GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL
México, la Ciudad de la Esperanza

Secretaría del Medio Ambiente

Inventario de Emisiones



Zona Metropolitana del Valle de México

2004

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS 1
PRESENTACIÓN 7
1 INTRODUCCIÓN 11
2 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO 15
2.1 Aspectos físicos 17
2.2 Aspectos Socioeconómicos 25
2.3 Consumo energético 29
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 48
3.5 Emisiones por entidad federativa 52
4 EMISIONES POR TIPO DE FUENTE 65
4.1 Fuentes puntuales 67
4.2 Fuentes de área 85
4.3 Fuentes móviles 97
4.4 Fuentes naturales 113
4.5 Gases de efecto invernadero 123
5 REDUCCIÓN DE EMISIONES 127
5.1 Emisiones de la ZMVM por contaminante 1994-2004 131
5.2 Reducción de emisiones 132
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 137
6.1 Conclusiones 139
6.2 Recomendaciones 141
7 BIBLIOGRAFÍA 143
ANEXO A. MEMORIAS DE CÁLCULO A-1
A.1 Fuentes puntuales A-3
A.2 Fuentes de área A-25
A.3 Fuentes móviles A-63
A.4 Fuentes naturales A-97
ANEXO B. GLOSARIO B-1

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 del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México - Departamento de Diagnóstico Ambiental.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal - Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural.
- 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 Aeropuertario 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:

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

Armenta Martínez Ma. Magdalena
Calapíz Hernández Rodrigo
Camacho Rodríguez Patricia
Enciso Ibarra Juan Carlos
Flores Román Miguel Ángel
Hernández Ortega Francisco
Hernández Ramírez Freddy
Jiménez Olivero Rogelio
Mendoza Pelcastre Ma. del Carmen
Parra Romero David
Rodríguez Granados Fabiola
Sagú González José Luis

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 Secretaria 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 investigadores[1], 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 y 2002, se presentan las emisiones en forma horaria y espaciada para 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, mejoras al cálculo de las emisiones de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ generadas por el tránsito vehicular sobre los caminos pavimentados y no pavimentados, a demás de que a diferencia de los demás inventarios se aumentó la resolución espacial de las emisiones en una rejilla de 1Km por 1Km.

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 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.

[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.

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 2004 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

El problema de la contaminación atmosférica de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), aunque es agravado por una serie de características fisiográficas y climáticas propias de la zona, esta depende principalmente de las emisiones contaminantes que se liberan en ella. Por tal motivo las autoridades ambientales para enfrentar el problema y dar respuesta a los altos niveles de contaminación que se presentan en algunos días del año, y muy en particular en la temporada invernal, además de que en forma permanente y continua se miden las concentraciones de los contaminantes atmosféricos para conocer la calidad del aire e informar a la población, han desarrollado inventarios de emisiones para conocer el origen de la contaminación e implementar medidas de mitigación.

Para tener una respuesta más clara de las causas que ocasionan los incrementos en los niveles de contaminación del aire, es necesario la actualización y validación periódica 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.

El desarrollo de los inventario de emisiones en la ZMVM, se remontan al año de 1972, con la creación de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, pero aun cuando se sabe que desde esta fecha, se han realizado varios inventarios, pocos están publicados oficialmente.

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)[1].

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 aire, plasmadas en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (ProAire)[2].

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 información[3]. Aunque se actualizó el inventario para el año de 1996, el cual fue publicado oficialmente, 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.

1 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.
2 Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000 (Proaire). DDF, GEM, SEMARNAP, SS. Agosto de 1997.
3 Estrategia 31 incluida en la meta Nuevo Orden Urbano y Transporte Limpio del Proaire.

A partir de la presente administración, se desarrolló, además del presente inventario, los correspondientes a los años de 1998, 2000 y 2002 con base en las metodologías de estimación que recomienda la Autoridad Federal Ambiental[4]. También se han incorporado gradualmente recomendaciones internacionales y nacionales para reducir el grado de incertidumbre de las estimaciones de los inventario, resaltando las emitidas por el Doctor Mario Molina Pasquel y su grupo de investigadores[5], así como los comentarios de la evaluación de las metodologías y resultados del inventario de emisiones del año 1998 realizada por la compañía , Eastern Research Group Inc.6

Además, como se ha ido ampliando la información y conocimiento sobre la generación de emisiones, actualmente 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.

Hoy día, se tienen inventarios como el presente, donde se incorporan, además de las emisiones de los contaminantes criterio (PM_{10}, CO, NOx y SO_2) las emisiones de $PM_{2.5}$, COT, COV, NH_3 y CH_4, al mismo tiempo se presenta el inventario espaciado en una malla de 1km por 1km y en forma temporal (horario), los cuales son básicos en la aplicación del modelo de calidad del aire "*Multiscale Climate Chemistry Model*-MCCM".

Desde el inventario de emisiones de 1998, a diferencia de los anteriores inventarios, se incorporan al mismo las memorias de cálculo y se encuentra publicado oficialmente en la pagina web de la Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal http://www.sma.df.gob.mx.

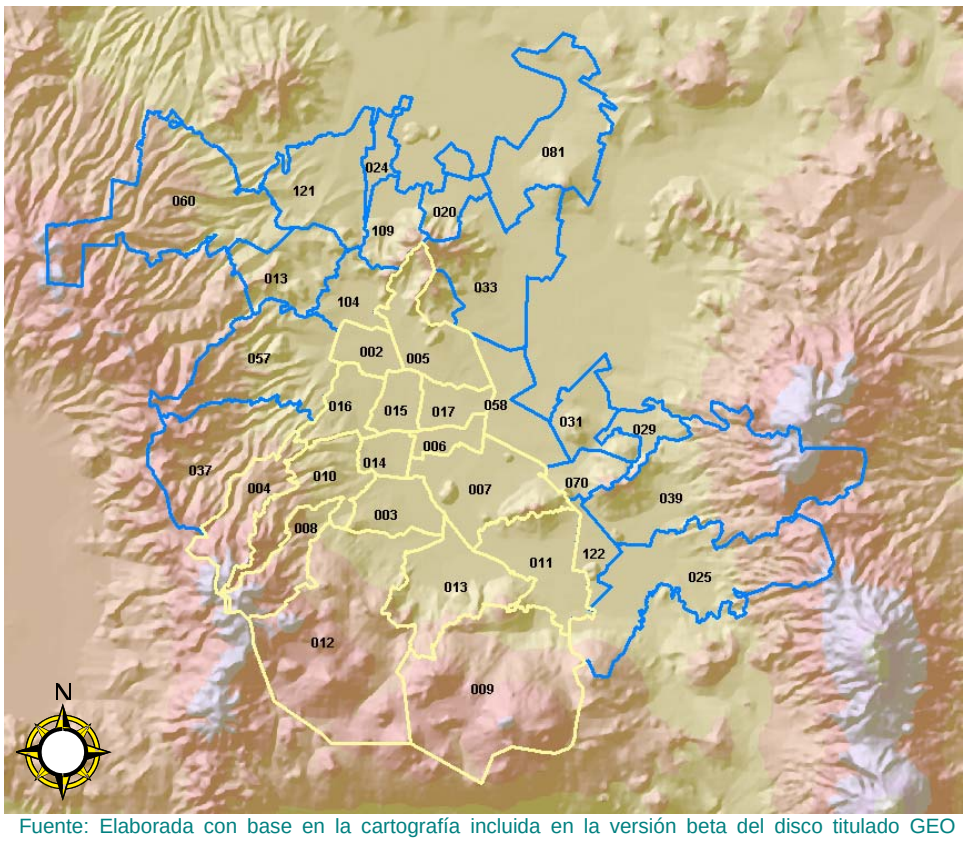
4 Manuales del Programa de Inventario de Emisiones de México; elaborado para: La Asociación de Gobernadores del Oeste, Denver Colorado y para el Comité Asesor Binacional; preparados por Radian International y Eastern Research Group; elaborados en el periodo de 1996 al 2003.
5 Análisis y Diagnóstico del 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.
6 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.

2. ASPECTOS GENERALES DE LA ZMVM

2.1 ASPECTOS FÍSICOS

2.1.1 Zona de estudio

La zona de estudio para elaborar el Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) para el año 2004, cubre poco más de 3,500 km^2 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.



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.

Figura 2.1.1 Zona Metropolitana del Valle de México

ESTADO DE MÉXICO

NOMBRE	CVE
ATIZAPAN DE ZARAGOZA	013
CHALCO	025
VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD	122
CHICOLOAPAN	029
CHIMALHUACAN	031
COACALCO	020
CUAUTITLAN	024
CUAUTITLAN IZCALLI	121
ECATEPEC DE MORELOS	033
HUIXQUILUCAN	037
IXTAPALUCA	039
LA PAZ	070
NAUCALPAN DE JUÁREZ	057
NEZAHUALCOYOTL	058
NICOLAS ROMERO	060
TECAMAC	081
TLALNEPANTLA	104
TULTITLAN	109

DISTRITO FEDERAL

NOMBRE	CVE
ALVARO OBREGON	010
AZCAPOTZALCO	002
BENITO JUAREZ	014
COYOACAN	003
CUAJIMALPA DE MORELOS	004
CUAUHTEMOC	015
GUSTAVO A. MADERO	005
IZTACALCO	006
IZTAPALAPA	007
LA MAGDALENA CONTRERAS	008
MIGUEL HIDALGO	016
MILPA ALTA	009
TLAHUAC	011
TLALPAN	012
VENUSTIANO CARRANZA	017
XOCHIMILCO	013

La ZMVM, se localiza en la región central de la República Mexicana, forma parte de una cuenca semicerrada de 9,560 Km^2 de superficie y se ubica al sur de la sierra La Muerta, al oeste de la sierra Nevada, al norte de la sierra Ajusco-Chichinautzin y al este de la sierra Las Cruces.

Gran parte de la zona de estudio forma parte de una llanura, donde las delegaciones Cuauhtémoc, Iztacalco, Benito Juárez, y los municipios de Nezahualcóyotl y Chalco se encuentra en una superficie plana a una altura de 2,240 m.s.n.m.m. Dentro de esta metrópoli, se encuentran sierras bajas y cerros aislados, como son la sierra de Santa Catarina, la sierra de Guadalupe, el cerro de Chapultepec y el de la Estrella, entre los principales (INEGI, 2001[1]).

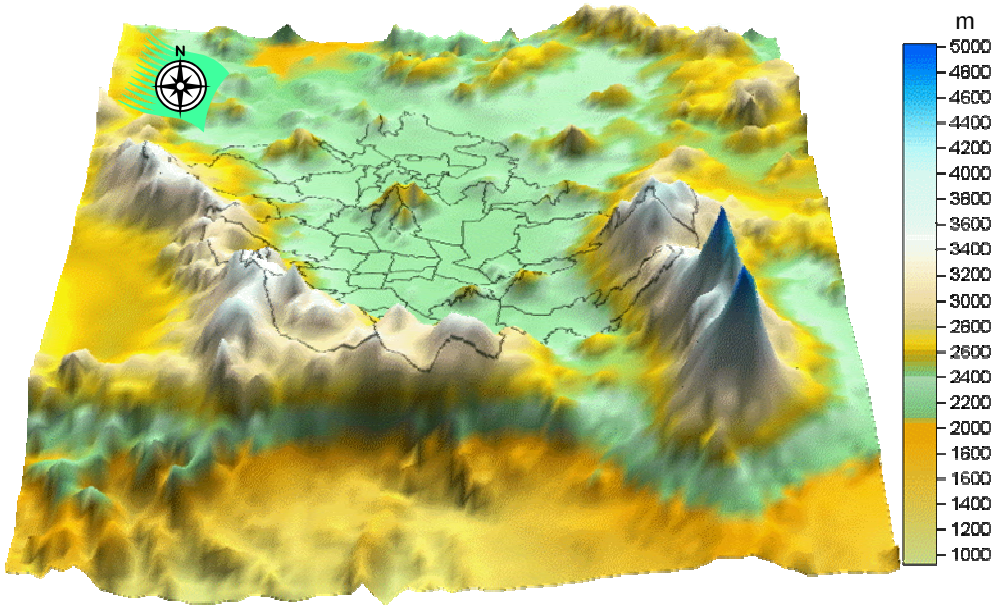


Figura 2.1.2 Alturas del área de estudio

Debido a la altitud, el contenido de oxígeno del aire de la ZMVM es aproximadamente 23% menor que al nivel del mar, lo que contribuye a que los procesos 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 y acumulación.

Asociado a esto, su latitud a 19° N, ocasiona que reciba una radiación solar intensa que acelera la formación fotoquímica de contaminantes atmosféricos como el ozono.

Así mismo, por su ubicación en el centro del país, permite que a lo largo del año la ZMVM resulte afectada por sistemas anticiclónicos, que mantiene el cielo despejado, aumentando con ello la capacidad fotoquímica de la atmósfera; además, estos sistemas regularmente también inducen a que cerca de la superficie del suelo disminuya la velocidad de los vientos, situación que inhibe el movimiento vertical y horizontal del aire, lo cual dificulta la dispersión de los contaminantes.

[1] Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2000

2.1.2 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 tres subtipos de clima, como resultado de las diferencias de elevación y relieve del terreno; estos subclimas influyen significativamente en las condiciones meteorológicas de áreas específicas (Figura 2.1.3).

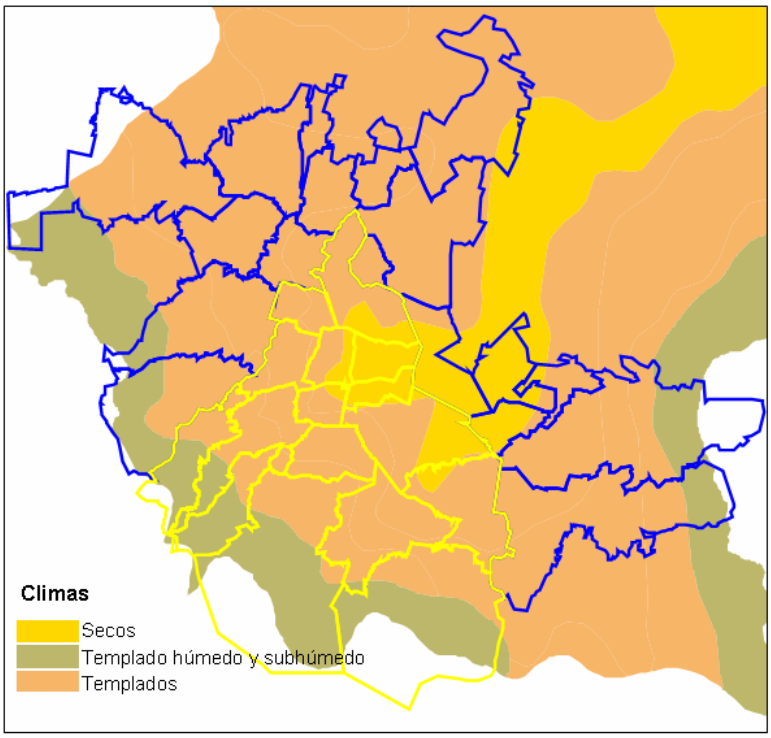


Figura 2.1.3 Climas de la Zona Metropolitana del Valle de México

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 es 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 febrero[2].

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. Espacialmente, los niveles más altos de precipitación se registran en las zonas montañosas y los más bajos en la zona oriente (noreste principalmente).

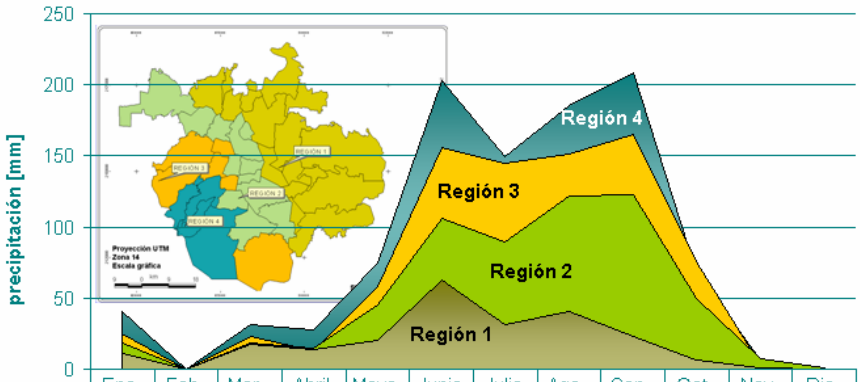
[2] http://www.inegi.gob.mx/entidades/espanol/fdf.html, 1998

Precipitación pluvial y humedad relativa

El aumento de las lluvias en la ZMVM en los meses de junio a septiembre, se asocia a la entrada de aire tropical, con alto contenido de humedad procedente del Océano Pacífico, Mar Caribe y Golfo de México. Dentro de estos meses, se registra un periodo conocido como canícula donde hay un intenso calor y las lluvias disminuyen, aunque normalmente se da en agosto, en el año 2004 se presentó en el mes de julio (gráfica 2.1.1).

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.

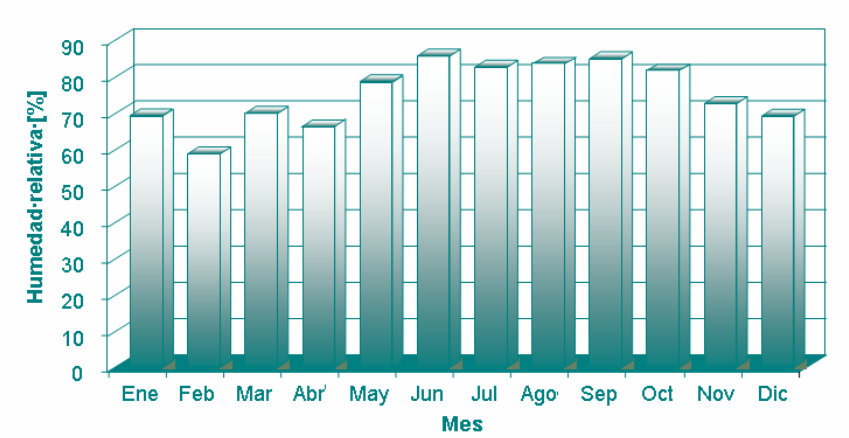
Es importante mencionar que dentro de la ZMVM, se presentan diferentes patrones de intensidad de lluvias, por lo que al regionalizar la zona, tenemos que a lo largo del año la región 4 ubicada al suroeste de la zona, es la que recibe la mayor cantidad de precipitación pluvial.



	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
R4	40.9	0.26	31.0	27.2	74.7	203.	149.	185.	208.	67.8	6.31	0.78
R3	24.6	0.1	23.1	13.2	58.2	155.	145.	151.	165.	75.4	2.4	1.3
R2	18.1	0.08	18.3	14.9	44.9	106.	89.1	121.	122.	49.4	7.47	1.23
R1	10.9	0.15	17.3	13.4	20.1	62.3	31.3	40.2	22.6	6.77	0.53	0.38

Gráfica 2.1.1 Precipitación mensual promedio por región del año 2004

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 específico del año 2004, se presentaron valores altos de esta variable en los meses que van de mayo a octubre; es decir, durante el tiempo de lluvias y durante los meses más calientes, tal como se presenta en la gráfica 2.1.2.



Gráfica 2.1.2 Promedios mensuales de humedad relativa máxima en el año 2004

Los promedios mensuales indican una diferencia aproximada de 26.8% entre el mes más húmedo (junio) y el mes más seco (febrero); esto es causado fundamental por las masas de aire que afectan el interior del país y Valle de México durante la temporada mencionada, ya que al ser de tipo marítimo y cálidas, es decir, de tipo tropical, ostentan un alto contenido de humedad, lo que propicia la formación de nubes, reduce la insolación y a su vez contribuye a disminuir la formación de ozono, además de provocar lluvias que dan lugar al "lavado atmosférico".

Viento

En el Valle de México, la entrada principal del viento se ubica en la zona norte, región donde el terreno es más plano. 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 2.1.4., muestra las rosas de viento con datos promedio de 5 estaciones meteorológicas que forman parte de la Red Meteorológica en el año 2004, 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 0.5 – 1.0 m/s.

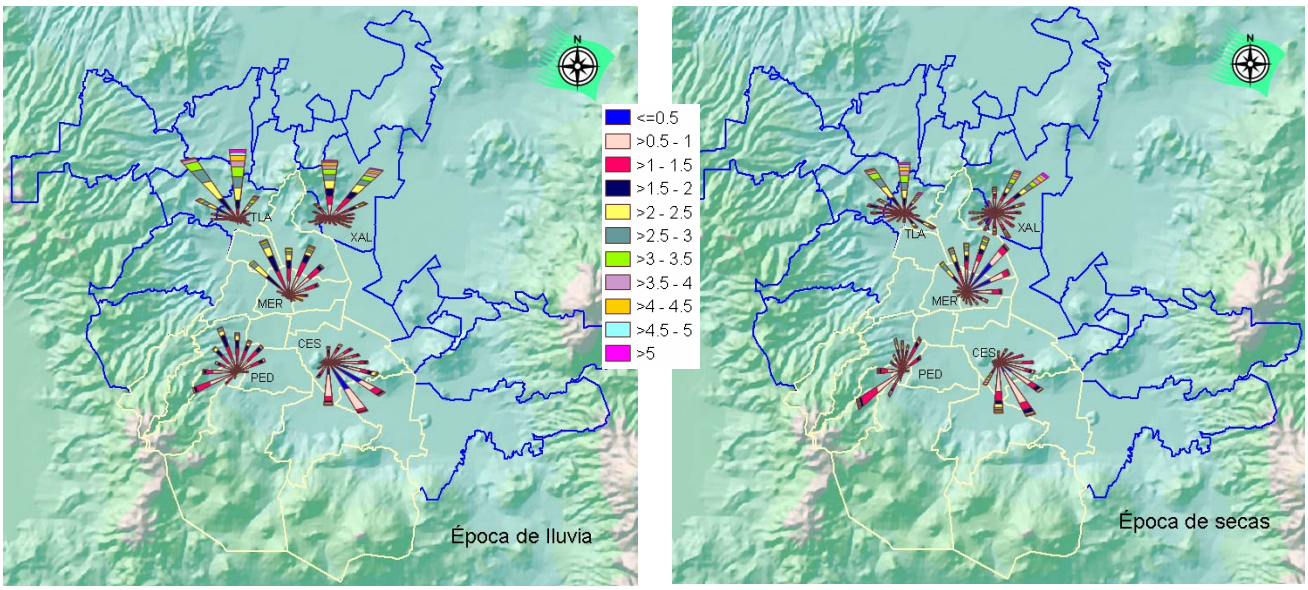


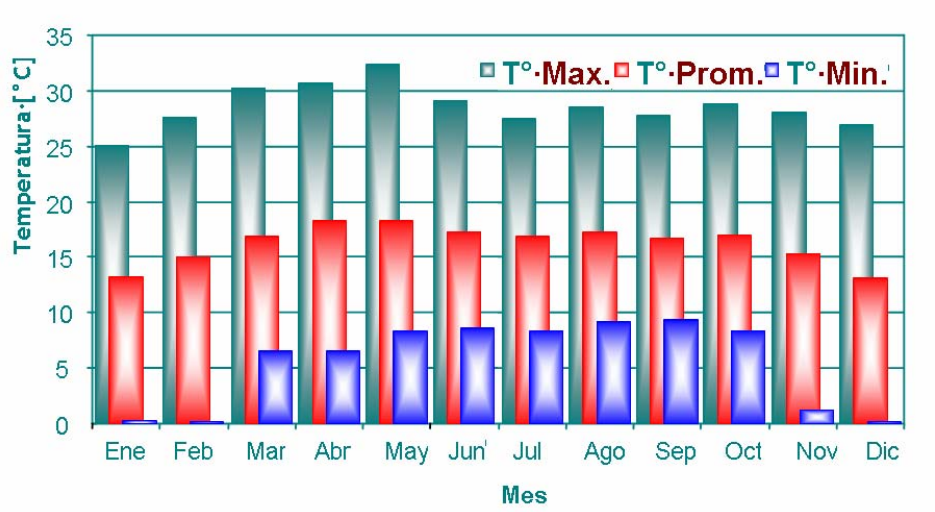
Figura 2.1.4 Rosas de viento promedio anual, 2004

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 troposfera, 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 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 ésta.

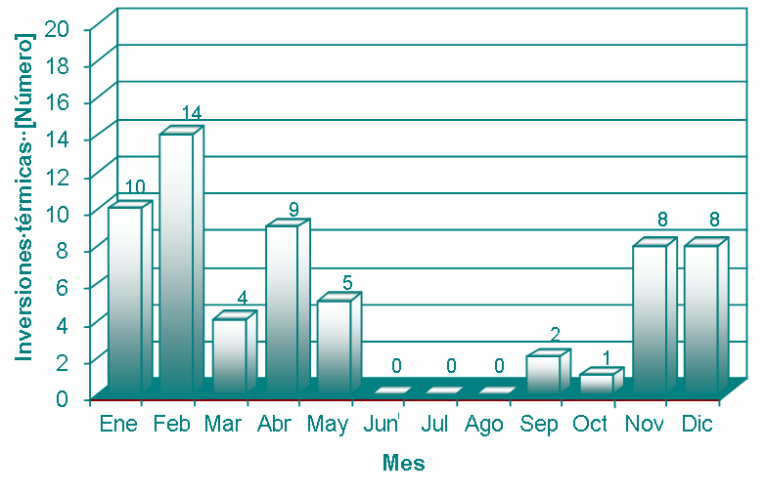
La gráfica que se presenta a continuación, muestra la poca variación estacional de la temperatura máxima y de la temperatura promedio mensual, sin embargo, tal variación es mucho más visible cuando se observan los valores de temperatura mínima mensual, en los que sí se nota claramente un patrón estacional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



Gráfica 2.1.3 Temperatura máxima, mínima y promedio mensual, 2004

A su vez, las inversiones térmicas, casi siempre de tipo radiativas, es decir, 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.

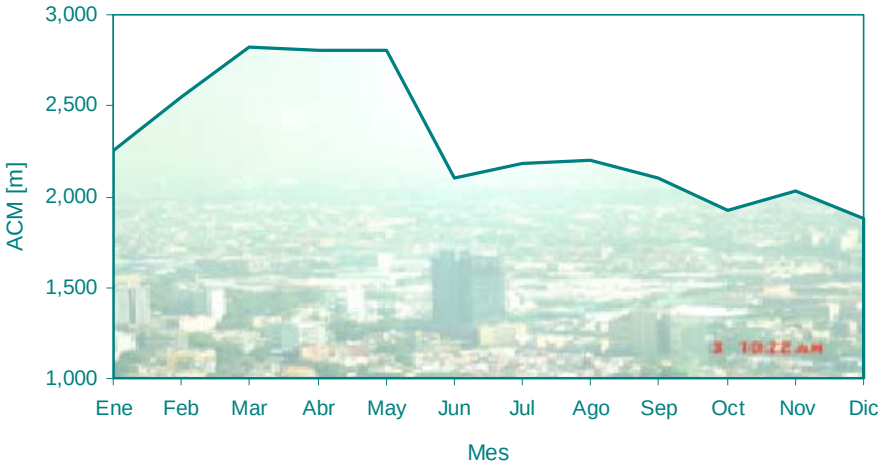
En el año 2004, las inversiones térmicas se presentaron con mayor frecuencia en el mes de febrero (ver gráfica 2.1.4). Su origen es el resultado de la posición geográfica y morfológica del Valle, aunado al efecto que producen los sistemas de alta presión, fundamentalmente, cuando se ubican hacia el norte 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 2004

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 varia 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 de mayo se alcanzan las alturas de mezclado más elevadas y en los meses de octubre y diciembre las más bajas.



Gráfica 2.1.5 Altura promedio mensual de la capa de mezclado del año 2004

2.2 ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

2.2.1 Población

A partir de la información censal del Conteo 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, habitaban más de 17.6 millones de habitantes para el año 2004; 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, se estima que el número de viviendas en la ZMVM en el año 2004, fue de aproximadamente 4.4 millones. 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

Debido a los graves problemas de contaminación ambiental de la ZMVM durante los años setenta y ochenta, varias fábricas han sido reubicadas hacia ciudades aledañas como Querétaro y Toluca; sin embargo, todavía destacan las zonas industriales de Vallejo, Iztapalapa, Tlalnepantla y Naucalpan.

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 económica; en cambio, los municipios conurbados registran un ritmo creciente de establecimientos industriales[5]. El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Censos Económicos, 2004[6]) reporta que en la ZMVM, se ubican aproximadamente 46,616 establecimientos manufactureros, 21,889 de éstos en los municipios conurbados del Estado de México y 27,727 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 menos del 1% son industrias grandes, lo anterior indica que las industrias medianas y grandes, que son las más importantes en su nivel de emisión de contaminantes, representan el 4% (1,985).

[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.

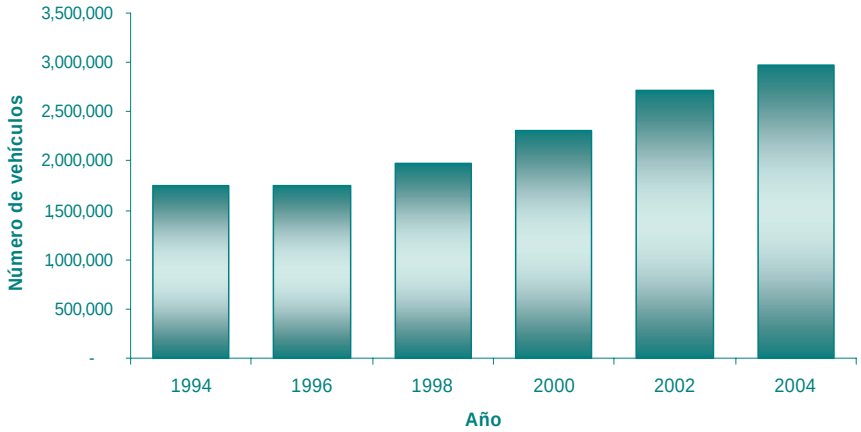
[5] http://df.inegi.gob.mx/economia/espanol/municipal.html

[6] http://inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2004/cuadros/MEX_GENO1.xls (marzo, 2006)

La información para elaborar el presente inventario cuenta con el registro de 4,946 industrias, de las cuales 2,800 se ubican en el Distrito Federal y 2,146 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 continué creciendo la flota vehicular de uso particular principalmente (ver siguiente tabla).



Gráfica 2.2.1 Crecimiento del número de autos particulares en circulación de la ZMVM, 1994- 2004

Por otro lado los autos particulares en el año 2004, representan el 94% 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 2.2.1.

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

Tipo de Vehículo	Vehículo para el transporte de personas		Porcentaje de viajes persona / día*
	Número	%	%
Autos particulares	**2,967,893**	**93.6**	19.9
Taxis[1]	**118,634**	**3.7**	4.4
Combis	**19,485**	**0.6**	58.6
Microbuses	**33,051**	**1.0**	
Autobuses	**32,565**	**1.0**	1.9
Total	**3,171,628**	**100.0**	**84.8****

*Porcentaje de viajes de 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.

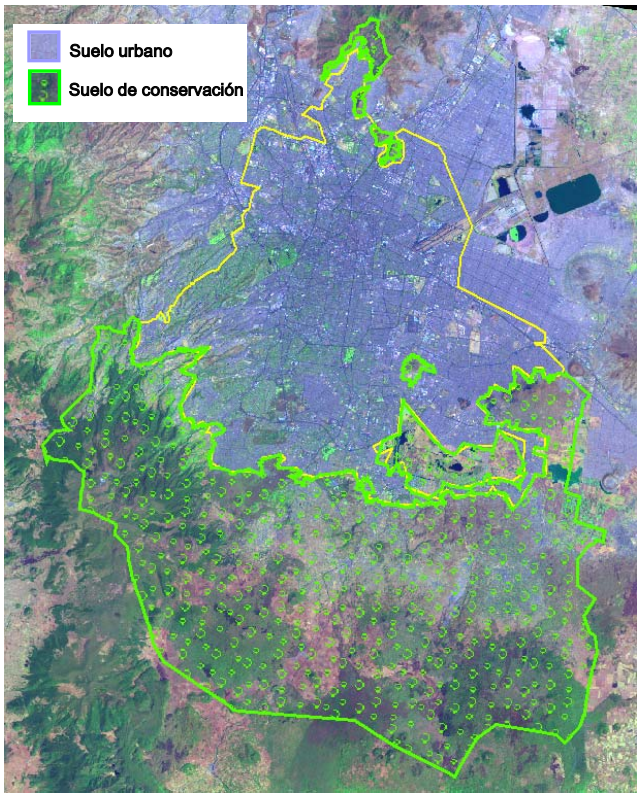


Figura 2.2.1 Uso de Suelo del Distrito Federal

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 1,454[7] km^2 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 tendencia 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 5,744[8] cabezas de ganado bovino en el año 2004.

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.

[7] Inventario Nacional Forestal, 2000

[8] SAGARPA-DF, 2004

2.3 CONSUMO ENERGÉTICO

De 1990 a la fecha, el sector transporte es el que más energía consume, con una demanda promedio del 51%, seguido del sector industrial con un 34% (Tabla 2.3.1). Así, se tiene que en promedio, la ZMVM en este periodo a requerido consumir 536 peta joules al año.

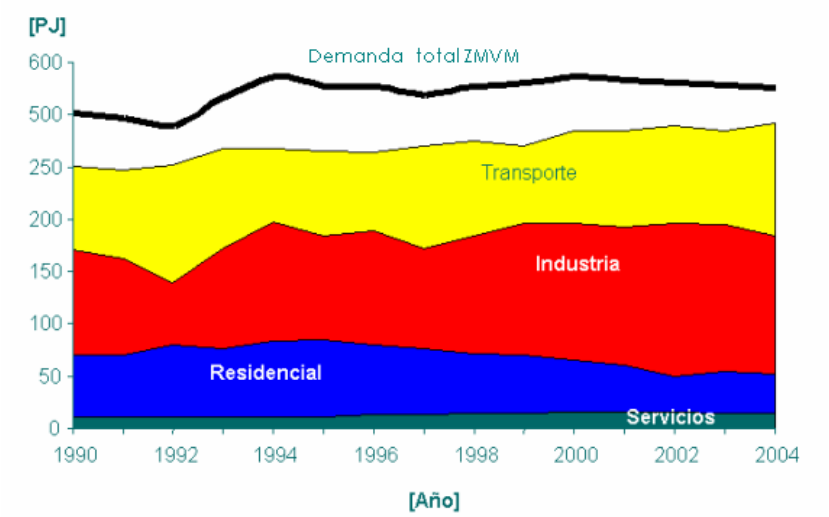
Tabla 2.3.1 Consumo energético histórico de la ZMVM, 1990-2004

Año	Consumo total [Peta joules]	[%]			
		Transporte	Industria	Residencial	Servicios
1990	502	50	34	14	2
1991	492	50	33	14	2
1992	483	52	29	17	2
1993	529	51	33	15	2
1994	561	48	35	15	2
1995	545	49	34	16	2
1996	545	48	35	15	3
1997	531	51	32	14	2
1998	546	50	34	13	3
1999	550	49	36	13	3
2000	563	51	35	12	3
2001	555	51	35	11	3
2002	552	53	36	9	3
2003	547	52	36	10	3
2004	543	54	34	10	3
Promedio	**536**	**51**	**34**	**13**	**3**

Fuente: Elaborada con datos de PEMEX Refinación Gas y Petroquímica y SENER.

