la

ausencia de aldehídos, se asume que las emisiones de HCT son iguales a los COT y que las emisiones de COV representan el 92% de los COT.

Tabla A.2.72 Volumen de agua tratada y emisiones en el Distrito Federal

Delegación	Nombre de la Planta	VART [m ³ /año]	COT [ton/año]	COV [ton/año]
Álvaro Obregón	Santa Fe	0	0	0
Azcapotzalco	U. H. El Rosario	504,576	6.56	6.03
Coyoacán	Cd. Universitaria	1,576,800	20.50	18.86
	Coyoacán	6,433,344	83.63	76.94
Cuauhtémoc	U. H. Nonoalco Tlatelolco	567,648	7.38	6.79
Gustavo A. Madero	Acueducto de Guadalupe	2,396,736	31.16	28.66
	San Juan de Aragón	7,505,568	97.57	89.77
Iztacalco	Cd. Deportiva	4,698,864	61.09	56.20
	U. H. Picos Iztacalco	315,360	4.10	3.77
Iztapalapa	Cerro de la estrella	66,225,600	860.93	792.06
	Santa Catarina	567,648	7.38	6.79
Miguel Hidalgo	Bosques de las Lomas	788,400	10.25	9.43
	Campo Militar no. 1	788,400	10.25	9.43
	Lomas de Chapultepec	3,468,960	45.10	41.49
Milpa Alta	San Pedro Atocpan	1,103,760	14.35	13.20
Tláhuac	La Lupita	441,504	5.74	5.28
	Paraje el Llano	0	0	0
	San Andrés Mixquic	946,080	12.30	11.32
	San Juan Ixtayopan	409,968	5.33	4.90
	San Lorenzo	0	0	0
	Tetelco	473,040	6.15	5.66
Tlalpan	Abasolo	220,752	2.87	2.64
	H. Colegio militar	0	0	0
	Parres	31,536	0.41	0.38
	San Miguel Xicalco	126,144	1.64	1.51
	U.H. PEMEX Picacho	283,824	3.69	3.39
Xochimilco	Milpa Alta Rastro	788,400	10.25	9.43
	Reclusorio Sur	599,184	7.79	7.17
	San Luis Tlaxialtemalco	3,122,064	40.59	37.34
Total Distrito Federal		104,384,160	1,356.99	1,248.43

Fuente: Comisión Nacional del Agua / Gerencia Nacional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala / Gerencia Técnica. Julio 2003. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Abril 2003. VART: Volumen de Agua Residual Tratada.

Tabla A.2.73 Volumen de agua tratada y emisiones en el Estado de México

Municipio	Nombre de la Planta	VART [m3/año]	COT [ton/año]	COV [ton/año]
Atizapán de Zaragoza	Club de Golf Bella vista	630,720	8.20	7.54
	Club de Golf la Hacienda	630,720	8.20	7.54
	Club de Golf Valle Escondido	946,080	12.30	11.32
	Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey	63,072	0.82	0.75
Coacalco	Fraccionamiento Rancho la Palma I	504,576	6.56	6.03
	Fraccionamiento Rancho la Palma II	0	0	0
Cuautitlán	U. Habitacional Rancho Santa Elena	788,400	10.25	9.43
Cuautitlán Izcalli	Cofradía I	630,720	8.20	7.54
	Cofradía II	473,040	6.15	5.66
	FORD Motor Company	630,720	8.20	7.54
	Fraccionamiento Bosques del Alba II	946,080	12.30	11.32
	Lechería	4,730,400	61.50	56.58
Chalco	Centro de Desarrollo Comunitario Juan Diego	50,458	0.66	0.60
Chimalhuacán	Lago de Texcoco I "Texcoco"	31,536,000	409.97	377.17
	Lago de Texcoco II "Ing. Ramón Grijalva Ruiz"	15,768,000	204.98	188.59
	Lago de Texcoco III "Módulo Piloto"	1,576,800	20.50	18.86
Ecatepec	Papelera san Cristóbal	8,199,360	106.59	98.06
	Termoeléctrica Valle de México	14,191,200	184.49	169.73
Huixquilucan	Club de Golf "Bosques"	693,792	9.02	8.30
	Colonia el Guarda	0	0	0
Ixtapaluca	Cuatro Vientos	1,576,800	20.50	18.86
	Tlapizahuac	473,040	6.15	5.66
Naucalpan de Juárez	Centro Comercial "K Mart"	78,840	1.02	0.94
	Centro Comercial "Multiplaza los Arcos"	37,843	0.49	0.45
	Conjunto Habitacional "Colinas del Faisán"	9,461	0.12	0.11
	Conjunto Habitacional "El Retiro"	3,784	0.05	0.05
	Conjunto Habitacional "La Cúspide"	50,458	0.66	0.60
	Conjunto Habitacional "La Rosa"	47,304	0.61	0.57
	Conjunto Habitacional Campo Militar No.1	630,720	8.20	7.54
	Conjunto Habitacional SEDENA Col. Santiago Occipaco	55,188	0.72	0.66
	Conjunto Habitacional SEDENA Santa Cruz Acatlan	63,072	0.82	0.75
	Naucalli	630,720	8.20	7.54
	Parque "Los Remedios"	55,188	0.72	0.66
	Pintores	157,680	2.05	1.89
	San Rafael Chamapa	55,188	0.72	0.66
	Unidad Habitacional "La Joya"	15,768	0.20	0.19
Unidad Habitacional "Lomas Canteras"	94,608	1.23	1.13	
Nezahualcoyotl	Nezahualcoyotl	1,734,480	22.55	20.74
Tlanepantla	San Juan Ixhuatepec	946,080	12.30	11.32
Tultitlán	Central de Abastos	0	0	0
Tultitlán	San Pablo las Salinas	2,207,520	28.70	26.40
Tultitlán	U. Hab. INFONAVIT Prados de Ecatepec la Isla Tultitlán II	0	0	0
	U. Hab. INFONAVIT Robles y Colorines Tultitlán I	1,892,160	24.60	22.63
	Villas de San José	0	0	0
Total Estado de México		93,806,040	1,219.9	1,121.91

Fuente: Comisión Nacional del Agua / Gerencia Nacional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala / Gerencia Técnica. Julio 2003. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, Abril 2003. VART: Volumen de Agua Residual Tratada.

A.2.6 Fuentes de área misceláneas

Incendios en estructuras

Los incendios en estructuras en casa habitación, hoteles, departamentos, comercios, etc. son considerados como fuentes de contaminación por combustión, los cuales generan emisiones contaminantes de COT, CO, NO_x, PM; sin embargo, a diferencia de muchas otras fuentes de combustión, estos son involuntarios, y la cantidad de material consumido puede ser difícil de determinar.

Para la estimación de sus emisiones es de gran utilidad determinar la cantidad de material combustible, éste deberá incluir los materiales correspondientes a la estructura del edificio, el mobiliario y decoración. En esta sección se incluyen valores típicos de residencias en los Estados Unidos, sin embargo a diferencia en México, el diseño en la construcción de hogares es generalmente de ladrillo o mampostería y metales y en poca escala el uso de maderas; Por lo tanto, deberá considerar esta diferencia para la estimación de emisiones.

La estimación de emisiones se realiza considerando:

$$E_i = I * \%W * (MC. + MI.) * F_i$$

Donde:

E_i = La emisión del contaminante generado i [kg/Año].

F_i = Factor de emisión del contaminante i [kg/Mg]

I = Total de incendios registrados en el periodo de un año [1/Año].

$\%W$ = Porcentaje promedio de pérdida estructural [-].

MC = Cantidad de material estructural Combustible [Mg] = 0.

MI = Cantidad de Material Combustible Contenido en el Inmueble [Mg].

El porcentaje promedio de pérdida estructural se debe estimar, debido a que el material disponible en la estructura no es consumido por el fuego al 100%, para que sea afectada la construcción de varilla, tabique y concreto es necesaria que transcurra un tiempo estimado entre 3 y 4 horas en un inmueble y que además este permanezca cerrado, para que pueda dañar los materiales de construcción³⁰.

En California el porcentaje promedio de pérdida estructural se ha estimado en 7.3%, este dato puede ser empleado como un valor default para México, siendo deseable una estimación específica para la zona de estudio. En los Estados Unidos, el promedio de área residencial es de 1,200 a 1,500 ft² (111–139 m²) y de 10–12 toneladas (9.1–10.9 Mg) de materiales estructurales considerados como combustibles y no corresponden a la descripción de uso residencial en México, debido al uso de mamposterías con un contenido menor de material combustible en su diseño, sin embargo al no contar con datos representativos al área de estudio se

³⁰Información obtenida del primer Superintendente: Agustín Aguilar López, Jefe del Heroico Cuerpo de Bomberos

utilizaran valores propuestos por EPA, también se ha determinado que el volumen promedio de combustibles en diferentes áreas funcionales del hogar es del orden de 7.9 lbs/ft². Los factores de emisión, el número de incendios³¹ ocurridos en el Distrito Federal, así como los factores de emisión, se presenta en las tablas siguientes.

Tabla A.2.74 Factores de Emisión para incendios en estructura

Contaminante (i)	Factor de emisión (Fi) [kg/Mg]	Concepto
COT	6.95	Factor de emisión obtenido a partir de pruebas como modelo en la quema de madera en el interior de edificios.
COV	4.85	
CO	84.00	
PM	5.40	
NOx	2.00	Factor de emisión, propuesto por el AP-42 y considerado como similar para residuos municipales e incendios estructurales.

Tabla A.2.75 Número de incendios en estructuras, Distrito Federal

Lugar	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Asentamientos irregulares	2	0	1	0	0	3	1	0	0	0	2	2	11
Bancos	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Casa particular	90	75	92	80	75	56	48	50	58	66	59	120	869
Casa vecindad	7	3	7	3	5	4	0	5	3	4	2	4	47
Centros culturales	24	13	9	7	10	2	1	0	2	2	4	35	109
Comercios	23	13	19	10	22	17	11	12	22	17	12	37	215
Discotecas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Edificios de departamentos	63	40	45	41	44	36	28	43	27	25	48	57	497
Edificios públicos	2	0	2	3	6	5	2	3	0	3	4	10	40
Escuelas	8	6	3	4	9	2	1	0	2	5	10	7	57
Fábricas / industrias	8	4	10	10	3	8	6	5	5	7	3	9	78
Hospitales	0	0	1	2	4	1	1	2	0	0	0	0	11
Hoteles	0	1	0	0	0	0	0	3	2	0	2	0	8
Iglesias	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3
Instalaciones de F.F.C.C.	0	0	3	1	1	1	0	0	0	1	0	0	7
Mercados	4	3	2	3	5	5	2	2	3	2	0	6	37
Panteones	8	3	5	0	4	3	0	0	0	0	4	1	28
Predio baldío	193	152	211	100	134	35	14	9	8	18	43	230	1,147
Reclusorios	1	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	6
Talleres	2	4	1	4	1	1	5	6	1	6	3	7	41
Terrenos de gobierno	8	9	4	2	2	0	2	3	1	2	3	7	43
Vía pública	296	156	201	148	187	92	80	70	69	80	85	260	1,724
Total	739	485	617	418	514	271	202	213	203	239	284	795	4,980

Fuente: Dirección General del Heroico Cuerpo de Bomberos, 2002.

Tabla A.2.76 Material estructural presente en interior de casa habitación

Estructura	ACPP [m ²]	MC [Mg]	FMCI [Mg/m ²]	MI [Mg]
Casa particular	80	0	0.041	3.249
Casa vecindad	30	0	0.041	1.218
Edificios de departamentos	50	0	0.041	2.031
Predio baldío, casas, construcción abandonada	100	0	0.041	4.061
Edificios públicos	600	0	0.041	24.368
Comercios	40	0	0.041	1.625
Fábricas / industrias	500	0	0.041	20.307
Asentamiento irregular	200	0	0.041	8.123
Bancos	100	0	0.041	4.061
Escuelas	1200	0	0.041	48.736
Hospitales	1500	0	0.041	60.920
Iglesias	240	0	0.041	9.747
Hoteles	480	0	0.041	19.494
Talleres	40	0	0.041	1.625
Mercados	600	0	0.041	24.368
Reclusorios	300	0	0.041	12.184
Centros culturales	80	0	0.041	3.249

Fuente: Metodología Radian International, Asociación de Gobernadores del Oeste Denver, Colorado y el Comité Asesor Binacional 1997. Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final; LLC 10389 Old Placerville Road Sacramento, CA 95827, Marzo. FMCI: Fracción de material combustible en el inmueble; MC: Material de construcción contenido; ACPP: Área de construcción promedio ponderado, son valores default U.S., excepto el combustible estructural el cual no es evaluado pues se considera que toda la estructura en México es de mampostería

Tabla A.2.77 Volumen de combustible en diferentes áreas funcionales del hogar

Área funcional	Origen de fuego (%)	Combustible		Promedio ponderado (lbs/ft ²)
		(lbs/ft ²)	(kg/m ²)	
Alcoba	28.96	10.4	50.8	3.01
Recamara	0.20	10.4	50.8	0.02
Comedor	2.20	7.2	35.2	0.16
Cocina	53.92	6.8	33.2	3.67
Baño	6.32	7.0	34.2	0.44
Lavado	8.08	7.2	35.2	0.58
Oficina	0.17	7.9	38.6	0.01
Otro	0.13	9.6	46.9	0.01
total	100.00	---	---	7.90

Tabla A.2.78 Emisiones de incendios en estructuras en el Distrito Federal, 2002

Tipo de incendio	# Incendios	Área construida promedio [m ²]	Estimación de combustible en el inmueble (Mg/m ²)	Emisión [ton/año]				
				PM ₁₀	CO	NO _x	COT	COV
Asentamientos irregulares	11	200	0.0322	0.028	0.434	0.010	0.036	0.025
Bancos	1	100	0.0386	0.002	0.024	0.001	0.002	0.001
Casa particular	869	80	0.0386	1.058	16.455	0.392	1.361	0.952
Casa vecindad	47	30	0.0386	0.021	0.334	0.008	0.028	0.019
Centros culturales	109	80	0.0332	0.114	1.775	0.042	0.147	0.103
Comercios	215	40	0.0332	0.113	1.751	0.042	0.145	0.101
Discotecas	1	80	0.0332	0.001	0.016	0.000	0.001	0.001
Edificios de departamentos	497	50	0.0386	0.378	5.882	0.140	0.487	0.340
Edificios públicos	40	600	0.0332	0.314	4.886	0.116	0.404	0.283
Escuelas	57	1200	0.0386	1.041	16.190	0.385	1.340	0.936
Fábricas/industrias	78	500	0.0352	0.541	8.418	0.200	0.696	0.487
Hospitales	11	1500	0.0508	0.330	5.140	0.122	0.425	0.297
Hoteles	8	480	0.0508	0.077	1.196	0.028	0.099	0.069
Iglesias	3	240	0.3860	0.110	1.704	0.041	0.141	0.099
Instalaciones de F.F.C.C.	7	500	0.0352	0.049	0.755	0.018	0.063	0.044
Mercados	37	600	0.0332	0.291	4.520	0.108	0.374	0.261
Panteones	28	100	0.0332	0.037	0.570	0.014	0.047	0.033
Predio baldío	1,147	100	0.0332	1.501	23.351	0.556	1.932	1.350
Reclusorios	6	300	0.0332	0.024	0.366	0.009	0.030	0.021
Talleres	41	40	0.0332	0.021	0.334	0.008	0.028	0.019
Terrenos de gobierno	43	100	0.0332	0.056	0.875	0.021	0.072	0.051
Vía pública	1,724	341	0.0332	7.694	119.683	2.850	9.902	6.922
Total	4,980			13.800	214.660	5.111	17.761	12.415

La estimación de emisiones se realizó en su mayoría con la información presentada por Radian International, México Emissions Inventory Program Manuals, Volume V – Área Source Inventory Development. Los datos proporcionados por RADIAN INTERNATIONAL, corresponden a la infraestructura en el diseño de edificios, casas particulares y otros, en los Estados Unidos, donde el material estructural que predomina es madera, otros materiales plásticos y una baja proporción de mampostería.

Por lo anterior, es necesario diseñar un programa de apoyo con la Asociación Nacional de Constructores u otra institución como INEGI, que permita reconocer los diferentes sectores de vivienda, comercial, institucional, así como los diferentes materiales de construcción empleados, cantidad y volumen en peso de cada uno de ellos; en caso contrario, se seguirá empleando la consideración de que toda estructura es 100% de mampostería, de acuerdo a los criterios de combustión y por lo tanto la estructura no presentaría daños considerables y de emisión de contaminantes despreciable debido a que la estructura no es consumida totalmente. Es necesario determinar él por ciento de pérdida estructural, de contar con un valor característico se seguirá empleando el valor propuesto por RADIAN.

Además, se requiere diseñar un programa de apoyo con los peritos de la Dirección del Heroico Cuerpo de Bomberos del D.F., con el objeto de determinar el porcentaje de afectación en la(s) viviendas, estructuras y otros.

El material de decoración y mobiliario es un factor de importancia, por lo que se deberá investigar a futuro, una relación sobre los materiales existentes. El inventario resultante, considerando los datos (numero de incendios, los valores default propuestos por "EPA", "ANC"; implica que las emisiones obtenidas son de carácter preliminar y las máximas esperadas.