La gráfica 2.3.1, muestra que el sector residencial ha disminuido su consumo energético desde el año de 1995, donde alcanzo su máxima demanda de 85 PJ, mientras que en el 2004 requirió sólo de 52 PJ. Este comportamiento se debe principalmente a la baja en el consumo de GLP, que puede atribuirse al crecimiento moderado de la economía nacional, a la mayor penetración del gas natural en este sector, a un mayor ahorro de energía por parte de los consumidores, derivados fundamentalmente de los incrementos progresivos en su precios,[9] también puede deberse a la presencia y uso masivo de electrodomésticos que requieren de energía eléctrica, al uso de calentadores eléctricos que sustituyeron a los boilers residenciales, a las nuevas tecnologías implementadas en estufas de encendido electrónico, e incluso el uso de sistemas de almacenamiento de GLP como son los tanques estacionarios, mismo que permiten controlar emisiones fugitivas.

[9] Prospectivas del mercado de gas licuado de petróleo 2004-2013, Secretaria de Energía, 2004.



Gráfica 2.3.1 Consumo energético histórico por sector, ZMVM 1990 -2004

El consumo diario promedio de combustibles en la Zona Metropolitana del Valle de México para el año 2004, se estimó en 306 mil barriles equivalentes de gasolina; es decir 48.6 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 14 años fue de cerca del 31%.

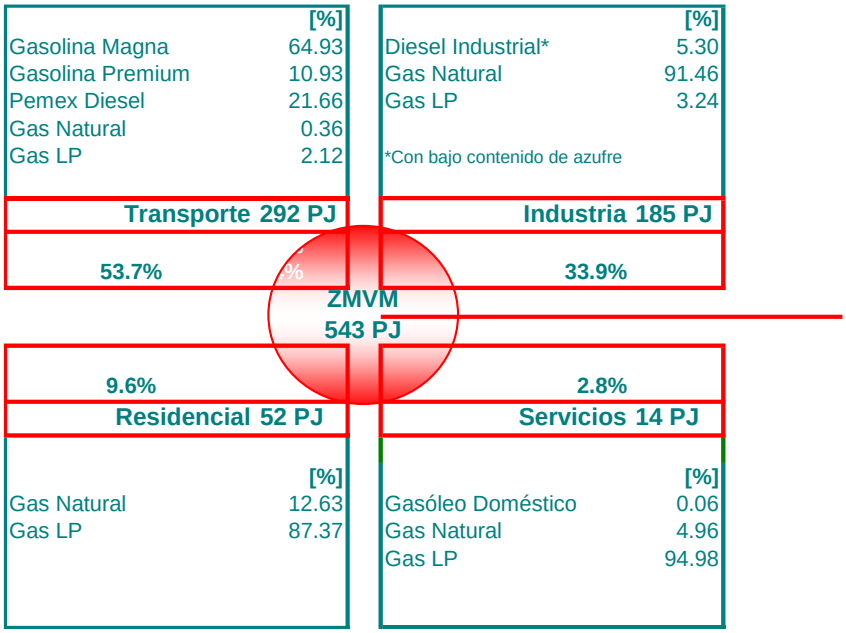
En la Tabla 2.3.2, se presenta el consumo por tipo de combustible, expresado en miles de barriles al año, que muestra que la demanda energética de la ZMVM es cubierta principalmente por gasolina y gas natural que en suma aportan el 73%. Es importante mencionar que aunque el consumo de gas natural es 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 2.3.2 Consumo energético por tipo de combustible en la ZMVM, 2004

Tipo de combustible	Consumo		Energía disponible	
	[miles de barriles]		[PJ]	[%]
Gasolina Premium	6,570		31.91	5.88
Gasolina Magna	39,019		189.55	34.92
Gasóleo Doméstico	2		0.01	0.00
Diesel Industrial bajo Azufre	1,752		9.77	1.80
PEMEX Diesel	11,334		63.22	11.65
Gas Natural	33,089,662		177.12	32.63
Gas LP	18,696		71.27	13.13
	Total ZMVM		542.85	100.00

Nota: No incluye al combustible para aeronaves (turbosina), ya que en su gran mayoría se consume fuera de la zona de aplicación y por arriba de la altura de capa de mezclado, por lo tanto no se incluye en el inventario de emisiones.

El sector transporte requirió del 53.7% de la energía suministrada a la ZMVM, siendo la gasolina el principal combustible utilizado; le sigue el sector industrial que consumió el 34% del suministro, teniendo al gas natural como el principal energético en la demanda del sector; y el sector residencial y de servicios consumieron el 12.4%, siendo el gas LP el que cubrió la mayor parte de la demanda, ver Gráfica 2.3.2 de demanda de energía por sector.



Gráfica 2.3.2 Demanda de energía por sector, ZMVM 2004

3. INVENTARIO DE EMISIONES DE LA ZMVM

El presente inventario de emisiones, contiene las estimaciones de las toneladas de partículas menores a 10 µm (PM_{10}) y de las menores a 2.5 µm ($PM_{2.5}$), del bióxido de azufre (SO_2), del monóxido de carbono (CO), de los óxidos de nitrógeno (NOX), del los compuestos orgánicos totales (COT), de los compuestos orgánicos volátiles (COV), del metano (CH_4) y las del amoniaco (NH_3), que se generaron en la Zona Metropolitana del Valle de México durante el año 2004.

3.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS EMISIONES

Los cálculos para obtener las emisiones de los contaminantes seleccionados, se realizaron con base en la metodología de estimación que recomienda la Autoridad Federal Ambiental[1] 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.

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, NOx, 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; y el FAEED 2.1, con el cual se calcularon las emisiones generadas por las aeronaves. 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, solamente en el desarrollo del modelo FAEED 2.1, además de la US-EPA, también participo 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 formatos[2] 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 2004 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, se realizó 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.

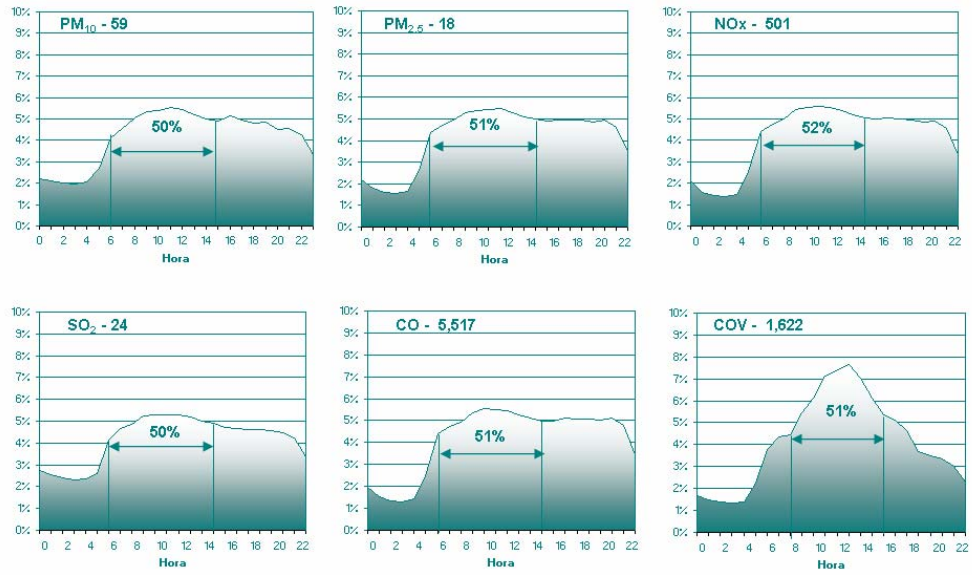
3.2.1 Distribución temporal horaria

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, en la Gráfica 3.2.1 se aprecia el patrón de distribución horaria de los contaminantes de mayor importancia, así como la emisión total diaria.

Las tendencias de las emisiones horarias de los contaminantes son similares debido a la influencia que tienen las fuentes móviles sobre ellos, excepto los COV, donde las principales contribuciones están dadas por las fuentes de área. La generación máxima se tiene de las 06:00 a las 15:00 horas, liberándose en promedio, en ese horario, alrededor del 51% del total diario de contaminantes. Por otro lado, para el caso del SO_2, aún cuando el perfil de emisiones es trazado por las fuentes móviles, el sector industrial es el que contribuye en mayor proporción a la emisión diaria.

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

Según datos de la SETRAVI[3], aproximadamente el 33% de los viajes inician de las 6:00 a las 9:00 de la mañana, dando lugar a que las emisiones se incrementen a partir de esas horas y antes de las 15 horas, a sea de las 06:00 a las 15:00 horas, se emite aproximadamente el 50% de la emisión total diaria de cada contaminante.



Gráfica 3.2.1 Distribución temporal horaria de las emisiones en la ZMVM

3.2.2 Distribución espacial

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 cartografía 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 1km x 1km, donde se ubican 4,946 fuentes puntuales (2,800 se encuentran en el Distrito Federal y 2,146 en el Estado de México).

Las fuentes de área se distribuyeron con base en los AGEBS[4], y las fuentes móviles se localizaron sobre 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. Es importante mencionar que la distribución espacial de todas las fuentes contaminantes se realizó con cartografía digital[5] sobre de un

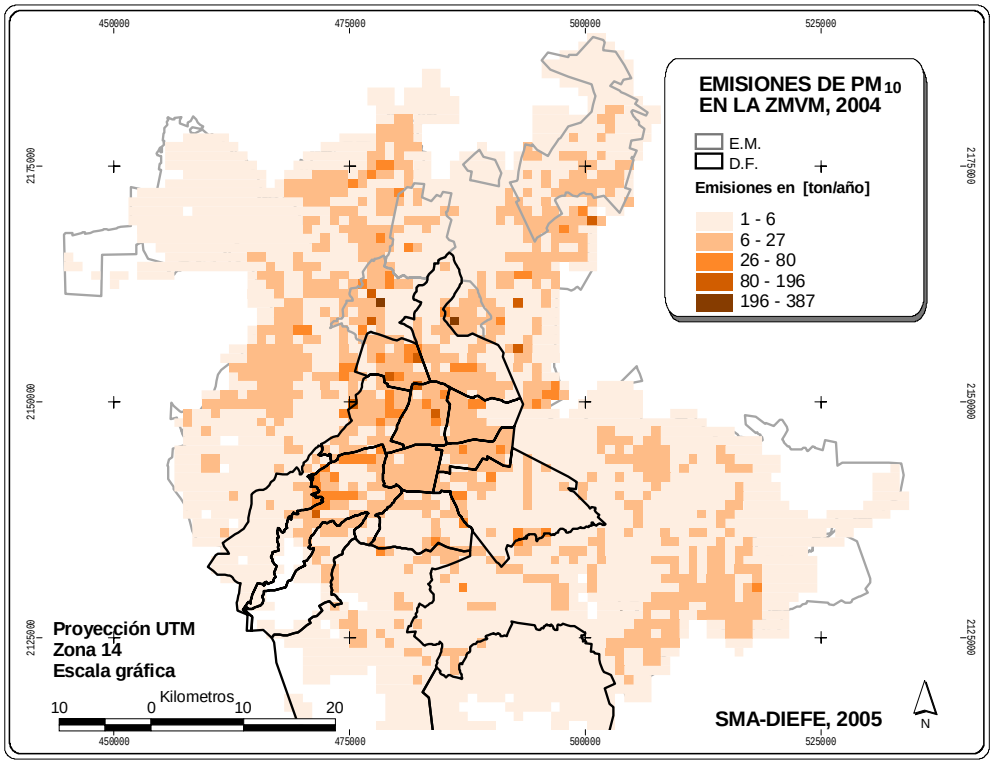
[3] Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006. Ver distribución horaria de Fuentes Móviles.

[4] Área Geoestadística Básica del INEGI

[5] Cartografía digital de INEGI, SEMARNAT y cartografía creada en la propia Secretaría del Medio Ambiente del GDF.

Sistema de Información Geográfica. La distribución espacial de contaminantes criterio se muestra en los Mapas 3.2.1 a 3.2.8.

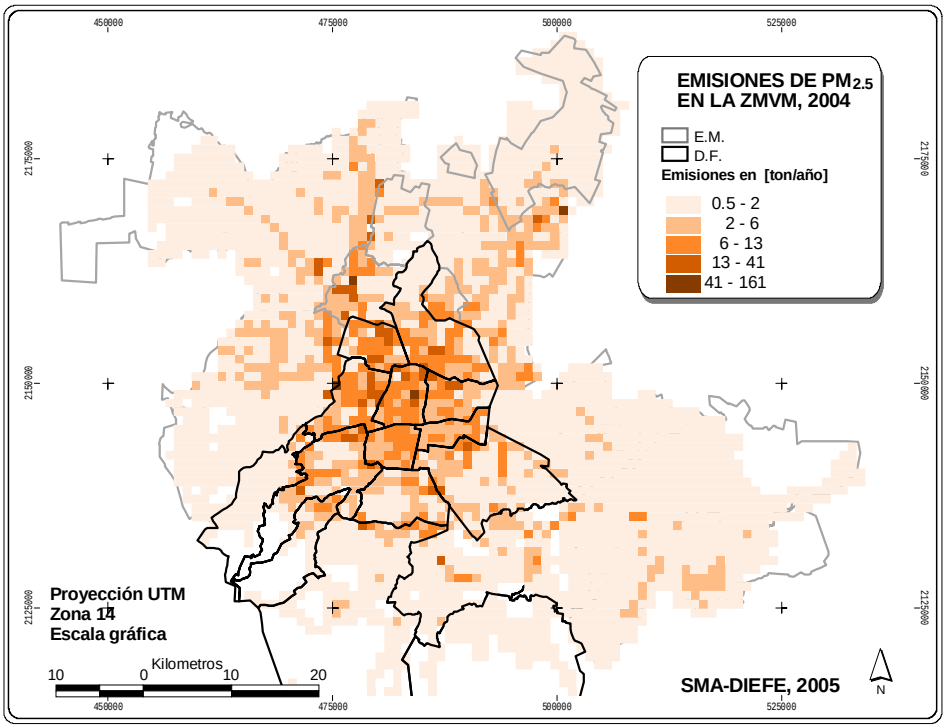
De la distribución espacial de las emisiones de PM_{10}, que se presentan en el mapa 3.2.1, tenemos que en la zona centro, son generadas principalmente por las fuentes móviles y en la periferia siguen una patrón similar al de los caminos no pavimentados, por otro lado, al norte de la ZMVM las emisiones son de origen industrial ya que existen sitios de alta emisión asociados a este sector; por ejemplo, en el municipio de Tlalnepantla, donde se ubica un gran número de industrias, de las cuales, la fabricación de materiales para la construcción y la industria del hierro generan más de 300 toneladas de este contaminante al año.



Mapa 3.2.1 Distribución espacial de PM_{10}

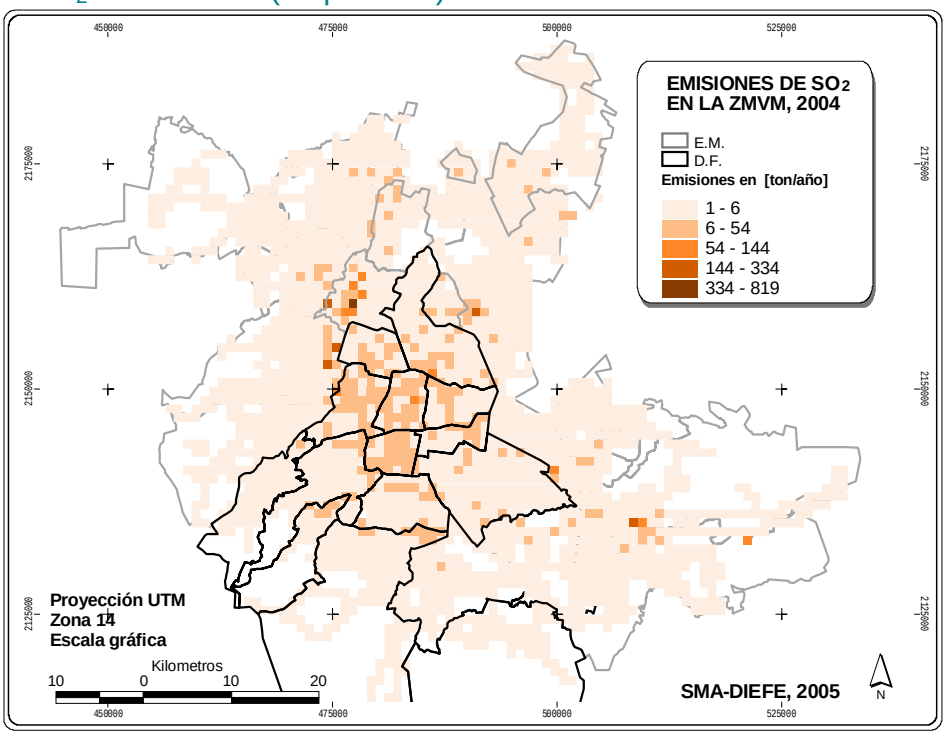
Las delegaciones del centro y norte del D.F., presentan emisiones de PM_{10} que van desde 1 hasta más de 100 toneladas al año, las cuales son ocasionadas principalmente por la intensa actividad vehicular y en algunos casos, se conjunta con la actividad industrial; a diferencia de las delegaciones del sur, donde las emisiones son generadas por los caminos sin pavimentar.

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 $PM_{2.5}$

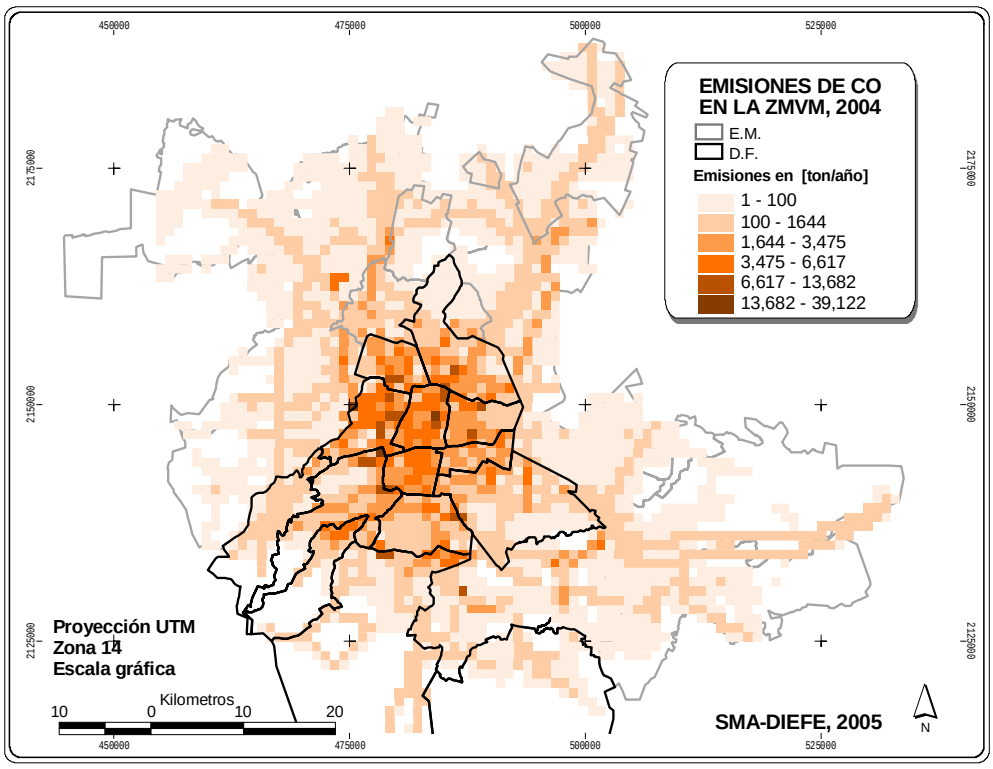
En el Distrito Federal, las fuentes puntuales y las móviles son las que contribuyen en mayor proporción a la generación de SO_2, dado que la zona urbana es la que presenta mayor afluencia vehicular, principalmente en las delegaciones de Benito Juárez, Cuauhtémoc y en menor proporción en la periferia. Los altos valores la Gustavo A. Madero son debidos a la industria del hierro y acero, la cual se encuentra en uno de los principales sectores de generación de SO_2 en la ZMVM (Mapa 3.2.3).



Mapa 3.2.3 Distribución espacial de SO_2

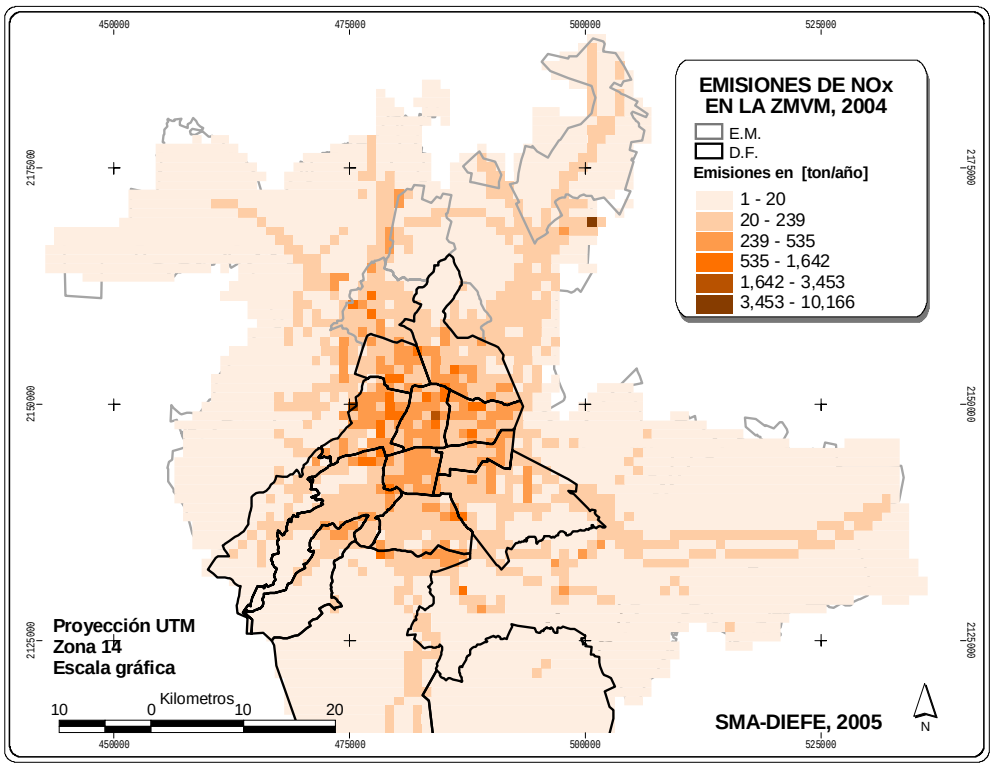
En el Estado de México, las altas emisiones de SO_2, se atribuye a la actividad industrial de algunas zonas; en los municipios de La Paz e Ixtapaluca, el SO_2 es producido por la industria del papel y de la madera principalmente, a diferencia de los municipios del norte, en particular Tlalnepantla y Ecatepec, donde existe una gran variedad de giros industriales, como el del hierro y acero, fundición, fabricación de cemento, textil y químico, por mencionar los más emisores; este último también es de importancia por sus emisiones en el municipio de Naucalpan.

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, los vehículos mayores de tres toneladas y a los 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. Teniendo así, que las mayores emisiones se localizan en las delegaciones del centro de la ZMVM como son Benito Juárez, Cuauhtémoc y Miguel Hidalgo, disminuyendo la emisión conforme se avanza hacia los extremos de la Zona Metropolitana del Valle de México, 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.

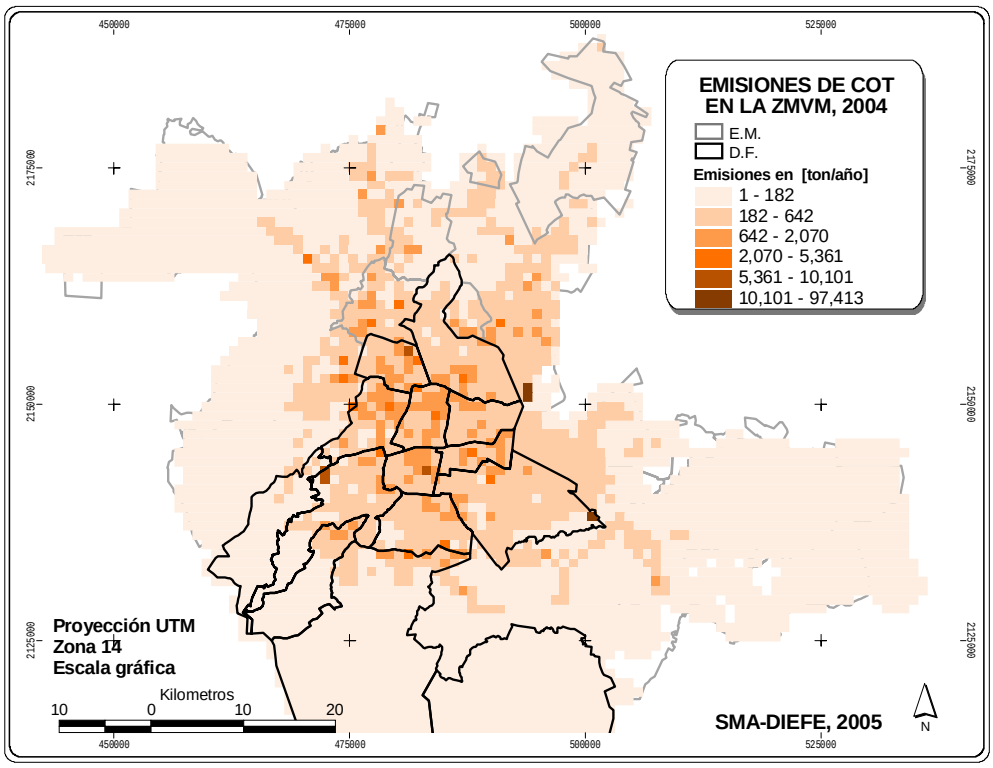


Mapa 3.2.5 Distribución espacial de NOx

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 28% 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 general, los COT son emitidos por la actividad vehicular, sin embargo, las zonas de gran emisión en ciertas delegaciones, son ocasionadas por la actividad industrial, en particular, por los sectores de fabricación de plástico y de productos metálicos, así como la manufactura de celulosa y papel.

En el caso del Estado de México, los principales sectores generadores de COT en los municipios de Tlalnepantla, Ecatepec y Naucalpan son: el químico, el de la fabricación de plástico, así como el de celulosa y papel.

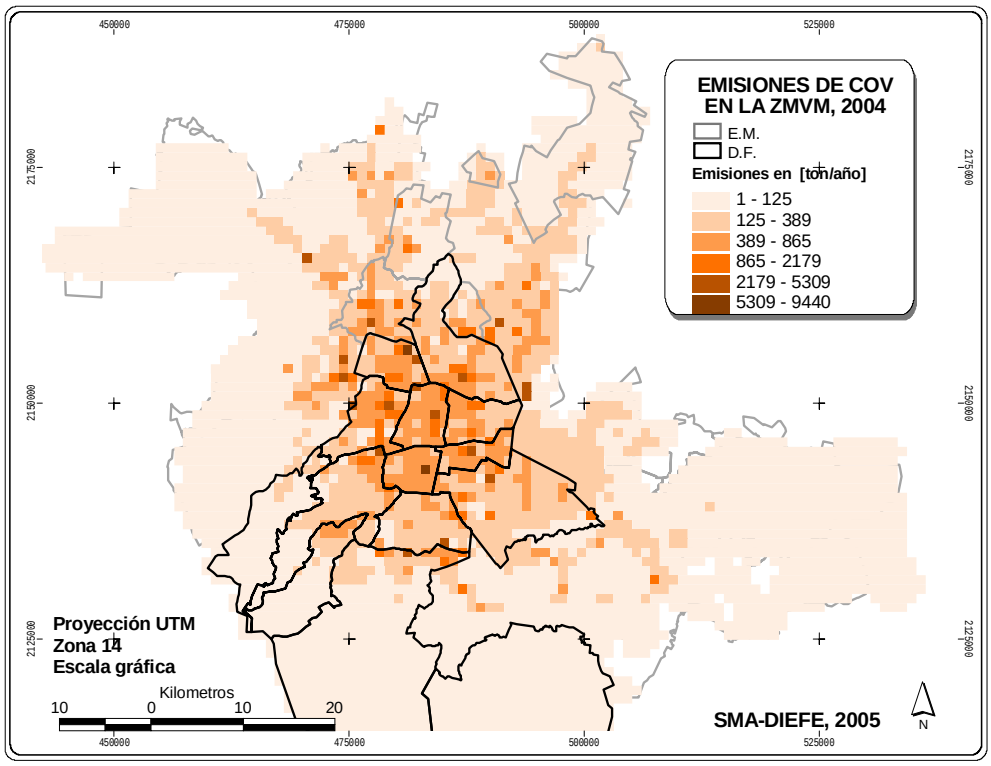


Mapa 3.2.6 Distribución espacial de COT

Los compuestos orgánicos volátiles participan junto con los NOx 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 principalmente a la actividad de los vehículos y a las fuentes de área, por lo tanto, la parte centro y norte de la zona, las cuales se caracterizan por tener una intensa circulación vial y alta densidad de población, 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 las delegaciones Benito Juárez e Iztapalapa, las altas emisiones en algunas celdas que presentan más de 1,500 toneladas anuales, son ocasionadas por la fabricación de plásticos, así mismo, en Azcapotzalco se tiene a la industria farmacéutica y en Cuauhtémoc la manufactura de celulosa y papel.

En lo que respecta al Estado de México, en Atizapán de Zaragoza y Naucalpan se tienen emisiones de COV generadas por la producción de plásticos, y en el caso de en Tlalnepantla y Tultitlán, se deben a la industria química, de conserva de alimentos e impresión.

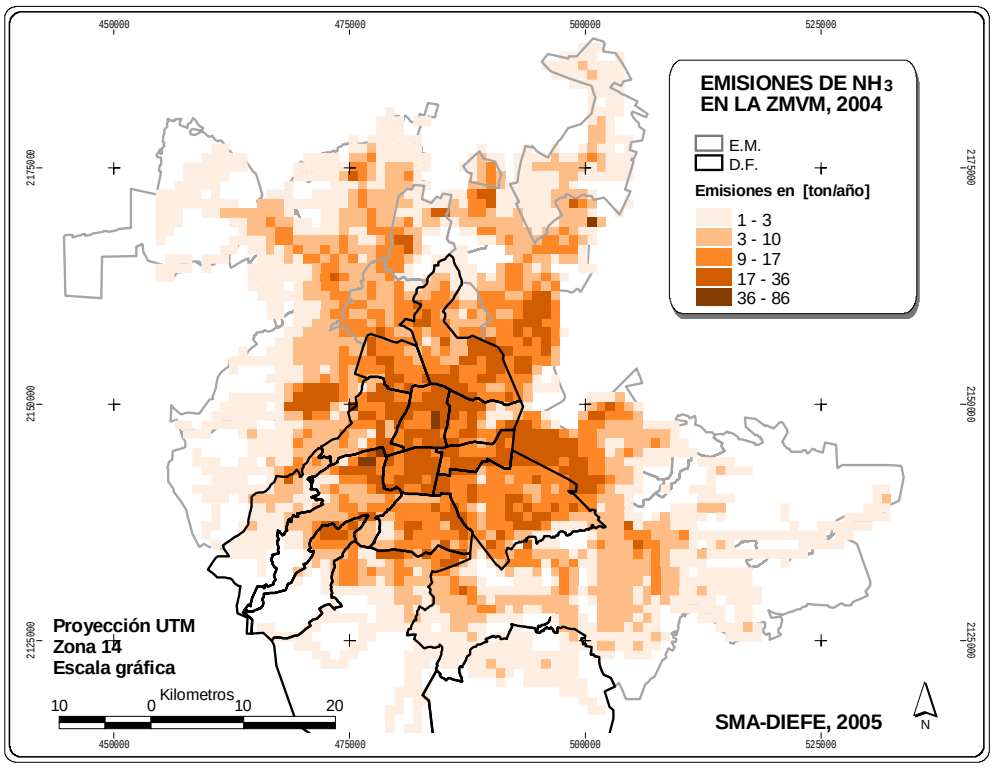


Mapa 3.2.7 Distribución espacial de COV

El amoniaco es parte del ciclo del nitrógeno y es uno de los principales contribuyentes en la formación de aerosoles[6] 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 amoniaco como precursor de las mismas.

Considerando que el amoniaco estimado proviene fundamentalmente de los desechos humanos (excretas) y de la de los animales (perros, gatos), así como el uso de productos de limpieza (uso doméstico), la distribución espacial de éste contaminante, se relaciona con la densidad de población y las áreas de gran actividad vehicular, 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 una sola área con altas emisiones, debido a las aportaciones de las centrales termoeléctricas ahí ubicadas, ver mapa 3.2.8.

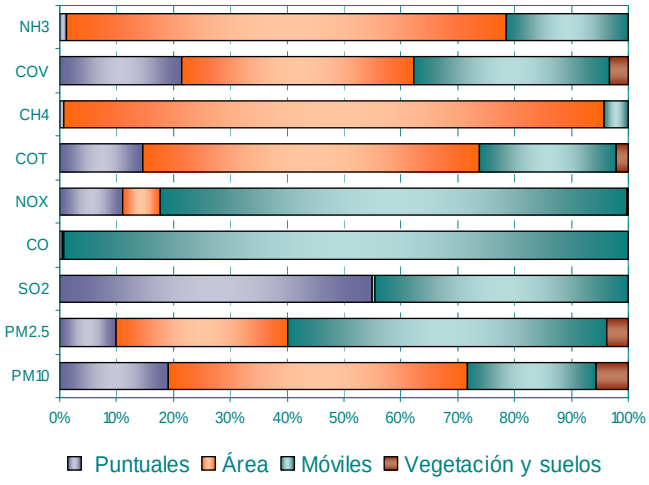
6 Dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, en medios gaseosos (Wark y Warner1994)



Mapa 3.2.8 Distribución espacial de NH_3

3.3 EMISIONES ANUALES DE LA ZMVM

Las emisiones anuales de la ZMVM, en peso y porcentaje se presentan en la Gráfica 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 1.8 millones de toneladas al año y es generado principalmente por las fuentes móviles; le sigue en orden de importancia las emisiones de COT con más de 822 mil toneladas anuales, siendo las fuentes de área las que generan el 59%. Así mismo en la Gráfica 3.3.1, 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, 2004

Referente a la contaminación por NOx, se estima que se liberaron al aire más de 179 mil toneladas y el 82% lo generaron las fuentes móviles; de las $PM_{10,}$ que es otro de los contaminantes que representan mayor problema en la ZMVM, se tiene que de las 20,686 ton/año que se emiten, el 42% se desprenden de las vialidades no pavimentados debido al tránsito vehicular; del total de $PM_{10,}$ aproximadamente el 32% son partículas menores a 2.5 µm ($PM_{2.5}$); y con respecto al cálculo del amoniaco que se estima en más de 17 mil toneladas, las fuentes de área son las principales emisoras, en particular por la categoría de emisiones domésticas.

Tabla 3.3.1 Inventario de emisiones anuales de la ZMVM, 2004

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	3,916	18.9	651	9.8	4,090	54.9	6,443	0.4	19,737	11.0	119,746	14.6	1,559	0.7	114,101	21.4	196	1.1
Fuentes de área	10,801	52.2	1,962	29.6	41	0.6	7,731	0.4	11,662	6.5	487,057	59.2	223,690	95.2	216,562	40.7	13,543	77.3
Fuentes móviles	4,768	23.0	3,748	56.6	3,321	44.6	1,777,907	99.2	147,971	82.2	198,136	24.1	9,816	4.2	183,899	34.6	3,775	21.6
Vegetación y suelos	1,201	5.8	261	3.9	N/A	N/A	N/A	N/A	626	0.3	17,606	2.1	N/A	N/A	17,606	3.3	N/A	N/A
Total	**20,686**	**100**	**6,622**	**100**	**7,452**	**100**	**1,792,081**	**100**	**179,996**	**100**	**822,545**	**100**	**235,065**	**100**	**532,168**	**100**	**17,514**	**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; de las emisones totales, los autos particulares generan el 50% del CO, el 32% de los NOx, el 23% de SO_2 y el 16% de COV; otra emisión importante la tienen los vehículos mayores a tres toneladas con el 10% del CO y los tractocamiones que aportan el 30% de las $PM_{2.5}$ y 16% de los NOx.

Las fuentes puntuales generan el 55% del SO_2 con 4,090 ton/año, siendo los sectores de la industria metálica básica y de sustancias químicas los más contaminantes, dado que contribuyen con el 15% y el 12% respectivamente Las fuentes móviles generan el 45% del SO_2 y como se mencionó, los autos particulares son los de mayor emisión.

Los principales contaminantes emitidos por las fuentes de área son: el metano que representa el 95% del total de la ZMVM, emitido en su mayoría por los rellenos sanitarios; el amoniaco con un 77% del total, las PM_{10} que representan el 52% y las $PM_{2.5}$ el 30%, estas dos 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 17,606 toneladas anuales; así mismo, las partículas generadas por la erosión eólica contribuyen con 1,201 toneladas anuales de PM_{10}.

En las tablas 3.3.2 y 3.3.2, se presentan las emisiones de la ZMVM desagregadas por sector.

Tabla 3.3.2 Inventario de emisiones desagregado por sector de la ZMVM, 2004

Sector	Emisiones [ton /año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Fuentes puntuales	**3,916**	**651**	**4,090**	**6,443**	**19,737**	**119,746**	**1,559**	**114,101**	**196**
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	640	68	178	511	1,317	4,856	18	4,812	15
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	360	29	579	106	338	2,345	10	2,322	10
Industria de la madera y productos de madera	38	6	143	4	24	4,232	0	4,187	0
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	119	58	641	420	960	23,042	20	21,869	20
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	377	66	875	631	1,534	59,247	398	57,540	41
Productos minerales no metálicos.*	844	129	205	450	1,495	4,862	868	4,257	20
Industrias metálicas básicas	747	28	1,092	594	1,909	5,716	8	4,434	8
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	535	64	315	1,491	962	13,775	78	13,338	14
Otras industrias manufactureras	56	3	46	24	132	1,382	99	1,197	0
Generación de energía eléctrica	200	200	16	2,212	11,066	289	60	145	68
Fuentes de área	**10,801**	**1,962**	**41**	**7,731**	**11,662**	**487,057**	**223,690**	**216,562**	**13,543**
Combustión industrial	226	226	18	2,496	2,972	327	69	164	15
Combustión comercial/institucional	32	32	N/S	158	979	39	14	25	N/E
Combustión habitacional	131	131	1	554	3,407	153	50	93	1
Operación de aeronaves	17	17	N/S	3,071	2,923	1,859	178	1,785	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	31	29	17	166	1,310	55	N/E	54	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	1	1	N/S	86	43	20	1	20	N/S
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	22,529	N/A	22,259	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,464	N/A	2,415	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	23,937	N/A	20,825	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	704	N/A	695	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	31,681	N/A	19,009	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10,573	N/A	6,132	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7,041	N/A	7,041	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	77	N/A	77	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	80,560	N/A	55,586	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	967	N/A	967	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6	N/S	6	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,925	N/S	2,877	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	24,753	2	24,357	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	36,080	4	35,502	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,644	N/A	4,644	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	19	N/A	19	N/A
Rellenos sanitarios	N/E	N/E	N/A	241	N/A	232,947	223,346	9,554	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,626	N/A	2,416	N/E
Incendios forestales	57	47	5	525	18	35	26	16	2
Incendios en estructuras	28	26	N/E	434	10	36	N/A	24	N/A
Emisiones domésticas de amoniaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13,525
Caminos pavimentados	1,523	91	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	8,755	1,362	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	**4,768**	**3,748**	**3,321**	**1,777,907**	**147,971**	**198,136**	**9,816**	**183,899**	**3,775**
Autos particulares	860	480	1,719	890,602	57,456	92,689	3,931	85,849	2,648
Taxis	144	80	312	118,709	11,062	14,309	606	13,252	483
Combis	24	14	44	69,194	3,208	6,687	283	6,193	76
Microbuses	42	24	123	151,556	10,278	18,767	1,461	17,456	171
Pick up	63	36	149	106,338	8,572	10,825	515	10,012	169
Vehículos ≤ a 3 ton	283	234	215	109,111	10,695	11,908	478	11,084	117
Tractocamiones	2,315	2,014	284	31,945	29,094	11,575	494	11,069	30
Autobuses	691	600	261	16,015	10,751	4,741	204	4,530	14
Vehículos> a 3 ton	270	223	152	186,038	5,798	12,989	1,030	11,715	45
Motocicletas	76	43	62	98,399	1,057	13,646	814	12,739	22
Vegetación y suelos	**1,201**	**261**	**N/A**	**N/A**	**626**	**17,606**	**N/A**	**17,606**	**N/A**
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	626	17,606	N/A	17,606	N/A
Erosión eólica del suelo	1,201	261	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	**20,686**	**6,622**	**7,452**	**1,792,081**	**179,996**	**822,545**	**235,065**	**532,168**	**17,514**

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, desagregado por sector de la ZMVM, 2004

Sector	Emisiones [%]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Fuentes puntuales	**18.93**	**9.83**	**54.88**	**0.36**	**10.97**	**14.56**	**0.66**	**21.44**	**1.12**
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	3.09	1.03	2.39	0.03	0.73	0.59	0.01	0.90	0.09
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	1.74	0.44	7.77	0.01	0.19	0.29	N/S	0.44	0.06
Industria de la madera y productos de madera	0.18	0.09	1.92	N/S	0.01	0.51	N/S	0.79	0.00
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	0.58	0.88	8.60	0.02	0.53	2.80	0.01	4.11	0.11
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	1.82	1.00	11.74	0.04	0.85	7.20	0.17	10.81	0.23
Productos minerales no metálicos.*	4.08	1.95	2.75	0.03	0.83	0.59	0.37	0.80	0.11
Industrias metálicas básicas	3.61	0.42	14.65	0.03	1.06	0.69	0.00	0.83	0.05
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	2.59	0.97	4.23	0.08	0.53	1.67	0.03	2.51	0.08
Otras industrias manufactureras	0.27	0.05	0.62	N/S	0.07	0.17	0.04	0.22	0.00
Generación de energía eléctrica	0.97	3.02	0.21	0.12	6.15	0.04	0.03	0.03	0.39
Fuentes de área	**52.21**	**29.63**	**0.55**	**0.43**	**6.48**	**59.20**	**95.16**	**40.68**	**77.33**
Combustión industrial	1.09	3.41	0.24	0.14	1.65	0.04	0.03	0.03	0.09
Combustión comercial/institucional	0.15	0.48	N/S	0.01	0.54	0.00	0.01	0.00	N/E
Combustión habitacional	0.63	1.98	0.01	0.03	1.89	0.02	0.02	0.02	0.01
Operación de aeronaves	0.08	0.26	N/S	0.17	1.62	0.23	0.08	0.34	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	0.15	0.44	0.23	0.01	0.73	0.01	N/E	0.01	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	N/S	0.02	N/S	N/S	0.02	N/S	N/S	N/S	N/S
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.74	N/A	4.18	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.30	N/A	0.45	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.91	N/A	3.91	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.09	N/A	0.13	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.85	N/A	3.57	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.29	N/A	1.15	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.86	N/A	1.32	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	0.01	N/A	0.01	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	9.79	N/A	10.45	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.12	N/A	0.18	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	0.36	N/S	0.54	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.01	N/S	4.58	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4.39	N/S	6.67	N/A
Panaderías	N/E	N/E	N/A	N/E	N/A	0.56	N/A	0.87	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	28.32	95.01	1.80	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.32	N/A	0.45	N/E
Incendios forestales	0.28	0.71	0.07	0.03	0.01	N/S	0.01	N/S	0.01
Incendios en estructuras	0.14	0.39	N/E	0.02	0.01	0.00	N/S	N/S	N/A
Emisiones domésticas de amoniaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/S	N/A	77.22
Caminos pavimentados	7.36	1.37	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	42.32	20.57	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	**23.05**	**56.60**	**44.57**	**99.21**	**82.21**	**24.09**	**4.18**	**34.56**	**21.55**
Autos particulares	4.16	7.25	23.07	49.70	31.92	11.27	1.67	16.13	15.12
Taxis	0.70	1.21	4.19	6.62	6.15	1.74	0.26	2.49	2.76
Combis	0.12	0.21	0.59	3.86	1.78	0.81	0.12	1.16	0.43
Microbuses	0.20	0.36	1.65	8.46	5.71	2.28	0.62	3.28	0.98
Pick up	0.30	0.54	2.00	5.93	4.76	1.32	0.22	1.88	0.96
Vehículos ≤ a 3 ton	1.37	3.53	2.89	6.09	5.94	1.45	0.20	2.08	0.67
Tractocamiones	11.19	30.41	3.81	1.78	16.16	1.41	0.21	2.08	0.17
Autobuses	3.34	9.06	3.50	0.89	5.97	0.58	0.09	0.85	0.08
Vehículos> a 3 ton	1.31	3.37	2.04	10.38	3.22	1.58	0.44	2.20	0.26
Motocicletas	0.37	0.65	0.83	5.49	0.59	1.66	0.35	2.39	0.13
Vegetación y suelos	**5.81**	**3.94**	**N/A**	**N/A**	**0.35**	**2.14**	**N/A**	**3.31**	**N/A**
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	0.35	2.14	N/A	3.31	N/A
Erosión eólica del suelo	5.81	3.94	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.

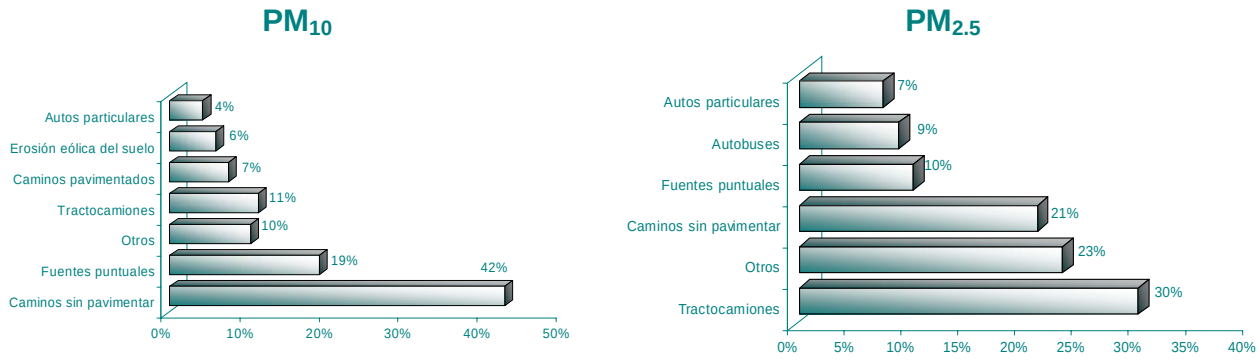
3.4 EMISIONES POR CONTAMINANTE

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 generadores[7].

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

En la ZMVM, la generación de partículas se debe principalmente a los caminos sin pavimentar, sector que forma parte de las fuentes de área. En total, se tienen 20,668 toneladas anuales de PM_{10}, de éstas, los caminos sin pavimentar aportan el 42% y los caminos pavimentados el 7%. Otros sectores de importancia son las fuentes puntuales con el 19%, así como los tractocamiones con el 11%.

Estudios atmosféricos de la ZMVM[8], mencionan que aproximadamente del 37% al 50% de las PM_{10} son de origen geológico, con base en el presente inventario, tenemos el 55% de las PM_{10} en el 2004 son de origen geológico, asumiendo que las partículas generadas por los caminos y por la erosión corresponden a este tipo de partículas, es importante mencionar que los estudios datan de 1997 y 2002; y que además, el factor de actividad para el cálculo de emisiones en los caminos son los kilómetros recorridos, los cuales han ido en aumento conforme a la flota vehicular, con lo cual, es de esperar que las partículas de éste tipo vayan en aumento. La distribución de partículas por sector se muestra en las siguientes gráficas.



Gráfica 3.4.1 Principales emisores de PM_{10} y $PM_{2.5}$ por sector

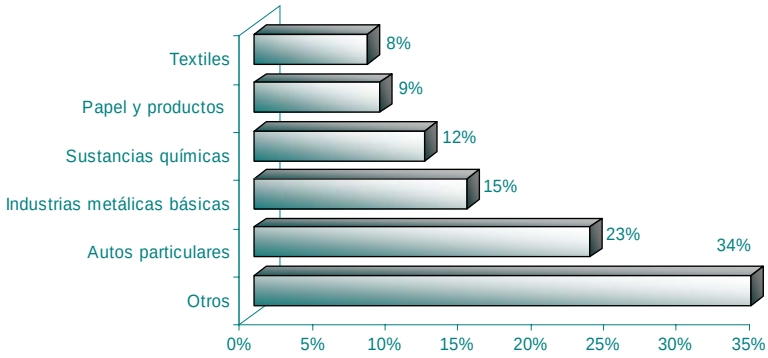
Las $PM_{2.5}$, se estimaron en 6,622 toneladas anuales, siendo los principales generadores los tractocamiones con un 30% (2,014 ton/año). Le sigue en orden de importancia los caminos sin pavimentar, con una aportación del 21% (1,362 ton/año) y los autobuses con el 9% (600 ton/año), en conjunto las fuentes puntuales generan el 10%, y por último, los vehículos particulares el 7%. Cabe resaltar que las emisiones de $PM_{2.5}$ de los tractocamiones y autobuses provienen de la combustión del diesel.

[7] 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.

[8] Análisis of PM2.5 and PM10 in the Atmosphere of México City during 2000-2002 y Chemical Composition of PM2.5 and PM10 in México City during 2000-2002 winter 1997.

Bióxido de azufre (SO_2)

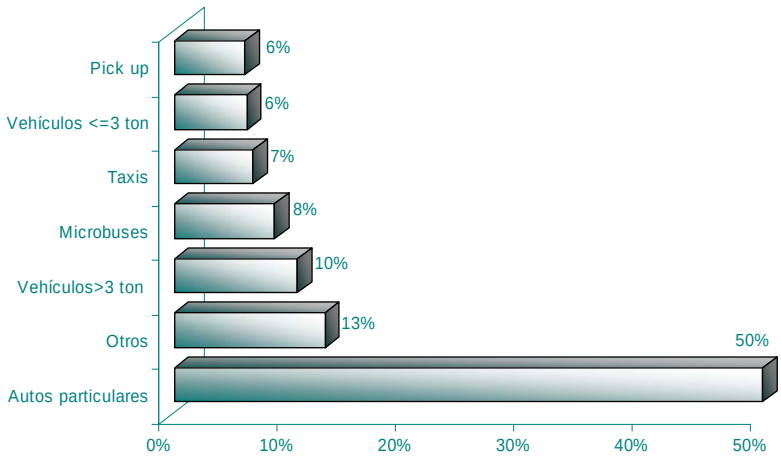
La industria emitió el 55% (4,090 ton/año) de las 7,452 toneladas totales de SO_2 que se generaron en la ZMVM, siendo las ramas más contaminantes, la industria metálica básica y la de sustancias químicas, que aportan en conjunto casi el 27%. Estos giros consumen cantidades importantes de combustible industrial líquido, con contenidos de azufre que van del 0.04% al 4%. Las fuentes móviles en su categoría de autos particulares contribuyeron con el 23% (1,719 ton/año), azufre que proviene de la gasolina que consumen.



Gráfica 3.4.2 Principales emisores de SO_2 por sector

Monóxido de carbono (CO)

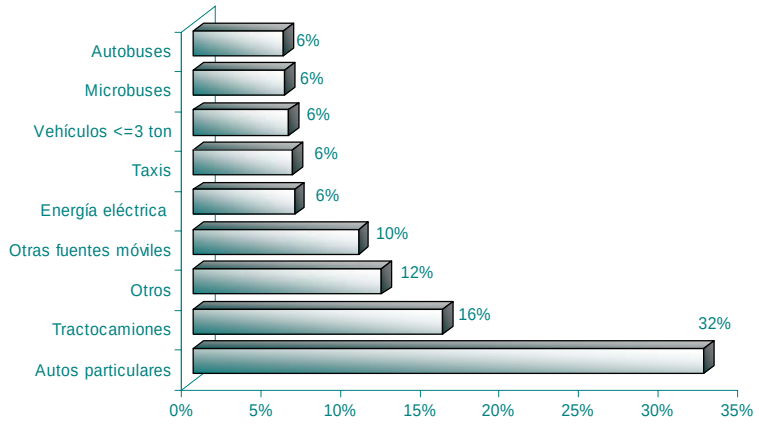
Como se puede apreciar en la Gráfica 3.4.3, el 99% del CO fue emitido por las fuentes móviles. Se tiene que de las 1´792,081 toneladas anuales, los sectores de mayor importancia son los autos particulares con el 50% (890,602 ton/año), los vehículos mayores a 3 toneladas y los microbuses con el 10% y 8% respectivamente, así como los taxis con un 7%. Estas emisiones se generan debido a la combustión incompleta del combustible en los vehículos.



Gráfica 3.4.3 Principales emisores de CO por sector

Óxidos de nitrógeno (NOx)

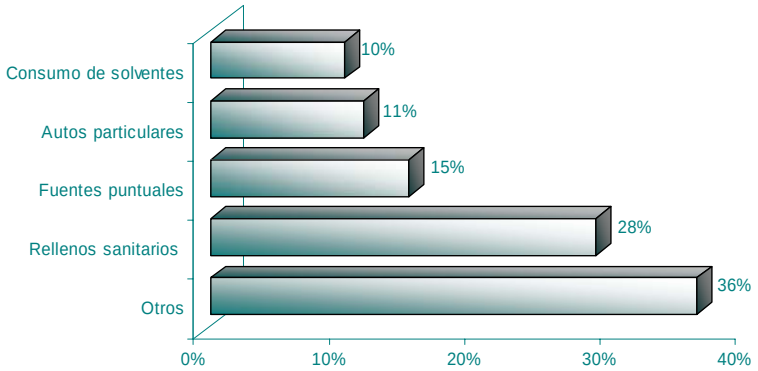
Los óxidos de nitrógeno, al igual que el CO, fueron generados principalmente por las fuentes móviles, contribuyendo con el 82% de las 179,996 toneladas anuales que se emitieron de este contaminante, siendo los autos particulares los que más aportaron con el 32% (57,456 ton/año), le siguen en orden de importancia los tractocamiones que generaron el 16%, con una menor emisión se tiene a los taxis y a los vehículos menores a 3 toneladas, así como el giro de generación de energía que participan con el 6% cada uno. Los NOx se generaron fundamentalmente por la oxidación del nitrógeno del aire a altas temperaturas durante la ignición del combustible.



Gráfica 3.4.4 Principales emisores de NOx por sector

Compuestos orgánicos totales (COT)

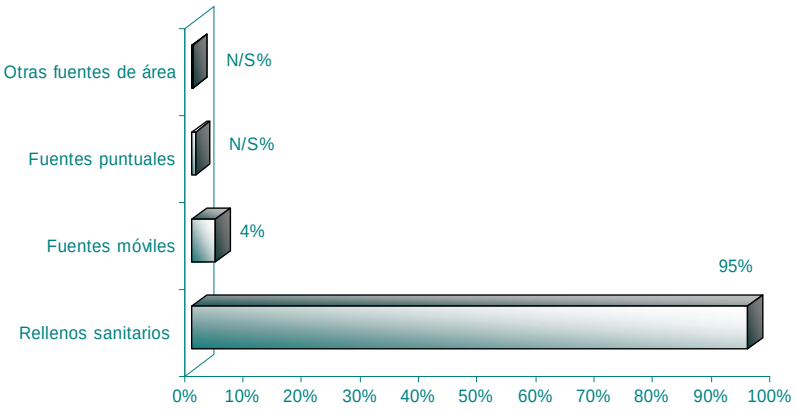
Los COT en la ZMVM, los generan principalmente las fuentes de área; dentro de éstas, los rellenos sanitarios por la descomposición de los residuos sólidos orgánicos (basura) que ahí se depositan, es el sector que más contribuye con 232,947 ton/año (28%); siguiendo en importancia, las fuentes fijas y los autos particulares con el 15% y 11% respectivamente; por último se puede mencionar y al consumo de solventes, sector que emitió el 10%.



Gráfica 3.4.5 6 Principales emisores de COT por sector

Metano (CH_4)

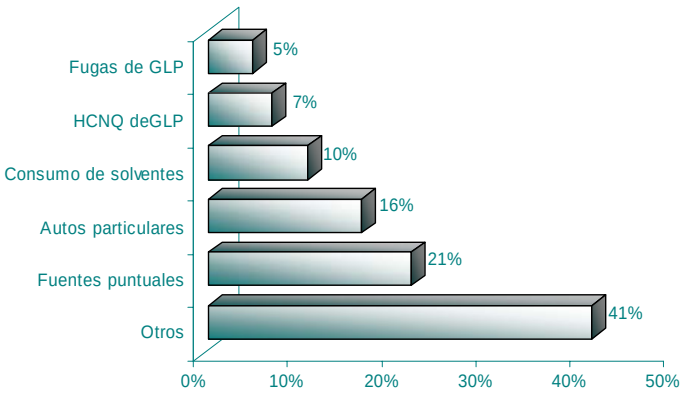
La importancia de conocer la emisión de metano, radica en que es un gas que contribuye al calentamiento global (gas de efecto invernadero) y es más efectivo que el CO_2 para atrapar el calor en la atmósfera. Los rellenos sanitarios ubicados en la ZMVM son la fuente antropogénica que más contribuye a su generación, con 223,346 toneladas anuales (95%,). Las emisiones en los otros sectores son mínimas, siendo los autos particulares los más representativos con 3,931 ton/año.



Gráfica 3.4.7 8 Principales emisores de CH_4 por sector

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

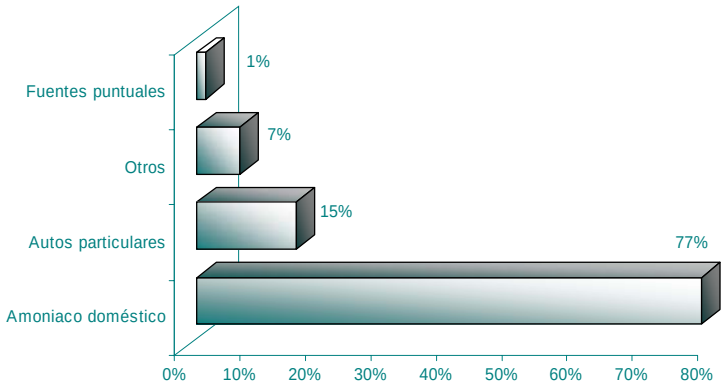
Se estimaron 532,168 toneladas anuales de éstos contaminantes, donde las fuentes de área y móviles son las que generaron las mayores emisiones, con 41% y 35% respectivamente. Entre los sectores más contaminantes se tiene a las fuentes puntuales y a los autos particulares, lo cual representó el 21% y 16% del total respectivamente; también se puede mencionar al consumo de solventes y a los HCNQ de la combustión de gas LP, los que en conjunto generaron el 17%. Es importante mencionar que los COV, son un conjunto de compuestos con alto índice de reactividad, que al interaccionar con los NOx en presencia de energía solar contribuyen a la formación del ozono.



Gráfica 3.4.9 10 Principales emisores de COV por sector

Amoniaco (NH_3)

El amoniaco fue generado en su mayoría por las fuentes de área, las cuales representaron el 77% del total, en particular por las emisiones domésticas con 17,514 ton/año; la contribución por las otras fuentes no fue significativa, excepto los autos particulares que contribuyen con el 15%.



Gráfica 3.4.11 12 Principales emisores de NH_3 por sector

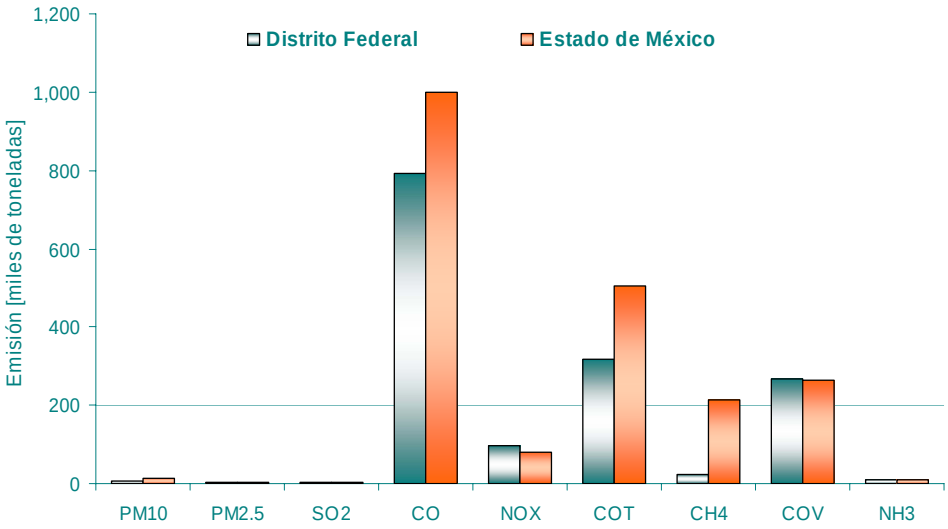
3.5 EMISIONES POR ENTIDAD FEDERATIVA

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, 2004

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}	3,916	37%	63%	10,801	15%	85%	4,768	71%	29%	1,201	2%	98%
$PM_{2.5}$	651	16%	84%	1,962	19%	81%	3,748	72%	28%	261	2%	98%
SO_2	4,090	11%	89%	41	34%	66%	3,321	60%	40%	N/A	N/A	N/A
CO	6,443	18%	82%	7,731	63%	37%	1,777,907	44%	56%	N/A	N/A	N/A
NOx	19,737	13%	87%	11,662	54%	46%	147,971	60%	40%	626	56%	44%
COT	119,746	54%	46%	487,057	30%	70%	198,136	51%	49%	17,606	41%	59%
CH_4	1,559	79%	21%	223,690	7%	93%	9,816	54%	46%	N/A	N/A	N/A
COV	114,101	54%	46%	216,562	48%	52%	183,899	51%	49%	17,606	41%	59%
NH_3	196	17%	83%	13,543	49%	51%	3,775	60%	40%	N/A	N/A	N/A

N/A: No Aplica



Gráfica 3.5.1 Emisiones de la ZMVM por entidad en el 2004

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, COV y partículas como se observa en laTabla 3.5.2.

Tabla 3.5.2 Inventario de emisiones del Distrito Federal, 2004

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	1,441	22.3	104	3.3	457	18.4	1,151	0.1	2,630	2.7	64,901	20.5	1,238	5.5	61,287	23.0	33	0.4
Fuentes de área	1,624	25.1	377	11.8	14	0.6	4,860	0.6	6,259	6.4	143,696	45.4	16,173	71.3	104,503	39.1	6,677	74.3
Fuentes móviles	3,387	52.3	2,712	84.8	2,009	81.0	786,184	99.2	88,385	90.5	101,026	31.9	5,283	23.3	94,068	35.2	2,272	25.3
Vegetación y suelos	20	0.3	4	0.1	N/A	N/A	N/A	N/A	350	0.4	7,158	2.3	N/A	N/A	7,158	2.7	N/A	N/A
Total	**6,472**	**100**	**3,197**	**100**	**2,480**	**100**	**792,195**	**100**	**97,624**	**100**	**316,781**	**100**	**22,694**	**100**	**267,016**	**100**	**8,982**	**100**

N/A: No Aplica, N/S

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

Tabla 3.5.3 Inventario de emisiones desagregado por sector del Distrito Federal, 2004

Sector	Emisiones [ton /año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Fuentes puntuales	**1,441**	**104**	**457**	**1,151**	**2,630**	**64,901**	**1,238**	**61,287**	**33**
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	541	22	34	225	331	3,244	7	3,223	4
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	68	8	55	51	123	156	2	152	5
Industria de la madera y productos de madera	18	0	0	2	5	737	0	729	0
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	44	13	86	102	276	15,784	10	14,748	5
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	216	16	123	155	489	29,827	265	28,945	9
Productos minerales no metálicos.*	129	6	3	72	177	4,416	805	3,875	2
Industrias metálicas básicas	162	12	110	233	578	4,003	4	3,182	3
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	202	16	15	208	375	5,731	68	5,563	4
Otras industrias manufactureras	53	3	30	17	67	992	75	864	0
Generación de energía eléctrica	8	8	1	86	209	11	2	6	1
Fuentes de área	**1,624**	**377**	**14**	**4,860**	**6,259**	**143,696**	**16,173**	**104,503**	**6,677**
Combustión industrial	55	55	4	606	722	79	17	40	4
Combustión comercial/institucional	17	17	N/S	92	500	21	7	13	N/E
Combustión habitacional	71	71	1	296	1,735	82	26	49	1
Operación de aeronaves	17	17	N/S	3,071	2,923	1,859	178	1,785	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	7	7	4	40	315	13	N/E	13	N/E
Terminales de Autobuses de pasajeros	1	1	N/S	86	43	20	1	20	N/S
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11,119	N/A	10,986	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,216	N/A	1,192	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	11,814	N/A	10,278	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	347	N/A	343	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	15,636	N/A	9,382	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,218	N/A	3,026	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,475	N/A	3,475	N/A
Aplicación de asfalto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	38	N/A	38	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	39,760	N/A	27,434	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	623	N/A	623	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6	N/S	6	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,262	N/S	1,241	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12,637	1	12,435	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	18,109	2	17,819	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,292	N/A	2,292	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	17	N/A	16,604	15,920	681	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,401	N/A	1,289	N/E
Incendios forestales	49	40	5	438	16	30	21	14	2
Incendios en estructuras	14	13	N/E	214	5	18	N/A	12	N/A
Emisiones domésticas de amoniaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,670
Caminos pavimentados	527	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	866	131	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	**3,387**	**2,712**	**2,009**	**786,184**	**88,385**	**101,026**	**5,283**	**94,068**	**2,272**
Autos particulares	463	258	1,022	325,030	27,139	35,982	1,530	33,327	1,485
Taxis	129	72	285	104,960	9,897	12,685	537	11,748	432
Combis	5	3	10	13,990	642	1,353	57	1,253	15
Microbuses	27	15	84	83,756	6,957	12,283	1,177	11,425	126
Pick up	19	11	53	22,209	2,104	2,499	119	2,311	57
Vehículos ≤ a 3 ton	245	205	154	71,764	7,567	8,177	325	7,613	86
Tractocamiones	1,785	1,553	141	24,534	22,408	8,907	381	8,518	23
Autobuses	569	494	153	12,651	8,881	3,889	165	3,718	12
Vehículos> a 3 ton	75	61	49	36,930	1,817	2,883	254	2,609	16
Motocicletas	70	40	58	90,360	973	12,368	738	11,546	20
Vegetación y suelos	**20**	**4**	**N/A**	**N/A**	**350**	**7,158**	**N/A**	**7,158**	**N/A**
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	350	7,158	N/A	7,158	N/A
Erosión eólica del suelo	20	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	**6,472**	**3,197**	**2,480**	**792,195**	**97,624**	**316,781**	**22,694**	**267,016**	**8,982**

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, 2004

Sector	Emisiones [%]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Fuentes puntuales	**22.27**	**3.25**	**18.39**	**0.13**	**2.69**	**20.48**	**5.45**	**22.95**	**0.37**
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	8.36	0.69	1.37	0.03	0.34	1.02	0.03	1.21	0.04
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	1.05	0.25	2.22	0.01	0.13	0.05	0.01	0.06	0.06
Industria de la madera y productos de madera	0.28	0.00	0.00	0.00	0.01	0.23	N/S	0.27	0.00
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	0.68	0.41	3.47	0.01	0.28	4.98	0.04	5.52	0.06
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	3.34	0.50	4.96	0.02	0.50	9.42	1.17	10.84	0.10
Productos minerales no metálicos.*	1.99	0.19	0.12	0.01	0.18	1.39	3.55	1.45	0.02
Industrias metálicas básicas	2.50	0.38	4.44	0.03	0.59	1.26	0.02	1.19	0.03
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	3.12	0.50	0.60	0.03	0.38	1.81	0.30	2.08	0.04
Otras industrias manufactureras	0.82	0.09	1.21	N/S	0.07	0.31	0.33	0.32	0.00
Generación de energía eléctrica	0.12	0.25	N/S	N/S	0.21	N/S	N/S	0.00	0.01
Fuentes de área	**25.09**	**11.79**	**0.56**	**0.61**	**6.41**	**45.36**	**71.26**	**39.13**	**74.34**
Combustión industrial	0.85	1.72	0.16	0.08	0.74	0.02	0.07	0.01	0.04
Combustión comercial/institucional	0.26	0.53	N/S	0.01	0.51	0.01	0.03	0.00	N/E
Combustión habitacional	1.10	2.22	0.04	0.04	1.78	0.03	0.11	0.02	0.01
Operación de aeronaves	0.26	0.53	N/S	0.39	2.99	0.59	0.78	0.67	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	0.11	0.22	0.16	N/S	0.32	N/S	N/E	0.00	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	0.02	0.03	N/S	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	3.51	N/A	4.11	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	3.73	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	4.94	N/A	3.51	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.65	N/A	1.13	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.10	N/A	1.30	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	0.01	N/A	0.01	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12.55	N/A	10.27	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.20	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	0.40	N/S	0.46	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.99	N/S	4.66	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5.72	0.01	6.67	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	5.24	70.15	0.26	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.44	N/A	0.48	N/E
Incendios forestales	0.76	1.25	0.20	0.06	0.02	0.01	0.09	N/S	0.02
Incendios en estructuras	0.22	0.41	N/E	0.03	N/S	0.01	N/A	N/S	N/A
Emisiones domésticas de amoniaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	74.26
Caminos pavimentados	8.14	0.78	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	13.38	4.10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	**52.33**	**84.83**	**81.01**	**99.24**	**90.54**	**31.89**	**23.28**	**35.23**	**25.30**
Autos particulares	7.15	8.07	41.21	41.03	27.80	11.36	6.74	12.48	16.53
Taxis	1.99	2.25	11.49	13.25	10.14	4.00	2.37	4.40	4.81
Combis	0.08	0.09	0.40	1.77	0.66	0.43	0.25	0.47	0.17
Microbuses	0.42	0.47	3.39	10.57	7.13	3.88	5.19	4.28	1.40
Pick up	0.29	0.34	2.14	2.80	2.16	0.79	0.52	0.87	0.63
Vehículos ≤ a 3 ton	3.79	6.41	6.21	9.06	7.75	2.58	1.43	2.85	0.96
Tractocamiones	27.58	48.58	5.69	3.10	22.95	2.81	1.68	3.19	0.26
Autobuses	8.79	15.45	6.17	1.60	9.10	1.23	0.73	1.39	0.13
Vehículos> a 3 ton	1.16	1.91	1.98	4.66	1.86	0.91	1.12	0.98	0.18
Motocicletas	1.08	1.25	2.34	11.41	1.00	3.90	3.25	4.32	0.22
Vegetación y suelos	**0.31**	**0.13**	**N/A**	**N/A**	**0.36**	**2.26**	**N/A**	**2.68**	**N/A**
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	0.36	2.26	N/A	2.68	N/A
Erosión eólica del suelo	0.31	0.13	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 (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

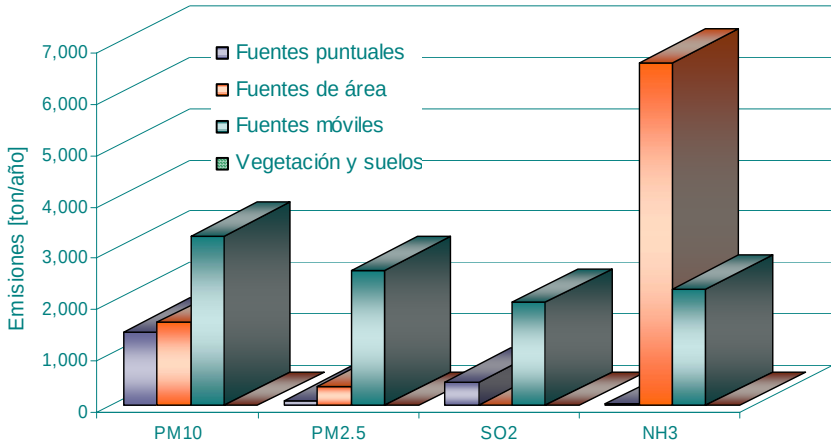
En el Distrito Federal se emitieron 6,472 toneladas anuales de $PM_{10,}$ de las cuales, se tienen como sectores más contaminantes a los tractocamiones con el 28%, a las fuentes puntuales con 22% y a los caminos sin pavimentar con el 13%. En lo que se refiere a las $PM_{2.5}$, los tractocamiones y los autobuses son los de mayor emisión con un 49% y 15% respectivamente, debidas a la combustión incompleta del diesel que utilizan como combustible.