La auditoria realizada al inventario de emisiones 1998 indica, que si la información es disponible solo para una parte del área de estudio, está deberá ser utilizada para desarrollar un factor de emisión per cápita y ser utilizado en conjunto con los datos de población para estimar las emisiones del complemento de la zona de estudio, para la cual se obtuvo la siguiente relación:

$$[Ei/Hab]_{\text{EdoMex}} = [Ei/Hab]_{\text{DF}}$$

Donde

Ei: Emisión del contaminante i en la zona de aplicación

Hab: Número de habitantes en la zona de aplicación

La expresión de la ecuación fue transformada en:

$$[Ei]_{\text{Edo Méx}} / [Ei]_{\text{DF}} = [Hab]_{\text{Edo Méx}} / [Hab]_{\text{DF}}$$

La expresión encerrada se conoce como factor de corrección "Fc" y es una función directa del nivel de población en ambas entidades federativas; sustituyendo datos, queda de lo siguiente:

$$[Ei]_{\text{EdoMex}} / [Ei]_{\text{DF}} = [8,632,712 / 8,644,663] = 0.9986$$

Ahora solo desconocemos la emisión por contaminante para el Estado de México y se realizara mediante el ajuste de la emisión por tipo de contaminante emitido en el Distrito Federal, considerando el factor de ajuste poblacional de 0.9986, como lo muestra la siguiente expresión y los resultados obtenidos para el Estado de México son reportados en la tabla.

$$[Ei]_{\text{EdoMéx}} = 0.9986 * [Ei]_{\text{D.F.}}$$

Tabla A.2.79 Emisiones de incendios en estructuras por entidad [ton/año]

Entidad Federativa	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NOx	COT	COV	CH ₄	HCNM	HCT	Aldh
Distrito Federal	13.80	12.61	N/E	214.66	5.11	17.76	12.41	N/E	17.41	17.41	0.35
Estado de México	13.69	12.51	N/E	213.00	5.07	17.62	12.32	N/E	17.27	17.27	0.35
ZMVM	27.49	25.62	N/E	427.66	10.18	35.38	24.73	N/E	34.68	34.68	0.70

Las emisiones de hidrocarburos no metanos y Hidrocarburos totales, se estima con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{HCNM}} = E_{\text{COT}} - E_{\text{CH}_4} - E_{\text{Aldehídos}}; E_{\text{HCT}} = E_{\text{COT}} - E_{\text{Aldehídos}}$$

La emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros, se calculan considerando el 91.4% de las PM₁₀, y la emisión de aldehídos se considera como el 2% de las emisiones de COT.

Incendios Forestales

Las áreas con vegetación boscosa de la Zona Metropolitana del Valle de México, aportan servicios ambientales como la recarga de los acuíferos, la captura de carbono y partículas suspendidas, proporciona nichos ecológicos para la flora y fauna, aunado a la belleza estética del paisaje y al mejoramiento de la calidad del aire (CORENADER³², 2001). Sin embargo, los recursos forestales están sujetos a presiones de degradación, tanto naturales como antropogénicas, entre éstas últimas tenemos a los incendios forestales, cabe mencionar que la mayoría son generadas por causas humanas. Por lo anterior, el Gobierno del Distrito Federal considera de alta prioridad, ejecutar programas de conservación, protección y restauración de sus recursos forestales, gracias a los cuales, en el último trienio disminuyeron las cifras de incendios y los índices de afectación (CORENADER, 2003).

Debido a que los incendios forestales tienden a presentarse durante la parte más fresca del año por lo general no arden con altas temperaturas. Esto da como resultado que la mayor parte sean incendios de superficie más que incendios de corona. Además, los incendios tienden a ser pequeños y muy numerosos, tienen mayor presencia en terrenos públicos que en los privados.

El cálculo de las emisiones generadas por los incendios forestales, se realizó con base en el Programa de Inventario de Emisiones para México (Radian International, 1997), el documento de Thompson G. Pace (2002³³) y el AP-42 (US EPA, 1996), teniendo la siguiente ecuación:

$$E_i = Fe_i * L * C * A$$

Donde:

E_i = emisiones del contaminante i

Fe_i = factor de emisión para el contaminante i (g/kg)

L = carga de combustible (kg/ha)

C = porcentaje de la carga de combustible consumido por el incendio

A = superficie quemada (ha)

i = tipo de contaminante

Cada contaminante por tipo de vegetación siniestrada, tiene un factor de emisión (Fe_i), el cual se obtiene con base en los siguientes algoritmos:

³² Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del Distrito Federal.

³³ Thompson G. Pace, 2002. Development of Emissions Inventory Methods for Wildland Fire. Final Report. February 2002. US EPA.

Tabla A.2.80 Algoritmo para los factores de emisión de incendios forestales [g/kg]

Contaminante	Algoritmo
CO	$961-(\eta*984)$
CH ₄	$42.7-(\eta*43.2)$
NMHC	$0.76+(FE_{[CH_4]}*0.616)$
HC	$FE_{[CH_4]}+FE_{[NMHC]}$
PM ₁₀	$1.18*FE_{[PM_{2.5}]}$
CO ₂	$1833*\eta$
NO _x	2.5 forestal y 3.5 pastos
NH ₃	$0.0073*CO$
SO ₂	0.83

La eficiencia de combustión completa produce sólo agua, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de contaminantes orgánicos, sin embargo en la practica es difícil que esto ocurra. Las estimaciones del consumo de combustible se debe calcular para la fases de combustión (llameante y sin llama), esto es importante debido a que cada fase ocurre a una *eficiencia de combustión* diferente, la combustión sin llama es muy ineficiente y produce mas cantidad de contaminantes en comparación con la combustión llameante; debido a que no se cuenta con información para poder separar las fases de la combustión, se tomó la eficiencia promedio de combustión para los tipos de vegetación, ver tabla siguiente.

Los valores de la *carga de combustible (L)* son estimaciones de la masa seca de los combustibles vegetales disponibles para ser consumidos por un incendio, cada componente del combustible, tiene una propensión diferente a arder en un incendio y equilibra su contenido de humedad con el medio que lo rodea a una tasa diferente, los valores de las variables anteriores se pueden ver a continuación.

Tabla A.2.81 Eficiencia de combustión $[\eta]$, factor de emisión de PM_{2.5} y carga de combustible para obtener las emisiones en incendios forestales

Vegetación	Carga de combustible (L) [kg/ha]	Factor de Emisión de PM _{2.5} [g/Kg.]	Eficiencia de combustión [h]
Cola de antilope-pasto	2317	6.99	0.90
Roble -pino	2317	6.95	0.90
Bosque de roble azul	819	8.09	0.89
Mezquite	2396	6.99	0.90
Pino-arbusto	7649	8.26	0.89
Pino-pastizal	5951	9.45	0.87
Abeto	7968	9.28	0.87

El porcentaje de la carga de combustible (C) que es consumido por el incendio, es función de muchas variables, en éste inventario, se hace la suposición de que el 100% del combustible es consumido (C = 1). La información para el cálculo de las emisiones fue proporcionada por la CORENADER³⁴, para el caso del Distrito Federal y por la CONAFOR³⁵ para los municipios conurbados, se generó una base de datos para localizar los incendios en un mapa, obteniéndose una cobertura digital de

34 Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del Distrito Federal

35 Comisión Nacional Forestal

incendios forestales para la ZMVM. Los incendios del Distrito Federal están reportados en cuadrantes, por lo tanto, se generó una cobertura digital de cuadrantes, donde se localizaron los respectivos siniestros; para el caso del Estado de México, muy pocos incendios contaron con coordenadas geográficas, por lo que éstos se ubicaron dentro del municipio afectado con base en la clase de vegetación que se reporta como afectada.

Una vez que se cuenta con el tipo de vegetación siniestrada, se aplica el algoritmo para los respectivos contaminantes. El consumo de combustible que se utiliza, es aplicado para el oeste de los Estados Unidos, sin embargo, el Programa de Inventario de Emisiones para México recomienda su aplicación en México, debido que especies similares se extienden hasta nuestro país. Por lo tanto, se busco un tipo de vegetación equivalente a la nuestra, para tomar los valores antes mencionados.

Las emisiones generadas por todos los incendios en la ZMVM durante el año 2002 se muestran en la siguiente tabla.

Tabla A.2.82 Emisiones generadas por incendios forestales [ton/año]

Entidad	Distrito Federal	Estado de México	ZMVM
Número de incendios	749	159	908
Superficie afectada [ha]	1,012	279	1,291
PM ₁₀	38	8	46
PM ₂₅	33	7	40
SO ₂	3	1	4
CO	349	82	431
NO _x	11	3	14
COT	22	6	28
CH ₄	16	4	20
COV	10	3	13
NH ₃	2	N/S	2
NMHC	6	2	8
HCT	20	5	25
CO ₂	6,540	1,629	8,169

COT = GOT

Tabla A.2.83 Emisiones de incendios forestales por delegación y municipio conurbado [ton/año]

Delegación	PM ₁₀	PM ₂₅	SO ₂	CO	NOx	COT	CH ₄	COV	NH ₃	NMHC	HCT	CO ₂
Álvaro Obregón	N/S	N/S	N/S	2	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	28
Cuajimalpa	N/S	N/S	N/S	5	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	79
G. A. Madero	1	1	N/S	7	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	147
Iztapalapa	N/S	N/S	N/S	2	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	38
Magdalena Contreras	1	1	N/S	13	N/S	1	1	N/S	N/S	N/S	1	237
Milpa Alta	26	22	2	231	8	16	11	7	2	5	14	4,235
Tláhuac	2	2	N/S	19	1	1	1	N/S	N/S	N/S	1	407
Tlalpan	7	6	1	63	2	4	3	2	N/S	1	4	1,231
Xochimilco	1	1	N/S	7	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	138
Total Distrito Federal	38	33	3	349	11	22	16	10	2	6	20	6,540
Chalco	N/S	N/S	N/S	4	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	78
Ixtapaluca	6	5	1	54	2	4	3	2	N/S	1	4	1,044
Naucalpan	N/S	N/S	N/S	2	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	41
Nicolás Romero	2	2	N/S	22	1	2	1	1	N/S	1	1	466
Total Estado de México	8	7	1	82	3	6	4	3	N/S	2	5	1,629

Emisiones domésticas de amoníaco

El amoníaco como parte del ciclo del nitrógeno, es uno de los principales contribuyentes de la formación de aerosoles en la atmósfera, como ión amonio, reacciona rápidamente con nitratos, sulfatos o con otros aniones para formar partículas, la estimación de éste compuesto es importante debido a que en la ZMVM se tienen problemas de concentración de partículas (CENR, 2000). El amoníaco generado por fuentes domésticas incluye las siguientes categorías:

- Respiración y transpiración humana
- Desechos de perros y gatos
- Uso doméstico de amoníaco
- Humo de cigarrillos
- Pañales desechables
- Otros desechos humanos

Estas emisiones se estimaron con base en el Programa de Inventario de Emisiones para México, con excepción del amoníaco liberado de las alcantarillas, para el cual se utilizó el "Inventario de Amoníaco para la Zona Metropolitana del Valle de México" del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP, 1998). Las emisiones de amoníaco generadas por los animales domésticos, se basa en la realización del promedio del nitrógeno excretado, por lo tanto, estas emisiones pueden variar dependiendo del tipo de hábitat, alimentación, manejo de los desechos, entre las principales (USDA-ARS, 2002³⁶).

La siguiente tabla muestra la fórmula de cálculo, el factor de emisión utilizado y el tipo de información requerida para la estimación de cada categoría:

36 United States Department of Agriculture-Agricultural Research Services. National Programs

Tabla A.2.84 Información para el cálculo de amoniaco por fuentes domésticas

Tipo de fuente	Factor de Emisión (FE)	Fórmula de cálculo	Información adicional requerida
Perros	2.49	$E = P \cdot PM \cdot FE$	PM = 122 perros por cada 1000 habitantes
Gatos	0.82	$E = P \cdot PM \cdot FE$	PM = 83 gatos por cada 1000 habitantes
Transpiración humana	0.25	$E = P \cdot FE$	P= población
Respiración humana	0.0016	$E = P \cdot FE$	P= población
Desechos humano	0.023	$E = P \cdot FE$	P= población
Uso doméstico de amoniaco	0.023	$E = P \cdot FE$	P= población
Pañales (desechables)	0.16	$E = PI \cdot FE$	PI = infantes menores de 3 años
Cigarrillos	5.2	$E = C \cdot FE$	C = número de cigarrillos
Alcantarillas	80.4	$E = FE \cdot P$	P= población

La población utilizada fue una estimación al año 2002 (SMA, 2004³⁷), para el cálculo de emisiones de perros y gatos, se utilizaron las proporciones de mascotas por habitantes, recomendados para las áreas urbanas de USA y en lo que se refiere a las emisiones de amoniaco por consumo de cigarrillos, se estimó la población fumadora y número de cigarrillos consumidos por sexo y edad para el año 2002, utilizando como base los datos de la Encuesta Nacional de Adicciones 1998 (SSA-COANDIC, 2000).

Caminos pavimentados y no pavimentados

Para el cálculo de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} se utilizó la metodología desarrollada por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos para ambos tipos de caminos (EPA; 2003).

Caminos pavimentados

Las emisiones de las partículas están en función del peso promedio de los vehículos y de la carga de material en el camino, y a su vez, la carga de material depende del tipo de camino. Entre otros factores que influyen en la resuspensión de material particulado, están: la granulometría, la humedad y la velocidad de los vehículos (EPA, 1997). La carga de material se define como la masa de material igual o menor a 75 µm de diámetro, por unidad de área de la superficie del camino (sL), sL es la fracción de todo el material depositado en el camino que pasa por a través de una criba de malla No 200 utilizando el método ASTM-C136, recomendado en el Programa de Inventario de Emisiones para México (EPA, 1997)

La cantidad de emisiones provenientes del tráfico vehicular se estima por medio de un factor de emisión (FE) y el número de kilómetros totales recorridos (KRV). EL factor de emisión esta dado por la siguiente expresión:

$$FE = [(k (sL/2)^{0.65} (W/3)^{1.5} - C) [1 - (P/4N)]]$$

37 Secretaría del Medio Ambiente del GDF. Dirección de Inventario y Modelación de Emisiones, población estimada con base en el Censo de Población y Vivienda 1995 y 2000 de INEGI.

Donde:

FE = factor de emisión (en las unidades de k)

k = factor de emisión por tamaño de partícula (g/km)

sL = carga de material (g/m²)

W = peso promedio de los vehículos (ton)

P = número de días con al menos 0.254 mm de precipitación

N = número de días del periodo

C = factor de emisión del escape, frenos y llantas, para una flota vehicular de 1980

Es importante resaltar que la ecuación esta diseñada para trabajar con el peso promedio de todos los vehículos que transitan el camino, no calcula un factor de emisión por tipo de vehículo sino proporciona un factor representativo de la flota. Por lo tanto, para la obtención del peso promedio de la flota vehicular se estimó con base en los kilómetros recorridos por tipo de vehículo (KRV) y su peso promedio (W). El peso promedio de la flota de la ZMVM, proviene de la base de datos del Programa de Verificación, así como de las tablas maestras de los vehículos aprobados para dicho programa (SMA, 2003), y de en algunos casos de internet (tractocamiones), con lo anterior se obtuvo un peso promedio para la flota de 1.998 ton. Los KRV utilizados son los estimados en el inventario de las fuentes móviles 2002 y se muestran en la tabla siguiente.

Tabla A.2.85 KRV por tipo de vehículo en la ZMVM, 2002

Tipo de Vehículo	KRV km/año
Autos particulares	36,832,155,704
Taxis	8,341,572,400
Combis	1,422,405,000
Microbuses	2,028,768,800
Pick-up	4,251,169,780
Camiones < 3 ton	5,099,553,693
Tractocamiones	1,651,366,980
Autobuses	775,020,173
Camiones de más 3 ton	1,118,809,980
Total	61,520,822,510

El factor de emisión base (k) varía con el diámetro aerodinámico de la partícula y se tienen los siguientes (EPA, 2002):

Diámetro de la partícula	Factor de emisión base (g/km)
PM ₁₀	1.1
PM _{2.5}	4.6

En lo que se refiere a la carga de material (sL), la EPA recomienda utilizar valores para caminos con tráfico intenso y escaso, por lo tanto, se tomaron los reportados del California Air Resources Board (CARB, 1997 en Chatten Cowherd, et al³⁸.)

38 Improved Activity Levels for National Emission Inventories of Fugitive Dust from Paved and Unpaved Roads

Tabla A.2.86 Valores de carga de material (sL)

Caminos con tránsito intenso (g/m ²)	Caminos con tránsito escaso (g/m ²)
0.035	0.32

Para los autos particulares y taxis, se asumió que existe un porcentaje de KRV que es recorrido en caminos con tránsito escaso, este porcentaje se obtuvo por medio de mediciones de tramos arbitrarios (600 tramos) en Arcview³⁹, de una vialidad secundaria a una vialidad primaria y con base en los kilómetros recorridos promedio por tipo de holograma, en la siguiente tabla se muestra el porcentaje de recorrido en vialidades con tránsito escaso e intenso para el D.F. y Edo. de México.

Tabla A.2.87 Kilómetros recorridos promedio de autos particulares y taxis por tipo de vialidad

Holograma	% recorrido en vialidades con tránsito	
	Intensiva	escaso
Distrito Federal		
0 y 00	0.974	0.0262
1	0.961	0.0393
2	0.962	0.0378
Taxis	0.974	0.0260
Estado de México		
0 y 00	0.935	0.0653
1	0.902	0.0979
2	0.906	0.0940
Taxis	0.935	0.0646

El factor de emisión del escape, frenos y llantas, para una flota vehicular de 1980 de la ZMVM(C), se obtuvo por medio del MOBILE 6 México y se muestra en la siguiente tabla.