Bióxido de azufre (SO_2)

Las emisiones de SO_2 ascendieron a 2,480 toneladas al año, de las cuales, el 81% fue generado por las fuentes móviles y en primer término por los autos particulares con 1,022 ton/año (41%), seguido por las fuentes puntuales que generaron el 18% del total.

Amoniaco (NH_3)

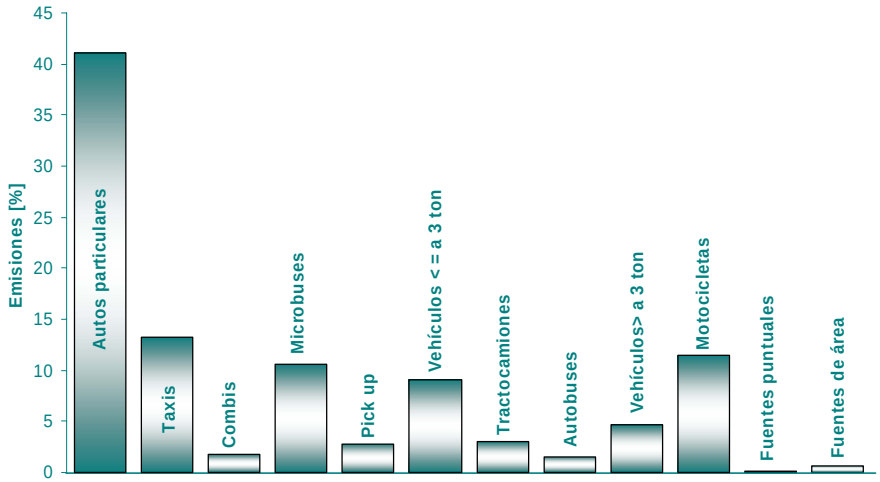
Las emisiones de amoniaco que se generaron en el Distrito Federal por las actividades domésticas contribuyeron con el 74% de las 8,982 toneladas anuales. Cabe mencionar que dichas emisiones se estimaron en forma *per cápita* por lo tanto su generación dependió de la población de las delegaciones y municipios. Otro sector importante fueron los autos particulares que emitieron el 17%. La siguiente gráfica muestra la contribución de la emisión de partículas, SO_2 y NH_3 por sector.



Gráfica 3.5.2 Emisiones de PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2 y NH_3 por tipo de fuente

Monóxido de carbono (CO)

En el Distrito Federal se liberaron 792,195 toneladas anuales de CO, el 99% fue generado por las fuentes móviles, siendo los autos particulares los que más contaminaron con el 41%, seguidos de los taxis y las motocicletas, con 13% y 11% respectivamente; otros vehículos de considerable emisión fueron los microbuses y los vehículos menores a 3 toneladas, aportando en conjunto, el 20% con 155,520 ton/año.



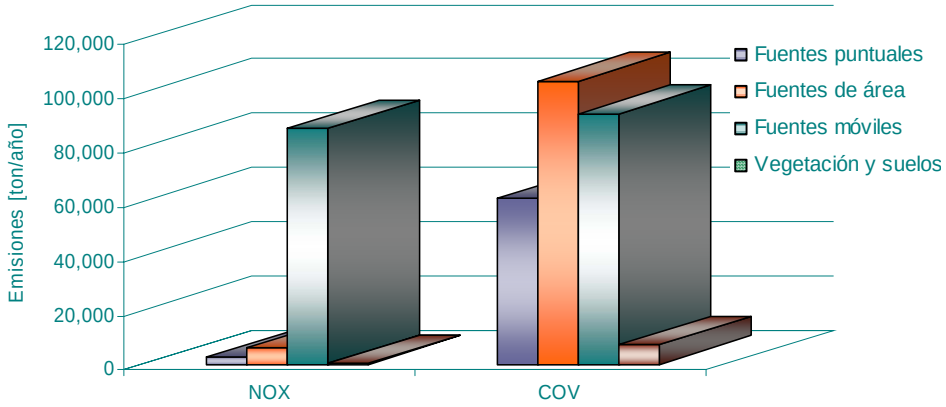
Gráfica 3.5.3 Contribución porcentual de las emisiones de CO

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 de área y las fuentes móviles inventariadas fueron las que generaron las mayores emisiones de COV, en donde los sectores más contaminantes son: los autos particulares con 12%, seguidos por el uso comercial y doméstico de solventes con el 10%; en suma se tiene un total de 267,016 toneladas anuales en todo el Distrito Federal.

Óxidos de nitrógeno (NOx)

Los NOx, al igual que los COV, 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 28% de las 97,624 toneladas que se generaron al año y los sectores que le siguieron en importancia fueron los tractocamiones (22,408 ton/año) con el 23% y los taxis (9,897 ton/año) con el 10%. Por último, los autobuses contribuyeron con el 9% de los NOx; en general, se debe en gran medida, a la constante actividad de los mismos y no al número de unidades que existen en circulación.



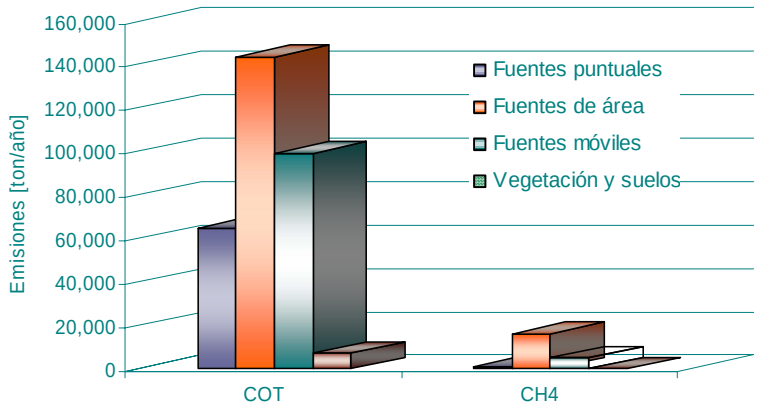
Gráfica 3.5.4 Emisiones de COV y NO_X por tipo de fuente

Compuestos orgánicos totales (COT)

De un total de 316,781 ton/año, el 45% de los COT fueron generados por las fuentes de área y un 32% por las fuentes móviles, siendo los autos particulares los que generaron las mayores emisiones con el 11% del total; dentro de las fuentes de área, el uso comercial y doméstico de solventes, es el sector más contaminante con un 13% (39,760 ton/año). En conjunto, las fuentes puntuales contribuyeron con el 20% y en el caso de las emisiones biogénicas, su aporte fue mínimo, con sólo 2% anual.

Metano (CH_4)

En el Distrito Federal se generaron 22,694 toneladas anuales de metano, de las cuales, el 70% 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 23% del metano, es conveniente mencionar que los tipos de vehículos más contaminantes fueron los autos particulares (7%) y los microbuses (5%).



Gráfica 3.5.5 Emisiones de COT y CH_4 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 2004

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	2,475	17.4	547	16.0	3,633	73.1	5,292	0.5	17,107	20.8	54,845	10.8	321	0.2	52,814	19.9	163	1.9
Fuentes de área	9,177	64.6	1,585	46.3	27	0.5	2,871	0.3	5,403	6.6	343,361	67.9	207,517	97.7	112,059	42.3	6,866	80.5
Fuentes móviles	1,381	9.7	1,036	30.2	1,312	26.4	991,723	99.2	59,586	72.3	97,110	19.2	4,533	2.1	89,831	33.9	1,503	17.6
Vegetación y suelos	1,181	8.3	257	7.5	N/A	N/A	N/A	N/A	276	0.3	10,448	2.1	N/A	N/A	10,448	3.9	N/A	N/A
Total	**14,214**	**100**	**3,425**	**100**	**4,972**	**100**	**999,886**	**100**	**82,372**	**100**	**505,764**	**100**	**212,371**	**100**	**265,152**	**100**	**8,532**	**100**

N/A : No Aplica

Tabla 3.5.6 Inventario de emisiones desagregado por sector del Estado de México, 2004

Sector	Emisiones [ton /año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Fuentes puntuales	**2,475**	**547**	**3,633**	**5,292**	**17,107**	**54,845**	**321**	**52,814**	**163**
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	99	46	144	286	986	1,612	11	1,589	11
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	292	21	524	55	215	2,189	8	2,170	5
Industria de la madera y productos de madera	20	6	143	2	19	3,495	0	3,458	0
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	75	45	555	318	684	7,258	10	7,121	15
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	161	50	752	476	1,045	29,420	133	28,595	32
Productos minerales no metálicos.*	715	123	202	378	1,318	446	63	382	18
Industrias metálicas básicas	585	16	982	361	1,331	1,713	4	1,252	5
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	333	48	300	1,283	587	8,044	10	7,775	10
Otras industrias manufactureras	3	0	16	7	65	390	24	333	0
Generación de energía eléctrica	192	192	15	2,126	10,857	278	58	139	67
Fuentes de área	**9,177**	**1,585**	**27**	**2,871**	**5,403**	**343,361**	**207,517**	**112,059**	**6,866**
Combustión industrial	171	171	14	1,890	2,250	248	52	124	11
Combustión comercial/institucional	15	15	N/S	66	479	18	7	12	N/E
Combustión habitacional	60	60	N/S	258	1,672	71	24	44	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	13	126	995	42	N/E	41	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	11,410	N/A	11,273	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,248	N/A	1,223	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12,123	N/A	10,547	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	357	N/A	352	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	16,045	N/A	9,627	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5,355	N/A	3,106	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3,566	N/A	3,566	N/A
Aplicación de asfalto	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	39	N/A	39	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	40,800	N/A	28,152	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	344	N/A	344	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	1,663	N/S	1,636	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	12,116	1	11,922	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	17,971	2	17,683	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,352	N/A	2,352	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	N/A	2	N/E
Rellenos sanitarios	N/A	N/A	N/A	224	N/A	216,343	207,426	8,873	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,225	N/A	1,127	N/E
Incendios forestales	8	7	0	87	2	5	5	2	N/A
Incendios en estructuras	14	13	N/E	220	5	18	N/A	12	N/A
Emisiones domésticas de amoniaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6,855
Caminos pavimentados	996	66	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	7,889	1,231	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	**1,381**	**1,036**	**1,312**	**991,723**	**59,586**	**97,110**	**4,533**	**89,831**	**1,503**
Autos particulares	397	222	697	565,572	30,317	56,707	2,401	52,522	1,163
Taxis	15	8	27	13,749	1,165	1,624	69	1,504	51
Combis	19	11	34	55,204	2,566	5,334	226	4,940	61
Microbuses	15	9	39	67,800	3,321	6,484	284	6,031	45
Pick up	44	25	96	84,129	6,468	8,326	396	7,701	112
Vehículos ≤ a 3 ton	38	29	61	37,347	3,128	3,731	153	3,471	31
Tractocamiones	530	461	143	7,411	6,686	2,668	113	2,551	7
Autobuses	122	106	108	3,364	1,870	852	39	812	2
Vehículos> a 3 ton	195	162	103	149,108	3,981	10,106	776	9,106	29
Motocicletas	6	3	4	8,039	84	1,278	76	1,193	2
Vegetación y suelos	**1,181**	**257**	**N/A**	**N/A**	**276**	**10,448**	**N/A**	**10,448**	**N/A**
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	276	10,448	N/A	10,448	N/A
Erosión eólica del suelo	1,181	257	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	**14,214**	**3,425**	**4,972**	**999,886**	**82,372**	**505,764**	**212,371**	**265,152**	**8,532**

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, 2004

Sector	Emisiones [%]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Fuentes puntuales	**17.41**	**15.97**	**73.07**	**0.53**	**20.77**	**10.84**	**0.15**	**19.92**	**1.91**
Productos alimenticios, bebidas y tabaco	0.70	1.34	2.90	0.03	1.20	0.32	0.01	0.60	0.13
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero	2.05	0.61	10.54	0.01	0.26	0.43	N/S	0.82	0.06
Industria de la madera y productos de madera	0.14	0.18	2.88	N/S	0.02	0.69	N/S	1.30	0.00
Papel y productos de papel, imprenta y editoriales	0.53	1.31	11.16	0.03	0.83	1.44	0.00	2.69	0.18
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico	1.13	1.46	15.12	0.05	1.27	5.82	0.06	10.78	0.38
Productos minerales no metálicos.*	5.03	3.59	4.06	0.04	1.60	0.09	0.03	0.14	0.21
Industrias metálicas básicas	4.12	0.47	19.75	0.04	1.62	0.34	0.00	0.47	0.06
Productos metálicos, maquinaria y equipo.**	2.34	1.40	6.03	0.13	0.71	1.59	0.00	2.93	0.12
Otras industrias manufactureras	0.02	0.00	0.32	N/S	0.08	0.08	0.01	0.13	N/S
Generación de energía eléctrica	1.35	5.61	0.30	0.21	13.18	0.05	0.03	0.05	0.79
Fuentes de área	**64.56**	**46.28**	**0.54**	**0.29**	**6.56**	**67.88**	**97.71**	**42.26**	**80.47**
Combustión industrial	1.20	4.99	0.28	0.19	2.73	0.05	0.02	0.05	0.13
Combustión comercial/institucional	0.11	0.44	N/S	0.01	0.58	N/S	N/S	N/S	N/E
Combustión habitacional	0.42	1.75	N/S	0.03	2.03	0.01	0.01	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)	0.17	0.64	0.26	0.01	1.21	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	2.26	N/A	4.25	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.25	N/A	0.46	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.40	N/A	3.98	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.07	N/A	0.13	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.17	N/A	3.63	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.06	N/A	1.17	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.71	N/A	1.34	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	0.01	N/A	0.01	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	8.07	N/A	10.62	N/A
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.07	N/A	0.13	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	0.33	N/S	0.62	N/A
Fugas en instalaciones de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2.40	N/S	4.50	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3.55	N/S	6.67	N/A
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.47	N/A	0.89	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	42.78	97.67	3.35	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.24	N/A	0.43	N/E
Incendios forestales	0.06	0.20	N/S	0.01	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S
Incendios en estructuras	0.10	0.38	N/E	0.02	0.01	N/S	N/A	0.00	N/A
Emisiones domésticas de amoniaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	80.34
Caminos pavimentados	7.01	1.93	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	55.50	35.94	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fuentes móviles	**9.72**	**30.16**	**26.39**	**99.18**	**72.34**	**19.20**	**2.10**	**33.88**	**17.62**
Autos particulares	2.79	6.48	14.02	56.56	36.80	11.21	1.13	19.81	13.63
Taxis	0.11	0.23	0.54	1.38	1.41	0.32	0.03	0.57	0.60
Combis	0.13	0.32	0.68	5.52	3.12	1.05	0.11	1.86	0.71
Microbuses	0.11	0.26	0.78	6.78	4.03	1.28	0.13	2.27	0.53
Pick up	0.31	0.73	1.93	8.41	7.85	1.65	0.19	2.90	1.31
Vehículos ≤ a 3 ton	0.27	0.85	1.23	3.74	3.80	0.74	0.07	1.31	0.36
Tractocamiones	3.73	13.46	2.88	0.74	8.12	0.53	0.05	0.96	0.08
Autobuses	0.86	3.09	2.17	0.34	2.27	0.17	0.02	0.31	0.02
Vehículos> a 3 ton	1.37	4.73	2.07	14.91	4.83	2.00	0.37	3.43	0.34
Motocicletas	0.04	N/S	0.08	0.80	0.10	0.25	N/S	0.45	0.02
Vegetación y suelos	**8.31**	**7.50**	**N/A**	**N/A**	**0.34**	**2.07**	**N/A**	**3.94**	**N/A**
Vegetación	N/A	N/A	N/A	N/A	0.34	2.07	N/A	3.94	N/A
Erosión eólica del suelo	8.31	7.50	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 (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

En el Estado de México se estimaron 14,214 toneladas anuales de PM_{10}, donde los caminos sin pavimentar de las fuentes de área son los que tienen las mayores emisiones, generando el 56%; en conjunto las fuentes puntuales generan los 17%, seguidas por la erosión eólica con el 8% de las emisiones.

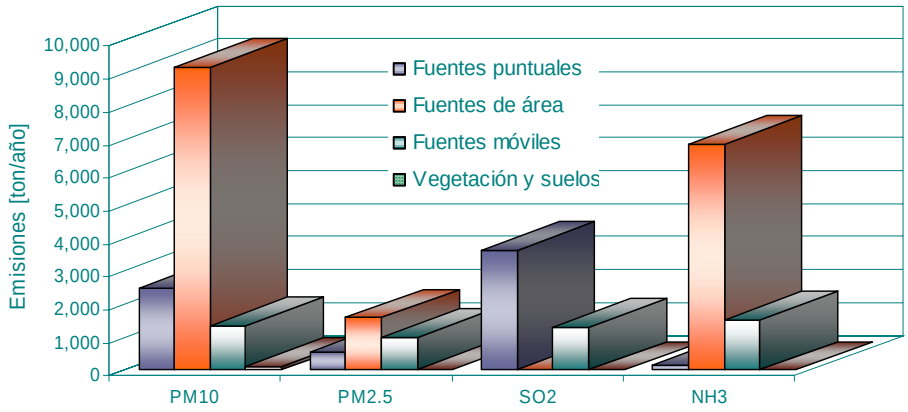
En lo que se refiere a las $PM_{2.5}$, siguen siendo los caminos sin pavimentar los principales responsables de las emisiones con el 36% de las 3,425 ton/año que se emitieron durante el 2004; las fuentes puntuales emiten el 16%, y los tractocamiones el 13%.

Bióxido de azufre (SO_2)

Las principales emisiones de SO_2 son atribuidas a las fuentes puntuales, con 3,633 toneladas anuales y dentro de éstas, la industria metálica básica y la de sustancias químicas generaron el 20% y 15% respectivamente. Las fuentes móviles contribuyeron con el 26% del SO_2 y tienen como principales emisores a los autos particulares con el 14% de un total de 4,972 toneladas por año.

Amoniaco (NH_3)

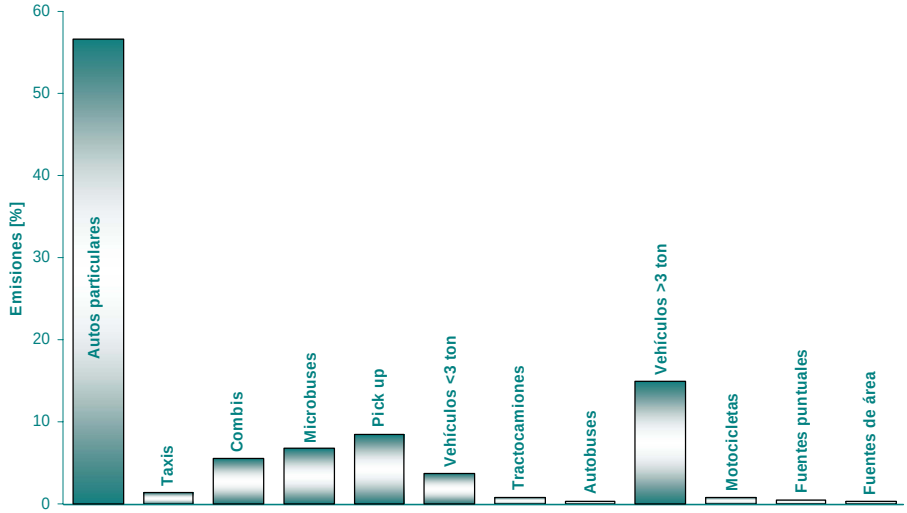
De un total de 8,532 ton/año de amoniaco, el 80% fue generado por las emisiones domésticas y un 14% por los autos particulares, siendo éstas dos categorías las de mayor contribución en la generación de amoniaco.



Gráfica 3.5.6 Contribución porcentual de las emisiones de PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2 y NH_3 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 (999,886 ton/año), teniendo a los autos particulares como los mayores emisores con el 57%; los siguientes más emisores fueron los vehículos mayores a tres toneladas y las pick up, con 15% y 8% del total.



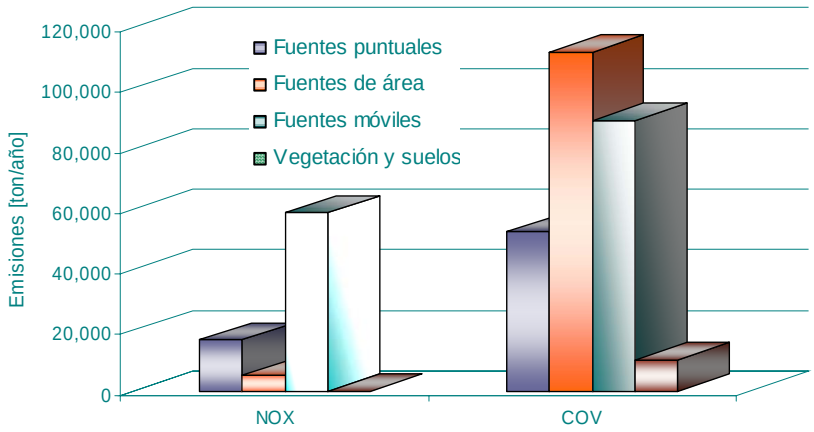
Gráfica 3.5.7 Contribución porcentual de las emisiones de CO

Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)

Los autos particulares emitieron el 20% del total de COV (265,152 ton/año), sin embargo, en conjunto, las fuentes de área representaron el 42%, siendo el uso comercial y doméstico de solventes, así como los hidrocarburos no quemados de GLP los principales emisores (11% y 7% respectivamente).

Óxidos de Nitrógeno (NOx)

De las 82,372 toneladas de NOx que se estimaron en el Estado de México, los autos particulares emitieron el 37%; en general, las fuentes móviles contribuyeron con el 72% del total y las fuentes puntuales con el 21%. Dentro de éstas últimas es de resaltar la contribución del giro de generación de energía eléctrica, el cual emitió 10,857 toneladas durante el año 2004, es decir el 13% del total.



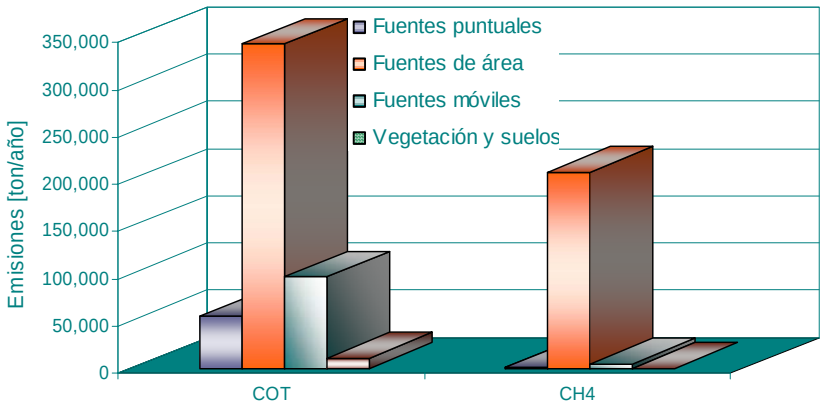
Gráfica 3.5.8 Emisiones de COV y NO_X por tipo de fuente

Compuestos Orgánicos Totales (COT)

De las 505,764 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 43% (Bordo Poniente, Nezahualcóyotl y La Paz), así como al uso comercial y doméstico de solventes con 8%. Las fuentes móviles contribuyeron con el 19% de este contaminante, el cual es emitido en su mayoría por los autos particulares (11%).

Metano (CH_4)

Los rellenos sanitarios aportaron las mayores emisiones de metano, con el 98% de las 212,371 toneladas inventariadas para el Estado de México; las fuentes móviles representan el otro 2% restante, ya que las otras fuentes no tienen emisiones significativas.



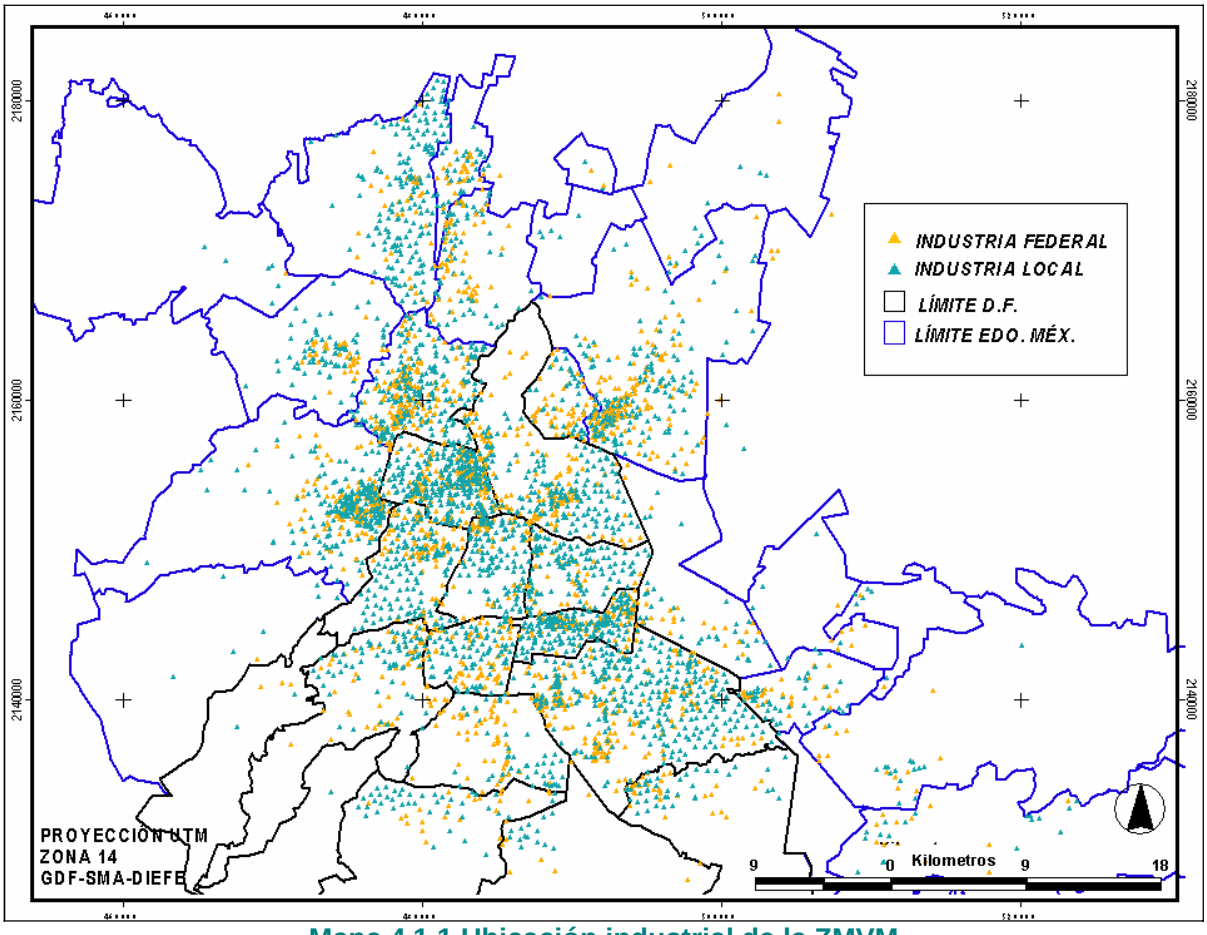
Gráfica 3.5.9 Emisiones de COT y CH_4 por tipo de fuente

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 de 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 4,946 establecimientos[1], 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 clasificacdo como municipio conurbado, sin embargo, debido a que en el se ubican dos grandes industrias del sector

energético[2] 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 Ecología[3].

La fuente de información básica para calcular las emisiones de éste inventario fueron la Cédula de Operación Anual (COA) y la Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal (LAUDF) "ANEXO A" 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 (US-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.

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	NOx	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 CH_4 se estima como una fracción de los COV

[2] Compañía de. Luz y Fuerza-Turbogas Valle de México y Comisión Federal de Electricidad-Central Termoeléctrica Valle de México.
[3] http://www.ine.gob.mx/dggia/cal_aire/espanol/invtemi.html

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) o su Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal (LAUDF), 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.

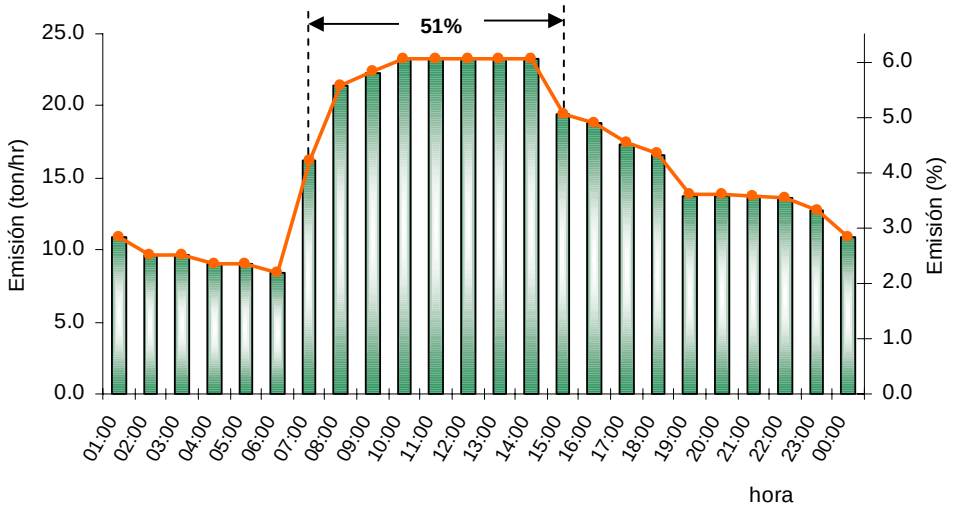
De las 4,946 industrias registradas para el año 2004, el 57% se ubica en el Distrito Federal y el 43% restante, en los municipios conurbados del Estado de México. Tomando en cuenta la jurisdicción, se tiene que del total de industrias de la ZMVM, 2,800 son de jurisdicción local y 2,146 de jurisdicción federal.

4.1.2 Emisiones 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 y de la LAUDF (Anexo A), 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 que contiene la COA y la LAUDF en el Anexo A 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 toneladas por hora y en porcentaje. En ella se observa que al menos el 2% de las emisiones de cada hora es emitido por la industria que labora las 24 horas del día, es decir estas industrias contribuyen aproximadamente con el 50% de las emisiones que se generan diariamente. Así mismo se observa que las horas con mayor emisión se encuentran entre las 07:00 y las 15:00 horas, donde se libera el 51% de las emisiones diarias.