Tabla A.2.88 Factor de emisión del escape, frenos y llantas, para una flota de 1980 (C)

Diámetro de la partícula	Factor de emisión C (g/KRV)
PM ₁₀	0.1742
PM _{2.5}	0.1385

Los valores de precipitación fueron proporcionados por la Subdirección de Meteorología de la SMA y provienen de las estaciones de la DGCOH del Gobierno del Distrito Federal. Para la obtención de los días con más de 0.254 mm de precipitación en el Distrito Federal y Estado de México se realizó lo siguiente:

- Selección de las estaciones en el Distrito Federal y Estado de México
- Conteo de días con más de 0.254 mm de precipitación
- Se consideró un día lluvioso (cuando en mas del 50% de estaciones presento lluvia)

³⁹ Sistema de información geográfica ArcView

Una vez realizado lo anterior, se tienen que, los días con más de 0.254 mm de precipitación fueron 112 en el Distrito Federal y 91 en el Estado de México.

Caminos no pavimentados

Cuando un vehículo viaja en un camino no pavimentado, la fuerza de las ruedas sobre la superficie del camino causa la pulverización del material de la carretera. Las partículas que se forman son arrastradas y arrojadas por el rodamiento de las llantas y por las corrientes de aire turbulentas que se producen en la superficie del camino. La turbulencia se debilita en la parte de atrás del vehículo y continúa actuando en la superficie del camino después de que el vehículo ha pasado. Para el cálculo de las emisiones se utilizaron los kilómetros recorridos por los vehículos (inventario de fuentes móviles 2002), así como el factor de emisión de caminos públicos.

$$FE = [((k (s/12)^a (S/30)^d) / (M/0.5)^c) - C] * [(365-p)/365]$$

Donde:

FE= factor de emisión (en las unidades de k)

k= factor de emisión por tamaño de partícula (g/km), tabla A.2.90

s= carga de material (%)

S= Velocidad promedio vehicular (kph)

M= contenido de humedad del material en la superficie (%)

p= número de días con más de 0.254 mm de precipitación

C= factor de emisión del escape, frenos y llantas, para una flota vehicular de 1980

El factor de emisión por tamaño de partícula es:

Variable	Valor	
	PM ₁₀	PM _{2.5}
K (g/km)	507.42	76.113

La cantidad de emisiones de partículas para un segmento de camino no pavimentado varía linealmente con el volumen de tráfico, así con de la cantidad de material que puede suspenderse (s) (partículas menores a 75 µm de diámetro).

La carga de material (s), proviene del Inventario Nacional de Emisiones de México 1999 y tiene un valor de 6 %, (SEMARNAT-INE, 2003). Los valores de a, c y d corresponden a caminos públicos y se muestran a continuación:

- a 0.97
- c 0.23
- d 0.46

El valor de humedad del suelo proviene de la variable *SOILM* del modelo meteorológico MM5, ya que dichos datos están localizados geográficamente, se

obtuvo una humedad promedio para el Estado de México de 6.1% y para el Distrito Federal de 7.6%. Para el caso de los KRV, se asumió que el 2% de los KRV en caminos con tránsito escaso, corresponde a caminos no pavimentados (porcentaje de caminos de terracería en el Distrito Federal con respecto a la vialidad total); en el caso del Estado de México se utilizó el 10%, así como una velocidad promedio de 16 km/h para ambos casos. Los valores de precipitación y el factor C, fueron los mismos que se utilizaron en caminos pavimentados.

A.3 FUENTES MÓVILES

A.3.1 Flota vehicular

En el cálculo de las emisiones contaminantes por fuentes móviles, se distribuyó la flota circulante estimada en 10 categorías, esta clasificación se tiene tanto para las 16 delegaciones del Distrito Federal como para los 18 municipios conurbados del Estado de México, dicha flota así como su distribución por combustible, se encuentra en la siguiente tabla.

Tabla A.3.1 Distribución del parque vehicular de la ZMVM.

ID	Tipo de Vehículo	Número de Vehículos				Total
		Gasolina	Diesel	GLP	GNC	
AP	Autos Particulares ^{1,2,7}	2,707,418	347	3,751	746	2,712,262
TAX	Taxis ^{1,2,3}	115,972	N/A	2	N/A	115,974
CO	Combis ^{2,3,4}	19,485	N/A	N/A	N/A	19,485
MIC	Microbuses ^{2,3,7}	24,087	203	7,053	893	32,236
PICK	Pick Up ^{1,2}	173,422	79	1,310	210	175,021
V = 3	Vehículos = 3 Toneladas ^{2,3,7}	243,809	19,266	10,307	14	273,396
TRA	Tractocamiones ^{2,6}	100	75,439	32	N/A	75,571
AUT	Autobuses ^{2,3,5,6}	247	30,393	43	N/A	30,683
V > 3	Vehículos > 3 Toneladas ^{2,7}	41,910	9,098	7,700	517	59,225
MC	Motocicletas ^{3,4}	94,437	N/A	N/A	N/A	94,437
Total		3,420,887	134,825	30,198	2,380	3,588,290

1 Consultas a la base de datos del PVVO del año 2001, DIP/DGGAA/SMA.

2 Consultas a la base de datos del PVVO del año 2002, DIP/DGGAA/SMA.

3 Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2001, SETRAVI 2002.

4 Dirección General de Transporte Terrestre, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Gobierno del Estado de México, 2001.

5 Conformación del Parque Vehicular Operable, Dirección de Operación Gerencia de Mantenimiento, RTP enero de 2003.

6 Estadística Básica 2002, SCT, Autotransporte Federal de Carga, Pasaje, Turismo y Servicio Privado.

7 Dirección de Instrumentación de Políticas, Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, SMA-GDF.

N/A: No Aplica.

Debido a que el parque vehicular que circula en la ZMVM está muy disperso y tiene un rango de antigüedad de más de 30 años, fue necesario acotar la clasificación de la Tabla A.3.1 a 25 años modelo (de acuerdo a las necesidades de los modelos MOBILE) y así poder conocer la contribución que cada año modelo tiene al total de las emisiones producidas por las fuentes móviles; sólo hay una excepción: las motocicletas, las cuales únicamente se distribuyen en 12 años, desde 1991 y anteriores hasta 2002. En las siguientes tablas se muestra la flota por año modelo para la ZMVM, el Distrito Federal, y el Estado de México. Cabe mencionar que la flota vehicular empleada en el cálculo se tiene desagregada de acuerdo al tipo de lo holograma obtenido en el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO) (doble cero, cero, uno y dos) y por combustible, por lo cual las tablas aquí presentadas son los totales de las sub-clasificaciones que se utilizaron para estimar las emisiones¹.

¹ Los archivos desagregados de la flota por holograma del PVVO y por combustible están bajo resguardo del área responsable del cálculo y quedan a disposición de quien lo solicite.

Tabla A.3.2 Distribución de la flota vehicular por año modelo en la ZMVM.

Año Modelo	Número de Vehículos										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1978 y ant.	221,557	370	775	613	14,491	26,468	14,392	755	6,780	0	286,201
1979	39,593	82	175	85	3,366	4,365	2,445	455	1,113	0	51,679
1980	53,642	172	329	114	4,042	5,538	3,486	566	1,373	0	69,262
1981	66,346	266	618	128	5,378	6,904	4,410	622	1,744	0	86,416
1982	64,554	427	906	189	5,839	7,547	2,782	496	1,899	0	84,639
1983	37,508	276	510	66	3,077	2,369	989	187	636	0	45,618
1984	45,516	299	664	78	3,333	4,112	1,705	411	756	0	56,874
1985	55,809	511	1,020	204	4,600	9,274	2,539	657	1,653	0	76,267
1986	52,118	638	1,093	230	4,630	6,448	1,623	527	1,259	0	68,566
1987	37,833	485	812	201	3,943	3,877	1,418	274	713	0	49,556
1988	53,577	667	725	362	6,156	5,684	1,777	328	1,120	0	70,396
1989	77,893	1,127	1,277	1,527	7,772	9,711	2,176	511	1,990	0	132,272
1990	98,577	5,397	1,565	5,259	7,727	14,189	2,000	1,459	2,775	0	142,917
1991	109,943	13,105	1,729	9,838	8,804	20,623	3,092	1,780	4,391	32,537	178,128
1992	119,710	21,050	2,958	9,854	6,792	22,855	3,193	2,254	4,535	4,732	201,028
1993	120,034	13,988	1,900	1,240	7,018	20,471	3,038	3,003	3,977	7,948	182,964
1994	120,948	14,509	841	343	6,670	17,345	2,828	2,015	3,251	8,525	177,965
1995	75,927	5,612	720	214	4,033	8,659	1,688	781	2,075	8,745	103,377
1996	52,691	2,573	171	106	3,608	4,590	613	779	1,040	3,979	69,265
1997	99,494	4,997	155	210	6,839	10,711	2,218	2,018	2,111	2,713	133,394
1998	178,039	7,363	173	235	10,462	11,697	2,726	1,336	2,390	5,022	221,317
1999	158,215	5,328	93	322	8,826	14,095	2,978	1,471	3,687	6,936	201,869
2000	197,381	6,265	241	461	10,386	14,873	3,813	2,492	3,376	6,553	245,500
2001	142,075	7,778	34	234	7,928	11,608	4,250	3,435	3,082	6,747	181,079
2002	433,282	2,689	1	123	19,301	9,383	3,392	2,071	1,499	N/A	471,741
Total	2,712,262	115,974	19,485	32,236	175,021	273,396	75,571	30,683	59,225	94,437	3,588,290

N/A: No Aplica

Tabla A.3.3 Distribución de la flota vehicular por año modelo en el Distrito Federal.

Año Modelo	Número de Vehículos										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1978 y ant.	102,452	10	11	76	3,769	17,222	11,127	579	634	0	135,880
1979	18,104	4	4	8	987	3,057	1,901	399	115	0	24,579
1980	25,160	7	17	9	1,173	3,757	2,697	496	212	0	33,528
1981	31,733	7	57	12	1,649	4,694	3,424	550	251	0	42,377
1982	31,573	14	65	21	1,808	5,352	2,135	445	214	0	41,627
1983	18,537	5	27	16	1,126	1,694	767	167	82	0	22,421
1984	22,893	5	41	19	1,218	3,460	1,318	369	202	0	29,525
1985	28,465	12	85	59	1,545	7,929	1,971	605	514	0	41,185
1986	27,277	58	127	84	1,523	5,556	1,263	473	379	0	36,740
1987	20,031	52	126	88	1,361	3,329	1,105	247	236	0	26,575
1988	28,847	123	86	163	2,155	4,830	1,381	294	311	0	38,190
1989	44,053	232	204	916	2,809	8,435	1,687	446	732	0	80,739
1990	58,304	4,266	350	4,068	3,039	12,562	1,538	1,313	1,200	0	90,349
1991	67,440	11,899	451	8,016	3,452	18,195	2,386	1,536	1,965	24,933	119,882
1992	74,912	19,529	1,010	7,746	2,842	20,260	2,474	1,933	1,853	4,542	140,196
1993	80,912	13,034	544	793	3,356	18,189	2,343	2,614	1,672	7,637	131,441
1994	84,570	13,881	233	148	3,467	15,666	2,184	1,630	1,535	7,984	131,988
1995	55,135	5,319	190	84	2,353	7,636	1,290	640	987	8,675	77,232
1996	39,017	2,395	46	32	2,274	4,031	478	726	421	3,598	52,133
1997	75,378	4,753	46	100	4,065	9,812	1,724	1,772	1,136	2,713	103,427
1998	137,203	7,078	64	107	6,941	10,636	2,106	1,121	1,262	4,641	173,033
1999	123,599	5,077	31	124	6,196	12,653	2,318	1,152	2,173	6,515	159,756
2000	156,042	5,755	54	306	6,939	13,402	2,955	2,014	1,864	6,433	195,423
2001	87,092	7,778	34	30	4,442	9,979	3,283	3,022	1,309	6,747	117,624
2002	352,963	2,689	1	16	15,859	8,620	2,546	1,823	745	N/A	385,262
Total	1,791,692	103,982	3,904	23,041	86,348	230,956	58,401	26,366	22,004	84,418	2,431,112

Tabla A.3.4 Distribución de la flota vehicular por año modelo en el Estado de México.

Año Modelo	Número de Vehículos										Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	
1978 y ant.	119,105	360	764	537	10,722	9,246	3,265	176	6,146	0	150,321
1979	21,489	78	171	77	2,379	1,308	544	56	998	0	27,100
1980	28,482	165	312	105	2,869	1,781	789	70	1,161	0	35,734
1981	34,613	259	561	116	3,729	2,210	986	72	1,493	0	44,039
1982	32,981	413	841	168	4,031	2,195	647	51	1,685	0	43,012
1983	18,971	271	483	50	1,951	675	222	20	554	0	23,197
1984	22,623	294	623	59	2,115	652	387	42	554	0	27,349
1985	27,344	499	935	145	3,055	1,345	568	52	1,139	0	35,082
1986	24,841	580	966	146	3,107	892	360	54	880	0	31,826
1987	17,802	433	686	113	2,582	548	313	27	477	0	22,981
1988	24,730	544	639	199	4,001	854	396	34	809	0	32,206
1989	33,840	895	1,073	611	4,963	1,276	489	65	1,258	0	51,533
1990	40,273	1,131	1,215	1,191	4,688	1,627	462	146	1,575	0	52,568
1991	42,503	1,206	1,278	1,822	5,352	2,428	706	244	2,426	7,604	58,246
1992	44,798	1,521	1,948	2,108	3,950	2,595	719	321	2,682	190	60,832
1993	39,122	954	1,356	447	3,662	2,282	695	389	2,305	311	51,523
1994	36,378	628	608	195	3,203	1,679	644	385	1,716	541	45,977
1995	20,792	293	530	130	1,680	1,023	398	141	1,088	70	26,145
1996	13,674	178	125	74	1,334	559	135	53	619	381	17,132
1997	24,116	244	109	110	2,774	899	494	246	975	N/A	29,967
1998	40,836	285	109	128	3,521	1,061	620	215	1,128	381	48,284
1999	34,616	251	62	198	2,630	1,442	660	319	1,514	421	42,113
2000	41,339	510	187	155	3,447	1,471	858	478	1,512	120	50,077
2001	54,983	N/A	N/A	204	3,486	1,629	967	413	1,773	N/A	63,455
2002	80,319	N/A	N/A	107	3,442	763	846	248	754	N/A	86,479
Total	920,570	11,992	15,581	9,195	88,673	42,440	17,170	4,317	37,221	10,019	1,157,178

N/A: No Aplica.

A.3.2 Actividad Vehicular

Otro componente de cálculo indispensable para estimar las emisiones por fuentes móviles son los datos de actividad, los cuales deben ser representativos para cada tipo de vehículo y año modelo. Algunos de estos datos son los mismos que se utilizaron en el Inventario de Emisiones del año 2000, como en el caso de los autos particulares, cuya actividad fue obtenida para cada tipo de holograma a partir de la base de datos del PVVO.

Tabla A.3.5 Datos de actividad aplicados a los autos particulares que circulan en la ZMVM.

	Tipo de Holograma	Km/día	Días/año
Autos Particulares	Doble Cero	36	365
	Cero	36	365
	Uno	24	313
	Dos	25	313

Consultas al Programa de Verificación Vehicular Obligatorio, Primer Semestre 2001.

Para los otros tipos de vehículos considerados por el PVVO se aplicaron los datos de actividad reportados por el PVVO y la COMETRAVI en diversos estudios realizados para la ZMVM, estos datos son mostrados en la tabla siguiente.

Tabla A.3.6 Actividad representativa de la Flota Vehicular de la ZMVM de acuerdo con el tipo de holograma.

Clasificación Final	Tipo de Vehículo	Km/día	Días/año			
			Doble Cero	Cero	Uno	Dos
Autos Particulares	Autos Particulares de Uso Intensivo	100	365	365	313	313
Pick Up's	Pick Up's	60	365	365	313	313
	Pick Up's de Uso Intensivo	100	365	365	313	313
Microbuses	Microbuses	200	N/A	365	313	313
Tractocamiones	Tractocamiones	60	N/A	365	313	313
Vehículos = 3 Ton	Vehículos < 3 Ton	33	N/A	365	313	313
	Vehículos < 3 Ton de Uso Intensivo	60	N/A	365	313	313
Vehículos > 3 Ton	Vehículos > 3 Ton	33	N/A	365	313	313
	Vehículos > 3 Ton de Uso Intensivo	60	N/A	365	313	313
Combis	Combis de Transporte de Pasajeros	200	N/A	N/A	N/A	313

Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos, COMETRAVI, 1997.
Programa de Verificación Vehicular Obligatorio.

En el caso de la flota vehicular que cuenta con un solo tipo de holograma, se distribuyó su actividad con base en la información proporcionada por diferentes instituciones tales como RTP, SCT, SETRAVI y COMETRAVI. Estos datos se muestran a continuación.

Tabla A.3.7 Actividad representativa de la flota vehicular que cuenta con un solo tipo de holograma.

Clasificación Final	Tipo de Vehículo	Km/día	Días/año
Taxis	Taxis	200	365
Vehículos = 3 Ton	Vehículos = 3 Ton	60	365
Autobuses	Autotransporte Federal de Carga	60	365
	Servicio Privado de Autotransporte	60	365
	Autobuses Red de Transporte de Pasajeros	174	365
	Autobuses Concesionados	174	365
	Autobuses Sistema de Transportes Eléctricos	245	365
	Autobuses para Discapacitados	165	365
	Autotransporte Federal de Turismo	60	365
	Autotransporte Federal de Pasaje	48	365
Motocicletas	Motocicletas	33	313

Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos, COMETRAVI, 1997.
Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2000, SETRAVI, 2001.
Dirección General del Autotransporte Federal, SCT, 2002.
Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, 2003.

Con los datos del recorrido diario, los días que circularon los vehículos durante el año 2002 y el número de vehículos de acuerdo a la distribución por año modelo en el Distrito Federal y el Estado de México; se obtuvieron los kilómetros recorridos (KRV) por tipo de vehículo y año modelo, a partir de la ecuación:

$$KRV_{ij} = (KD_j) (NV_{ij}) (DA_i)$$

Donde:

KRV_{ij} =Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i, del año modelo j [km/año]

KD_j =Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i [km/día]

NV_{ij} =Número de vehículos del tipo i, del año modelo j

DA_i=Días al año que circulan los vehículos del tipo i [días/año]

Para ilustrar la forma de cálculo de los kilómetros recorridos por los vehículos, a continuación se muestra el ejemplo de los autos particulares año modelo 1978 y anteriores, que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma dos del PVVO. Los datos que se requieren aparecen en la siguiente tabla.

Variable	Distrito Federal		Estado de México	
	Valor	Fuente	Valor	Fuente
KD _j [km/día]	25	Celda sombreada en la tabla A.3.5	25	Celda sombreada en la tabla A.3.5
NV _{ij} [#]	101,423	Número de vehículos correspondiente a los autos particulares año modelo 1978, que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma dos del PVVO en el Distrito Federal. Por lo cual es una fracción del valor de la celda sombreada en la tabla A.3.3	95,763	Número de vehículos correspondiente a los autos particulares año modelo 1978, que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma dos del PVVO en el Estado de México. Por lo cual es una fracción del valor de la celda sombreada en A.3.4
DA _i [días/año]	313	Celda sombreada en la tabla A.3.5	313	Celda sombreada en la tabla A.3.5

Sustituyendo los valores anteriores, tenemos:

Distrito Federal

$$KRV_{AUTG\ 1978\ y\ ant.} = (25) (101,423) (313) = 793,634,975\ km/año$$

Estado de México

$$KRV_{AUTG\ 1978\ y\ ant.} = (25) (95,763) (313) = 749,345,475\ km/año$$

Al aplicar la ecuación anterior por tipo de holograma (doble cero, cero, uno y dos), uso del vehículo (particular o intensivo), tipo de vehículo y año modelo, se obtienen los KRV para el Distrito Federal y el Estado de México, los cuales se muestran en las dos siguientes tablas.

Tabla A.3.8 Nivel de actividad por tipo de vehículo y año modelo para el Distrito Federal.

Año Modelo	KRV [Millones de Kilómetros recorridos al año]											Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC		
1978 y ant.	818	1	1	5	74	324	244	12	12	0	1,491	
1979	147	N/S	N/S	1	19	57	41	8	2	0	275	
1980	203	1	1	1	23	71	59	10	4	0	373	
1981	259	1	4	1	33	88	75	11	5	0	477	
1982	256	1	5	1	36	101	47	9	4	0	460	
1983	151	N/S	2	1	22	32	17	3	1	0	229	
1984	190	N/S	3	1	24	65	29	7	4	0	323	
1985	240	1	6	4	33	150	43	16	10	0	503	
1986	231	4	9	5	31	105	28	9	7	0	429	
1987	175	4	9	6	28	63	24	5	4	0	318	
1988	243	9	6	10	43	91	30	6	6	0	444	
1989	379	17	15	58	57	159	37	8	14	0	963	
1990	522	311	26	256	65	237	34	49	23	0	1,561	
1991	595	869	33	504	75	343	52	29	37	258	2,584	
1992	655	1,426	74	486	62	383	54	36	35	47	3,290	
1993	1,126	951	40	50	74	343	51	48	31	79	2,796	
1994	1,203	1,013	17	9	79	296	48	33	29	82	2,817	
1995	798	388	14	5	55	145	28	16	19	90	1,505	
1996	606	175	3	2	55	77	10	33	8	37	997	
1997	1,201	347	3	7	102	185	38	81	22	28	2,034	
1998	2,157	517	5	7	174	202	46	22	24	48	3,221	
1999	1,990	371	2	8	160	240	51	22	42	67	2,952	
2000	2,549	420	4	22	187	254	64	38	35	66	3,636	
2001	1,550	568	3	2	121	189	72	87	25	70	2,624	
2002	4,877	196	N/S	1	365	163	56	41	14	N/A	5,713	
Total	23,121	7,591	285	1,453	1,997	4,363	1,278	639	417	872	42,015	

N/A: No Aplica.

N/S: No significativo.

Tabla A.3.9 Nivel de actividad por tipo de vehículo y año modelo para el Estado de México.

Año Modelo	KRV [Millones de Kilómetros recorridos al año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1978 y ant.	1,468	23	56	34	267	163	71	7	115	0	2,204
1979	265	5	12	5	59	23	12	2	19	0	402
1980	353	10	23	7	71	31	17	2	22	0	536
1981	426	16	41	7	92	39	21	2	28	0	672
1982	414	26	61	11	99	38	14	1	32	0	696
1983	233	17	35	3	47	12	5	N/S	10	0	362
1984	274	19	45	3	51	12	8	1	10	0	423
1985	340	31	68	9	74	23	12	1	21	0	579
1986	306	36	71	9	75	16	8	1	17	0	539
1987	222	27	50	7	62	9	7	1	9	0	394
1988	311	34	47	12	96	15	9	1	15	0	540
1989	425	56	78	38	119	22	11	2	24	0	848
1990	504	71	89	75	112	28	10	4	30	0	926
1991	532	76	93	114	130	42	15	7	46	79	1,058
1992	553	95	142	132	97	44	16	9	50	2	1,140
1993	599	60	99	28	92	39	15	11	43	3	989
1994	582	39	44	12	83	29	14	14	32	6	855
1995	341	18	39	8	43	18	9	5	20	1	502
1996	255	11	9	5	36	9	3	2	12	4	346
1997	465	15	8	7	79	16	11	10	18	N/A	629
1998	781	18	8	8	98	18	13	7	22	4	977
1999	682	16	5	12	75	25	14	11	29	4	873
2000	813	32	14	10	99	25	19	16	29	1	1,058
2001	1,037	N/A	N/A	13	101	28	21	12	34	N/A	1,246
2002	1,531	N/A	N/A	7	97	13	18	8	14	N/A	1,688
Total	13,712	751	1,137	576	2,254	737	373	137	701	104	20,482

N/A: No Aplica.

N/S: No Significativo.

A.3.3 factores de emisión

HCT, CO y NOx

Los factores de emisión para hidrocarburos totales (HCT), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx), fueron obtenidos a partir de tres diferentes fuentes:

- Instituto Mexicano del Petróleo. Mediciones realizadas para algunos tipos de vehículo a gasolina².
- Mobile5-México. Modelo computacional desarrollado por la US-EPA y modificado para diversas zonas de la República Mexicana, con el cual se calcularon factores de emisión para el resto de los vehículos a gasolina, los vehículos a diesel y las motocicletas.
- Greenhouse Gas Inventory Reference Manual Vol.3. Desarrollado por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Reporte del que se tomaron factores de emisión para los vehículos que utilizan gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural comprimido (GNC).

Es importante mencionar algunas características de los factores de emisión reportados por el IMP:

- Estos factores de emisión fueron medidos en el año 1999. Por lo que los valores correspondientes a los años 2000, 2001 y 2002 fueron obtenidos a partir del factor de emisión del año modelo 1999, aplicando un porcentaje de disminución igual al que presentan los factores de emisión obtenidos con el modelo Mobile6-México.
- Las pruebas para combis y microbuses fueron realizadas con años modelo 1991-1998, y se utiliza un solo factor de emisión representativo para cada contaminante. Esto es porque a este tipo de vehículos continuamente se les cambia el motor (por uno nuevo o reconstruido) debido al desgaste que sufren por la gran cantidad de kilómetros recorridos al día, y por lo tanto se asume que las emisiones de los años modelo 1999 y anteriores son muy similares a las del grupo tecnológico utilizado para las pruebas.
- En el caso de los taxis las pruebas fueron realizadas en vehículos con años modelo 1991 a 1999, y para los años modelo anteriores se utilizaron los factores de emisión correspondientes a los autos particulares.

Los factores de emisión reportados por el IMP están divididos por tipo de tecnología (año modelo) y de acuerdo a los siguientes tipos de vehículo:

- Vehículos Particulares.
- Taxis.
- Combis.
- Microbuses.
- Pick Up's.
- Camiones.

² Estos factores de emisión son preliminares y experimentales.

Para homologar estos tipos de vehículo con la clasificación propuesta en esta memoria de cálculo, tenemos que los vehículos particulares corresponden a los autos particulares y los camiones a los vehículos con un peso menor o igual a 3 toneladas, el resto corresponden a los tipos de vehículo del Inventario de Emisiones.

Los tipos de vehículo que no fueron evaluados por el Instituto Mexicano del Petróleo se distribuyeron conforme a la clasificación considerada por el modelo Mobile5-México, para obtener sus respectivos factores de emisión tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla A.3.10 Distribución de vehículos de acuerdo a la clasificación del modelo Mobile5-México.

Clasificación Mobile5-México	Vehículos en circulación en la ZMVM
Vehículos Ligeros a Diesel (LDDV*)	Autos particulares que utilizan diesel
Camiones Ligeros a Diesel (LDDT*)	Vehículos con peso menor o igual a 3 toneladas, pick up's y microbuses que utilizan diesel
Vehículos Pesados a Gasolina (HDGV*)	Tractocamiones, autobuses y vehículos con peso mayor a 3 toneladas que utilizan gasolina
Vehículos Pesados a Diesel (HDDV*)	Tractocamiones, autobuses y vehículos con peso mayor a 3 toneladas que utilizan diesel
Motocicletas (MC*)	Motocicletas

* Por sus siglas en Inglés

A continuación se muestra la información requerida por el modelo Mobile5-México para el cálculo de los factores de emisión mencionados anteriormente.

Tabla A.3.11 Información proporcionada al Mobile5-México

Parámetro	Datos Proporcionados
Región	Ciudad a una altitud igual o mayor a 5,500 ft (1,677 mts)
Año Calendario a evaluar	Enero 1, 2003
Velocidad Promedio	33.1 km/hr
Temperatura Ambiente	17.8 °C
RVP de Gasolina	7.6 psi
Temperatura Máxima	25.9 °C
Temperatura Mínima	12.5 °C

El modelo Mobile5-México tiene tres bases de datos que contienen información que es representativa del parque vehicular de la ZMVM, dichas bases contienen los siguientes datos:

- Número total de vehículos por tipo, de acuerdo a la clasificación del modelo.
- Kilometraje anual promedio recorrido por tipo de vehículo y año modelo.
- Porcentaje de vehículos existentes por tipo de vehículo y año modelo.

De éstas, la base REGMC.INP se modificó para el cálculo de los factores, quedando como se muestra en la figura siguiente.

Archivo REGMC.INP

```
1 Vcount : LDGV LDGT1 LDGT2 HDGV LDDV LDDT HDDT MC for Mexico City (ELD 1993, DGGAA 2002)
2828,194,286,51,2828,194,111,94
```

El archivo REGMC.INP se compone de dos filas, la primera contiene los ocho tipos de vehículo que considera el Mobile5-México y la segunda el total de vehículos de cada categoría.

En seguida se muestra el archivo de entrada del modelo Mobile5-México para obtener los factores de emisión de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (HC) como hidrocarburos totales (HCT). De igual forma se corrieron los archivos correspondientes para reportar los hidrocarburos como metano (CH₄), compuestos orgánicos totales (COT) y compuestos orgánicos volátiles (COV); y de esta manera conocer las porciones de estos contaminantes con respecto a los HCT.

Tabla A.3.12 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para HCT

Año Modelo	Factores de Emisión para HCT [g/km]										
	Gasolina							Diesel			
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA/AUT/V>3	MC	AP	MIC/PICK/V<3	TRA/AUT/V>3
1978 y ant.	6.255	6.255	5.651	9.856	4.442	7.448	16.718	0	2.762	2.122	6.215
1979	6.255	6.255	5.651	9.856	4.442	7.448	16.718	0	2.762	2.122	6.215
1980	6.255	6.255	5.651	9.856	4.442	7.448	16.656	0	2.762	2.100	6.199
1981	6.255	6.255	5.651	9.856	4.442	7.448	16.609	0	2.724	2.078	6.199
1982	6.255	6.255	5.651	9.856	4.442	7.448	16.460	0	2.723	2.057	6.165
1983	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	16.267	0	2.679	2.028	6.108
1984	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	16.192	0	2.677	2.022	6.104
1985	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	16.112	0	2.664	1.992	6.096
1986	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	16.087	0	2.629	1.961	6.095
1987	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	16.032	0	2.593	1.940	6.094
1988	4.545	4.545	5.651	9.856	4.442	7.448	15.989	0	2.580	1.937	6.067
1989	4.545	4.545	5.651	9.856	4.442	7.448	13.930	0	2.575	1.886	6.066
1990	4.545	4.545	5.651	9.856	4.442	7.448	13.905	0	2.512	1.870	6.007
1991	3.590	3.590	5.651	9.856	4.442	7.448	12.183	9.932	1.185	1.823	5.994
1992	3.590	3.590	5.651	9.856	4.442	7.448	10.553	9.932	1.137	1.803	5.965
1993	2.456	1.841	5.651	9.856	4.442	7.448	6.402	5.108	0.632	0.874	4.462
1994	2.456	1.841	5.651	9.856	4.442	7.448	5.055	4.231	0.444	0.871	3.936
1995	1.047	1.841	5.651	9.856	4.442	7.448	5.009	4.040	0.366	0.576	3.729
1996	1.047	1.841	5.651	9.856	1.867	2.087	2.872	3.182	0.345	0.557	3.197
1997	1.047	1.841	5.651	9.856	1.867	2.087	2.773	3.011	0.327	0.530	3.197
1998	1.047	1.841	5.651	9.856	1.867	2.087	2.662	2.833	0.307	0.508	3.196
1999	0.534	1.841	5.651	9.856	1.867	2.087	2.550	2.640	0.280	0.475	3.196
2000	0.462	1.592	4.887	8.662	1.643	1.834	2.445	2.435	0.260	0.444	3.194
2001	0.375	1.293	3.968	7.111	1.353	1.506	1.483	2.090	0.224	0.404	2.980
2002	0.308	1.062	3.258	6.024	1.146	1.276	1.358	1.873	0.199	0.398	2.935

Tabla A.3.13 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para CO

Año Modelo	Factores de Emisión para CO [g/km]											
	Gasolina								Diesel			
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA/AUT/V>3	MC	AP	MIC/PICK/V<3	TRA/AUT/V>3	
1978 y ant.	76.4	76.4	59.4	108.1	48.2	80.9	291.154	0	4.348	3.191	14.236	
1979	76.4	76.4	59.4	108.1	48.2	80.9	291.154	0	4.348	3.191	13.964	
1980	76.4	76.4	59.4	108.1	48.2	80.9	289.372	0	4.330	3.165	13.940	
1981	76.4	76.4	59.4	108.1	48.2	80.9	289.214	0	4.281	3.138	13.940	
1982	76.4	76.4	59.4	108.1	48.2	80.9	285.960	0	4.257	3.112	13.885	
1983	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	283.590	0	4.217	3.075	13.872	
1984	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	282.621	0	4.207	3.070	13.762	
1985	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	280.469	0	4.179	3.034	13.707	
1986	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	278.827	0	4.143	3.006	13.697	
1987	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	278.601	0	4.080	2.971	13.661	
1988	39.6	39.6	59.4	108.1	48.2	80.9	276.428	0	4.046	2.927	13.609	
1989	39.6	39.6	59.4	108.1	48.2	80.9	266.550	0	3.995	2.915	13.590	
1990	39.6	39.6	59.4	108.1	48.2	80.9	264.484	0	3.961	2.871	13.565	
1991	31.4	31.4	59.4	108.1	48.2	80.9	228.658	38.485	1.954	2.839	13.460	
1992	31.4	31.4	59.4	108.1	48.2	80.9	192.666	38.485	1.950	2.801	13.453	
1993	23.7	15.2	59.4	108.1	48.2	80.9	95.657	27.712	1.475	2.765	13.359	
1994	23.7	15.2	59.4	108.1	48.2	80.9	95.505	27.049	1.470	2.715	12.513	
1995	7.3	15.2	59.4	108.1	48.2	80.9	92.479	26.663	0.934	1.633	11.862	
1996	7.3	15.2	59.4	108.1	11.7	48.0	40.866	26.162	0.908	1.612	11.446	
1997	7.3	15.2	59.4	108.1	11.7	48.0	39.976	25.667	0.883	1.581	11.383	
1998	7.3	15.2	59.4	108.1	11.7	48.0	39.012	25.096	0.854	1.555	11.325	
1999	3.2	15.2	59.4	108.1	11.7	48.0	38.007	24.476	0.822	1.529	11.249	
2000	2.8	13.2	51.7	94.6	10.2	42.0	36.941	23.797	0.786	1.492	11.172	
2001	2.2	10.4	40.8	75.9	8.2	33.7	21.969	23.076	0.750	1.453	10.328	
2002	1.7	8.3	32.3	62.3	6.7	27.7	20.998	22.307	0.710	1.434	10.101	

Tabla A.3.14 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para NOx

Año Modelo	Factores de Emisión para NOx [g/km]										
	Gasolina								Diesel		
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA/AUT/V>3	MC	AP	MIC/PICK/V=3	TRA/AUT/V>3
1978 y ant.	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.661	0	1.397	1.830	17.922
1979	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.661	0	1.381	1.830	17.922
1980	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.648	0	1.381	1.813	17.919
1981	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.632	0	1.381	1.797	17.852
1982	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.608	0	1.362	1.780	17.850
1983	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.576	0	1.339	1.766	17.646
1984	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.537	0	1.339	1.760	17.633
1985	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.537	0	1.332	1.737	17.619
1986	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.537	0	1.315	1.707	17.593
1987	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.527	0	1.296	1.699	17.574
1988	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.416	0	1.290	1.672	17.515
1989	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.293	0	1.287	1.666	17.461
1990	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.126	0	1.256	1.633	17.358
1991	2.40	2.40	2.70	4.75	3.37	5.75	3.649	0.167	1.185	1.614	17.319
1992	2.40	2.40	2.70	4.75	3.37	5.75	3.128	0.167	1.178	1.573	17.252
1993	2.40	1.48	2.70	4.75	3.37	5.75	3.017	0.383	1.027	1.134	13.227
1994	2.40	1.48	2.70	4.75	3.37	5.75	2.967	0.379	1.010	1.118	11.725
1995	1.50	1.48	2.70	4.75	3.37	5.75	2.914	0.394	0.995	1.093	11.098
1996	1.50	1.48	2.70	4.75	1.64	3.20	2.668	0.385	0.706	1.080	10.799
1997	1.50	1.48	2.70	4.75	1.64	3.20	2.613	0.387	0.690	1.059	10.799
1998	1.50	1.48	2.70	4.75	1.64	3.20	2.553	0.385	0.665	1.041	10.798
1999	0.67	1.48	2.70	4.75	1.64	3.20	2.492	0.384	0.643	1.018	10.796
2000	0.63	1.39	2.54	4.35	1.50	2.93	2.436	0.386	0.613	0.992	10.795
2001	0.62	1.37	2.50	3.82	1.32	2.57	2.366	0.383	0.584	0.693	6.051
2002	0.61	1.34	2.45	3.46	1.19	2.33	1.912	0.385	0.557	0.637	4.989

En la siguiente tabla se muestran los factores de emisión para los vehículos que utilizan combustibles alternos (GLP y GNC). Para estos vehículos, los HCT se obtienen al sumar las emisiones de hidrocarburos no metánicos (HCNM) y metano (CH₄).