Gráfica 4.1.1 Emisión horaria de COV de las fuentes puntuales

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 las fuentes puntuales en la ZMVM

Emisiones [ton/hr]										
Hora	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOX	COT	COV	CH_4	NH_3	HC
00:00	0.38	0.05	0.44	0.39	0.87	11.43	10.90	0.19	0.01	11.36
01:00	0.38	0.04	0.44	0.38	0.81	11.40	10.87	0.19	0.01	11.33
02:00	0.37	0.04	0.44	0.36	0.80	10.08	9.65	0.05	0.01	10.01
03:00	0.37	0.04	0.43	0.36	0.80	10.08	9.65	0.05	0.01	10.01
04:00	0.34	0.04	0.40	0.33	0.74	9.43	9.03	0.05	0.01	9.37
05:00	0.33	0.04	0.40	0.33	0.74	9.41	9.00	0.05	0.01	9.35
06:00	0.30	0.04	0.35	0.32	0.72	8.83	8.44	0.05	0.01	8.78
07:00	0.45	0.06	0.52	0.61	1.33	16.93	16.22	0.15	0.02	16.85
08:00	0.57	0.07	0.61	0.72	1.52	22.46	21.40	0.30	0.02	22.29
09:00	0.65	0.08	0.64	0.78	1.59	23.44	22.33	0.32	0.02	23.26
10:00	0.67	0.08	0.68	0.81	1.66	24.39	23.25	0.32	0.02	24.20
11:00	0.67	0.08	0.68	0.81	1.66	24.39	23.25	0.32	0.02	24.20
12:00	0.67	0.08	0.68	0.81	1.66	24.39	23.25	0.32	0.02	24.20
13:00	0.67	0.08	0.68	0.81	1.66	24.39	23.25	0.32	0.02	24.20
14:00	0.67	0.08	0.68	0.81	1.66	24.39	23.25	0.32	0.02	24.20
15:00	0.64	0.07	0.65	0.69	1.37	20.41	19.44	0.24	0.02	20.22
16:00	0.63	0.07	0.64	0.66	1.28	19.68	18.75	0.23	0.02	19.49
17:00	0.54	0.06	0.60	0.61	1.16	18.25	17.38	0.22	0.02	18.07
18:00	0.52	0.06	0.58	0.60	1.12	17.44	16.62	0.22	0.02	17.28
19:00	0.48	0.06	0.57	0.58	1.10	14.43	13.78	0.22	0.02	14.34
20:00	0.48	0.05	0.57	0.57	1.09	14.41	13.77	0.22	0.02	14.33
21:00	0.47	0.05	0.56	0.56	1.08	14.39	13.74	0.22	0.02	14.30
22:00	0.46	0.05	0.54	0.51	1.03	14.21	13.58	0.22	0.01	14.12
23:00	0.42	0.05	0.51	0.47	0.95	13.35	12.75	0.21	0.01	13.26
	12.14	**1.43**	**13.32**	**13.88**	**28.39**	**402.03**	**383.55**	**5.00**	**0.41**	**399.03**

En lo que se refiere a las emisiones de NOx, tenemos que la tabla anterior muestra que a partir de las 7:00 horas se incrementan las emisiones de NOx, esto se debe principalmente a que el sector energético se utiliza en mayor proporción a partir de este horario.

Referente a los demás contaminantes, tenemos que se distribuyen de acuerdo a los horarios de operación de las industrias, y como se indicó, las máximas emisiones se presentan de las 7:00 hasta las 15:00 horas del día.

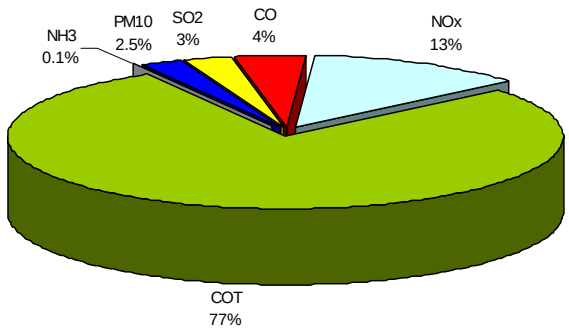
Emisiones anuales de las fuentes puntuales

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	Número de empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	521	640	68	178	511	1,317	4,856	4,812	18	15
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	427	360	29	579	106	338	2,345	2,322	10	10
Industria de la madera y productos de madera. Incluye muebles.	189	38	6	143	4	24	4,232	4,187	0	0
Papel y productos de papel, Imprenta y editoriales.	556	119	58	641	420	960	23,042	21,869	20	20
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico.	1,226	377	66	875	631	1,534	59,247	57,540	398	41
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón.	213	844	129	205	450	1,495	4,862	4,257	868	20
Industrias metálicas básicas.	221	747	28	1,092	594	1,909	5,716	4,434	8	8
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.	1,305	535	64	315	1,491	962	13,775	13,338	78	14
Otras industrias manufactureras.	282	56	3	46	24	132	1,382	1,197	99	0
Generación de energía eléctrica	6	200	200	16	2,212	11,066	289	145	60	68
Total	**4,946**	**3,916**	**651**	**4,090**	**6,443**	**19,737**	**119,746**	**114,101**	**1,559**	**196**

En conjunto, la industria de la ZMVM emite alrededor de 154,128 toneladas al año de contaminantes criterio, de las cuales el 77% son emisiones de COT, el 13 % de NOX, 4% de CO, 3% de SO_2, 2.5% de PM_{10} y el 0.1% corresponde al NH_3, esto se puede observar 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 2,403 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	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3111	84	5	1	2	9	23	39	38	N/S	1
3112	46	18	9	39	23	68	5	4	N/S	2
3113	29	29	2	8	7	17	1,205	1,203	N/S	N/S
3114	35	280	1	N/S	8	14	3	2	N/S	N/S
3115	41	27	3	1	33	55	873	870	2	N/S
3116	5	23	N/S	N/S	4	6	2	2	N/S	N/S
3117	34	17	7	50	36	83	31	29	1	4
3119	68	7	1	10	15	49	85	80	N/S	1
3121	97	67	14	2	162	340	152	141	5	5
3122	25	124	3	58	4	18	52	52	N/S	N/S
3130	56	40	27	8	208	635	2,403	2,386	10	2
3140	1	3	N/S	N/S	2	9	6	5	N/S	N/S
Total	**521**	**640**	**68**	**178**	**511**	**1,317**	**4,856**	**4,812**	**18**	**15**

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 SO_2. Lo anterior es debido a que la mayoría de los equipos de combustión en está 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	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3211	5	N/S	N/S	N/S	1	4	117	101	5	N/S
3212	225	324	25	476	89	252	2,009	2,005	3	8
3213	30	12	1	N/S	4	23	56	55	N/S	N/S
3214	33	18	3	99	9	40	64	63	1	2
3220	78	4	N/S	4	3	15	38	38	N/S	N/S
3230	33	2	N/S	N/S	N/S	4	20	20	N/S	N/S
3240	23	N/S	N/S	N/S	N/S	N/S	41	40	1	N/S
Total	**427**	**360**	**29**	**579**	**106**	**338**	**2,345**	**2,322**	**10**	**10**

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	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3311	16	23	6	143	3	17	114	115	N/S	N/S
3312	29	2	N/S	N/S	N/S	2	160	158	N/S	N/S
3320	144	13	N/S	N/S	1	5	3,958	3,914	N/S	N/S
Total	**189**	**38**	**6**	**143**	**4**	**24**	**4,232**	**4,187**	**N/S**	**N/S**

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 14,231 ton/año de COT (62% 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 NOx, con 960 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	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3410	183	99	57	641	414	933	8,811	8,773	20	20
3420	373	20	1	N/S	6	27	14,231	13,096	N/S	N/S
Total	**556**	**119**	**58**	**641**	**420**	**960**	**23,042**	**21,869**	**20**	**20**

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, teniendo que el contaminante principal son los COT, estos 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 NOx, generados principalmente por los procesos de combustión y 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	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3512	227	103	31	602	239	556	16,523	16,183	105	16
3513	18	8	7	10	68	88	333	275	19	3
3521	174	92	6	70	72	210	12,913	12,405	2	8
3522	348	89	13	94	119	385	7,333	7,106	4	5
3540	44	21	2	39	29	117	3,324	3,065	260	4
3550	109	13	5	49	46	120	1,019	1,017	1	3
3560	306	51	2	11	58	58	17,802	17,489	7	2
Total	**1,226**	**377**	**66**	**875**	**631**	**1,534**	**59,247**	**57,540**	**398**	**41**

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 NOx 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	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3611	15	83	4	1	30	116	12	9	2	1
3612	17	314	3	27	33	48	12	8	2	1
3620	50	53	29	4	335	892	4,592	3,997	854	12
3691	131	394	93	173	52	439	246	243	10	6
Total	**213**	**844**	**129**	**205**	**450**	**1,495**	**4,862**	**4,257**	**868**	**20**

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 132, las cuales representan el 74% del total de éste sector. Por otro lado en la rama 3710 (Industria básica del hierro y del acero) se tienen emisiones altas de NOx y SO_2 que son contaminantes que se emiten en mayor cantidad respectivamente, después de los COT.

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

Rama	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3710	89	441	17	1,013	357	1,727	1,484	1,057	2	4
3720	132	306	11	79	237	182	4,232	3,377	6	4
Total	**221**	**747**	**28**	**1,092**	**594**	**1,909**	**5,716**	**4,434**	**8**	**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 3841 (Industria automotriz), siendo los COT los de mayor emisión; esto se debe principalmente a la actividad de recubrimiento en superficies y al uso de solventes adelgazantes y de limpieza. Como segundo contaminante generado tenemos a los NOx, éstos son emitidos en mayor proporción por la rama 3814, la cual contribuye con una emisión de 402 ton/año, lo cual representa el 42% del total de NOx en este subsector.

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

Rama	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3811	77	143	22	192	463	66	245	244	N/S	1
3812	59	7	1	19	8	31	165	162	N/S	N/S
3813	102	51	N/S	N/S	5	19	2,629	2,628	N/S	N/S
3814	544	111	16	82	324	402	3,314	3,279	6	6
3821	57	6	N/S	N/S	80	22	92	89	N/S	N/S
3822	52	18	4	1	56	63	103	95	2	2
3823	5	N/S	N/S	N/S	1	1	24	24	N/S	N/S
3831	110	17	4	1	41	61	429	425	1	1
3832	20	3	N/S	2	3	9	552	551	1	N/S
3833	47	75	7	3	61	86	456	451	2	2
3841	184	63	9	15	439	181	5,594	5,225	65	2
3842	30	39	1	N/S	10	20	114	107	1	N/S
3850	18	2	N/S	N/S	N/S	1	58	58	N/S	N/S
Total	**1,305**	**535**	**64**	**315**	**1,491**	**962**	**13,775**	**13,338**	**78**	**14**

N/S: No significativo

En el sector 39-Otras industrias manufactureras, los COT con 1,382 ton/año son los contaminantes dominantes, como se muestra en la tabla 4.1.13.

Tabla 4.1.123 Emisiones en la ZMVM de las ramas que conforman el subsector 39

Rama	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
3900	282	56	3	46	24	132	1,382	1,197	99	0
Total	**282**	**56**	**3**	**46**	**24**	**132**	**1,382**	**1,197**	**99**	**0**

Por último, de la rama 4100 (Generación de energía eléctrica) la mayor emisión está dada por los NOx con 11,066 ton/año, lo cual representa casi el 56% 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	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
4100	6	200	200	16	2,212	11,066	289	145	60	68
Total	6	**200**	**200**	**16**	**2,212**	**11,066**	**289**	**145**	**60**	**68**

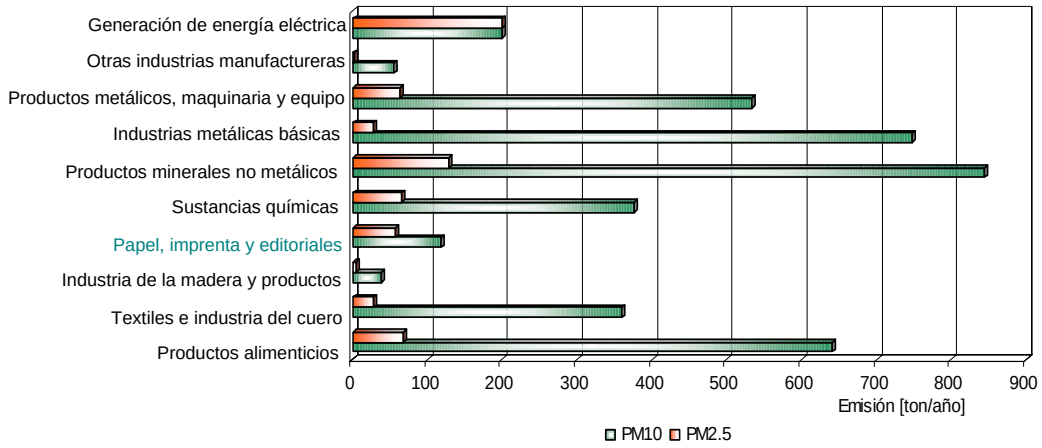
Emisiones de las fuentes puntuales por tipo de contaminante

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 PM_{10} y $PM_{2.5}$

La contribución a las emisiones de PM_{10} por las fuentes puntuales se concentra principalmente en 4 subsectores: Productos minerales no metálicos, Industria metálica básica, Productos alimenticios, bebidas y tabaco, Productos metálicos, maquinaria y equipo; estos giros aportan 2,766 ton/año (71**%** del total de las emisiones de las fuentes puntuales), los restantes 5 giros aportan 1150 ton/año.

La contribución a las partículas $PM_{2.5}$, a diferencia de las PM_{10}, son generadas principalmente por la combustión. Por tal motivo, en el sector eléctrico donde todas sus emisiones de partículas provienen de la combustión, éstas 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 50% de las emisiones (324 ton/año).

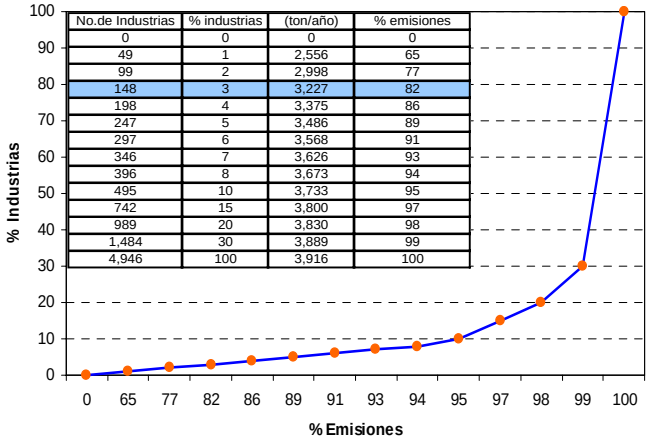


Gráfica 4.1.3 Emisiones de partículas por giro industrial en la ZMVM.

La Gráfica 4.1.4 muestra que el 3% del sector industrial (148 industrias), contribuyen con cerca del 82% de las emisiones de PM_{10}, sin embargo se observa que el 2% del sector industrial, es decir, 99 industrias, contribuyen con el 83% de las emisiones de $PM_{2.5}$, lo cual indica que los esfuerzos para controlar la emisión de éste contaminante, deben estar dirigidos hacia éstas empresas.

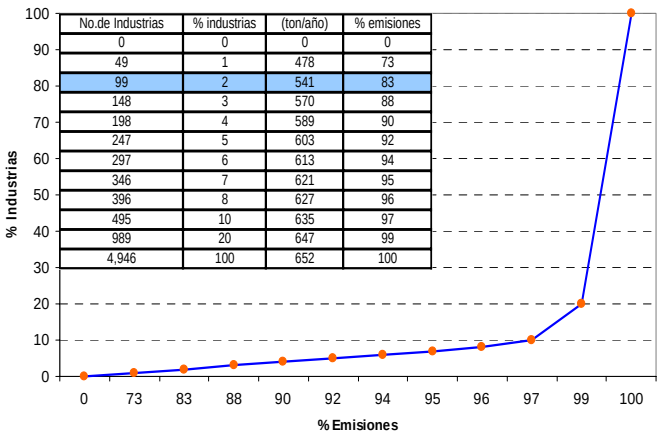
PM_{10}

No.de Industrias	% industrias	(ton/año)	% emisiones
0	0	0	0
49	1	2,556	65
99	2	2,998	77
148	3	3,227	82
198	4	3,375	86
247	5	3,486	89
297	6	3,568	91
346	7	3,626	93
396	8	3,673	94
495	10	3,733	95
742	15	3,800	97
989	20	3,830	98
1,484	30	3,889	99
4,946	100	3,916	100



$PM_{2.5}$

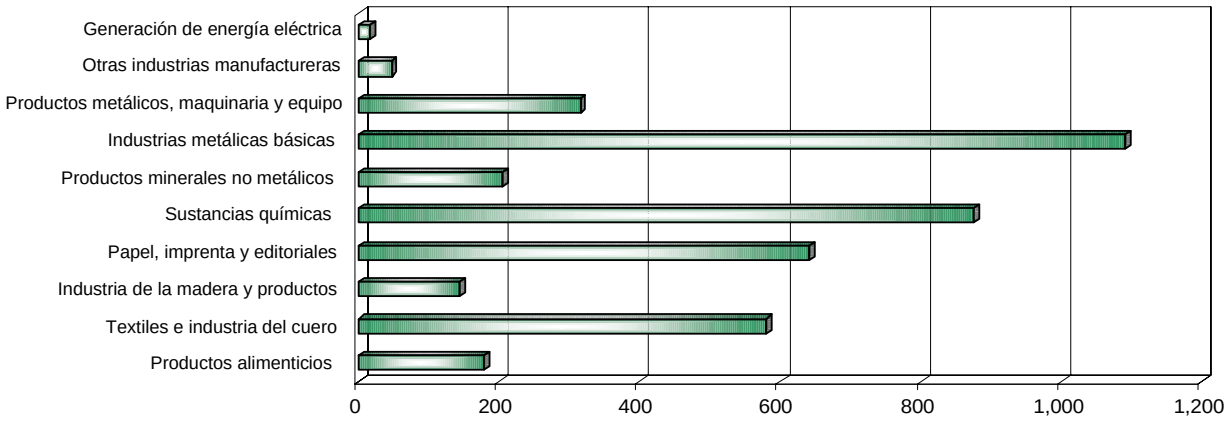
No.de Industrias	% industrias	(ton/año)	% emisiones
0	0	0	0
49	1	478	73
99	2	541	83
148	3	570	88
198	4	589	90
247	5	603	92
297	6	613	94
346	7	621	95
396	8	627	96
495	10	635	97
989	20	647	99
4,946	100	652	100



Gráfica 4.1.4 Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de PM_{10} y de $PM_{2.5}$

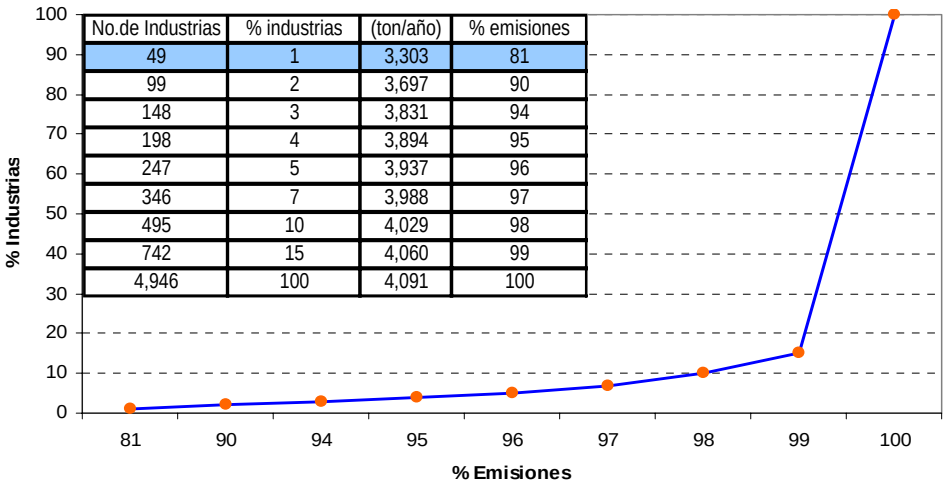
Bióxido de azufre

En la grafica 4.1.5 se puede observar que los giros más emisores de bióxido de azufre en la ZMVM son: la Industria metálica básica, la Industria química, la Industria del papel y productos del papel, así como la Industria textil, las cuales aportan 3,187 ton/año, éstos 4 giros representan el 78% de las emisiones de éste contaminante y los 6 restantes giros contribuyen con 903 ton/año.



Gráfica 4.1.5 Emisiones de SO2 por giro Industrial en la ZMVM

De la emisión de SO_2 de las fuentes puntuales, se tiene que el 1% de la industria (49 industrias) contribuyen con el 81% de las emisiones de este contaminante. Estas 49 empresas consumen combustibles líquidos, ya sea diesel con 0.04% de azufre en peso, o gasóleo con 2% de azufre en peso y/o combustóleo industrial con 3.6% de azufre en peso.



Gráfica 4.1.6 Porcentaje de empresas y su contribución a las emisiones de SO_2

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 categorías de emisión, las cuales están integradas por subcategorías, que a su vez puede incluir varias modalidades, las categorías de emisión de las fuentes de área se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.2.1 Fuentes de área inventariadas

Categoría		Subcategoría	Modalidad
Combustión en fuentes estacionarias		Combustión industrial	Gas natural
		Combustión comercial / institucional	Gas natural, Gas L.P., Gasoleó doméstico
		Combustión habitacional	Gas natural, gas L.P.
Fuentes móviles que no circulan por carretera		Operación de aeronaves	Turbosina / Gas avión
		Locomotoras	Foráneas y de patio a diesel
		Terminal de autobuses de pasajeros	Diesel
Uso de Solventes		Consumo de solventes	• Productos en aerosol • Productos domésticos • Productos de cuidado personal • Productos de cuidado automotriz • Adhesivos y selladores • Pesticidas • Productos misceláneos.
		Limpieza de superficies en la industria	Solventes en general
		Recubrimiento superficies arquitectónicas	Base agua, Base solvente
		Recubrimiento de superficies industriales	Base agua, Base solvente
		Lavado en seco	Gas nafta, Percloroetileno
		Artes gráficas Pintado de carrocerías Pintado de señalamientos de tránsito Aplicación de asfalto	Solventes en general
Fuentes industriales ligeras y comerciales		Panaderías	Fermentación
		Esterilización en hospitales	Uso de solventes
		Asados al carbón	Cocción de carne de Res y Pollo
Fuentes de área misceláneа		Incendio en estructuras	Por tipo de estructura
		Incendios forestales	Por tipo de vegetación
		Caminos pavimentados	Transito intenso, transito escaso
		Caminos sin pavimentar	Transito intenso, Transito escaso
		Emisiones domesticas de amoniaco	• Respiración y transpiración humana • Desechos de perros y gatos • Uso doméstico de amoniaco • Humo de cigarrillos • Pañales desechables • Otros desechos humanos
Manejo Y tratamiento de residuos		Rellenos sanitarios	Municipales no peligrosos
		Tratamiento de aguas residuales	Domésticas no industriales
Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo	Almacenamiento y distribución de combustibles líquidos	Terminales de almacenamiento masivo	Gasolina, Diesel, Turbosina, C. industrial
		Distribución de gasolina (en estaciones de servicio)	• Pipas en transito, con carga • Pipas en transito, sin carga • Recarga tanque de almacenamiento • Respiración tanque almacenamiento • Recarga de combustible en vehículos • Derrames en recarga de vehículos
		Carga de combustibles en aeronaves	Turbosina, Gas avión
	Distribución y almacenamiento de gas L.P.	Terminales de almacenamiento masivo	• Descarga de semirremolques • Almacenamiento • Carga de auto-tanques • Carga de tanque portátil
		Distribución	• Descarga en estaciones de carburación • Descarga en tanques estacionarios • Distribución y venta de recipientes portátil
	Fugas en instalaciones	Industrial	General
		Servicios	General
		Habitacional	Recipiente portátil y estacionario, estufas y calentadores
	Hidrocarburos no quemados	Industrial	General
		Servicios	General
		Habitacional	• Estufas • calentadores

Fuente: Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México, 1997.

4.2.1 Metodología de las 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 (Radian Internacional, 1997), incorporándose las recomendaciones de la *Evaluación del Inventario de Emisiones de la ZMVM de 1998*, realizada por la empresa Eastern Research Group y las del estudio, *Análisis y Diagnóstico del Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México,* realizado por los Doctores, Mario J. Molina y Luisa T. Molina.

Los procedimientos para estimar las emisiones de este sector son variados, debido a que las fuentes emisoras involucran tanto procesos de combustión, como de degradación biológica, fugas de combustibles y evaporación de solventes, por mencionar algunos. En la mayoría de las categorías de fuentes de área se estimaron las emisiones de los compuestos orgánicos totales y volátiles, solo 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, así como el metano, el amoniaco y las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ generadas por los caminos.

En los cálculos de emisiones se utilizaron factores de emisión *per cápita*, por nivel de actividad y factores provenientes de modelos, tales como: el Landfill[1], Tanks[2] y Faeed[3], desarrollados por la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos de Norte América (US-EPA). En la medida que los factores de emisión y los modelos lo permiten, estos fueron corregidos con los parámetros meteorológicos de la ZMVM, cabe mencionar que para la categoría de almacenamiento y distribución de gas L.P. se utilizaron factores de emisión desarrollados por el Instituto Mexicano del Petróleo[4] y el TÜV Rheinland de México[5].

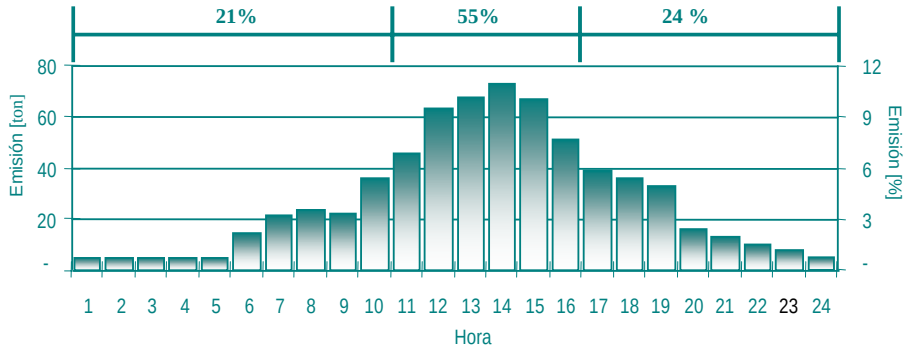
La información disponible fue analizada con el objetivo de determinar el nivel de actividad asociado al factor de emisión y/o la aplicación del modelo respectivo a la fuente emisora. La información fue obtenida de varias instituciones, entre ellas, la Secretaría de Energía, la Secretaría de Obras y Servicios, 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.

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 escuela, la cocción de alimentos, la limpieza del hogar, el arreglo y aseo personal, así como los horarios asociados a la operación del transporte aéreo y terrestre, tomando en cuenta los perfiles de distribución horaria de fuentes fijas y fuentes móviles.

1 U.S. EPA, 1996. Storage Tank Emissions Calculation Software (TANKS) Version 4.0.
2 U.S. EPA, 1998. User Manual Landfill Gas Emissions Model V.2.01. http:// www.epa.gov/ttn/atw/landfill/landflpg.html
3 U.S. EPA. Aircraft Engine Emission User Guide and Data Base (FAEED 3.1) http://www.epa.gov/otaq/aviation.htm
4 PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 1997. Efectos denl Gas LP en la ZMCM.
5 TÜV Rheinland de México, 2000. Programa Reducción y Eliminación de Fugas de GLP en Instalaciones Domésticas, ZMVM.

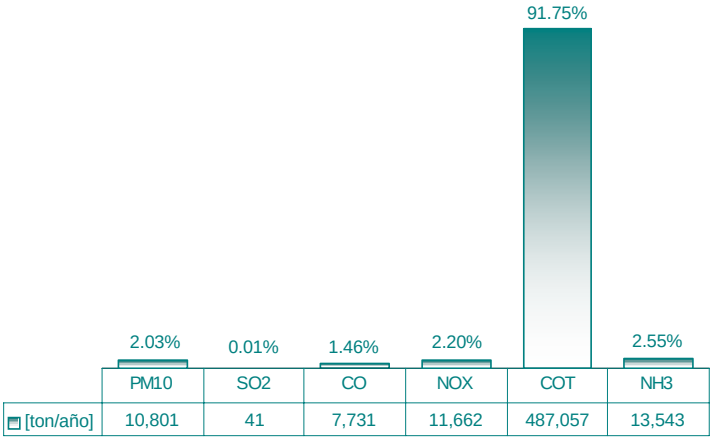
Con el análisis anterior se construyó la Gráfica 4.2.1, donde se observa que a partir de la 1:00 y hasta las 10:00 horas, se emiten el 21% de las emisiones de COV, de las 11:00 a las 16:00 horas el 55% y de las 17:00 a las 24:00 horas el 24% restante.



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

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 2004, emitieron aproximadamente 531 mil toneladas de contaminantes, de los cuales, los más abundantes son los COT, que representan el 92%, mientras que los NO_X y el NH_3, en conjunto representan sólo el 5%. Ver Gráfica 4.2.2, donde se muestran las emisiones de los contaminantes criterio en porcentaje y peso.



Gráfica 4.2.2 Distribución de contaminantes de fuentes de área

Es importante mencionar, que de las 487 mil toneladas de COT que generan las fuentes de área, el 46% es metano y el 44% compuestos orgánicos volátiles; y de las 10,801 toneladas de partículas menores a 10 µm (PM_{10}) que emiten las fuentes de área, el 18% son menores a 2.5 µm, y los caminos no pavimentados son los principales emisores. Para mayor detalle sobre las emisiones contaminantes generadas por cada una de las fuentes que integran este sector, ver la Tabla 4.2.2.

Tabla 4.2.2 Inventario de emisiones 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	***389***	***389***	***19***	***3,208***	***7,358***	***519***	***133***	***282***	***16***
Combustión industrial	226	226	18	2,496	2,972	327	69	164	15
Combustión comercial / institucional	32	32	N/S	158	979	39	14	25	N/E
Combustión habitacional	131	131	1	554	3,407	153	50	93	1
Fuentes móviles no carreteras	***49***	***47***	***17***	***3,323***	***4,276***	***1,934***	***179***	***1,859***	***N/S***
Operación de aeronaves	17	17	N/S	3,071	2,923	1,859	178	1,785	N/E
Locomotoras (foráneas/ patio)	31	29	17	166	1,310	55	N/E	54	N/A
Terminales de Autobuses de pasajeros	1	1	N/S	86	43	20	1	20	N/S
Uso de solventes	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***179,566***	***N/A***	***134,039***	***N/A***
Recubrimiento de superficies industriales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	22,529	N/A	22,259	N/A
Pintura automotriz	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,464	N/A	2,415	N/A
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	23,937	N/A	20,825	N/A
Pintura tránsito	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	704	N/A	695	N/A
Limpieza de superficie industrial	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	31,681	N/A	19,009	N/A
Lavado en seco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10,573	N/A	6,132	N/A
Artes gráficas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	7,041	N/A	7,041	N/A
Aplicación de asfalto	N/E	N/E	N/A	N/A	N/A	77	N/A	77	N/A
Uso comercial y doméstico de solventes	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	80,560	N/A	55,586	N/A
Almacenamiento y transporte derivados del petróleo	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***64,731***	***6***	***63,709***	***N/A***
Distribución y almacenamiento de gasolina	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	967	N/A	967	N/A
Carga de combustible en aeronaves	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6	N/S	6	N/A
Distribución y almacenamiento de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,925	N/S	2,877	N/A
Fugas en instalaciones a gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	24,753	2	24,357	N/A
HCNQ en la combustión de gas LP	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	36,080	4	35,502	N/A
Fuentes industriales ligeras y comerciales	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***4,663***	***N/A***	***4,663***	***N/A***
Panaderías	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4,644	N/A	4,644	N/A
Esterilización en hospitales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	19	N/A	19	N/A
Manejo de residuos	***N/A***	***N/A***	***N/A***	***241***	***N/A***	***235,573***	***223,346***	***11,970***	***N/E***
Rellenos sanitarios	N/E	N/E	N/A	241	N/A	232,947	223,346	9,554	N/E
Tratamiento de aguas residuales	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2,626	N/A	2,416	N/E
Fuentes de área miscelánea	***10,363***	***1,526***	***5***	***959***	***28***	***71***	***26***	***40***	***13,527***
Incendios en estructuras	28	26	N/E	434	10	36	N/A	24	N/A
Incendios forestales	57	47	5	525	18	35	26	16	2
Emisiones domésticas de amoniaco	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	13,525
Caminos pavimentados	1,523	91	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caminos sin pavimentar	8,755	1,362	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	**10,801**	**1,962**	**41**	**7,731**	**11,662**	**487,057**	**223,690**	**216,562**	**13,543**

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

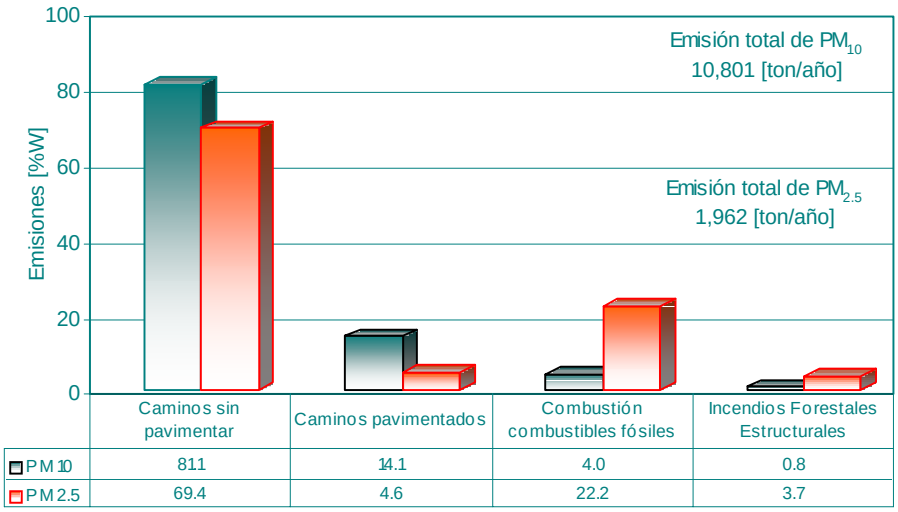
4.2.4 Emisiones de las fuentes de área por contaminante

A continuación se describe a mayor detalle las emisiones de PM_{10}, PM $_{2.5}$, NO_X, COT y COV, así como sus principales generadores; en lo que se refiere a las emisiones de CO y SO_2, estas no son significativas ya que en conjunto representan el 1.5% de las emisiones totales de las fuentes de área. Por otro parte, casi el 100% de las emisiones de CH_4, se generan en los rellenos sanitarios y respecto a las emisiones de NH_3, principalmente son de origen doméstico.

Partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$

Las emisiones de partículas dentro de las fuentes de área son principalmente de origen geológico, siendo los caminos no pavimentados los que contribuyen con el 81% y 70% de PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente, incluso, son relevantes sus emisiones considerando la contribución de los otros sectores, ya que representan el 42% y 20% respectivamente del total de la ZMVM.

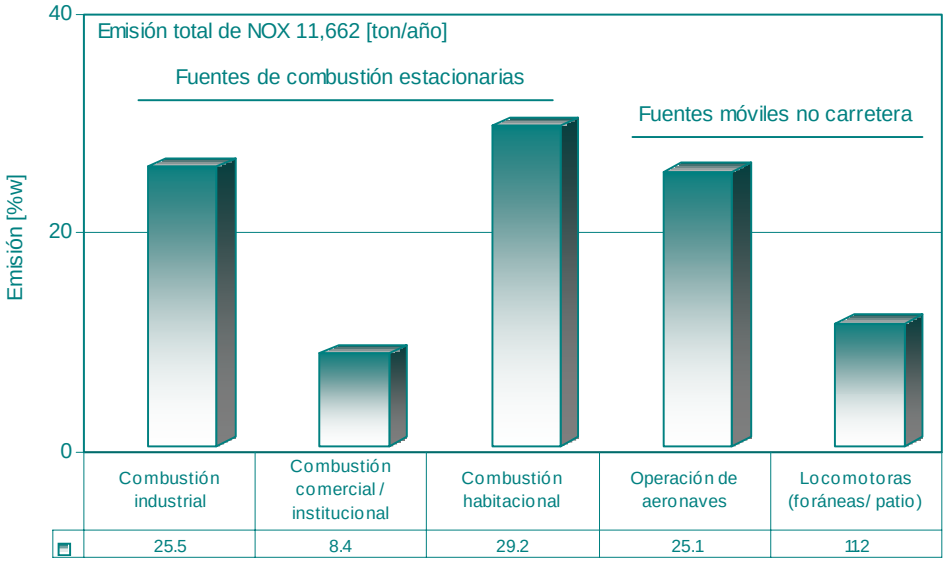
Por otro parte, en las emisiones generadas por combustión (se incluye al diesel, gas L.P. y gas natural), sólo son relevantes las emisiones de $PM_{2.5}$ con el 22%, y en el caso del material que se consume en los incendios estructurales y forestales, aporta el 1% y 4% de las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ respectivamente (ver Gráfica 4.2.3.).



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

Óxidos de nitrógeno

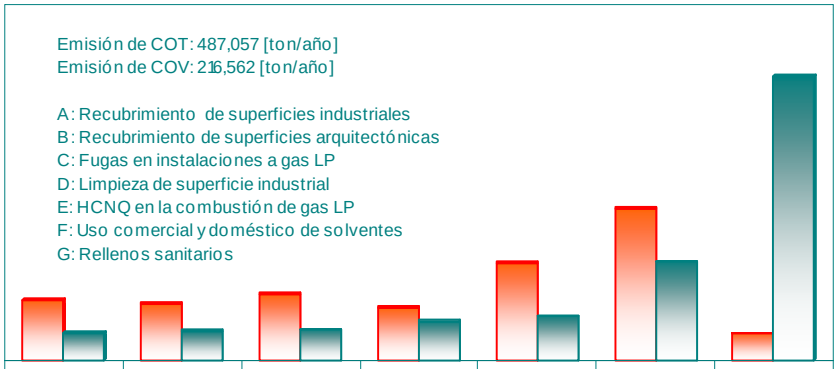
De aproximadamente 12 mil toneladas de NO_X que se emiten en las fuentes de área, el 63% se generan durante el proceso de combustión en fuentes estacionarias, donde se consume principalmente gas L.P., gas natural y gasóleo doméstico. Las fuentes móviles no carreteras emiten el 37% (operación de locomotoras a diesel 12% y la operación de aeronaves el 25%); cabe mencionar que las emisiones generadas por eventos no predecibles como son los incendios forestales y estructurales, son no significativas.



Gráfica 4.2.4 Emisiones de NOx de las fuentes de área

Compuestos orgánicos totales y volátiles

De las emisiones de COT en fuentes de área, el 46% se genera por la degradación de residuos sólidos dispuestos en los rellenos sanitarios y su mayoría es CH_4 (223,346 ton/año); otra cantidad importante de COT proviene de los diferentes productos comerciales utilizados para el cuidado personal, de los adhesivos y selladores, catalogados como *uso de solvente,* los cuales en conjunto emiten el 37%. Por el almacenamiento, transporte y uso de derivados del petróleo, se emitió el 13%, en su mayoría por fugas de gas L.P. (Gráfica 4.2.5).



	A	B	C	D	E	F	G
COV	10.3	9.6	11.2	8.8	16.4	25.7	4.4
COT	4.6	4.9	5.1	6.5	7.4	16.5	47.8

Gráfica 4.2.5 Distribución de emisiones de COT y COV

4.2.5 Emisiones por categoría de las fuentes de área

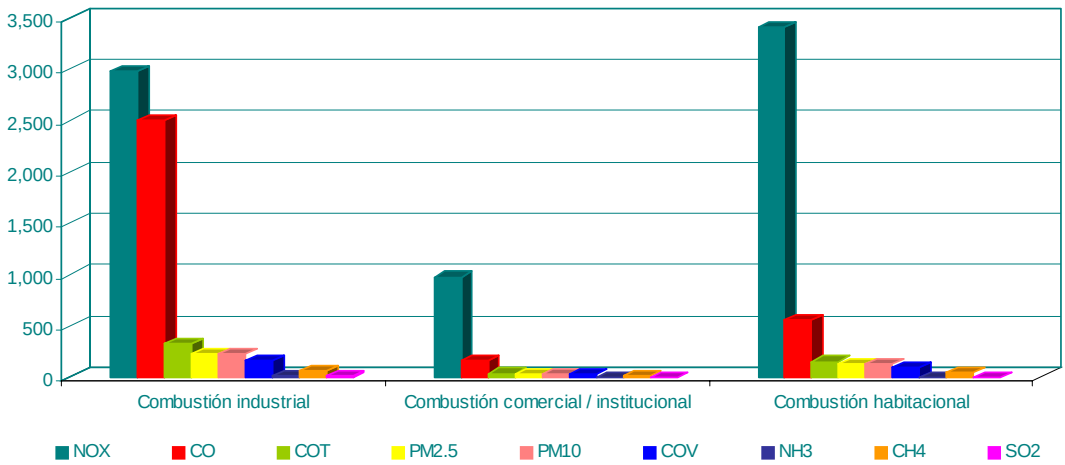
A continuación se analizan algunas categorías que incluyen fuentes emisoras de alta contribución o que tienen un potencial importante para afectar la calidad del aire.

Emisiones por combustión de fuentes estacionarias

En esta categoría se incluye las emisiones generadas por la combustión de 1.8 millones de m^3 de gas L.P. y 196 millones de m^3 de gas natural, volumen que se utilizó en el sector habitacional. Para el caso del sector comercial institucional (ejemplo: hoteles, restaurantes, hospitales, tortillerías, baños públicos y tintorerías), se tiene un consumo de 548 mil m^3 de gas L.P., poco más de 21 millones de m^3 de gas natural y 103 mil m^3 de gasóleo doméstico; los cuales fueron utilizados en calderas pequeñas, hornos, calefactores entre otros. Además se incluyen las emisiones de algunas industrias, que por falta de información[6] no fueron incluidas en el inventario de fuentes puntuales, éstas representan un consumo de 1,858 millones de m^3 de gas natural.

Los consumos de combustibles mencionados, fueron obtenidos a partir del balance y distribución de energía en la ZMVM[7]. El contaminante más abundante en esta categoría son los NO_X, y aunque la aportación de éste sector a las emisiones totales de la ZMVM es menor al 4%, son importantes debido a que se consideran un precursores de ozono.

6 Licencia Ambiental, Cédula de Operación Anual Federal, Estatal y Local.
7 SMA-GDF/DGGAA: Balance y distribución de energía asociada a combustibles fósiles en la ZMVM 1990-2004, Marzo 2004.



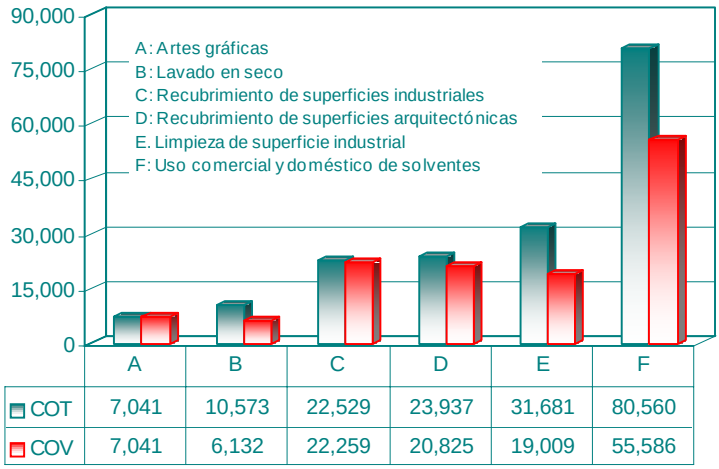
Gráfica 4.2.6 Emisiones por combustión de fuentes estacionarias [ton/año]

Tabla 4.2.3 Emisiones de NO_X por tipo de combustible y sector [ton/año]

Fuentes estacionarias	Distrito Federal	Estado de México	ZMVM
Habitacional			
Gas LP	1,535	1,576	3,111
Gas natural	200	96	296
Comercial - Institucional			
Gas LP	467	479	946
Gas natural	33		33
Gasoleó doméstico	0.246	0.253	0.499
Industrial			
Gas natural	722	2,250	2,972
Sub-total			
Gas LP	2,002	2,055	4,057
Gas natural	955	2,346	3,301
Gasoleó doméstico	0.246	0.253	0.499
Total	**2,957**	**4,401**	**7,358**

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 por su emisión de COT se pueden mencionar: el uso comercial y doméstico de solventes; productos para la limpieza de superficies industriales, los recubrimientos de superficies industriales y arquitectónica, la limpieza en seco, así como el sector de artes graficas. A continuación de presenta la tabla de emisiones y su respectiva gráfica:



	A	B	C	D	E	F
COT	7,041	10,573	22,529	23,937	31,681	80,560
COV	7,041	6,132	22,259	20,825	19,009	55,586

Gráfica4.2.7 Emisiones generadas por el uso de solventes [ton/año]

Tabla 4.2.4 Emisiones de COT y COV por el uso de solventes [ton/año]

Subsector	Estado de México		Distrito Federal		ZMVM	
	COT	COV	COT	COV	COT	COV
Productos en aerosol	597	9,349	582	9,111	1,179	18,460
Productos domésticos	4,635	3,198	4,517	3,117	9,152	6,315
Productos de cuidado personal	13,550	412	13,204	402	26,754	814
Productos de cuidado automotor	7,844	5,413	7,644	5,274	15,489	10,687
Adhesivos y selladores	3,387	2,337	3,301	2,277	6,688	4,614
Pesticidas comerciales y domésticos	10,430	7,196	10,164	7,013	20,593	14,209
Productos misceláneos	357	247	348	240	705	487
Total	**40,800**	**28,152**	**39,760**	**27,434**	**80,560**	**55,586**

Emisiones por almacenamiento y transporte de derivados del petróleo

En esta categoría las emisiones más abundantes están relacionadas con el aprovechamiento del gas L.P. en las instalaciones domésticas; existen, aproximadamente 4.2 millones de estufas y 2.7 millones de calentadores en la Zona Metropolitana del Valle de México, estos equipos están conectados mediante accesorios al tanque portátil o estacionario donde se almacena el combustible y que generalmente no están herméticamente sellados, por lo que se emite a la atmósfera poco más de 24.5 mil toneladas de gas L.P. por fugas.

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 29.5 mil toneladas de compuestos orgánicos volátiles sin quemar. En total, en estas dos categorías se desperdician al menos 54 mil toneladas de gas L.P., con lo que se podrían llenar 2.7 mil cilindros portátiles de 20 kg, que representarían un costo de más de 391 millones de pesos[8]

8 Cámara de Diputados H. Congreso de la Unión: Evolución de los Precios Administrados por el Sector Público al Primer Semestre de 2005 y su Impacto en la Inflación. 2005. Precio promedio de los precisos autorizados $ 7.24 / kg de GLP.

Tabla 4.2.5 Emisiones por el uso de GLP.

Categoría	Emisiones [ton/año]					
	COT			COV		
	D.F.	EDOMEX	ZMVM	D.F.	EDOMEX	ZMVM
Distribución y Almacenamiento de gas LP	**1,262**	**1,663**	**2,925**	**1,241**	**1,636**	**2,877**
Distribución	1,106	624	1,730	1,089	613	1,702
Descarga carro-tanque en estaciones de servicio	*821*	*346*	*1,167*	*808*	*340*	*1148*
Descarga en tanques estacionarios	*285*	*278*	*563*	*280*	*273*	*553*
Distribución en tanque portátil	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
Almacenamiento	156	1,039	1,195	153	1,023	1176
Descarga de semirremolques en planta	*37*	*250*	*287*	*37*	*246*	*283*
Almacenamiento en planta	*1*	*4*	*5*	*0*	*3*	*3*
Carga de auto-tanques en planta	*73*	*486*	*559*	*72*	*479*	*551*
Carga de tanque portátiles en planta	*45*	*299*	*344*	*44*	*295*	*339*
Fugas por instalaciones a gas LP	**12,637**	**12,116**	**24,753**	**12,435**	**11,922**	**24,357**
Industrial	14	22	36	14	22	36
Servicios	103	106	209	101	104	205
Doméstica	12,520	11,988	24,508	12,320	11,796	24,116
Portátiles	*9,029*	*8,646*	*17,675*	*8,884*	*8,507*	*17,391*
Estacionarios	*902*	*864*	*1,766*	*888*	*850*	*1738*
Estufas	*2,414*	*2,311*	*4,725*	*2,375*	*2,275*	*4,650*
Calentadores	*175*	*167*	*342*	*173*	*164*	*337*
HCNQ de gas LP	**18,109**	**17,971**	**36,080**	**17,819**	**17,683**	**35,502**
Industrial	789	1,233	2,022	776	1,214	1990
Servicios	2,220	2,279	4,499	2,185	2,242	4,427
Doméstica	15,100	14,459	29,559	14,858	14,227	29,085
Estufas	*11,748*	*11,249*	*22,997*	*11,560*	*11,069*	*22,629*
Calentadores	*3,352*	*3,210*	*6,562*	*3,298*	*3,158*	*6,456*
Total Fugas	**32,008**	**31,750**	**63,758**	**31,495**	**31,242**	**62,737**

Emisiones por manejo de residuos sólidos

De los residuos sólidos generados en la ZMVM, el 10% es recuperado y el 90% es colocado en rellenos sanitarios como sitios de disposición final, en el cual y debido a la actividad microbiana, se genera CH_4 y otros gases como producto de la descomposición anaerobia de la basura. Aunque sólo el Bordo Poniente en su etapa IV está en uso, los que ya están clausurados siguen emitiendo cantidades considerables de metano, estimándose que en conjunto generan más de 223 mil toneladas de metano. Ver Tabla 4.2.6.

Tabla 4.2.6 Emisiones generadas en rellenos sanitarios [ton/año]

MUNICIPIO	SITIO DE DISPOSICION	CO	CO_2	COV	COT	CH_4	HCNM	HCT
Álvaro Obregón	Prados de la Montaña	17	43,670	680	16,604	15,920	684	16,604
Nezahualcóyotl	Bordo Poniente E1 – E4	177	449,190	7,001	170,723	163,686	7,037	170,723
Paz, La	Santa Catarina	47	120,000	1,872	45,620	43,740	1,880	45,620
Estado de México		**224**	**569,190**	**8,873**	**216,343**	**207,426**	**8,917**	**216,343**
Distrito Federal		**17**	**43,670**	**681**	**16,604**	**15,920**	**684**	**16,604**
Zona Metropolitana del Valle de México		**241**	**612,860**	**9,554**	**232,947**	**223,346**	**9,601**	**232,947**

Fuente: Emisiones estimadas con el programa LANDFILL.

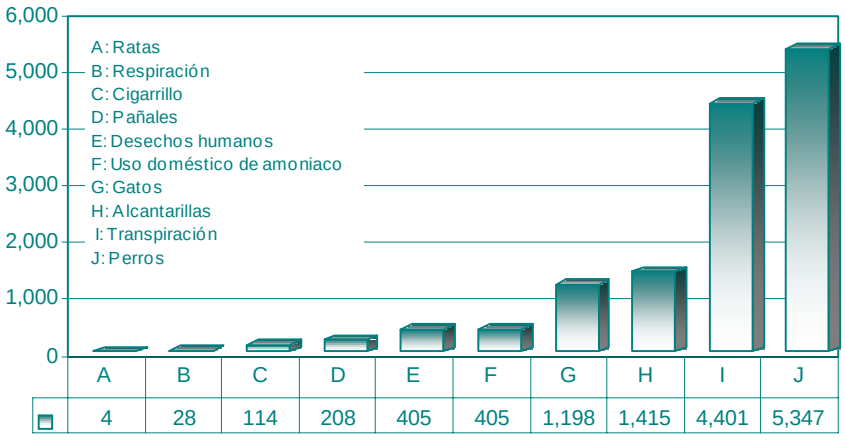
Fuentes de área misceláneas

El amoniaco (NH_3), 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, 2000[9]). 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 toneladas al año y cabe mencionar, que el amoniaco doméstico representa el 77% del total en la ZMVM (ver Tabla 4.2.7 y Gráfica 4.2.8). La siguiente tabla muestra los tipos de fuentes y emisiones, dentro de la categoría de emisiones domésticas de amoniaco, resaltando las emisiones de generadas por la transpiración y los desechos de los perros.

Tabla 4.2.7 Emisiones de amoniaco en la ZMVM [ton/año]

Fuentes Domésticas	Distrito Federal	Estado de México
Perros	2,639	2,708
Gatos	591	607
Transpiración	2,172	2,229
Respiración	14	14
Desechos Humanos	200	205
Uso doméstico de amoniaco	200	205
Pañales	95	113
Cigarrillo	59	55
Alcantarillas	698	717
Ratas	2	2
Total	**6,670**	**6,855**



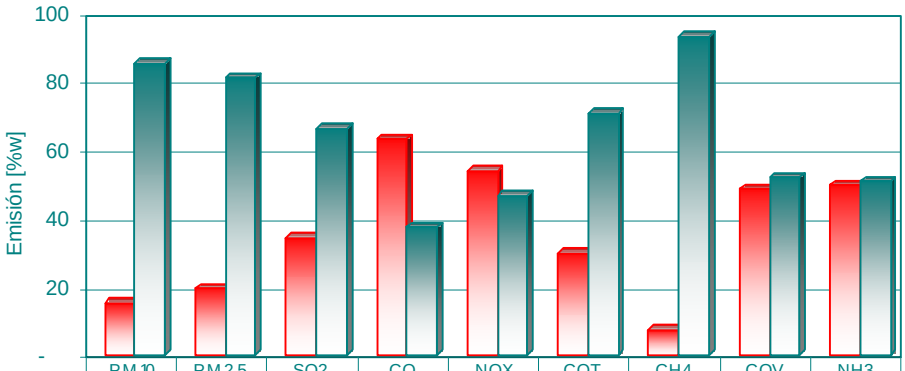
Gráfica4.2.8 Emisiones domésticas de amoniaco ZMVM [ton/año]

9 Committee on the Environment and Natural Resources, 2000. Atmospheric Ammonia: Sources and Fate. A Review of Ongoing Federal Research and Future Needs.

El material particulado es uno de los principales problemas de la contaminación del aire, especialmente en áreas con condiciones geográficas y meteorológicas desfavorables, como lo es la Zona Metropolitana del Valle de México y, debido a las implicaciones para la salud humana se hace necesaria su cuantificación. Cabe mencionar que en algunos estudios realizados durante 1997 y 2002[10], para conocer la composición química de la atmósfera en la ZMVM, se ha encontrado que aproximadamente el 50% de PM_{10} son $PM_{2.5}$ y el 48% son de origen geológico, los cuales provienen principalmente de los caminos sin pavimentar y del polvo resuspendido en caminos pavimentados y áreas sin vegetación. Con base en lo anterior, en ésta sección se estiman las emisiones correspondientes a los caminos y en el capítulo de fuentes naturales se evalúan las generadas por la erosión eólica.

4.2.6 Emisiones de las fuentes de área por entidad

Aún cuando las emisiones se pueden separar por entidad federativa (Gráfica 4.2.9), el análisis para el desarrollo de estrategias de control de emisiones debe ser realizado tomando en cuanta toda la zona metropolitana y no sólo por la emisión resultante de cada entidad. Lo anterior debido a que en muchos casos, las emisiones no reflejan la contribución real por entidad, por ejemplo, las emisiones de CO en el Distrito Federal son mayores que en el Estado de México, esto es debido que un vehículo se considera de dicha entidad, de acuerdo al domicilio con el que se registra y no con base en los kilómetros que se recorren en el Distrito Federal, siendo que los KRV son el factor de actividad en el cálculo. Por otro lado, las emisiones de metano en el Estado de México son considerablemente mayores que en el Distrito Federal, lo cual refleja la ubicación de los rellenos sanitarios y no es sitio de generación de residuos sólidos (basura). A continuación se presentan las emisiones por contaminante de cada entidad federativa.



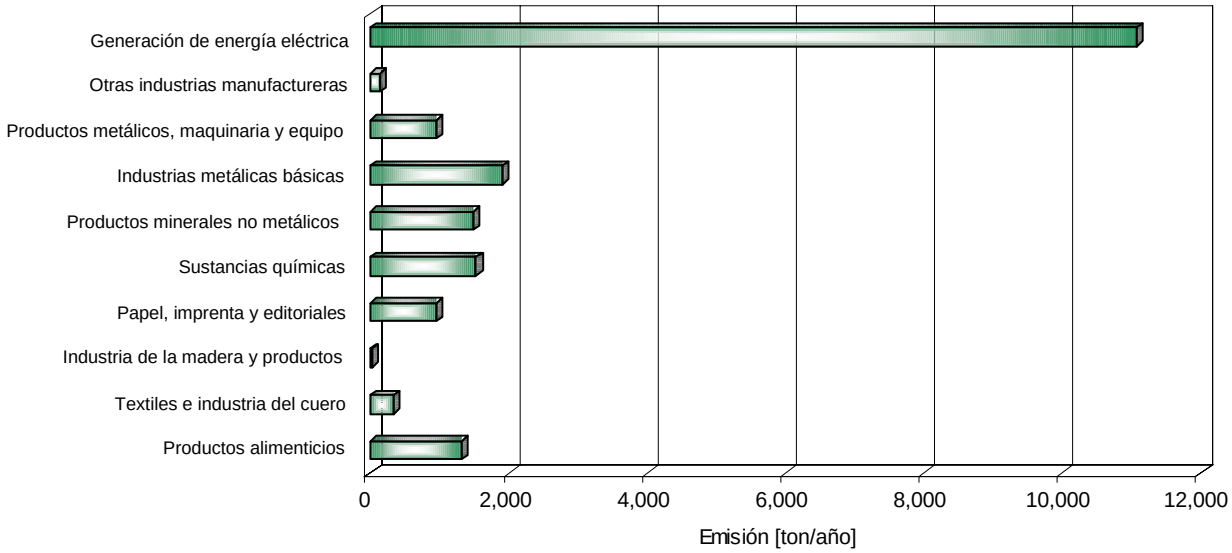
	PM10 (10,801)	PM2.5 (1,962)	SO2 (41)	CO (7,731)	NOX (11,662)	COT (487,057)	CH4 (223,690)	COV (216,562)	NH3 (13,543)
Distrito Federal [%w]	15	19	34	63	54	30	7	48	49
Estado de México [%w]	85	81	66	37	46	70	93	52	51

Gráfica4.2.9 Emisión de contaminantes por entidad federativa (ton/año)

10 Análisis of PM2.5 and PM10 in the Atmosphere of Mexico City during 2000-2002 y Chemical composition of PM10 in Mexico City during the winter 1997.

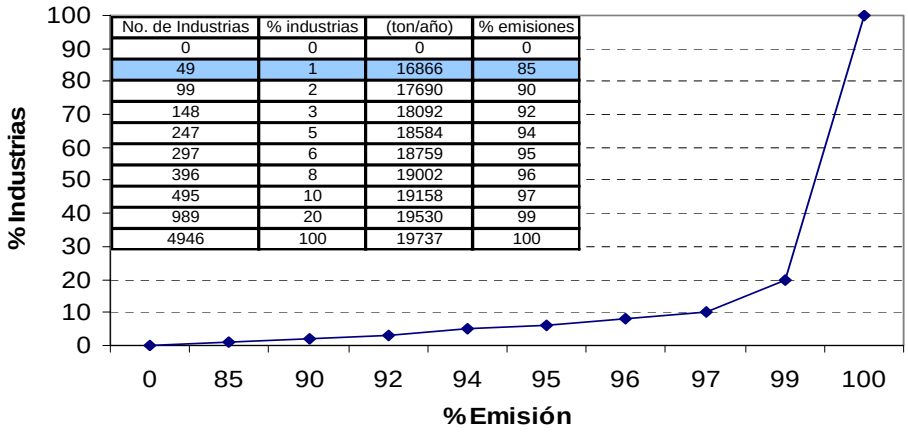
Óxidos de Nitrógeno

Los giros que más emiten óxidos de nitrógeno son, el de la generación de energía eléctrica con 11,066 ton/año, que representa el 56% de los NOx emitido por las fuentes puntuales, seguido de la industria química, productos metálicos, y la industria del papel e impresión que aportan en conjunto 25% de las emisiones.



Gráfica 4.1.7 Emisiones de NOx por giro industrial en la ZMVM

En la gráfica 4.1.8, se observa que el 1% de la industria contribuye con el 85% de las emisiones de NOx. Esto nos indica que tan sólo 49 industrias consumen la mayor parte del combustible que se distribuye en la ZMVM, considerándose a las plantas generadoras de energía eléctrica como las más contaminantes y con mayor consumo energético.

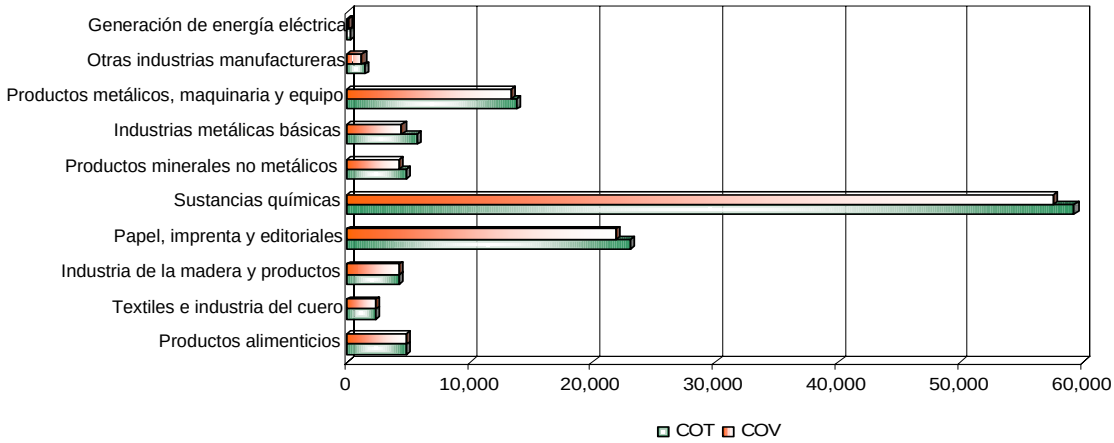


No. de Industrias	% industrias	(ton/año)	% emisiones
0	0	0	0
49	1	16866	85
99	2	17690	90
148	3	18092	92
247	5	18584	94
297	6	18759	95
396	8	19002	96
495	10	19158	97
989	20	19530	99
4946	100	19737	100

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 96,064 ton/año y representan alrededor del 80% de las emisiones industriales, destacando la industria química con más de 59,000 ton/año; los giros restantes contribuyen con 23,682 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 95% de los compuestos orgánicos totales emitidos por la industria.

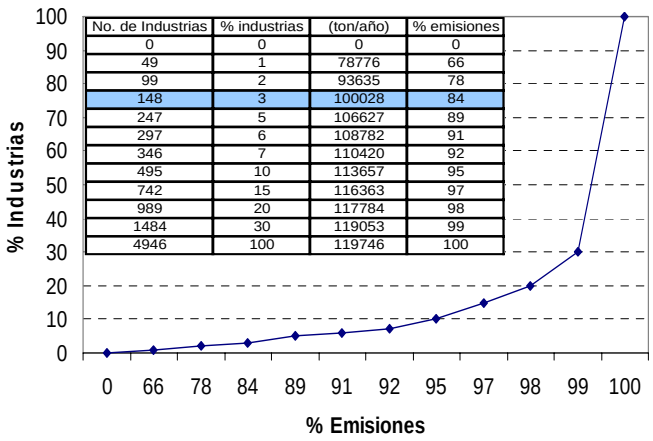


Gráfica 4.1.9 Emisiones de COT y COV por giro industrial en la ZMVM

Tenemos que para la emisión de COT y COV en la ZMVM, el 3% de la industria (148 industrias) contribuyen con el 84% 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).

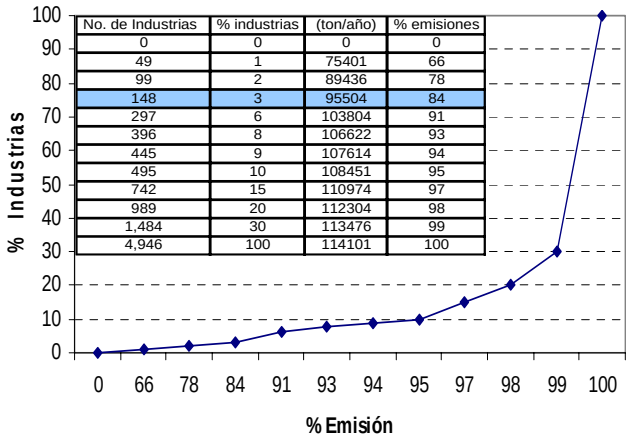
COT

No. de Industrias	% industrias	(ton/año)	% emisiones
0	0	0	0
49	1	78776	66
99	2	93635	78
148	3	100028	84
247	5	106627	89
297	6	108782	91
346	7	110420	92
495	10	113657	95
742	15	116363	97
989	20	117784	98
1484	30	119053	99
4946	100	119746	100



COV

No. de Industrias	% industrias	(ton/año)	% emisiones
0	0	0	0
49	1	75401	66
99	2	89436	78
148	3	95504	84
297	6	103804	91
396	8	106622	93
445	9	107614	94
495	10	108451	95
742	15	110974	97
989	20	112304	98
1,484	30	113476	99
4,946	100	114101	100



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 46% de los contaminantes criterio que se emiten en la ZMVM, se generan por las industrias ubicadas en el Distrito Federal y 54% restante, por las industrias ubicadas en el Estado de México.

Tabla 4.1.15 Distribución de las emisiones industriales por entidad federativa

Entidad	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		*PM_{10}	$PM_{2.5}$	*SO_2	*CO	*NOx	*COT	COV	CH_4	NH_3
Distrito Federal	2,800	1,441	104	457	1,151	2,630	64,901	61,287	1,238	33
Estado de México**	2,146	2,475	547	3,633	5,292	17,107	54,845	52,814	321	163
Total	**4,946**	**3,916**	**651**	**4,090**	**6,443**	**19,737**	**119,746**	**114,101**	**1,559**	**196**

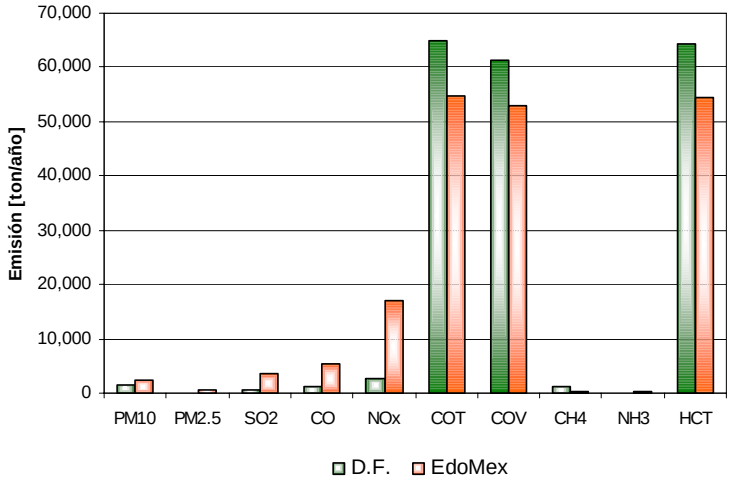
*Contaminante criterio
**En el presente documento se utiliza Estado de México (Edo.Mex.), para referirnos a los 18 municipios conurbados al Distrito Federal del Estado de México.

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, (ver tabla 4.1.16).

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

Jurisdicción	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COT	COV	CH_4	NH_3
Local DF	1,732	1,070	45	72	419	875	25,725	24,666	75	15
Federal DF	1,068	371	59	385	732	1,755	39,176	36,621	1,163	18
Local Edo. Méx.	1,396	1,108	103	1,248	1,017	1,776	28,926	28,166	65	23
Federal Edo. Méx.	750	1,367	444	2,385	4,275	15,331	25,919	24,648	256	140
Total	**4,946**	**3,916**	**651**	**4,090**	**6,443**	**19,737**	**119,746**	**114,101**	**1,559**	**196**

La gráfica 4.1.11 muestra la distribución de emisiones para el Distrito Federal y el Estado de México, destacando los COT, con las mayores emisiones para ambas entidades. Es importante mencionar que para el presente inventario se cuentan con más industrias ubicadas en el Distrito federal (2,800) que para el Estado de México (2,146).



Gráfica 4.1.11 Distribución de emisiones industriales por 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 SO_2, CO, NOx, COT y CH_4, en el caso de las industrias locales, éstas emiten principalmente PM_{10}.

Tabla 4.1.17 Emisiones industriales por jurisdicción en el Distrito Federal

Jurisdicción	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
Local	1,732	1,070	45	72	419	875	25,725	24,666	75	15
Federal	1,068	371	59	385	732	1,755	39,176	36,621	1,163	18
Total	2,800	1,441	104	457	1,151	2,630	64,901	61,287	1,238	33

La tabla 4.1.18 muestra que los principales emisores de bióxido de azufre y de compuestos orgánicos es la industria química; en el caso del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno, la industria metálica básica es la principal fuente de emisión y por último, el giro de productos de consumo alimenticio es la principal fuente de emisiones de PM_{10}.