Tabla A.3.15 Factores de emisión para combustibles gaseosos.

Combustible	Tipo de Vehículo	Año Modelo	Factores de Emisión [g/km]			
			HCNM	CH ₄	CO	NOx
GLP	AP/TAX	1992 y ant.	3.50	0.18	8.0	2.1
		1993-2002	0.25	0.03	0.3	0.5
	MIC/PICK/V=3/ TRA/AUT/V>3	1992 y ant.	8.00	0.40	24.0	5.7
		1993-2002	0.70	0.15	1.0	2.6
GNC	AP	1992 y ant.	0.50	3.50	4.0	2.1
		1993-2002	0.05	0.70	0.3	0.5
	MIC/PICK/V=3	1992 y ant.	1.40	10.00	12.0	5.7
		1993-2002	0.20	3.00	1.0	2.6
	V > 3	1992 y ant.	2.00	10.00	8.0	23.0
		1993-2002	0.40	4.00	1.5	4.0

PM₁₀ y NH₃.

Los factores de emisión para estos dos contaminantes también proceden de diversas fuentes:

- Mobile6-México. Modelo computacional desarrollado por la US-EPA y modificado para diversas zonas de la República Mexicana. Con el cual se obtuvieron los factores de emisión de Amoniac (NH₃) para los vehículos a gasolina y diesel; y también los factores de Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) para todos los tipos de vehículo, excepto los vehículos pesados a diesel (HDDV).
- Heavy-Duty Diesel Vehicle Testing for the Northern Front Range Air Quality Study. Estudio en el que se probaron 21 vehículos de carga pesada de diferentes clases utilizados en el área del norte de Colorado, EUA, durante el período de abril a septiembre de 1997; de donde se obtuvieron los factores de emisión de PM₁₀ para los vehículos pesados a diesel (HDDV).
- Investigation of Emission Rates of Ammonia and Other Toxic and Low-Level Compounds. Estudio realizado por el Centro para la Investigación Ambiental y Tecnológica de la Universidad de California en Septiembre de 2001, del cual se obtuvieron los factores de emisión de NH₃, para los vehículos que utilizan GLP y GNC.

En la tabla siguiente se muestra la información requerida por el modelo Mobile6-México para el cálculo de los factores de emisión mencionados anteriormente.

Tabla A.3.16 Información proporcionada al Mobile6-México.

Parámetro	Datos Proporcionados
Región	Ciudad a una altitud igual o mayor a 5,500 ft (1,677 mts)
Año Calendario a evaluar	Julio 1, 2002
Velocidad Promedio	33.1 km / hr
Temperatura Ambiente	17.8 °C
RVP de Gasolina	7.6 psi
Temperatura Máxima	25.9 °C
Temperatura Mínima	12.5 °C

En la figura siguiente se muestra el archivo de entrada del modelo Mobile6-México para obtener los factores de emisión de Amoniac (NH₃) y Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀).

Figura A.3.2 Archivo de entrada al Mobile6-México.

```

MOBILE6 INPUT FILE :
Input Extensions   : INTL EFS HI-EM TECHFRAC
*updated 12/5/00, mkb
> SMA/DGGAA/DIME INVENTARIO DE EMISIONES 2002.
POLLUTANTS        : HC CO NOx CO2
REPORT FILE       : inv024.txt
DATABASE OUTPUT   :
WITH FIELDNAMES   :
DAILY OUTPUT      :
PARTICULATES     :
EMISSIONS TABLE  : inv024.tbl
SPREADSHEET       :

RUN DATA
> SMA/DGGAA/DIME INVENTARIO DE EMISIONES 2002.
MIN/MAX TEMP      : 54.5 78.6
FUEL RVP          : 7.6
EXPRESS HC AS THC :
NO CLEAN AIR ACT  :
NO REFUELING      :
INTL FLEET FILE   : MexFleet.inc

SCENARIO RECORD   : ARCHIVO BASE PARA ZMVM.
> SMA/DGGAA/DIME INVENTARIO DE EMISIONES 2002.
CALENDAR YEAR     : 2002
EVALUATION MONTH  : 7
ALTITUDE          : 2
SULFUR CONTENT    : 390.0
DIESEL SULFUR     : 400
PARTICULATE EF    : PMGZML.CSV  PMGDR1.CSV  PMGDR2.CSV  PMDZML.CSV  PMDDR1.CSV
PMDDR2.CSV
PARTICLE SIZE     : 10.0
AVERAGE SPEED    : 20.6 AREAWIDE 0.0 60.0 40.0 0.0
SEASON            : 1
FUEL PROGRAM      : 4
400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0
390.0 390.0 390.0 390.0 390.0 390.0 390.0 390.0
400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0 400.0
390.0 390.0 390.0 390.0 390.0 390.0 390.0 390.0

END OF RUN

```

En las tablas siguientes se muestran los resultados de la aplicación del modelo Mobile6-México y los factores de emisión obtenidos de las fuentes mencionadas anteriormente para partículas menores a 10 micras y amoníaco respectivamente; correspondientes a los vehículos que utilizan gasolina o diesel como combustible.

Tabla A.3.17 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para Partículas Menores a 10 micras.

Año Modelo	Factores de Emisión para PM ₁₀ [g/km]								
	Gasolina					Diesel			
	AP/TAX/CO	PICK	MIC/V = 3	TRA/AUT/V>3	MC	AP	MIC/PICK/V=3	TRA/AUT/V>3	
1978 y ant.	0.027	0.028	0.151	0.162	0	0.447	0.446	2.100	
1979	0.027	0.030	0.040	0.162	0	0.447	0.447	2.100	
1980	0.034	0.030	0.040	0.162	0	0.447	0.431	2.100	
1981	0.027	0.039	0.042	0.162	0	0.173	0.206	2.100	
1982	0.026	0.039	0.042	0.157	0	0.171	0.232	2.100	
1983	0.027	0.038	0.042	0.157	0	0.171	0.232	2.100	
1984	0.026	0.039	0.041	0.156	0	0.171	0.232	2.100	
1985	0.024	0.037	0.038	0.156	0	0.171	0.234	2.100	
1986	0.023	0.033	0.034	0.156	0	0.171	0.233	2.100	
1987	0.022	0.024	0.024	0.071	0	0.095	0.205	1.370	
1988	0.020	0.021	0.022	0.069	0	0.094	0.163	1.370	
1989	0.019	0.022	0.022	0.069	0	0.094	0.163	1.370	
1990	0.021	0.025	0.025	0.053	0	0.094	0.163	1.370	
1991	0.020	0.022	0.022	0.053	0.024	0.094	0.164	0.850	
1992	0.020	0.021	0.021	0.053	0.024	0.094	0.164	0.850	
1993	0.019	0.021	0.021	0.053	0.024	0.094	0.164	0.700	
1994	0.018	0.020	0.020	0.053	0.024	0.092	0.078	0.480	
1995	0.018	0.020	0.020	0.053	0.024	0.092	0.078	0.480	
1996	0.018	0.019	0.019	0.053	0.024	0.074	0.078	0.480	
1997	0.018	0.019	0.019	0.053	0.024	0.074	0.067	0.480	
1998	0.018	0.019	0.019	0.053	0.024	0.074	0.067	0.480	
1999	0.018	0.019	0.019	0.053	0.024	0.074	0.067	0.480	
2000	0.018	0.019	0.019	0.056	0.024	0.074	0.067	0.480	
2001	0.018	0.019	0.019	0.056	0.024	0.074	0.067	0.480	
2002	0.018	0.019	0.019	0.056	0.024	0.074	0.067	0.480	

Tabla A.3.18 Factores de emisión por tipo de vehículo para Amoniaco.

Tipo de Vehículo	Factores de Emisión para NH ₃ [g/km]	
	Gasolina	Diesel
AP/TAX/CO	0.0598	0.0042
MIC/PICK/V=3	0.0607	0.0042
TRA/AUT/V>3	0.0280	0.0168
MC	0.0070	N/A

A continuación se muestran las tablas con los factores de emisión de PM₁₀, y NH₃ para los vehículos que utilizan GLP y GNC.

Aquí es necesario mencionar que en el caso de los factores de emisión de PM₁₀ para los vehículos a GLP se utilizaron los mismos factores que se tienen para los vehículos a gasolina, debido a que no se cuenta con la información específica para este combustible.

Tabla A.3.19 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para Partículas Menores a 10 Micras.

Año Modelo	Factores de Emisión para PM ₁₀ [g/km]							
	GLP				GNC			
	AP/TAX	PICK	MIC/V=3	TRA/AUT/V>3	AP	PICK	MIC/V=3	V>3
1978y ant.	0.027	0.028	0.151	0.162	0.015	0.015	0.019	0.046
1979	0.027	0.030	0.040	0.162	0.015	0.015	0.019	0.046
1980	0.034	0.030	0.040	0.162	0.015	0.015	0.019	0.046
1981	0.027	0.039	0.042	0.162	0.015	0.015	0.019	0.046
1982	0.026	0.039	0.042	0.157	0.015	0.015	0.019	0.046
1983	0.027	0.038	0.042	0.157	0.015	0.015	0.019	0.046
1984	0.026	0.039	0.041	0.156	0.015	0.015	0.019	0.046
1985	0.024	0.037	0.038	0.156	0.015	0.015	0.019	0.046
1986	0.023	0.033	0.034	0.156	0.015	0.015	0.019	0.046
1987	0.022	0.024	0.024	0.071	0.015	0.015	0.019	0.046
1988	0.020	0.021	0.022	0.069	0.015	0.015	0.019	0.046
1989	0.019	0.022	0.022	0.069	0.015	0.015	0.019	0.046
1990	0.021	0.025	0.025	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1991	0.020	0.022	0.022	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1992	0.020	0.021	0.021	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1993	0.019	0.021	0.021	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1994	0.018	0.020	0.020	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1995	0.018	0.020	0.020	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1996	0.018	0.019	0.019	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1997	0.018	0.019	0.019	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1998	0.018	0.019	0.019	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
1999	0.018	0.019	0.019	0.053	0.015	0.015	0.019	0.046
2000	0.018	0.019	0.019	0.056	0.015	0.015	0.019	0.046
2001	0.018	0.019	0.019	0.056	0.015	0.015	0.019	0.046
2002	0.018	0.019	0.019	0.056	0.015	0.015	0.019	0.046

Tabla A.3.20 Factores de emisión por tipo de vehículo para Amoniaco.

Tipo de Vehículo	Factores de Emisión para NH ₃ [g/km]	
	GLP	GNC
AP/TAX	0.000309	0.000013
MIC/PICK/V=3	0.000309	0.000192
TRA/AUT/V>3	0.000309	0.000192

Investigation of emission rates of ammonia and other toxic and low level compounds, California University, 2001.

A.3.4 Cálculo de emisiones

Con los kilómetros recorridos por los vehículos (KRV) y los factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo, se pueden obtener las emisiones de cada contaminante, de acuerdo a la siguiente ecuación. Las emisiones de todos los contaminantes que se reportan en el presente inventario fueron obtenidas tanto para el Distrito Federal como para el Estado de México, y la suma de las emisiones en estas dos entidades son las emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México.

$$E_{ijk} = (KRV_{ij}) (FE_{ijk}) / (1,000,000)$$

Donde:

E_{ijk} = Emisión del tipo de vehículo i , año modelo j , del contaminante k [ton/año].

KRV_{ij} = Kilómetros recorridos por el tipo de vehículo i , año modelo j [km/año].

FE_{ijk} = Factor de emisión del tipo de vehículo i , año modelo j , del contaminante k [g/km].

1,000,000 = Factor de conversión de gramos a toneladas.

A continuación se muestra un ejemplo para obtener las emisiones de HCT producidas por los autos particulares año modelo 1978 y anteriores, que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma dos del PVVO.

Los datos necesarios para este ejemplo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla A.3.21 Ejemplo de cálculo para obtener las emisiones generadas por un auto particular

Variable	Distrito Federal		Estado de México	
	Valor	Fuente	Valor	Fuente
KRV_{ij} [km/año]	793,634,975	Kilómetros recorridos por los autos particulares año modelo 1978 y anteriores que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma dos del PVVO en el Distrito Federal, lo que significa que es una fracción del valor presentado en la tabla A.3.8 ³	749,345,475	Kilómetros recorridos por los autos particulares año modelo 1978 y anteriores que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma dos del PVVO en el Estado de México, lo que significa que es una fracción del valor presentado en la tabla A.3.9 ³
FE_{ijk} [g/km]	6.255	Corresponde al valor sombreado en la tabla A.3.12	6.255	Corresponde al valor sombreado en la tabla A.3.12

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación, tenemos:

Distrito Federal

$$E_{AUTG\ 1978\ y\ ant.\ HCT} = (793,634,975) (6.255) / (1,000,000) = 4,964\ \text{ton/año}$$

Estado de México

$$E_{AUTG\ 1978\ y\ ant.\ HCT} = (749,345,475) (6.255) / (1,000,000) = 4,687\ \text{ton/año}$$

Zona Metropolitana del Valle de México

$$E_{AUTG\ 1978\ y\ ant.\ HCT} = (4,964) + (4,687) = 9,651\ \text{ton/año}$$

De igual manera se calcularon todos los valores de emisiones de HCT, CO, NO_x, PM₁₀ y NH₃ reportados en el presente Inventario de Emisiones, las cuales se muestran en las tablas siguientes por tipo de vehículo y año modelo. Es importante resaltar que la emisión antes calculada corresponde a una fracción del valor reportado en la tabla A.3.22.

³ Los archivos desagregados de los KRV por holograma del PVVO, por combustible y por tipo de vehículo están bajo resguardo del área responsable del cálculo y quedan a disposición de quien lo solicite.

Tabla A.3.22 Emisiones de HCT por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de HCT [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1978 y ant.	14,300	145	320	373	1,519	3,363	1,961	136	1,907	0	24,024
1979	2,573	32	72	51	349	561	333	65	307	0	4,343
1980	3,479	68	136	69	419	688	475	75	366	0	5,775
1981	4,279	105	255	78	553	870	598	82	463	0	7,283
1982	4,189	168	374	116	599	981	376	64	529	0	7,396
1983	2,184	99	210	40	309	311	132	25	178	0	3,488
1984	2,634	107	274	47	337	548	228	51	204	0	4,430
1985	3,297	183	421	125	475	1,258	339	111	439	0	6,648
1986	3,049	230	451	139	472	874	216	67	347	0	5,845
1987	2,251	176	335	121	402	529	190	35	189	0	4,228
1988	2,520	196	299	220	620	770	236	43	316	0	5,220
1989	3,653	332	527	921	787	1,306	289	63	475	0	8,353
1990	4,658	1,737	646	3,162	797	1,881	262	328	643	0	14,114
1991	4,044	3,390	713	5,879	924	2,759	405	218	902	3,338	22,572
1992	4,337	5,458	1,220	5,887	726	3,133	416	273	841	802	23,093
1993	4,213	1,862	784	624	728	2,650	296	266	406	419	12,248
1994	4,355	1,938	347	158	700	2,171	243	183	255	373	10,723
1995	1,185	749	297	107	421	1,020	137	79	141	365	4,501
1996	897	342	70	47	167	157	43	112	45	131	2,011
1997	1,737	667	64	78	335	376	155	289	95	84	3,880
1998	3,065	984	71	96	506	422	190	90	102	147	5,673
1999	1,425	711	38	137	437	498	208	107	191	189	3,941
2000	1,552	720	86	149	470	465	266	172	144	165	4,189
2001	970	734	10	93	300	289	277	294	98	146	3,211
2002	1,973	208	N/S	41	531	205	217	142	50	N/A	3,367
Total	82,819	21,341	8,020	18,758	13,883	28,085	8,488	3,370	9,633	6,159	200,556

N/S: No significativo.

N/A: No Aplica.