Tabla 4.1.18 Emisiones por subsector industrial en el Distrito Federal

Subsector	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	327	541	22	34	225	331	3,244	3,223	7	4
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	219	68	8	55	51	123	156	152	2	5
Industria de la madera y productos de madera. Incluye muebles.	125	18	0	0	2	5	737	729	0	0
Papel y productos de papel, Imprenta y editoriales.	389	44	13	86	102	276	15,784	14,748	10	5
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico.	670	216	16	123	155	489	29,827	28,945	265	9
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón.	103	129	6	3	72	177	4,416	3,875	805	2
Industrias metálicas básicas.	99	162	12	110	233	578	4,003	3,182	4	3
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.	657	202	16	15	208	375	5,731	5,563	68	4
Otras industrias manufactureras.	209	53	3	30	17	67	992	864	75	0
Generación de energía eléctrica	2	8	8	1	86	209	11	6	2	1
Total	**2,800**	**1,441**	**104**	**457**	**1,151**	**2,630**	**64,901**	**61,287**	**1,238**	**33**

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, las delegaciones Azcapotzalco e Iztapalapa son las que más contribuyen al total de contaminantes en el Distrito Federal.

4.3 FUENTES MÓVILES

Se consideran como fuentes móviles carreteras a todas aquellas unidades motrices que sirven como medio de transporte. Durante el año 2004, estas fuentes consumieron 292 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 54% del total que se consumió en la ZMVM[1]. 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: PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, CO, NO_X, COT, CH_4, COV y NH_3.

Tabla 4.3.1 Consumo energético de las fuentes móviles por tipo de combustible ZMVM, 2004

Tipo de Combustible	Consumo energético	
	[PJ/año]	[%]
PEMEX Magna	190	65
PEMEX Premium	32	11
PEMEX Diesel	63	22
Gas Licuado a Presión (GLP)	6	2
Gas Natural Comprimido (GNC)	1	N/S
Total	**292**	**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[2]. Esta metodología recomienda la utilización de factores de emisión, aplicados a 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, PM_{10}, $PM_{2.5}$ y NH_3, 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.
-Greenhouse Gas Inventory Reference Manual Vol. 3, desarrollado por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés).

Para estimar las emisiones de SO_2 se utilizó un balance de materiales a partir del consumo de combustible y su contenido de azufre en peso.

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

[1] Consumo energético del Inventario de Emisiones 2004.
[2] SEMARNAP-INE, 1997.

-Bases de datos del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO) de los años 2002, 2003 y 2004 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 reportados 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, 1997).

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 3.7 millones de vehículos, de los cuales el 66% corresponden a unidades registradas en el Distrito Federal y el 34% restante a unidades registradas en el Estado de México. Ver Tabla 4.3.2.

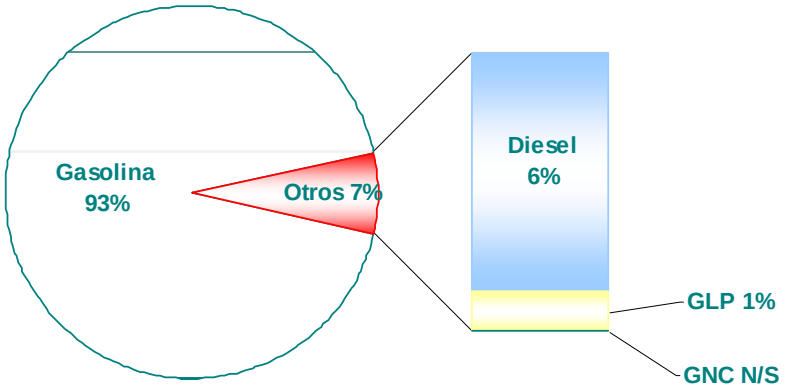
Tabla 4.3.2 Distribución de la Flota Vehicular Circulante en la ZMVM

Tipo de Vehículo	Número de Vehículos			% ZMVM
	Distrito Federal	Estado de México	ZMVM	
Autos Particulares[1,2,3,9]	1,924,281	1,043,612	2,967,893	79
Taxis[4,5]	106,642	11,992	118,634	3
Combis[4,5]	3,904	15,581	19,485	1
Microbuses[3,4,8]	21,502	11,549	33,051	1
Pick Up[1,2,3]	43,288	84,993	128,281	3
Vehículos ≤ 3 Toneladas[3,4,8]	145,500	45,908	191,408	5
Tractocamiones[3,7]	63,638	19,396	83,034	2
Autobuses[3,4,6,7]	28,582	3,983	32,565	1
Vehículos > 3 Toneladas[3,9]	18,805	39,108	57,913	2
Motocicletas[4,5,10]	117,435	10,019	127,454	3
Total	**2,473,577**	**1,286,141**	**3,759,718**	**100**

[1] Consultas a la base de datos del PVVO del año 2002, DIP/DGGAA/SMA-GDF.
[2] Consultas a la base de datos del PVVO del año 2003, DIP/DGGAA/SMA-GDF.
[3] Consultas a la base de datos del PVVO del año 2004, DIP/DGGAA/SMA-GDF.
[4] Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2002-2003, SETRAVI.
[5] Dirección General de Transporte Terrestre, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Gobierno del Estado de México, 2001.
[6] Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, 2005.
[7] Estadística Básica del Autotransporte Federal 2004, SCT.
[8] SMA/DGGAA/DIP/SPFM/JUD Políticas de Fuentes Móviles, 2005.
[9] Presentación: "La experiencia del GNC en México, DGGAA, DIP, Enero de 2002.
[10] Anuarios de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 1995-1996, 1997, 1998-1999, 2000, 2001 y 2002-2003. SETRAVI.

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 ZMVM; se tiene que el 93% corresponden a vehículos que utilizan gasolina como combustible, el 6% 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	2,963,103	219	3,918	653	**2,967,893**
Taxis	118,585	-	40	9	**118,634**
Combis	19,446	1	37	1	**19,485**
Microbuses	20,310	90	11,697	954	**33,051**
Pick Up	126,908	67	1,303	3	**128,281**
Vehículos ≤ 3 Toneladas	81,976	95,807	13,491	134	**191,408**
Tractocamiones	36	82,990	7	1	**83,034**
Autobuses	89	32,459	17	-	**32,565**
Vehículos > 3 Toneladas	38,503	10,443	8,462	505	**57,913**
Motocicletas	127,454	-	-	-	**127,454**
Total	**3,496,410**	**222,076**	**38,972**	**2,260**	**3,759,718**

Edad del Parque Vehicular

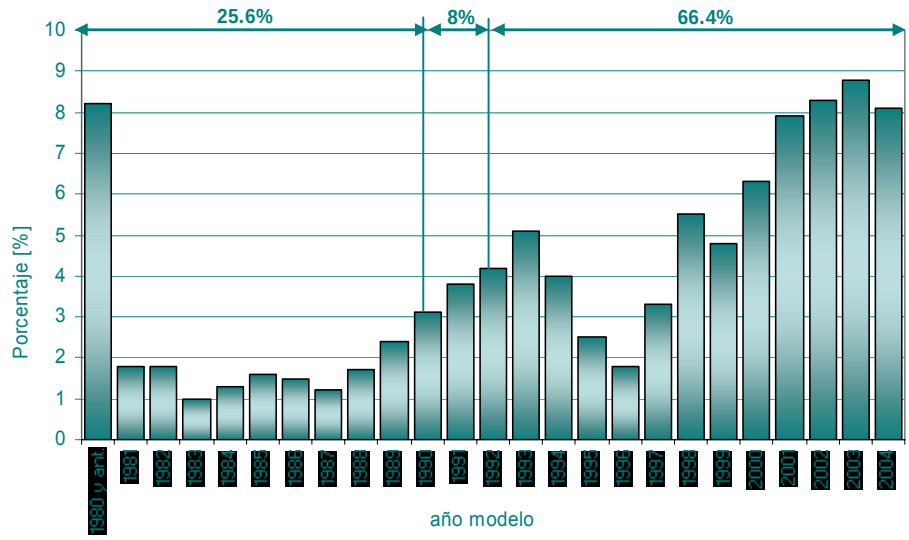
En el cálculo de las emisiones es de gran importancia considerar el año modelo de los vehículos, ya que esto nos permite conocer mejor el volumen de emisiones generadas por estrato vehicular y con ello proponer acciones para reducir las emisiones en forma específica. A continuación se tiene la distribución del parque de acuerdo al año modelo de los vehículos para los dos combustibles más comunes.

Se observa que en el caso de la gasolina cerca del 26% son modelos 1990 y anteriores, 8% corresponden a los modelos 1991-1992 y alrededor del 66% corresponden a modelos 1993 y posteriores, los cuales ya cuentan con convertidores catalíticos de tres vías y otros dispositivos anticontaminantes.

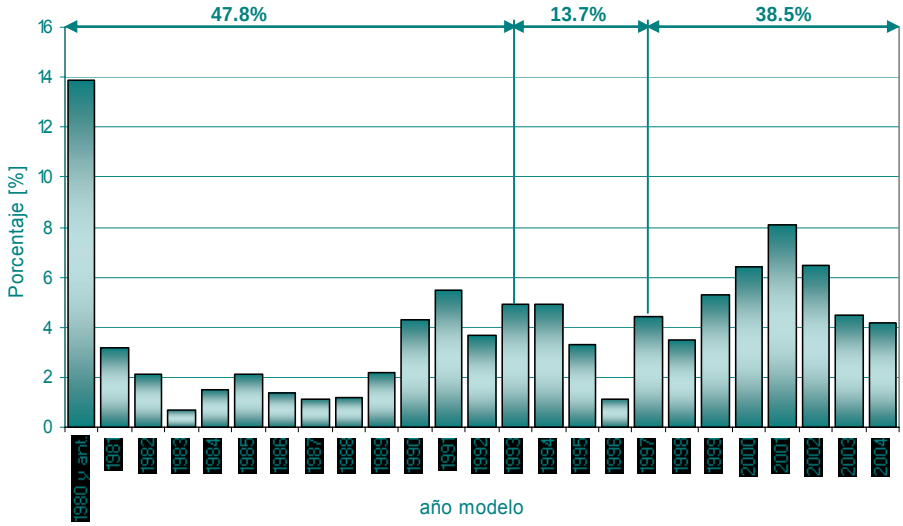
Por lo que respecta a las unidades que utilizan diesel como combustible, haciendo una separación por estratos tecnológicos tenemos que poco más el 46% de las unidades corresponden a unidades año modelo 1993 y anteriores, casi el 16% son vehículos modelo 1994 a 1997 que cuentan con la tecnología EPA 94; y el 38% restante son vehículos modelo 1998 y posteriores, los cuales cuentan con tecnología EPA 98. En la siguiente tabla se muestran las distribuciones porcentuales por año modelo de los vehículos que utilizan como combustible gasolina y diesel respectivamente (ver tabla y gráficas siguientes).

Tabla 4.3.4 Porcentaje de vehículos por año modelo y tecnología

Año Modelo	Gasolina		Diesel	
	%	% por Tecnología	%	% por Tecnología
1980 y ant.	8.2	25.6	13.9	47.8
1981	1.8		3.2	
1982	1.8		2.1	
1983	1.0		0.7	
1984	1.3		1.5	
1985	1.6		2.1	
1986	1.5		1.4	
1987	1.2		1.1	
1988	1.7		1.2	
1989	2.4		2.2	
1990	3.1		4.3	
1991	3.8	8.0	5.5	
1992	4.2		3.7	
1993	5.1	66.4	4.9	
1994	4.0		4.9	13.7
1995	2.5		3.3	
1996	1.8		1.1	
1997	3.3		4.4	
1998	5.5		3.5	38.5
1999	4.8		5.3	
2000	6.3		6.4	
2001	7.9		8.1	
2002	8.3		6.5	
2003	8.8		4.5	
2004	8.1		4.2	
Total	**100**	**100**	**100**	**100**



Gráfica 4.3.2 Porcentaje de vehículos a gasolina por año modelo y tecnología



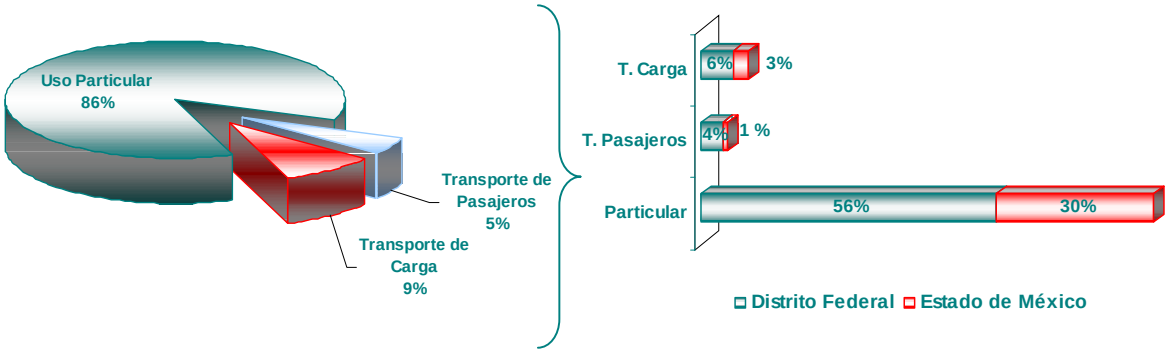
Gráfica 4.3.3 Porcentaje de vehículos a diesel por año modelo y tecnología

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 86% a vehículos de uso particular, 9% para transporte de carga y 5% para unidades de transporte de pasajeros, tal y como se muestra en la Tabla 4.3.5 y en la Gráfica 4.3.4.

Tabla 4.3.5 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.

Los kilómetros recorridos al año varían de acuerdo al holograma que portan los vehículos (doble cero, cero, uno o dos). Este holograma es otorgado de acuerdo al Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (PVVO), dependiendo del año modelo y del nivel de emisiones que presenten las unidades.

En la tabla 4.3.6 se tienen los indicadores de actividad utilizados para los autos particulares. Los kilómetros por día fueron obtenidos a partir de las lecturas del odómetro registradas en la base de datos del PVVO. También se ha tomado en cuenta que los vehículos con hologramas 1 y 2 dejan de circular un día a la semana, lo que significa un total de 313 días en circulación por año; los hologramas cero y doble circulan los 365 días del año al no tener restricción semanal para circular.

Tabla 4.3.6 Datos de actividad para los autos particulares

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

Consultas al Programa de Verificación Vehicular Obligatorio.

Los indicadores de actividad de la flota restante son valores reportados por la Comisión Metropolitana de Transporte y Vialidad (COMETRAVI), el Programa de Verificación Vehicular Obligatorio, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y por la Secretaría de Transportes y Vialidad (SETRAVI). Dichos datos se encuentran en las Tablas 4.3.7 y 4.3.8; la primera corresponde a vehículos que pueden obtener cualquiera de los hologramas mencionados anteriormente y la segunda es para aquellos tipos de vehículo que obtienen un solo tipo de holograma.

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 del PVVO.

Tabla 4.3.7 Actividad de la flota vehicular de la ZMVM de acuerdo al 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'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 de Uso Intensivo	60	N/A	365	313	313
Autobuses	Concesionados	223	N/A	365	313	313
Taxis	Taxis	200	N/A	365	313	313
Combis	Combis de Transporte de Pasajeros	200	N/A	365	313	313

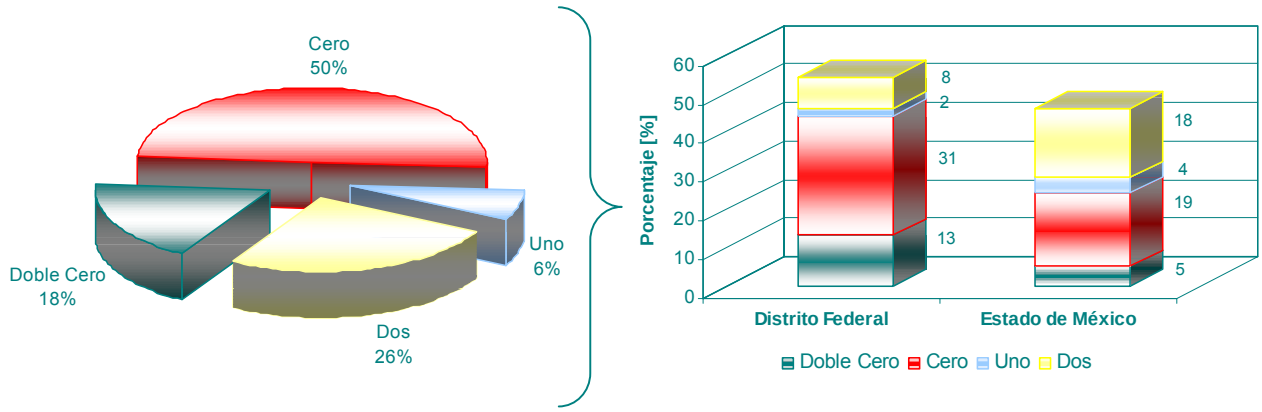
Fuentes: COMETRAVI, 1997. Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos.
Programa de Verificación Vehicular Obligatorio.
N/A.- No Aplica

Tabla 4.3.8 Actividad de la flota vehicular que cuenta con un solo tipo de holograma

Clasificación Final	Tipo de Vehículo	Km/día	Días/año
Vehículos ≤ 3 Ton	Vehículos ≤ 3 Ton	60	365
Vehículos > 3 Ton	Autotransporte Federal de Carga	60	365
	Servicio Privado de Autotransporte	60	365
Autobuses	Autobuses Red de Transporte de Pasajeros (día hábil)	223	255
	Autobuses Red de Transporte de Pasajeros (día inhábil)	241	110
	Autotransporte Federal de Turismo	60	365
	Autotransporte Federal de Pasaje	48	365
Motocicletas	Motocicletas	79	313

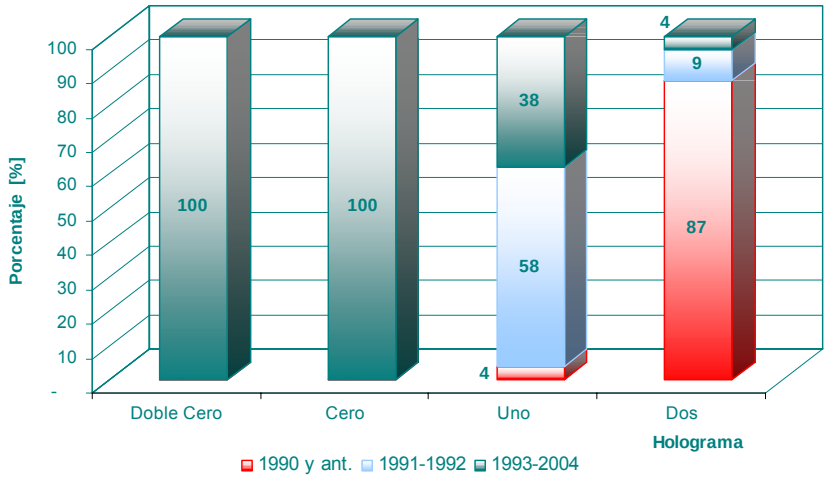
Fuentes: COMETRAVI, 1997. Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos.
Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2000, SETRAVI 2001.
Dirección General del Autotransporte Federal, SCT, 2002.
Red 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 6% y el 26% de los kilómetros recorridos por los autos particulares respectivamente, de los cuales el 38% y el 4% son recorridos por vehículos con menos de 12 años de edad, es decir modelos 1993 a 2004 (gráfica siguiente).



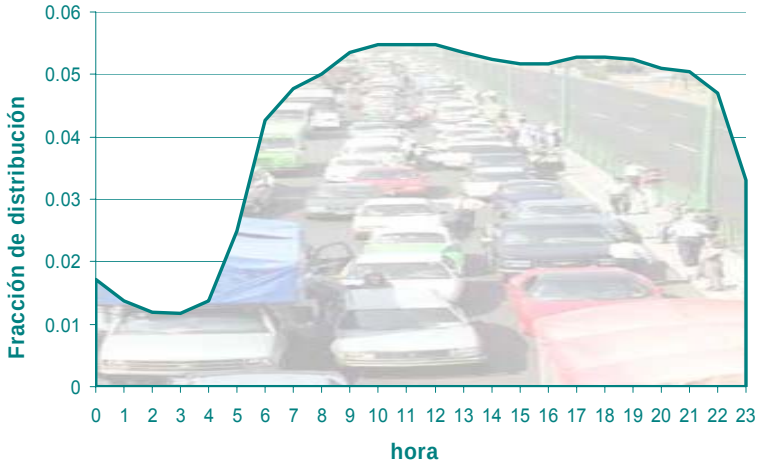
Gráfica 4.3.6 Distribución de KRV por estrato tecnológico para los autos particulares de acuerdo al holograma

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 estudio *"Sistema de Información de Condiciones de Tránsito para la Estimación de Emisiones Contaminantes por Fuentes Móviles en la Zona Metropolitana del Valle de México"* (ETEISA, 2003).

Como podemos apreciar en la Gráfica 4.3.7 y Tabla 4.3.9, a partir de las cinco de la mañana comienza a incrementarse la actividad vehicular, hasta presentar un pico de emisión entre las 9:00 y 12:00 horas, debido al aumento en ese horario de los traslados a escuelas y oficinas, después de éstas horas se presenta una pequeña disminución del tráfico, sin embargo, la tendencia es casi continua, lo cual es reflejo de la constante actividad vehicular a través del día. Las emisiones comienzan a disminuir a partir de las 22:00 horas, después que gran parte de la población ha regresado a sus hogares.



Gráfica 4.3.7 Perfil horario de distribución promedio de las emisiones de fuentes móviles

Tabla 4.3.9 Distribución horaria de emisiones de fuentes móviles

HORA	Emisiones [ton/año]					
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COV
0	0.3	0.2	0.2	108.4	8.7	11.4
1	0.2	0.2	0.2	84.0	6.8	8.9
2	0.2	0.1	0.1	73.0	5.9	7.7
3	0.2	0.1	0.1	70.1	5.6	7.4
4	0.2	0.2	0.1	78.3	6.3	8.3
5	0.3	0.3	0.2	137.5	11.1	14.6
6	0.6	0.5	0.4	242.1	19.4	25.7
7	0.6	0.5	0.5	258.6	20.7	27.5
8	0.7	0.5	0.5	271.1	21.7	28.8
9	0.7	0.6	0.5	**293.3**	**23.4**	**31.2**
10	0.7	0.6	0.5	**303.1**	**24.1**	**32.2**
11	0.7	0.6	0.5	**302.9**	**24.1**	**32.2**
12	0.7	0.6	0.5	**299.2**	**23.8**	**31.8**
13	0.7	0.5	0.5	287.9	22.9	30.6
14	0.7	0.5	0.5	279.6	22.1	29.6
15	0.7	0.5	0.5	273.0	21.6	28.9
16	0.7	0.5	0.5	272.7	21.6	28.8
17	0.7	0.5	0.5	281.6	22.3	29.7
18	0.7	0.5	0.5	279.3	22.1	29.4
19	0.7	0.5	0.5	278.9	22.0	29.4
20	0.7	0.5	0.5	275.1	21.8	29.1
21	0.7	0.5	0.5	280.1	22.2	29.7
22	0.6	0.5	0.5	263.4	20.9	28.0
23	0.5	0.4	0.3	190.1	15.1	20.3
Total/día	**14**	**10**	**10**	**5,483**	**436**	**581**

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 y las tecnologías de control incorporadas en los vehículos, por ejemplo, el 26% de los vehículos a gasolina no cuentan con sistemas de control de emisiones y generan el 50% de las emisiones de COV.

En la Tabla 4.3.10 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 2004; así mismo, en la Tabla 4.3.11 se presenta su contribución porcentual.

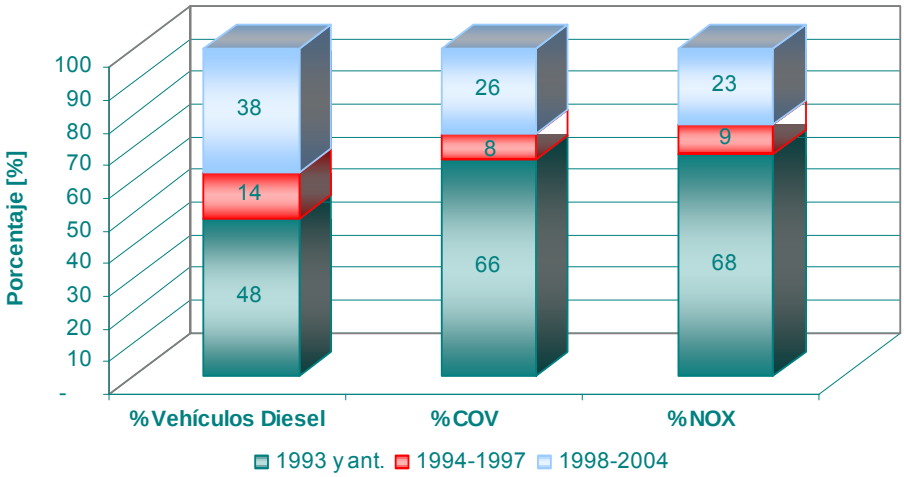
Tabla 4.3.10 Emisiones de las fuentes móviles en la ZMVM, 2004

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Autos Particulares	860	480	1,719	890,602	57,456	92,689	3,931	85,849	2,648
Taxis	144	80	312	118,709	11,062	14,309	606	13,252	483
Combis	24	14	44	69,194	3,208	6,687	283	6,193	76
Microbuses	42	24	123	151,556	10,278	18,767	1,461	17,456	171
Pick Up	63	36	149	106,338	8,572	10,825	515	10,012	169
Vehículos ≤ 3 Ton	283	234	215	109,111	10,695	11,908	478	11,084	117
Tractocamiones	2,315	2,014	284	31,945	29,094	11,575	494	11,069	30
Autobuses	691	600	261	16,015	10,751	4,741	204	4,530	14
Vehículos > 3 Ton	270	223	152	186,038	5,798	12,989	1,030	11,715	45
Motocicletas	76	43	62	98,399	1,057	13,646	814	12,739	22
Total	**4,768**	**3,748**	**3,321**	**1,777,907**	**147,971**	**198,136**	**9,816**	**183,899**	**3,775**

Tabla 4.3.11 Contribución porcentual de las fuentes móviles en la ZMVM, 2004

Tipo de Vehículo	Emisiones [%]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Autos Particulares	18.0	13.0	51.6	50.1	38.8	46.7	40.0	46.7	70.1
Taxis	3.0	2.1	9.4	6.7	7.5	7.2	6.2	7.2	12.8
Combis	0.5	0.4	1.3	3.9	2.2	3.4	2.9	3.4	2.0
Microbuses	0.9	0.6	3.7	8.5	6.9	9.5	14.9	9.5	4.5
Pick Up	1.3	1.0	4.5	6.0	5.8	5.5	5.2	5.4	4.5
Vehículos ≤ 3 Ton	5.9	6.2	6.5	6.1	7.2	6.0	4.9	6.0	3.1
Tractocamiones	48.6	53.7	8.6	1.8	19.7	5.8	5.0	6.0	0.8
Autobuses	14.5	16.0	7.9	0.9	7.3	2.4	2.1	2.5	0.4
Vehículos > 3 Ton	5.7	5.9	4.6	10.5	3.9	6.6	10.5	6.4	1.2
Motocicletas	1.6	1.1	1.9	5.5	0.7	6.9	8.3	6.9	0.6
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 PM_{10} y $PM_{2.5}$, donde los tractocamiones generan el mayor porcentaje de toneladas al año de estos contaminantes (casi 49% y 54% respectivamente).



Gráfica 4.3.8 Contribución porcentual a las emisiones de COV y NOx de los vehículos a diesel por estrato tecnológico

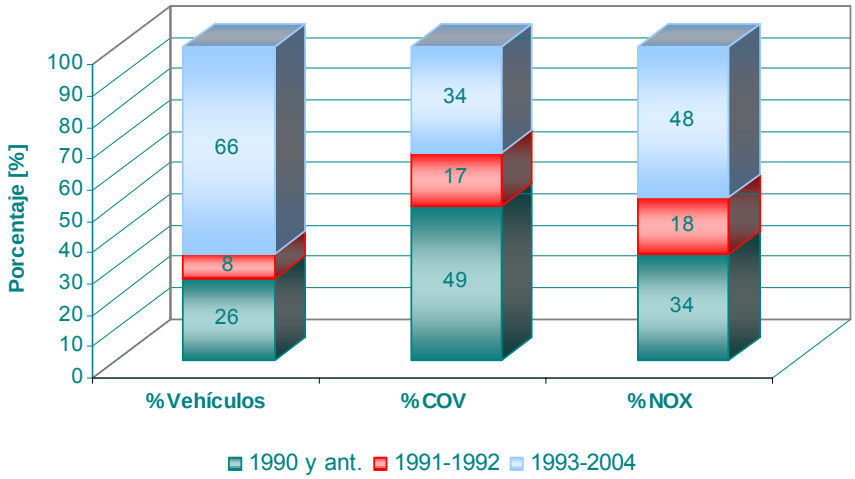
En la Gráfica 4.3.8, se tiene la comparación porcentual entre la emisión de los precursores de ozono (compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno) así como el porcentaje de vehículos a diesel, que se encuentran en circulación en la ZMVM en el año 2004, de acuerdo al año modelo. Se observa que el 48% de los vehículos (años modelo 1993 y anteriores), emite el 66% de los compuestos orgánicos volátiles y el 68% de los óxidos de nitrógeno.

Los vehículos años modelo 1994 a 1997 (tecnología EPA 94) representan el 14% de la flota vehicular, los cuales emiten el 8% de los compuestos orgánicos volátiles y el 9% de los óxidos de nitrógeno. Finalmente, los vehículos que corresponden a los años modelo 1998-2004 (tecnología EPA 98) representan el 38% de la flota de vehículos a diesel y aportan el 26% y el 23% de los compuestos orgánicos volátiles y de los óxidos de nitrógeno, respectivamente.

Complementando este análisis, en la Gráfica 4.3.10, se consideró el resto de la flota, es decir, vehículos que utilizan gasolina, GLP o GNC como combustible; de acuerdo al año modelo correspondiente a los estratos tecnológicos, y su correspondiente aporte de emisiones de COV y NOx.

En esta gráfica se observa que los vehículos que no cuentan con sistemas para controlar emisiones (años modelo 1990 y anteriores) representan el 26% de los vehículos y contribuyen con el 49% y el 34% a las emisiones de COV y de NOx respectivamente; el 8% 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 17% de compuestos orgánicos volátiles y el 18% de óxidos de nitrógeno.

Por último, los vehículos correspondientes a los años modelo 1993 a 2004 (66%), los cuales se consideran 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 34% de los compuestos orgánicos volátiles es y el 48% de los óxidos de nitrógeno.



Gráfica 4.3.9 Contribución porcentual a las emisiones de COV y NOX de los vehículos a gasolina, 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 4.3.12 Emisiones por las fuentes móviles para el Distrito Federal

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Autos Particulares	463	258	1,022	325,030	27,139	35,982	1,530	33,327	1,485
Taxis	129	72	285	104,960	9,897	12,685	537	11,748	432
Combis	5	3	10	13,990	642	1,353	57	1,253	15
Microbuses	27	15	84	83,756	6,957	12,283	1,177	11,425	126
Pick Up	19	11	53	22,209	2,104	2,499	119	2,311	57
Vehículos ≤ 3 Ton	245	205	154	71,764	7,567	8,177	325	7,613	86
Tractocamiones	1,785	1,553	141	24,534	22,408	8,907	381	8,518	23
Autobuses	569	494	153	12,651	8,881	3,889	165	3,718	12
Vehículos > 3 Ton	75	61	49	36,930	1,817	2,883	254	2,609	16
Motocicletas	70	40	58	90,360	973	12,368	738	11,546	20
Total	**3,387**	**2,712**	**2,009**	**786,184**	**88,385**	**101,026**	**5,283**	**94,068**	**2,272**

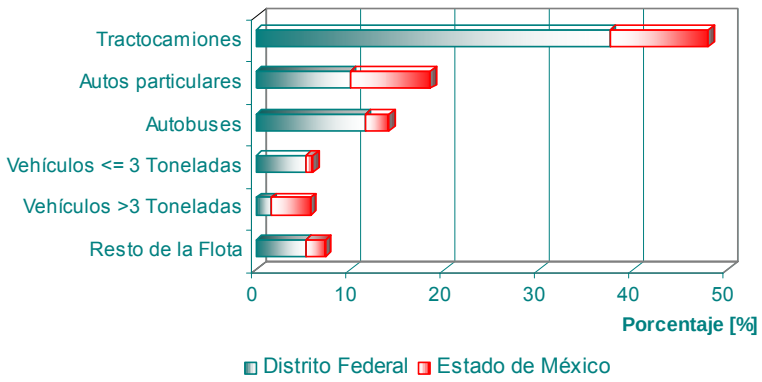
Tabla 4.3.13 Emisiones por las fuentes móviles para el Estado de México

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Autos Particulares	397	222	697	565,572	30,317	56,707	2,401	52,522	1,163
Taxis	15	8	27	13,749	1,165	1,624	69	1,504	51
Combis	19	11	34	55,204	2,566	5,334	226	4,940	61
Microbuses	15	9	39	67,800	3,321	6,484	284	6,031	45
Pick Up	44	25	96	84,129	6,468	8,326	396	7,701	112
Vehículos ≤ 3 Ton	38	29	61	37,347	3,128	3,731	153	3,471	31
Tractocamiones	530	461	143	7,411	6,686	2,668	113	2,551	7
Autobuses	122	106	108	3,364	1,870	852	39	812	2
Vehículos > 3 Ton	195	162	103	149,108	3,981	10,106	776	9,106	29
Motocicletas	6	3	4	8,039	84	1,278	76	1,193	2
Total	**1,381**	**1,036**	**1,312**	**991,723**	**59,586**	**97,110**	**4,533**	**89,831**	**1,503**

En las siguientes gráficas se muestran las categorías de vehículos que emiten la mayor cantidad de contaminantes al año, así como una categoría que representa al resto de la flota para cada entidad federativa.