Tabla A.3.23 Emisiones de CO por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de CO [ton/año]										Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	
1978 y ant.	174,625	1,778	3,361	4,043	16,428	35,330	4,654	807	31,134	0	272,160
1979	31,411	395	759	546	3,766	5,874	767	272	4,910	0	48,700
1980	42,467	828	1,427	727	4,515	7,085	1,129	241	5,737	0	64,156
1981	52,229	1,278	2,680	818	5,969	8,911	1,360	279	7,217	0	80,741
1982	51,113	2,053	3,929	1,230	6,459	10,212	879	199	8,555	0	84,629
1983	21,357	964	2,211	420	3,332	3,231	300	119	2,919	0	34,853
1984	25,760	1,044	2,879	488	3,631	5,718	518	131	3,234	0	43,403
1985	32,220	1,786	4,423	1,302	5,122	13,088	796	309	6,813	0	65,859
1986	29,800	2,254	4,739	1,440	5,090	9,280	486	196	5,606	0	58,891
1987	21,981	1,718	3,521	1,154	4,322	5,431	439	115	2,961	0	41,642
1988	21,924	1,704	3,144	2,257	6,698	8,192	534	173	5,217	0	49,843
1989	31,762	2,890	5,537	8,920	8,464	13,795	651	195	8,255	0	80,469
1990	40,379	15,136	6,786	27,212	8,471	19,339	597	953	10,752	0	129,625
1991	35,143	29,648	7,497	52,377	9,785	28,727	913	626	14,664	12,934	192,314
1992	37,702	47,753	12,827	53,800	7,579	32,539	949	768	13,095	1,881	208,893
1993	40,631	15,371	8,239	6,697	7,868	28,560	888	841	5,426	2,275	116,796
1994	41,996	16,000	3,647	1,686	7,547	23,301	777	600	4,044	2,382	101,980
1995	8,244	6,181	3,122	1,147	4,538	10,898	439	256	2,005	2,408	39,238
1996	6,243	2,826	742	503	1,031	3,340	153	402	457	1,075	16,772
1997	12,100	5,506	672	805	2,077	8,227	552	1,029	979	719	32,666
1998	21,338	8,125	750	1,014	3,136	9,295	674	324	1,074	1,302	47,032
1999	8,520	5,873	403	1,356	2,707	10,963	735	384	1,566	1,753	34,260
2000	9,348	5,985	910	1,000	2,905	10,149	932	603	1,536	1,611	34,979
2001	5,665	5,921	101	976	1,805	6,053	959	1,028	877	1,608	24,993
2002	11,134	1,621	2	418	3,112	4,235	749	490	446	N/A	22,207
Total	815,092	184,638	84,308	172,336	136,357	321,773	21,830	11,340	149,479	29,948	1,927,101

N/S: No Significativo.

N/A: No aplica.

Tabla A.3.24 Emisiones de NOx por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de NOx [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1978 y ant.	4,803	49	153	181	1,151	2,603	5,628	306	852	0	15,726
1979	864	11	34	25	265	434	957	165	140	0	2,895
1980	1,169	23	65	34	317	532	1,361	205	193	0	3,899
1981	1,438	35	122	38	419	672	1,720	220	233	0	4,897
1982	1,407	56	179	56	454	757	1,082	175	219	0	4,385
1983	808	36	100	20	234	240	383	62	68	0	1,951
1984	974	39	131	23	255	422	657	145	87	0	2,733
1985	1,219	67	201	62	360	967	976	306	181	0	4,339
1986	1,127	85	215	69	358	674	625	186	137	0	3,476
1987	833	65	160	62	304	406	544	95	81	0	2,550
1988	1,165	90	143	110	470	594	680	111	112	0	3,475
1989	1,689	153	252	469	596	1,007	830	174	213	0	5,383
1990	2,155	803	308	1,665	602	1,447	757	915	318	0	8,970
1991	2,700	2,266	341	3,087	698	2,124	1,169	608	484	56	13,533
1992	2,896	3,650	583	3,075	548	2,406	1,202	763	408	8	15,539
1993	4,119	1,497	374	333	558	2,077	876	778	322	31	10,965
1994	4,259	1,558	166	88	541	1,722	724	542	264	33	9,897
1995	1,698	602	142	57	326	825	408	234	174	36	4,502
1996	1,285	275	34	27	151	258	145	376	79	16	2,646
1997	2,490	536	31	50	300	598	523	973	169	11	5,681
1998	4,391	791	34	58	450	672	643	305	180	20	7,544
1999	1,788	572	18	80	389	791	703	359	308	27	5,035
2000	2,120	630	45	100	433	771	898	582	263	26	5,868
2001	1,604	778	6	53	294	506	562	598	189	27	4,617
2002	3,893	264	N/S	25	555	376	369	241	82	N/A	5,805
Total	52,894	14,931	3,837	9,847	11,028	23,881	24,422	9,424	5,756	291	156,311

N/A: No Aplica

N/S No Significativo

Tabla A.3.25 Emisiones de PM₁₀ por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de PM ₁₀ [ton/año]										Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	
1978 y ant.	62	1	2	6	9	88	659	35	58	0	920
1979	11	N/S	N/S	N/S	2	6	112	19	9	0	159
1980	19	N/S	1	N/S	3	10	160	24	15	0	232
1981	19	N/S	1	N/S	5	8	202	26	17	0	278
1982	17	1	2	1	5	8	127	20	13	0	194
1983	10	N/S	1	N/S	3	2	45	7	4	0	72
1984	12	1	1	N/S	3	4	78	17	5	0	121
1985	14	1	2	1	4	8	116	36	10	0	192
1986	12	1	2	1	4	5	75	22	8	0	130
1987	9	1	1	N/S	2	2	42	7	3	0	67
1988	11	1	1	1	3	3	53	9	3	0	85
1989	15	1	2	2	4	5	65	14	7	0	115
1990	22	8	3	8	4	9	60	72	12	0	198
1991	23	19	3	14	5	11	57	30	14	8	184
1992	24	30	4	13	3	11	59	38	11	1	194
1993	33	19	3	2	4	11	46	41	10	2	171
1994	32	19	1	1	3	8	30	22	7	2	125
1995	21	7	1	N/S	2	4	18	10	5	2	70
1996	15	3	N/S	N/S	2	2	7	17	2	1	49
1997	30	7	N/S	N/S	3	5	23	43	6	1	118
1998	53	10	N/S	N/S	5	5	29	14	6	1	123
1999	48	7	N/S	1	4	6	31	16	10	2	125
2000	61	8	N/S	1	5	6	40	26	9	1	157
2001	47	10	N/S	N/S	4	5	45	47	9	2	169
2002	115	4	N/S	N/S	9	4	36	23	5	N/A	196
Total	735	159	31	52	100	236	2,215	635	258	23	4,444

N/S: No Significativo.

N/A: No Aplica.

Tabla A.3.26 Emisiones de NH₃ por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de NH ₃ [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1978 y ant.	137	1	3	2	21	27	5	N/S	3	0	199
1979	24	N/S	1	N/S	5	4	1	N/S	N/S	0	35
1980	33	1	1	N/S	6	5	1	N/S	1	0	48
1981	41	1	3	N/S	8	7	2	N/S	1	0	63
1982	40	2	4	1	8	8	1	N/S	1	0	65
1983	23	1	2	N/S	4	2	N/S	N/S	N/S	0	32
1984	28	1	3	N/S	5	4	1	N/S	N/S	0	42
1985	35	2	4	1	6	10	1	N/S	1	0	60
1986	32	2	5	1	6	7	1	N/S	1	0	55
1987	24	2	3	1	5	4	N/S	N/S	N/S	0	39
1988	33	3	3	1	8	6	1	N/S	1	0	56
1989	48	4	6	5	11	10	1	N/S	1	0	86
1990	61	23	7	14	11	14	1	1	1	0	133
1991	67	57	8	27	12	21	1	1	2	2	198
1992	72	91	13	28	9	24	1	1	2	N/S	241
1993	102	60	8	4	10	22	1	1	2	1	211
1994	106	63	4	1	10	18	1	1	1	1	206
1995	67	24	3	1	6	8	1	N/S	1	1	112
1996	51	11	1	N/S	5	4	N/S	1	N/S	N/S	73
1997	99	22	1	N/S	11	11	1	2	1	N/S	148
1998	175	32	1	1	16	12	1	N/S	1	1	240
1999	159	23	N/S	1	14	14	1	1	1	1	215
2000	200	27	1	1	17	15	1	1	1	N/S	264
2001	154	34	N/S	1	13	11	1	1	1	N/S	216
2002	383	12	N/S	N/S	28	9	1	1	1	N/A	435
Total	2,194	499	85	91	255	277	27	12	25	7	3,472

N/S: No Significativo.

N/A: No Aplica.

Las emisiones de metano, compuestos orgánicos volátiles y compuestos orgánicos totales se obtienen a partir de su correspondiente porcentaje respecto a las emisiones de hidrocarburos totales. Estos porcentajes fueron estimados con el Mobile5-México y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla A.3.27 Porcentajes de CH₄, COV y COT con respecto a HCT.

Tipo de Vehículo	Gasolina			Diesel		
	% CH ₄	% COV	% COT	% CH ₄	% COV	% COT
AP	5.0	93.6	101.8	3.9	98.8	105.2
TAX	5.0	93.6	101.8	5.0	93.6	101.8
CO	5.0	93.6	101.8	N/A	N/A	N/A
MIC	4.7	93.5	101.5	2.5	98.8	104.9
PICK	5.2	93.4	101.4	2.5	98.8	104.9
V = 3	4.7	93.5	101.5	2.5	98.8	104.9
TRA	7.0	93.9	103.0	4.2	98.8	103.3
AUT	7.0	93.9	103.0	4.2	98.8	103.3
V > 3	7.0	93.9	103.0	4.2	98.8	103.3
MC	5.0	96.5	102.8	N/A	N/A	N/A

Tabla A.3.28 Emisiones de Metano por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de CH ₄ [ton/año]										Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	
1978 y ant.	715	7	16	18	80	156	82	7	130	0	1,211
1979	129	2	4	2	18	26	14	3	21	0	219
1980	174	3	7	3	23	32	20	3	24	0	289
1981	214	5	13	4	30	40	25	4	31	0	366
1982	209	8	19	6	32	46	16	3	36	0	375
1983	109	5	10	2	17	14	6	1	12	0	176
1984	132	5	14	2	18	25	10	2	14	0	222
1985	165	9	21	6	25	59	14	5	30	0	334
1986	152	12	23	7	25	41	9	3	24	0	296
1987	113	9	17	6	21	25	8	2	13	0	214
1988	126	10	15	12	32	36	10	2	22	0	265
1989	183	17	26	57	42	61	12	3	32	0	433
1990	233	87	32	302	42	88	11	14	44	0	853
1991	202	170	36	430	52	129	17	9	61	167	1,273
1992	217	273	61	366	39	147	18	12	56	40	1,229
1993	211	93	39	32	39	126	12	11	28	21	612
1994	218	97	17	8	38	104	10	8	18	19	537
1995	59	37	15	5	23	49	6	3	10	18	225
1996	45	17	3	2	10	9	2	5	3	7	103
1997	87	33	3	4	20	19	6	12	7	4	195
1998	155	49	4	5	29	21	8	4	8	7	290
1999	73	36	2	16	26	25	9	4	52	10	253
2000	79	36	4	58	27	24	11	7	10	8	264
2001	50	37	N/S	5	18	15	12	12	7	7	163
2002	99	10	N/S	2	29	10	9	6	3	N/A	168
Total	4,149	1,067	401	1,360	755	1,327	357	145	696	308	10,565

N/S: No significativo.

N/A: No Aplica.

Tabla A.3.29 Emisiones de COV por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM.

Año Modelo	Emisiones de COV [ton/año]										Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	
1978 y ant.	13,385	136	299	349	1,419	3,151	1,937	133	1,797	0	22,606
1979	2,408	30	68	48	326	525	329	64	289	0	4,087
1980	3,256	63	127	64	391	645	469	74	345	0	5,434
1981	4,006	98	239	73	517	815	591	81	437	0	6,857
1982	3,921	157	350	108	559	919	371	63	498	0	6,946
1983	2,045	92	197	38	288	291	130	25	168	0	3,274
1984	2,466	100	256	44	315	513	225	51	192	0	4,162
1985	3,085	171	394	116	444	1,177	335	109	413	0	6,244
1986	2,853	216	422	130	441	817	214	66	326	0	5,485
1987	2,107	164	313	113	375	495	187	35	178	0	3,967
1988	2,359	183	280	206	579	720	233	42	297	0	4,899
1989	3,419	310	493	861	735	1,222	285	62	447	0	7,834
1990	4,360	1,626	604	2,957	744	1,761	259	324	605	0	13,240
1991	3,785	3,173	668	5,498	863	2,581	400	215	851	3,221	21,255
1992	4,059	5,110	1,142	5,504	679	2,930	412	269	792	775	21,672
1993	3,944	1,743	734	583	680	2,478	292	262	383	405	11,504
1994	4,077	1,814	325	148	654	2,031	240	181	241	360	10,071
1995	1,109	701	278	100	393	955	136	78	134	352	4,236
1996	839	320	66	44	156	147	42	110	43	126	1,893
1997	1,626	624	60	73	313	352	153	285	90	81	3,657
1998	2,869	921	67	90	472	395	188	89	97	142	5,330
1999	1,334	666	36	128	409	467	206	105	182	182	3,715
2000	1,453	674	80	140	439	436	263	170	137	159	3,951
2001	908	687	9	86	281	270	273	291	94	141	3,040
2002	1,846	195	N/S	39	496	192	215	140	48	N/A	3,171
Total	77,519	19,974	7,507	17,540	12,968	26,285	8,385	3,324	9,084	5,944	188,530

N/S: No Significativo.

N/A: No Aplica.

Tabla A.3.30 Emisiones de COT por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de COT [ton/año]										Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	
1978 y ant.	14,558	148	326	379	1,540	3,417	2,026	140	1,965	0	24,499
1979	2,619	33	74	52	353	570	344	67	316	0	4,428
1980	3,542	69	138	70	425	699	490	78	377	0	5,888
1981	4,357	106	260	79	561	884	618	85	477	0	7,427
1982	4,264	171	380	117	607	997	388	66	545	0	7,535
1983	2,224	100	214	41	313	316	136	26	184	0	3,554
1984	2,682	109	279	47	342	556	235	53	210	0	4,513
1985	3,356	186	428	126	482	1,277	351	115	452	0	6,773
1986	3,103	235	459	141	479	887	223	69	357	0	5,953
1987	2,291	179	341	123	407	537	196	36	195	0	4,305
1988	2,565	199	305	223	628	782	244	44	325	0	5,315
1989	3,719	338	536	935	798	1,326	298	65	489	0	8,504
1990	4,741	1,768	657	3,210	808	1,911	271	339	662	0	14,367
1991	4,117	3,451	726	5,968	937	2,801	418	225	930	3,431	23,004
1992	4,415	5,557	1,242	5,976	736	3,181	430	282	866	825	23,510
1993	4,289	1,895	798	633	738	2,690	306	275	418	431	12,473
1994	4,434	1,973	353	161	710	2,205	251	189	262	383	10,921
1995	1,206	762	302	108	427	1,036	142	82	146	375	4,586
1996	913	348	72	48	170	160	44	115	47	135	2,052
1997	1,769	679	65	79	340	382	160	298	98	87	3,957
1998	3,120	1,002	73	98	513	429	197	94	105	151	5,782
1999	1,451	724	39	139	444	506	215	110	198	194	4,020
2000	1,580	733	88	152	476	472	275	178	148	169	4,271
2001	987	747	10	94	305	293	286	304	102	150	3,278
2002	2,008	212	N/S	42	539	208	224	147	52	N/A	3,432
Total	84,310	21,724	8,165	19,041	14,078	28,522	8,768	3,482	9,926	6,331	204,347

N/S: No Significativo.

N/A: No Aplica.

Así como algunos de los hidrocarburos (COV, CH₄, etc) son un porcentaje de los hidrocarburos totales; también las Partículas Menores a 2.5 micras son una porción de las menores a 10 micras, pero en este caso los porcentajes fueron obtenidos con ayuda del Mobile6-México. En la siguiente tabla se muestran estos porcentajes.

Tabla A.3.31 Porcentaje de emisiones vehiculares de PM_{2.5} con respecto a la emisión de PM₁₀

Tipo de Vehículo	[%]		
	Gasolina	Diesel	GLP
AP/TAX/CO	57.41	89.02	57.41
PICK	59.29	95.33	59.29
MIC/V=3	62.04	95.33	62.04
TRA/AUT/V>3	72.32	87.86	72.32
MC	57.36	N/A	N/A

Tabla A.3.32 Emisiones de PM_{2.5} por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de PM _{2.5} [ton/año]										Total
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V = 3	TRA	AUT	V > 3	MC	
1978 y ant.	37	N/S	1	4	6	62	579	31	48	0	768
1979	6	N/S	N/S	N/S	1	5	98	17	8	0	135
1980	11	N/S	N/S	N/S	2	8	140	21	12	0	194
1981	11	N/S	1	N/S	3	6	178	23	14	0	236
1982	10	N/S	1	1	3	6	112	18	11	0	162
1983	6	N/S	1	N/S	2	2	40	6	3	0	60
1984	7	N/S	1	N/S	2	3	69	15	4	0	101
1985	8	N/S	1	1	2	5	102	32	8	0	159
1986	7	1	1	1	2	3	65	19	6	0	105
1987	5	N/S	1	N/S	1	2	37	6	2	0	54
1988	6	1	1	1	2	2	47	7	3	0	70
1989	9	1	1	1	2	4	57	12	6	0	93
1990	12	5	1	5	3	7	52	63	10	0	158
1991	13	11	1	9	3	8	50	26	12	5	138
1992	14	17	2	8	2	7	52	33	9	1	145
1993	19	11	1	1	2	8	41	36	9	1	129
1994	18	11	1	N/S	2	5	26	19	6	1	89
1995	12	4	1	N/S	1	3	16	9	4	N/S	50
1996	9	2	N/S	N/S	1	1	6	15	2	1	37
1997	17	4	N/S	N/S	2	3	20	38	5	N/S	89
1998	31	6	N/S	N/S	3	3	25	12	5	1	86
1999	28	4	N/S	N/S	3	4	27	14	8	1	89
2000	35	5	N/S	1	3	4	35	23	7	1	114
2001	27	6	N/S	N/S	2	4	39	40	7	1	126
2002	66	2	N/S	N/S	5	3	31	20	4	N/A	131
Total	424	91	17	33	60	168	1,944	555	213	13	3,518

N/S: No Significativo.

N/A: No Aplica.

Emisiones de SO₂.

Las emisiones de Bióxido de Azufre (SO₂) se calcularon mediante un balance de masa, tomando en cuenta el consumo total de combustibles y el contenido de azufre de cada combustible.

Tabla A.3.33 Consumo y propiedades de combustibles en la ZMVM.

Tipo de Combustible	Consumo [m ³]		Contenido de Azufre [%w]	Densidad [ton/m ³]
	D.F.	EDOMEX		
PEMEX Magna	3,435,944	2,184,604	0.045 ¹	0.730 ¹
PEMEX Premium	574,173	269,260	0.040 ¹	0.734 ¹
PEMEX Diesel	625,073	537,881	0.046 ¹	0.830 ¹
Gas LP	185,548	90,452	0.014 ²	0.540 ⁴
Gas Natural	13,202,113	6,435,887	0.0001195 ³	0.554 ⁵

1 PEMEX Refinación, Oficio TADA-1447/03-H02. 2 Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994; tabla 12, Gaceta Ecológica, mayo de 1995. 3 Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994; tabla 11, Gaceta Ecológica, mayo de 1995. 4 PEMEX Gas y Petroquímica Básica, hoja de datos de seguridad para sustancias químicas "Gas Licuado de Petróleo". 5 PEMEX Gas y Petroquímica Básica, hoja de datos de seguridad para sustancias químicas "Gas Natural".

A diferencia de los inventarios anteriores, en este inventario no se ha considerado que el azufre contenido en los combustibles se convierta en su totalidad en Bióxido de Azufre. Esto es debido a que los factores de emisión para PM₁₀ contienen una porción de azufre como SO₄. Por lo tanto, el azufre que se convierte en SO₂ es el restante de la diferencia entre el azufre contenido en los combustibles y el que está presente como sulfato en las PM₁₀.

Tabla A.3.34 Emisiones de SO₂ por entidad y tipo de combustible.

Tipo de Combustible	Emisiones [ton/año]	
	D.F.	EDOMEX
Gasolina	2,482	1,527
Diesel	456	404
GLP	25	10
GNC	17	8
Total	2,980	1,949

La distribución de las emisiones por tipo de vehículo se realizó en base al porcentaje de vehículos por tipo de combustible y a la fracción de kilómetros que recorre cada categoría.

Tabla A.3.35 Emisiones de SO₂ por tipo de vehículo y combustible para el Distrito Federal.

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos Particulares	1,466	1	2	2	1,471
Taxis	483	N/A	N/A	N/A	483
Combis	18	N/A	N/A	N/A	18
Microbuses	62	1	14	13	90
Pick Up	126	N/S	1	N/S	127
Vehículos = 3Ton	256	35	6	N/S	297
Tractocamiones	N/S	269	N/S	N/A	269
Autobuses	N/S	134	N/S	N/A	134
Vehículos > 3Ton	16	16	2	2	36
Motocicletas	55	N/A	N/A	N/A	55
Total	2,482	456	25	17	2,980

N/S: No Significativo.

N/A: No Aplica.

Tabla A.3.36 Emisiones de SO₂ por tipo de vehículo y combustible para el Estado de México.

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos Particulares	1,072	2	3	1	1,078
Taxis	59	N/A	N/S	N/A	59
Combis	90	N/A	N/A	N/A	90
Microbuses	42	5	1	1	49
Pick Up	175	1	1	6	183
Vehículos = 3Ton	39	96	2	N/S	137
Tractocamiones	N/S	188	N/S	N/A	188
Autobuses	N/S	65	N/S	N/A	65
Vehículos > 3Ton	42	47	3	N/S	92
Motocicletas	8	N/A	N/A	N/A	8
Total	1,527	404	10	8	1,949

N/S: No Significativo.

N/A: No Aplica.

Finalmente, las emisiones de todos los contaminantes considerados en este inventario por tipo de vehículo en la Zona Metropolitana del Valle de México y las dos entidades que la conforman, se reportan en las siguientes tablas.

Tabla A.3.37 Emisiones por las fuentes móviles para el Distrito Federal en el año 2002

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Autos Particulares	445	257	1,471	382,196	30,563	41,535	2,047	38,190	1,378
Taxis	143	82	483	156,458	13,436	18,711	919	17,204	454
Combis	6	3	18	16,850	768	1,632	80	1,501	17
Microbuses	32	21	90	115,126	7,194	13,622	1,095	12,548	59
Pick Up	43	26	127	50,709	4,511	5,587	287	5,147	120
Vehículos = 3Ton	161	106	297	283,161	20,745	24,672	1,151	22,731	246
Tractocamiones	1,718	1,508	269	16,686	18,937	6,783	276	6,488	21
Autobuses	535	468	134	8,275	7,816	2,837	116	2,712	10
Vehículos > 3Ton	83	69	36	38,581	2,128	2,809	224	2,575	8
Motocicletas	21	12	55	26,253	269	5,426	264	5,094	6
Total	3,187	2,552	2,980	1,094,295	106,367	123,614	6,459	114,190	2,319

Tabla A.3.38 Emisiones por las fuentes móviles para el Estado de México en el año 2002

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Autos Particulares	290	167	1,078	432,896	22,331	42,775	2,102	39,329	816
Taxis	16	9	59	28,180	1,495	3,013	148	2,770	45
Combis	25	14	90	67,458	3,069	6,533	321	6,006	68
Microbuses	20	12	49	57,210	2,653	5,419	265	4,992	32
Pick Up	57	34	183	85,648	6,517	8,491	468	7,821	135
Vehículos = 3Ton	75	62	137	38,612	3,136	3,850	176	3,554	31
Tractocamiones	497	436	188	5,144	5,485	1,985	81	1,897	6
Autobuses	100	87	65	3,065	1,608	645	29	612	2
Vehículos > 3Ton	175	144	92	110,898	3,628	7,117	472	6,509	17
Motocicletas	2	1	8	3,695	22	905	44	850	1
Total	1,257	966	1,949	832,806	49,944	80,733	4,106	74,340	1,153

Tabla A.3.39 Emisiones por las fuentes móviles para la ZMVM en el año 2002

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO ₂	CO	NO _x	COT	CH ₄	COV	NH ₃
Autos Particulares	735	424	2,549	815,092	52,894	84,310	4,149	77,519	2,194
Taxis	159	91	542	184,638	14,931	21,724	1,067	19,974	499
Combis	31	17	108	84,308	3,837	8,165	401	7,507	85
Microbuses	52	33	139	172,336	9,847	19,041	1,360	17,540	91
Pick Up	100	60	310	136,357	11,028	14,078	755	12,968	255
Vehículos = 3Ton	236	168	434	321,773	23,881	28,522	1,327	26,285	277
Tractocamiones	2,215	1,944	457	21,830	24,422	8,768	357	8,385	27
Autobuses	635	555	199	11,340	9,424	3,482	145	3,324	12
Vehículos > 3Ton	258	213	128	149,479	5,756	9,926	696	9,084	25
Motocicletas	23	13	63	29,948	291	6,331	308	5,944	7
Total	4,444	3,518	4,929	1,927,101	156,311	204,347	10,565	188,530	3,472

A.4 FUENTES NATURALES

A.4.1 Emisiones biogénicas

Las emisiones de COV generados por la vegetación y los NOx provenientes del suelo, se estimaron con el GloBEIS por sus siglas en inglés (Global Biosphere Emissions and Interaction System), versión 3.0; básicamente es una actualización del BEIS2.3 y del PCBEIS2.2, se utiliza en computadoras personales y se opera con Microsoft Access. El GloBEIS fue desarrollado por el Dr. Alex Guenther del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas para la Comisión de Conservación de Recursos Naturales de Texas (TNRCC) (Yarwood et al., 2002 en ERG, 2002). El GloBEIS refleja las ecuaciones y estudios más recientes para calcular emisiones, permite ingresar datos directamente por el usuario y cambiar las entradas del modelo, así como generar emisiones para múltiples pares de coordenadas (latitud/longitud) de varios días.

Las información necesaria para la estimación de emisiones es: el uso de suelo, la meteorología y los factores de emisión.

Meteorología

De acuerdo al estudio denominado, “Cálculos y mediciones de hidrocarburos naturales en el Valle de México”¹, la Zona Metropolitana del Valle de México presenta tres temporadas climatológicas:

1. Seca-fría: Noviembre -Febrero
2. Seca-cálida: Marzo -Mayo
3. Lluvias: Junio -Octubre

Se seleccionó un día representativo de cada una de ellas, los cuales fueron: 15 de febrero, el 2 de abril y el 17 de agosto, respectivamente (para la selección de los días se puede consultar el manual de usuario del PCBEIS).

La meteorología necesaria para cada uno de los días seleccionados, consiste en datos horarios de temperatura [°K] y de PAR, el PAR es la energía del espectro visible que utilizan las plantas para realizar su fotosíntesis y se encuentra en un rango de longitud de onda entre 400 y 700 nanómetros, así entonces, los datos de temperatura y PAR, constituyen el escenario horario para el día a modelar, (ver figura siguiente). La información meteorológica fue proporcionada por la Subdirección de Meteorología de la SMA-GDF, los datos de temperatura provienen de las mediciones de la RAMA² y se utilizó la temperatura de la estación que quedaba incluida en cada delegación o municipio, cuando no se contó con

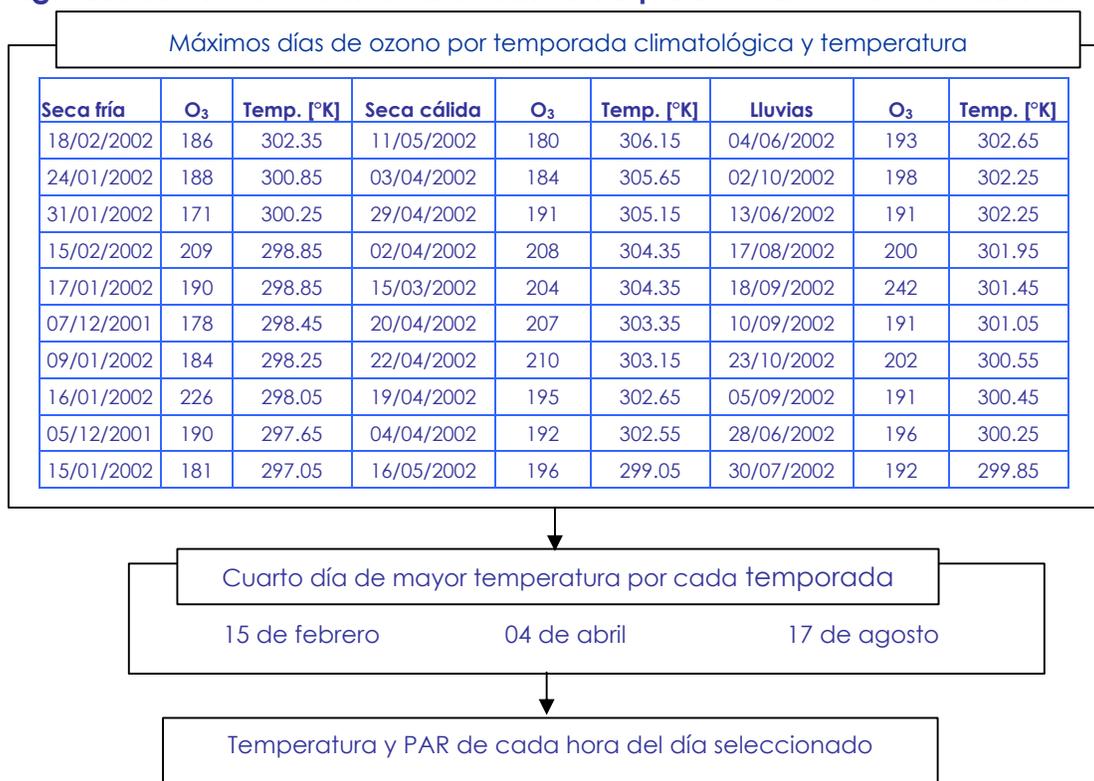
¹ Ruíz Suárez, et al, 1994.

² Red Automática de Monitoreo Atmosférico SMA-GDF

estación meteorológica dentro de la delegación, se tomaron los datos de la más cercana. Debido a que el GloBEIS cuenta con un módulo para el cálculo de antecedentes de temperatura del día a modelar, éste se utilizó para la obtención de dichos datos y son almacenados directamente dentro del GloBEIS.

Los datos horarios del PAR fueron estimados con el modelo meteorológico MM5 (Mesoscale Model 5 Version 3.6), a través de su variable SWDOWN (Watts/m²), esta radiación de onda corta es atenuada por la cobertura de nubes en el modelo y debe ser multiplicada por un factor de conversión que representa la fracción de luz visible. El factor de conversión varía estacionalmente así como con el área geográfica, sin embargo el factor que mejor aproxima el PAR, es el de 0.45 (Pinker, 1995 en Kirk Baker, 2001). La utilización de la variable SWDOWN del MM5, es uno de los métodos recomendados para la obtención del PAR (Kirk Baker, 2001), ya que es una buena representación de los picos diarios y de la atenuación por las nubes.

Figura A. A.4.1 Selección de días a modelar para el cálculo de las emisiones



Área geográfica y uso de suelo

El uso de suelo para el inventario de emisiones biogénicas del 2002, se basó en el Inventario Nacional Forestal 2000 (SEMARNAT, 2000), para el caso del Distrito Federal, fue actualizado con base en los asentamientos humanos irregulares (SMA-GDF, 2000) y con el Inventario de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal (CORENADER, 2003³), la información sobre cultivos agrícolas por delegación y por modalidad

³ Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural

Factores de Emisión

En el cálculo de las emisiones, se tomaron los factores de emisión del GloBEIS y con base en ellos se clasificaron las especies vegetales del área de estudio. En caso de no existir factor de emisión para la especie vegetal, la asignación se realiza con respecto a la familia taxonómica de la que procede cada planta y se asocia a un factor de emisión del GloBEIS que corresponda a la misma familia, dado que no se cuenta con más factores de emisión.

Los cultivos y o especies vegetales que no pudieron ser clasificados siguiendo este método, se colocaron en la clase de *misceláneos*. Los factores de emisión por contaminante se pueden consultar en la tabla VegCode del GloBEIS.

Figura A.A.4.3 Tabla de factores de emisión del GloBEIS

vegib2	Name	iso	tmt	ovc	LAI	LMD
Abie	Abies (fir)	170	5100	2775	7	1500
Acac	Acacia	79.3	2380	1295	5	700
Acebar	Acer barbatum	42.5	680	693.7	5	350
Acebig	Acer nigrum	42.5	680	693.7	5	350
Acepen	Acer pensylvanicu	42.5	680	693.7	5	350
Acer	Acer (maple)	42.5	680	693.7	5	350
Aesc	Aesculus (buckeye)	42.5	42.5	693.7	5	375
Aessp	Aesculus (buckeye)	42.5	42.5	693.7	5	375
Aila	Ailanthus	42.5	42.5	693.7	5	375
Alefor	Aleurnites fordii	42.5	42.5	693.7	5	375
Aleu	Aleurnites (tung-oil)	42.5	42.5	693.7	5	375
Alfa	Alfalfa	19	7.6	11.4	4	3250
Alfalfa	Alfalfa	19	7.6	11.4	4	3250
Alnu	Alnus (European e	42.5	42.5	693.7	5	375
Arnearb	Amelanchier arbor	42.5	42.5	693.7	5	375
Arnel	Amelanchier (serv	42.5	42.5	693.7	5	375
Asim	Asimina (pawpaw)	42.5	42.5	693.7	5	375
Asitri	Asimina triloba	42.5	42.5	693.7	5	375
Avic	Avicennia (black n	42.5	42.5	693.7	5	375
Barl	Barley	7.6	19	11.4	4	1290
Barley	Barley	7.6	19	11.4	4	1290
Barr	Barren	0	0	0	0.001	0.1

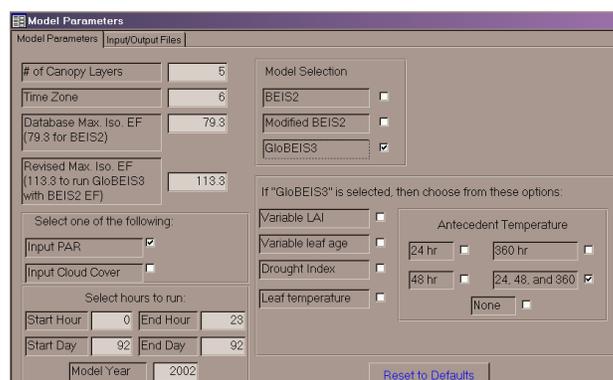
Debido a que el factor de emisión de las zonas urbanas considera cierto porcentaje de pasto y bosques (20% cada uno), se hicieron algunas adecuaciones para redistribuir esta categoría (Yarwood, *et al.*, 1999):

- Se obtuvo la superficie de pasto (20% del área urbana) y se asignó a la categoría *Gras* del GloBEIS.
- En el caso de los árboles, se estimó la fracción que ocupa cada especie de árbol en el uso forestal, esta fracción se aplicó al uso forestal del área urbana y se obtuvo la respectiva superficie por tipo de árbol, asumiendo que tienen la misma proporción.
- El área de cada tipo de árbol en el uso urbano obtenida en el punto anterior, se agregó a su respectiva especie en el uso forestal.
- En los casos donde no se tenía uso forestal, el respectivo 20% de árboles de la zona urbana se agregó a la categoría de "otros" (*Othe* en el GloBEIS).
- Una vez realizadas las actividades anteriores, el uso urbano queda reducido aproximadamente al 60% de la superficie original, cabe mencionar que el uso de suelo no se cambia, simplemente se distribuyen las superficies en las categorías del GloBEIS.
- Ya que para el Distrito Federal se contó con el inventario de áreas verdes urbanas, el uso urbano simplemente se redistribuyó tomando como base las cifras reportadas para pasto y árboles en dicho documento.

Proceso de cálculo

El GloBEIS debe ser abierto en Access y presenta la pantalla de los parámetros del modelo, en la cual se asigna el día y año a modelar, la hora de inicio y fin, el tipo de modelo a utilizar, cobertura de PAR, entre los principales (ver figura siguiente).

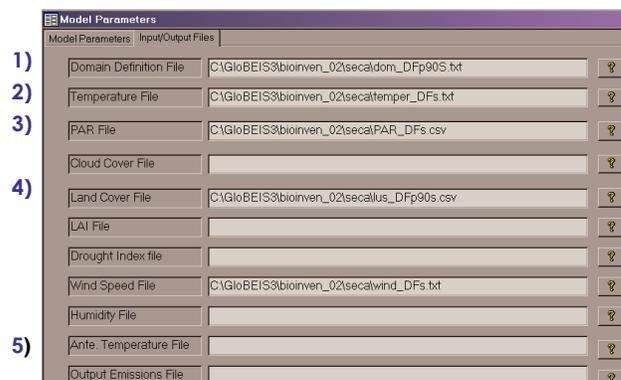
Figura A.A.4.4 Pantalla de parámetros del GloBEIS



Los archivos de entrada para el cálculo de emisiones deben ser especificados en la sección *Input/Output Files*; en este caso, se generaron los cinco archivos básicos del GloBEIS:

- 1) definición del dominio,
- 2) temperatura,
- 3) PAR,
- 4) uso de suelo,
- 5) antecedentes de temperatura (esta información se generó con la sección "Antecedent Temperature" del módulo "Utilities").

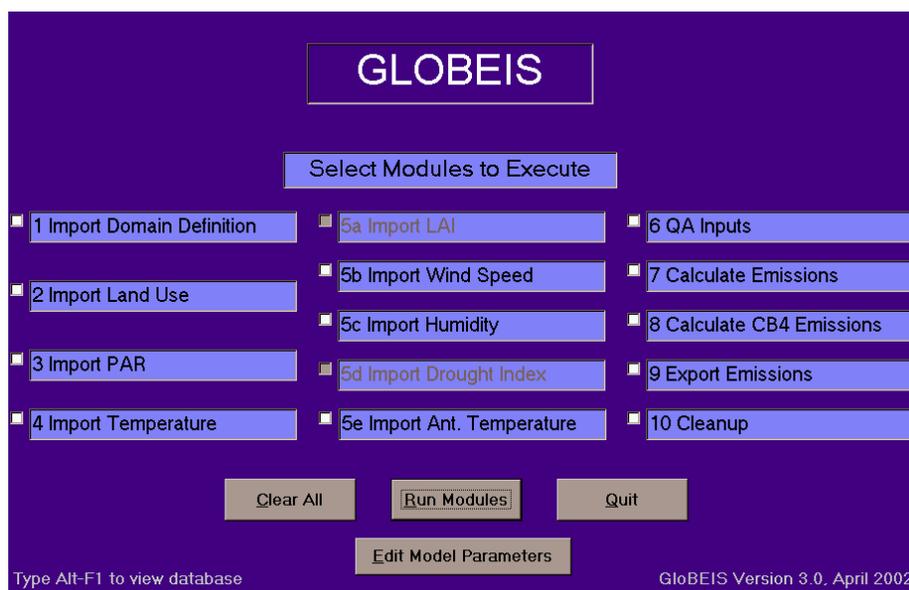
Figura A.A.4.5 Archivos de entrada del GloBEIS



Una vez definida la ruta de los archivos, se procede a correr los módulos del modelo (ver figura siguiente), para asegurar que los datos son consistentes, es recomendable correr el Módulo 6, con lo cual se asegura que las tablas de datos de uso de suelo y

meteorología estén congruentes, en caso de encontrar errores, el sistema los reportará. Para la extracción de las emisiones, el GloBEIS cuenta con un sistema de consulta por celda del dominio (en este caso, delegación o municipio) y horario, así mismo, dichos valores pueden ser exportados a una hoja de cálculo.

Figura A.A.4.6 Módulos de ejecución del GloBEIS



A.4.2 Erosión eólica del suelo.

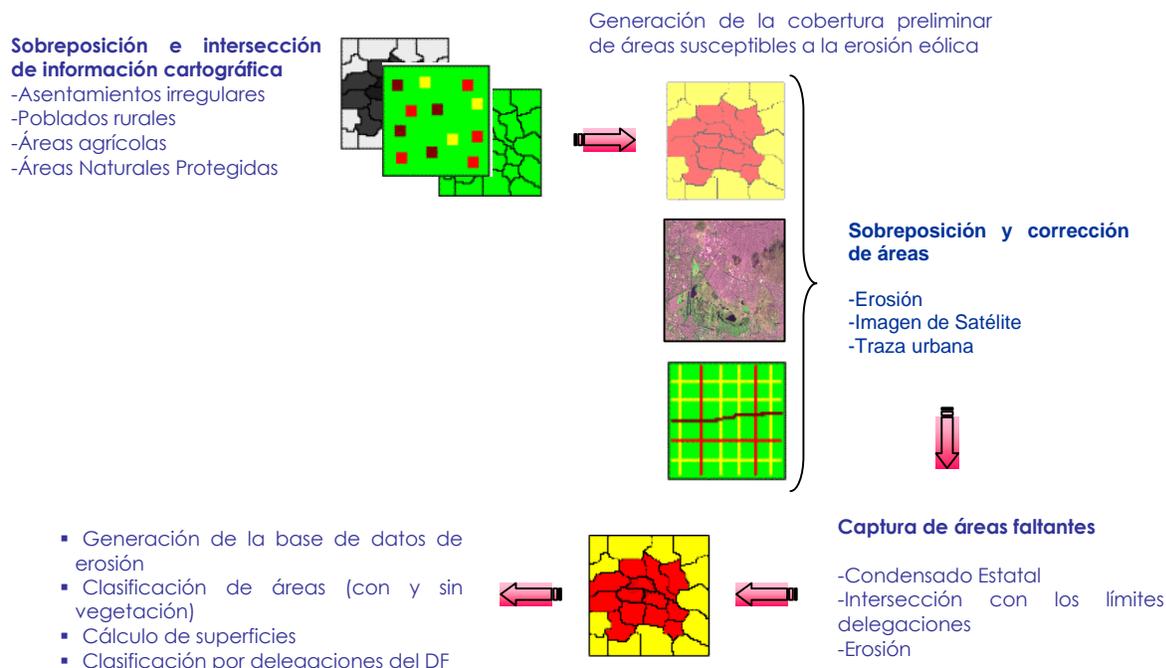
El cálculo de estas emisiones, se realizó por medio del sistema de información geográfica (ArcView), generándose una cobertura digital de las zonas susceptibles a la erosión eólica, donde se cruzaron las áreas agrícolas de temporal y de cultivos permanentes del Inventario Nacional Forestal 2000, en este ejercicio se asumió que las áreas agrícolas de temporal permanecen sin cubierta vegetal la mayor parte del año y son fácilmente susceptibles a la erosión eólica, las áreas de cultivos permanentes se consideraron como suelos con cubierta vegetal, ya que todo el año presentan algún tipo de vegetación, así mismo se tomaron en cuenta los pastizales, matorrales y la vegetación halófila del área de estudio (Figura A.4.7).

Para el caso del Distrito Federal, se agregaron las áreas naturales protegidas, superficies consideradas con suelo con cubierta vegetal, se contabilizaron los asentamientos irregulares y poblados considerados rurales, asumiendo que dichas áreas permanecen sin vegetación.

Finalmente se llevó a cabo la sobreposición de la cobertura preliminar de erosión, con una imagen de satélite LANDSAT TM, de 5 bandas del año 2000, con resolución de 30 m, la cual fue proporcionada por SEMARNAT y la traza urbana de la SETRAVI 2000, lo anterior con la finalidad de realizar correcciones a las áreas de erosión, así

mismo, se agregaron algunos parques urbanos de importancia, tomados de la carta "Condensado Estatal" (INEGI, 2000, escala 1:80,000) del Distrito Federal.

Figura A.4.7 Procedimiento de elaboración de la cobertura: "zonas susceptibles de erosión eólica"

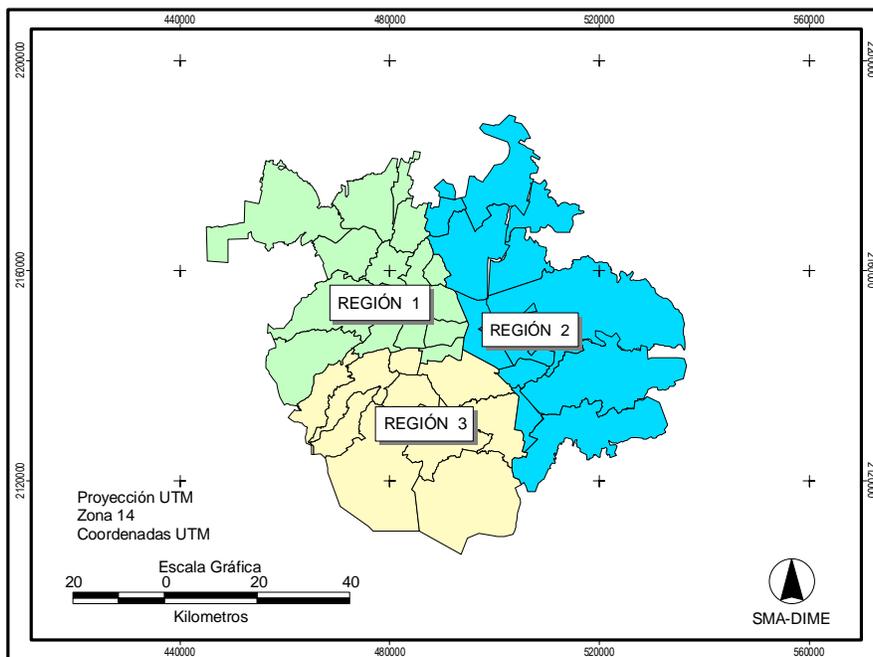


La cobertura digital de zonas susceptibles a la erosión eólica, fue dividida en tres regiones, esto con la finalidad de obtener condiciones meteorológicas específicas para cada una de ellas. Las delegaciones y municipios considerados en cada región se muestran en la tabla y mapa siguientes:

Tabla A.4.2 Regiones para el cálculo de emisiones por erosión

Región 1	Región 2	Región 3
• Atizapán de Zaragoza	• Acolman	• Álvaro Obregón
• Azcapotzalco	• Atenco	• Cuajimalpa de Morelos
• Cuautitlán	• Coacalco de Berriozabal	• Iztapalapa
• Cuautitlán Izcalli	• Chalco	• La Magdalena Contreras
• Gustavo A. Madero	• Chicoloapan	• Milpa Alta
• Huixquilucan	• Chimalhuacán	• Tláhuac
• Miguel Hidalgo	• Ecatepec	• Tlalpan
• Naucalpan de Juárez	• Ixtapaluca	• Xochimilco
• Nicolás Romero	• La Paz	
• Tlalnepantla de Baz	• Nezahualcóyotl	
• Tultitlán	• Tecamac	
• Venustiano Carranza	• Texcoco	
	• Valle de Chalco	

Mapa A.4.1 Regiones de erosión eólica



Una vez realizado lo anterior se obtienen las áreas susceptibles de erosión por entidad, las cuales se muestran en la tabla siguiente:

Tabla A.4.3 Emisiones generadas por erosión eólica ZMVM, 2002

Delegación	Superficie susceptible [ha]
Distrito Federal	48,938
Estado de México	144,671
ZMVM	193,609

El cálculo de las emisiones de PM₁₀ generadas por la erosión, fueron realizadas con base en el Programa de Inventario de Emisiones para México que contempla una versión modificada de la ecuación erosionabilidad del suelo, desarrollada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) (EPA, 1997 en Radian International, 1997). En lo que se refiere a las PM_{2.5}, se estimaron con base en el perfil de especiación de material particulado propuesto por CEIDARS⁵, donde se considera que las PM_{2.5} representan aproximadamente el 11% de las partículas totales (PST).

Ecuación modificada de Erosionabilidad del Suelo:

$$E = (FS) I C K L' V'$$

⁵ California Emission Inventory And Reporting System (CEIDARS)

Donde:

E = Factor de emisión de partículas suspendidas en (ton/acre/año)

FS = Fracción de las pérdidas totales por erosión del viento medidas como partículas suspendidas, este dato es adimensional.

I = Erosionabilidad del suelo (ton/acre/año)

C = Factor climático, adimensional.

K = Factor de rugosidad del suelo, adimensional.

L' = Factor de amplitud del campo sin protección, adimensional.

V' = Factor de cobertura vegetal, adimensional.

Para el factor FS , se tomó el 2.5% considerado que éste es para las regiones agrícolas y 3.8% para caminos sin pavimentar y otras áreas, así mismo, de la cantidad de pérdida de suelo que se suspende aproximadamente el 50% son PM_{10} .

Los suelos dominantes en la ZMVM son: Litosol, Andosol, Regosol, Vertisol, Feozem y Solonchac, dichos tipos de suelo presentan en general una textura de media a gruesa, en su mayor proporción arena (50 % aproximadamente) y en menor cantidad limo y arcilla. Debido a que en el Valle de México existen diferentes tipos de suelo, para la obtención del factor I de erosionabilidad del suelo, se consideraron los más predominantes, Esto se realizó con base en los tipos de suelo que menciona la CORENADER⁶, así como el estudio "Bases para el Manejo Ambiental de la Zona Oriente del Valle de México"⁷. Con base en los factores de erosionabilidad del suelo para este tipo de suelo el valor del factor I es de 56 toneladas/acre/año.

El factor climático C , se calculó con la siguiente ecuación tomando en cuenta la velocidad del viento y de la humedad del suelo, es importante resaltar que la tasa de movimiento del suelo, varía directamente con la velocidad del viento e inversamente con la humedad de la superficie:

$$C = \frac{(0.345) V^3}{[115 \sum_1^{12} (Pm_i / Tm_i - 10)^{10/9}]^2}$$

Donde

V = velocidad promedio del viento, corregido a 10 metros, en millas por hora.

Pm = precipitación mensual, en pulgadas

Tm = temperatura promedio mensual, en grados Fahrenheit.

Los datos de temperatura y viento por región, fueron tomados de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y los valores de precipitación fueron proporcionados por la Dirección General Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH). Para la Región 1 se utilizó la estación de Tlalnepantla, para la Región 2 la

⁶ Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural

⁷ GDF-Universidad de Chapingo 2000.

de Xalostoc y para la Región 3 se tomó el promedio de Pedregal y Cerro de la Estrella; en lo que se refiere a la precipitación, se trabajó la base de datos del año 2002, obteniéndose un promedio de las estaciones por región.

El factor de rugosidad del suelo (K), está dado por la reducción en la erosión eólica a causa de la presencia de cerros, lomas, canales, surcos, entre los principales. Cuando la presencia de estos factores es mínima, se estima un valor de rugosidad de 1, para el caso de las áreas agrícolas y debido a que el cultivo predominante en la zona es el maíz, se utilizó un valor de 0.6.

El factor de amplitud de campo sin protección (L') se fundamenta en el producto de los factores de erosionabilidad (I) y rugosidad (K). Con base en la tabla de valores respectiva (USEPA, 1997) se determina la amplitud de campo (L), tomando como referencia las curvas de efecto de la longitud de campo sobre la tasa de emisión relativa. Se tomó un valor de 0.76 para las áreas de cultivos y de 0.32 para áreas con un uso diferente al agrícola (USEPA, 1997; Nívar y Treviño 1997⁸).

El factor V' es la fracción anual de pérdida de suelo debida a que el campo tiene una cubierta vegetal, en el presente cálculo se hicieron dos suposiciones, considerando $V' = 1$ cuando el suelo no tiene cobertura vegetal y $V' = 0.5$ si existe cobertura vegetal.

Con base en lo anterior, en la siguiente se muestran los valores de las variables utilizadas para el cálculo de las emisiones de PM_{10} por región:

Tabla A.A.4.4 Valores del cálculo de emisión de partículas por la erosión eólica del suelo por región

Parámetro		Región		
		1	2	3
Fracción de partículas suspendidas 2.5% (agrícola)	FS	2.5%	2.5%	2.5%
Fracción de partículas suspendidas 3.8% (otros)	FS	3.8%	3.8%	3.8%
Erosionabilidad (ton/acre/año)	I	56	56	56
Factor climático	C	0.0265	0.0189	0.0024
Factor de rugosidad (agrícola)	K	0.6	0.6	0.6
Factor de rugosidad (otros)	K	1	1	1
Factor amplitud del campo sin protección (agrícola)	L'	0.76	0.76	.76
Factor amplitud del campo sin protección (otros)	L'	0.32	0.32	0.32
Factor de cobertura vegetal (sin veg.)	$V'S$	1	1	1
Factor de cobertura vegetal (con veg.)	$V'C$	0.5	0.5	0.5
Velocidad de viento (millas/hora)	V	4.62	4.04	2.36

Nota: 1 ha = 2.5 acres

⁸ Navar y Treviño, 1997. Estimación del Tonelaje de partículas de Suelo que Potencialmente Contribuye a la Contaminación del Aire en el Área de Monterrey, México.