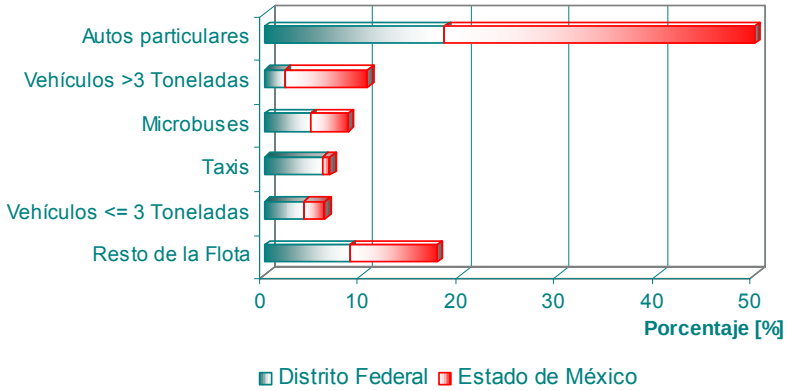
Es importante aclarar que en estas gráficas la categoría correspondiente al resto de la flota representa un porcentaje mayor que alguna de la cinco más contaminantes; esto es el resultado de agrupar en una sola categoría los tipos de vehículo restantes, y por ello la suma de los menos contaminantes puede ser mayor que una o varias de las otras categorías.

En la Gráfica 4.3.10, se tienen los porcentajes de las emisiones de PM_{10}, la cual indica que los tractocamiones aportan poco menos de la mitad de las emisiones de este contaminante, seguido de los autos particulares y los autobuses. 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.



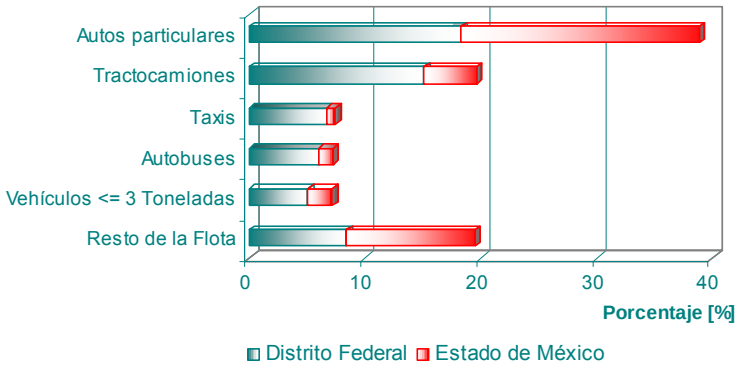
Gráfica 4.3.10 Porcentajes de las emisiones de PM_{10}, de acuerdo al tipo de vehículo

En la Gráfica 4.3.11, se presentan las emisiones de CO donde casi la mitad de este contaminante corresponde a los autos particulares, que es cuatro veces más 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 predominantes en las dos categorías más emisoras provienen de vehículos que están registrados en el Estado de México.



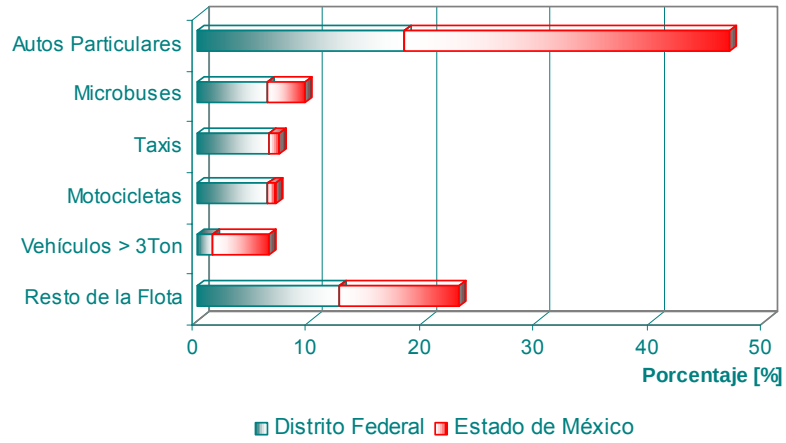
Gráfica 4.3.11 Porcentajes de las emisiones de CO, de acuerdo al tipo de vehículo

En la Gráfica 4.3.12 observamos que los autos particulares son los que emiten la mayor cantidad de óxidos de nitrógeno (39%) en toda la ZMVM, con una contribución ligeramente mayor por parte de las unidades que circulan en el Estado de México. A los autos particulares les siguen los tractocamiones, los taxis y los autobuses, estos dos últimos emiten casi el mismo porcentaje de NOx, de los cuales más de 60% de las emisiones provienen del Distrito Federal.



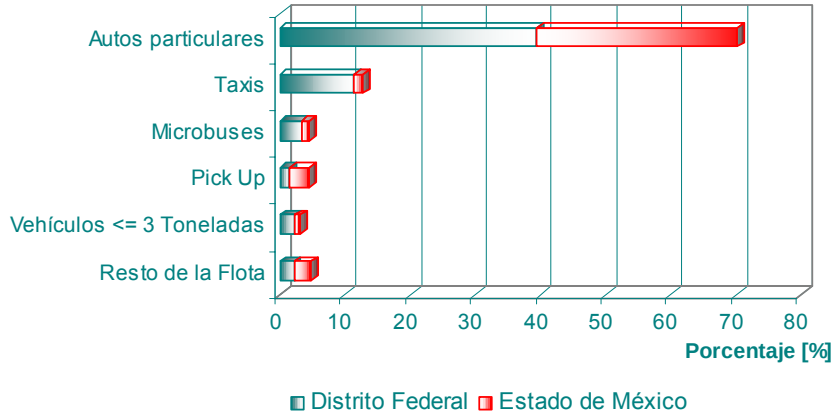
Gráfica 4.3.12 Porcentajes de las emisiones de NOx, de acuerdo al tipo de vehículo

En la gráfica que representa la distribución porcentual de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (Gráfica 4.3.13), se indica que los vehículos que más aportan a estas emisiones son los autos particulares (47%), y más de la mitad de estas emisiones provienen del Estado de México. Muy por debajo de los particulares están los microbuses y los taxis, cuyas emisiones son generadas principalmente dentro del Distrito Federal.



Gráfica 4.3.13 Porcentajes de emisiones de COV, de acuerdo al tipo de vehículo

Por último, en la Gráfica 4.3.14, se muestran los porcentajes para amoniaco en donde la categoría predominante, son los autos particulares que contribuyen con el 70% de las emisiones de fuentes móviles, seguidos de los taxis (poco menos del 13%) y los microbuses (5%). En estas tres categorías las emisiones son en su mayoría correspondientes al Distrito Federal.



Gráfica 4.3.14 Porcentajes de las emisiones de NH_3, 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.

Tabla 4.1.19 Emisiones industriales por delegación en el Distrito Federal

Delegación	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
A. Obregón	140	43	2	7	16	33	544	525	6	1
Azcapotzalco	456	602	34	50	381	835	18,274	17,481	47	15
B. Juárez	154	16	1	18	23	31	8,361	7,815	25	0
Coyoacán	105	53	2	14	14	36	5,042	4,598	4	1
Cuajimalpa	5	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Cuauhtémoc	192	165	9	8	95	236	4,242	4,006	135	1
G.A. Madero	325	97	12	144	149	620	5,081	4,870	107	3
Iztacalco	286	154	3	50	27	71	4,112	4,039	4	1
Iztapalapa	582	164	12	66	182	226	8,125	7,886	40	4
M. Contreras	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0
M. Hidalgo	227	47	19	27	207	321	4,814	4,492	74	4
Milpa Alta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tláhuac	72	25	3	10	20	114	976	950	10	1
Tlalpan	68	6	1	4	7	22	4,292	3,765	781	0
V. Carranza	159	50	5	57	22	70	879	708	4	2
Xochimilco	27	19	1	2	8	14	156	150	1	0
Total	**2,800**	**1,441**	**104**	**457**	**1,151**	**2,630**	**64,901**	**61,287**	**1,238**	**33**

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 PM_{10}, SO_2, CO y NOx, mientras que las industrias de jurisdicción federal generan mayores emisiones de COT.

Tabla 4.1.20 Emisiones industriales por jurisdicción en el Estado de México

Entidad	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
Local	750	1,367	444	2,385	4,275	15,331	25,919	24,648	256	140
Federal	1,396	1,108	103	1,248	1,017	1776	28,926	28,166	65	23
Total	**2,146**	**2,475**	**547**	**3,633**	**5,292**	**17,107**	**54,845**	**52,814**	**321**	**163**

De las industrias evaluadas en el Estado de México, el principal contaminante generado son los COT, con 54,845 ton/año, siendo el giro más emisor la industria química; en el caso de los NOx y el CO, el giro con mayores emisiones es el de generación de energía eléctrica. En lo que se refiere al bióxido de azufre, se emitieron 3,633 ton/año, siendo la industria metálica básica la de mayor emisión. Para el caso de las PM_{10}, se emiten 2,475 ton/año, siendo los productos minerales no metálicos los que más contribuyen. Para el amoniaco se tiene que se emiten 163 ton/año, siendo el giro más importante el de la generación de energía eléctrica, como se muestra en la tabla 4.1.21.

Tabla 4.1.21 Emisiones industriales por subsector en el Estado de México

Subsector	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
Productos alimenticios, bebidas y tabaco.	194	99	46	144	286	986	1,612	1,589	11	11
Textiles, prendas de vestir e industria del cuero.	208	292	21	524	55	215	2,189	2,170	8	5
Industria de la madera y productos de madera. Incluye muebles.	64	20	6	143	2	19	3,495	3,458	0	0
Papel y productos de papel, Imprenta y editoriales.	167	75	45	555	318	684	7,258	7,121	10	15
Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico.	556	161	50	752	476	1,045	29,420	28,595	133	32
Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón.	110	715	123	202	378	1,318	446	382	63	18
Industrias metálicas básicas.	122	585	16	982	361	1,331	1,713	1,252	4	5
Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión.	648	333	48	300	1,283	587	8,044	7,775	10	10
Otras industrias manufactureras.	73	3	0	16	7	65	390	333	24	0
Generación de energía eléctrica	4	192	192	15	2,126	10,857	278	139	58	67
Total	**2,146**	**2,475**	**547**	**3,633**	**5,292**	**17,107**	**54,845**	**52,814**	**321**	**163**

En lo que se refiere a la distribución por municipio y por tipo de contaminante, Tlalnepantla, Naucalpan de Juárez y Ecatepec, destacan por tener el mayor número de industrias en el Estado de México, así mismo, estos municipios contribuyen con la mayor cantidad de emisiones contaminantes. (ver tabla 4.1.22).

Tabla 4.1.22 Emisiones industriales por municipio en el Estado de México

Municipio	Número de Empresas	Emisiones [ton/año]								
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4	NH_3
Acolmán	4	177	164	64	1,837	10,396	382	262	50	75
Atizapán de Zaragoza	118	23	5	48	94	157	4,481	4,446	6	2
Coacalco	7	11	0	0	0	0	60	57	0	0
Cuautitlán	53	11	3	36	56	34	297	293	2	0
Cuautitlán Izcalli	228	114	10	34	40	108	4,254	4,126	12	3
Chalco	39	43	9	127	153	41	1,171	975	99	1
Chicoloapan	16	12	2	7	36	34	56	46	3	0
Chimalhuacan	5	4	1	1	35	1	0	0	0	0
Ecatepec	360	490	48	444	942	690	13,836	13,280	26	17
Huixquilucan	8	11	0	1	1	4	0	0	0	0
Ixtapaluca	36	78	19	484	136	134	194	193	2	2
La Paz	76	41	6	208	63	91	857	830	0	3
Naucalpan de Juárez	424	180	20	378	260	415	10,044	9,893	7	10
Nezahualtcóyotl	59	13	0	2	5	13	100	89	4	0
Nicolás Romero	7	1	1	3	1	4	49	49	0	0
Tecámac	22	5	2	60	4	23	486	459	1	0
Tlalnepantla	548	1,149	196	1,609	928	3,615	14,262	13,622	80	37
Tultitlán	136	112	61	127	701	1,347	4,316	4,194	29	13
Total	**2,146**	**2,475**	**547**	**3,633**	**5,292**	**17,107**	**54,845**	**52,814**	**321**	**163**

4.4 FUENTES NATURALES

Las fuentes naturales son aquéllas que emiten compuestos a la atmósfera generados por procesos bióticos y abióticos, son fuentes no antropogénicas como las biogénicas, las geogénicas y la iluminación. Las fuentes biogénicas incluyen las emisiones de hidrocarburos emitidos por los árboles y cosechas agrícolas, así como a los óxidos de nitrógeno proveniente de la actividad microbiana de los suelos (ERG, 2002)[1].

Se debe incluir a las fuentes biogénicas en un inventario de emisiones, debido a que los COV y NOx son precursores de ozono, especialmente a escala regional. Así mismo, dichas emisiones se necesitan para los modelados fotoquímicos con propósitos de planeación de calidad atmosférica, debido a la interacción entre COV y NOx en la formación de ozono atmosférico.

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 oxigeno[2] y contribuye a mejorar la calidad del aire, sin embargo, a pesar de éstos beneficios, también se liberan hidrocarburos (principalmente compuestos orgánicos volátiles tales como el isopreno y los terpenos), 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.

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 km^2 de superficie que comprende la Zona Metropolitana del Valle de México, los principales usos de suelo se distribuyen de la siguiente manera: 41% es de uso agrícola, 34% es urbano y el 24% son suelos de uso forestal (ver tabla 4.4.1 y mapa 4.4.1).

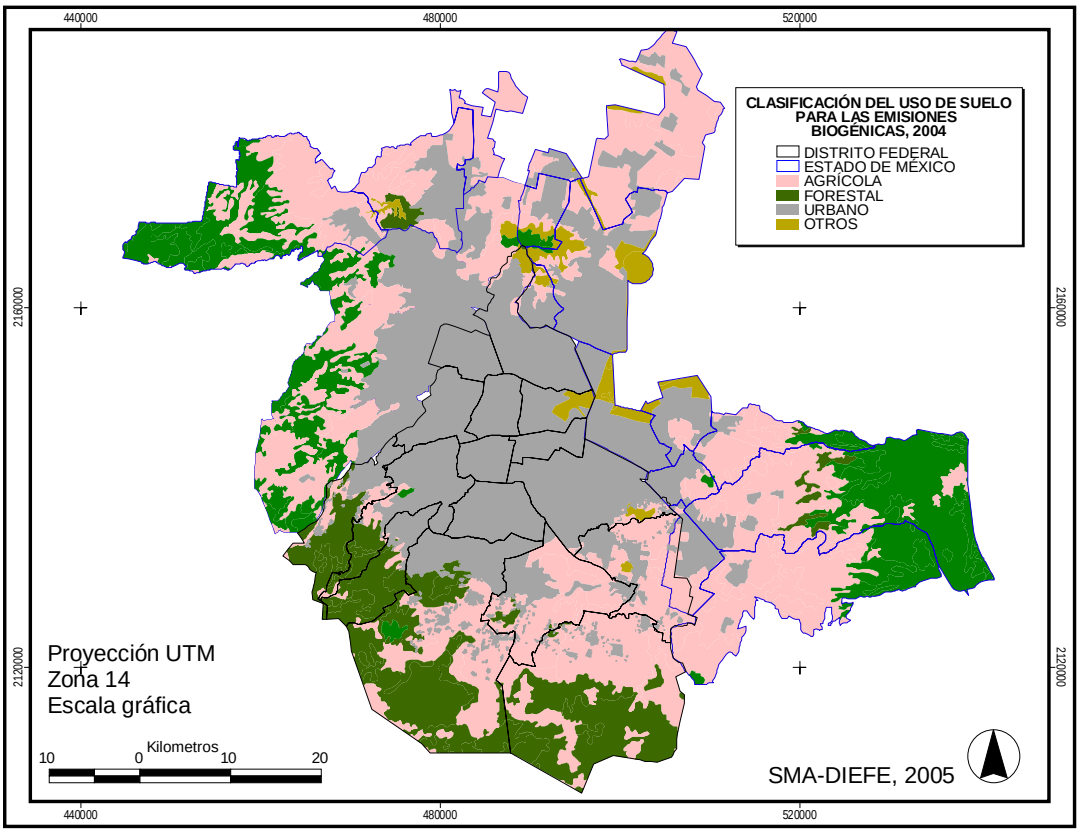
[1] Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Vol. VII Desarrollo de Inventario de Recursos Naturales, 2002.

[2] En una hectárea arbolada se produce al día, el oxígeno suficiente para 52 personas (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos,1993).

Tabla 4.4.1 Uso de suelo en la Zona Metropolitana del Valle de México

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**

Fuente: Elaborada con información del Inventario Nacional Forestal, 2000.
Nota: El uso de suelo "Otros" incluye a los cuerpos de agua, matorral y áreas sin vegetación aparente.
Solo incluye los 18 municipios conurbados
N/S = No significativo



Fuente: Elaborado con información del Inventario Nacional Forestal, 2000

Mapa 4.4.1 Uso de Suelo y vegetación de la ZMVM

El cálculo de las emisiones biogénicas se desarrolló con base en la metodología descrita en el Programa de Inventario de Emisiones para México, Manual VII "Desarrollo del Inventario de Recursos Naturales" (ERG, 2002[3]), utilizando el modelo GloBEIS[4], por sus siglas en inglés (Global Biosphere Emissions and Interaction System). Este modelo, a diferencia del PC-BEIS, incorpora las ecuaciones y estudios más recientes para calcular emisiones biogénicas, permite el ingreso de una mayor cantidad de datos y genera emisiones para múltiples coordenadas (latitud/longitud) y para varios días.

3 Eastern Research Group, Inc.

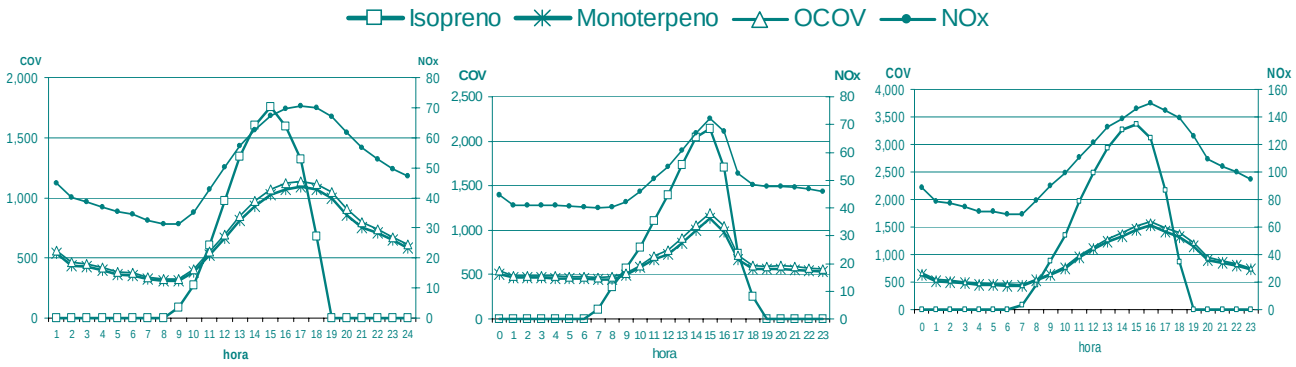
4 Recomendado por Eastern Research Group, Inc. (2002), en el documento de "Evaluación del Inventario de emisiones de la ZMVM, 1998".

Para la estimación de emisiones se requirió recabar tres tipos de información:

1.- Uso de suelo. Se definió el área de estudio o dominio en Km^2 y se clasificó el uso del suelo en: *forestal, urbano, agrícola y otros*. Así mismo, se distribuyeron las superficies de cada uso de suelo por especie vegetal dominante, de acuerdo a la clasificación que incluye el GloBEIS.
2.- Meteorología. Se utilizaron datos horarios de temperatura y radiación, "PAR" por sus siglas en inglés (Photosynthetically Activated Radiation[5]) del día representativo de cada temporada climatológica de la ZMVM: seca fría-febrero 10, seca cálida-mayo 21 y lluvias-junio 25.
3.- Factores de emisión. Se utilizaron los factores por especie vegetal o categoría provenientes del GloBEIS.

Emisiones horarias de la vegetación y suelos

En la Zona Metropolitana del Valle de México, diariamente se emiten más 65 toneladas de COV generados por la vegetación y poco más de 2 toneladas 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 día representativo de cada temporada[6].



Fría-seca Lluvias Seca-cálida

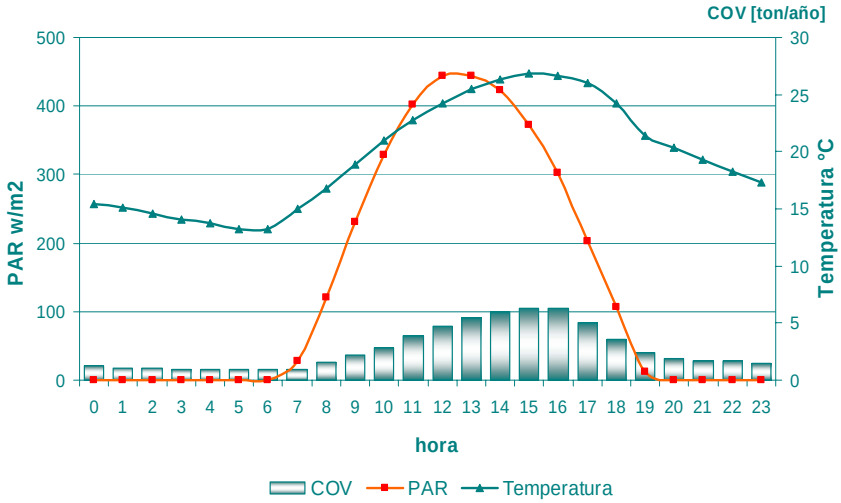
Gráfica 4.4.1 Emisiones biogénicas horarias [kg/hr]

En forma general, las emisiones de COV y NOx siguen un comportamiento similar al de la temperatura a través del día. Las emisiones de isopreno están más relacionadas al incremento de la radiación, sin embargo, los picos de las emisiones no siempre coinciden con los valores más altos de esta variable. Algunos autores sugieren que este comportamiento se debe a que la producción de dicho hidrocarburo, es para aumentar 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 Singsaas, 1995; en Benjamín, *et al*, 1995).

5 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).

6 Ver selección de días de la memoria de cálculo

Los COV presentan las mayores emisiones en horas de elevada radiación o temperatura, los valores más altos oscilan entre las 13:00 y 16:00 horas del día (Gráfica 4.4.2). 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, PAR y COV de la ZMVM

Emisiones anuales de la vegetación y suelos por entidad

Distrito Federal

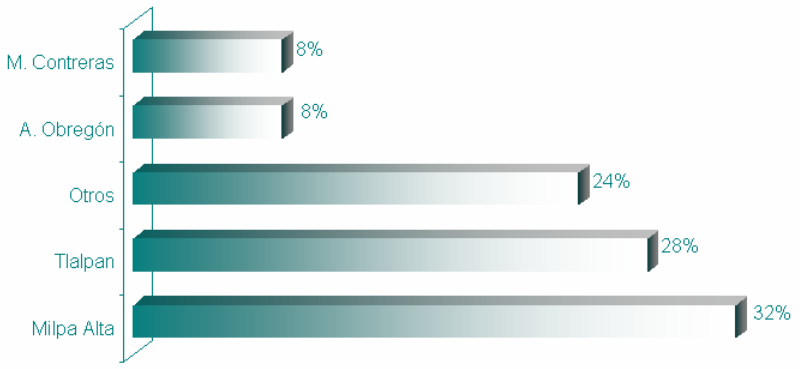
De las 7,158 toneladas anuales de COV biogénicos que se emiten en el Distrito Federal, el principal contaminante es el monoterpeno con 3,126 toneladas anuales, lo cual representa el 44% de las emisiones de hidrocarburos en esta entidad, siguen en orden de importancia, los otros compuestos orgánicos volátiles (OCOV: metanol, etanol, ácido acético, aldehído, formaldehído, entre otros) contribuyendo con 3,002 toneladas anuales, los cuales representan el 42%.

Tabla 4.4.2 Emisiones biogénicas del Distrito Federal

Temporada	Emisiones [ton/año]				
	Isopreno	Monoterpeno	OCOV	Total COV	NOx
Seca-Fría	235	949	914	2,098	53
Lluvias	403	1,223	1,173	2,799	147
Seca-cálida	392	954	915	2,261	150
Total	**1,030**	**3,126**	**3,002**	**7,158**	**350**

Total de COV = COT

Del total de COV que se generan 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 (Gráfica 4.4.3), generado principalmente por especies forestales como el pino; otras delegaciones que siguen en importancia de emisión son, La Magdalena Contreras y Álvaro Obregón, que en conjunto, contribuyen con un 16% a las emisiones de COV.



Gráfica 4.4.3 Principales delegaciones generadoras de COV biogénicos

Estado de México

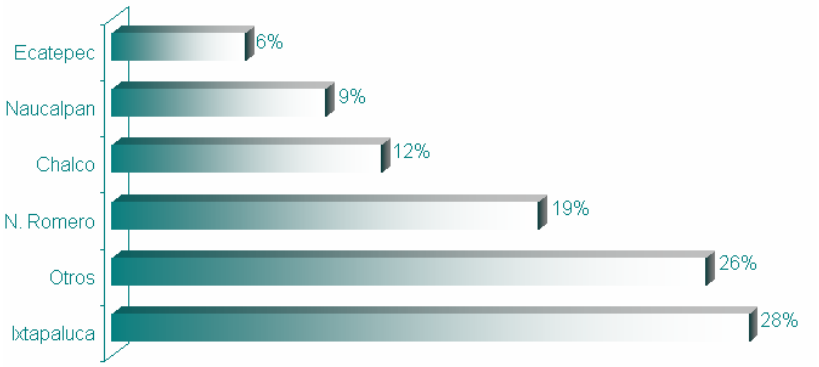
Las emisiones de COV generadas en el Estado de México ascienden a 10,448 toneladas anuales, las principales emisiones corresponden al isopreno con 4,281 ton/año y los OCOV con 3,299 ton/año, éstos representan el 41% y el 32% del total de COV respectivamente.

Tabla 4.4.3 Emisiones biogénicas del Estado de México

Temporada	Emisiones [ton/año]				
	Isopreno	Monoterpeno	OCOV	Total COV	NOx
Seca-Fría	989	918	1,047	2,954	88
Lluvias	1,575	1,008	1,187	3,770	108
Seca-cálida	1,717	942	1,065	3,724	80
Total	**4,281**	**2,868**	**3,299**	**10,448**	**276**

Total de COV = COT

Las mayores emisiones se tienen en el municipio de Ixtapaluca (28%) y se generan principalmente en las áreas forestales. Otros municipios que son importantes por sus emisiones son: Nicolás Romero y Chalco, los cuales en conjunto contribuyen con el 31% del las emisiones, que son generadas principalmente en sus áreas de pino y encino (Gráfica 4.1.4)



Gráfica 4.4.4 Principales municipios generadores de COV biogénicos

Zona Metropolitana del Valle de México

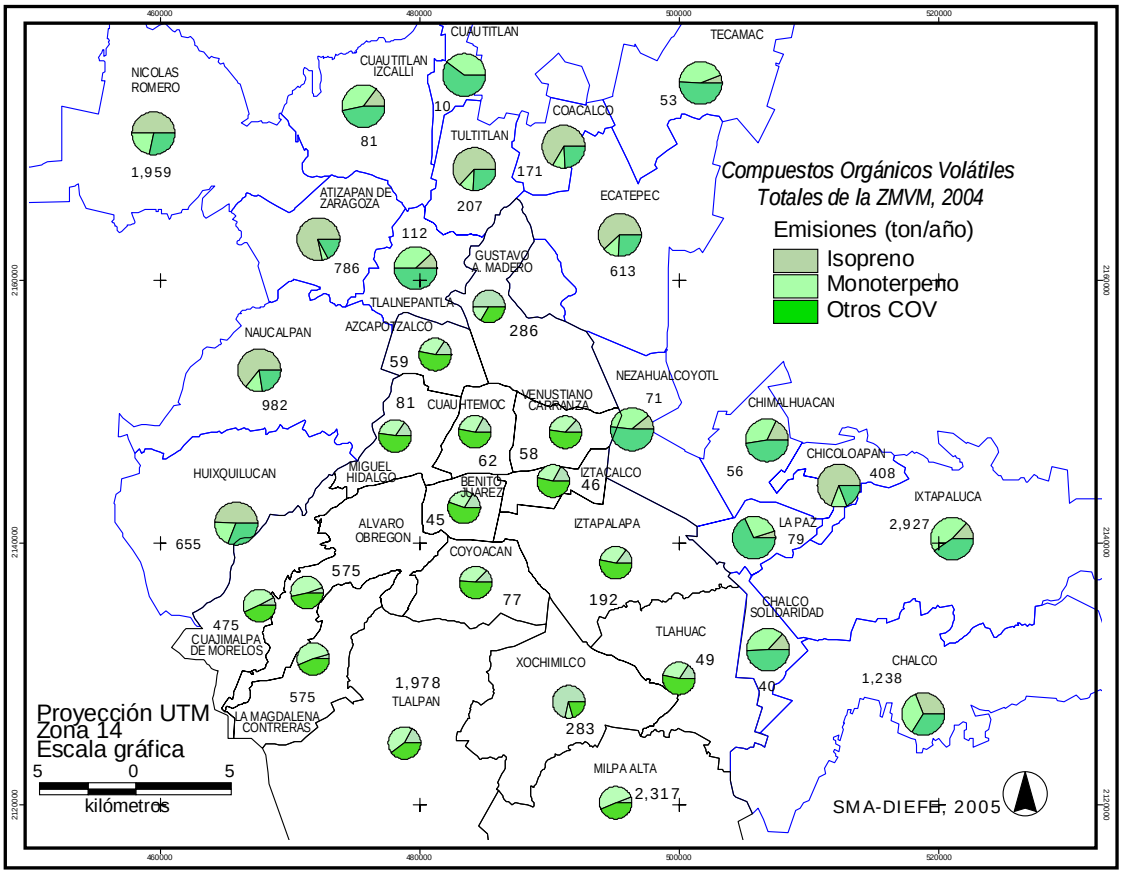
Las emisiones anuales de COV generados por la vegetación en la ZMVM, ascienden a 17,606 toneladas, de los cuales el monoterpeno y los OCOV son los que más se emiten, representando el 34% y 36% respectivamente, el 30% restante es isopreno. Por otra parte, las emisiones de NOx que se liberan por los procesos de los micro-organismos en el suelo, se estimaron en 626 toneladas anuales (ver Tabla siguiente).

Figura 4.4.1 Emisiones biogénicas en la Zona Metropolitana del Valle de México

Temporada	Emisiones [ton/año]				
	Isopreno	Monoterpeno	OCOV	Total COV	NOx
Seca-Fría	1,224	1,867	1,961	5,052	141
Lluvias	1,978	2,231	2,360	6,569	255
Seca-cálida	2,109	1,896	1,980	5,985	230
Total	**5,311**	**5,994**	**6,301**	**17,606**	**626**

Total de COV = COT

Del total de las emisiones biogénicas, el Distrito Federal contribuye con el 41% de los COV y el 59% restante lo generan los municipios conurbados del Estado de México. El siguiente mapa muestra la contribución a las emisiones de COV por delegación y municipio.



Mapa 4.4.2 COV biogénicos en la Zona Metropolitana del Valle de México

En el mapa anterior, se puede observar que los principales emisores son las delegaciones y municipios que cuentan con áreas forestales; para el caso del Estado de México se puede mencionar a Ixtapaluca, Nicolás Romero y Chalco; en el Distrito Federal tenemos a las delegaciones de Milpa Alta, Tlalpan y Álvaro Obregón.

4.4.2 Erosión eólica del suelo

A pesar de que la erosión es un proceso natural, en la ZMVM se originó principalmente por las actividades humanas tales como la deforestación, las quemas y prácticas agrícolas, entre los de mayor importancia (SMA-Universidad de Chapingo, 2000)[7]. Lo anterior ha llevado a la alteración del régimen hidrológico y ha ocasionado la remoción de los suelos, haciendo a la ZMVM cada vez más susceptible a la erosión; aunado esto, los vientos 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.

7 Bases para el manejo Ambiental de la Zona Oriente del Valle de México.

Los principales factores actuantes en la erosión eólica son[8]:

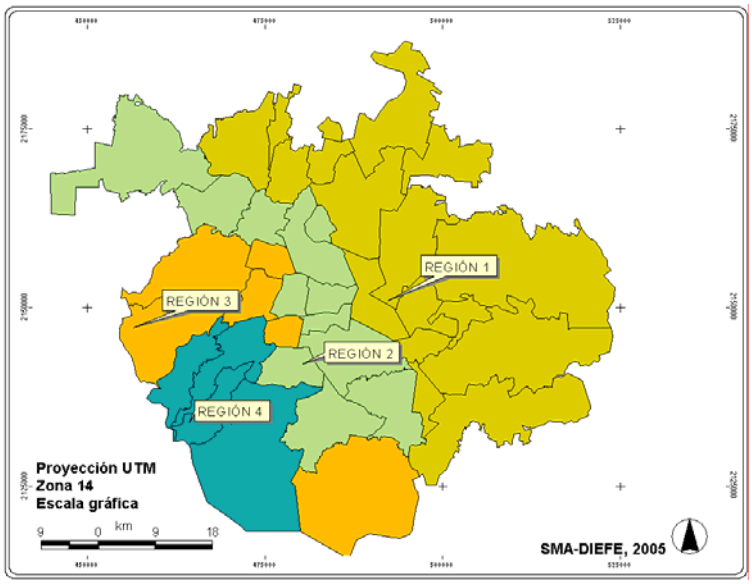
- Los factores climáticos: Precipitación, temperatura, humedad atmosférica y vientos. A mayores precipitaciones y contenidos de humedad, el suelo es más resistente.
- Características del suelo: La erosionabilidad del suelo por causa de los vientos está relacionada con la textura y estabilidad estructural. Los suelos de textura gruesa son más susceptibles a erosionarse y menos propensos a formar estructuras estables.
- Rugosidad de la superficie: Al aumentar la rugosidad de la superficie se reduce la velocidad del viento y, por lo tanto, disminuye la posibilidad de traslación de las partículas del suelo.
- Vegetación: Es uno de los factores más importantes de protección contra la acción del viento. La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo.

Para la estimación de partículas generadas por erosión eólica, la ZMVM se dividió en cuatro regiones, con la finalidad de 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[9].

REGIÓN 1	**REGIÓN 2**	**REGIÓN 3**	**REGIÓN 4**
Acolman	Atizapán de Zaragoza	Azcapotzalco	Álvaro Obregón
Atenco	Gustavo A. Madero	Huixquilucan	Cuajimalpa de Morelos
Coacalco	Iztapalapa	Miguel Hidalgo	La Magdalena Contreras
Cuautitlán	Nicolás Romero	Milpa Alta	Tlalpan
Cuautitlán Izcalli	Tláhuac	Naucalpan de Juárez	
Chalco	Tlalnepantla de Baz		
Chalco Solidaridad	Xochimilco		
Chicoloapan	Venustiano Carranza		
Chimalhuacán			
Ecatepec			
Ixtapaluca			
La Paz			
Nezahualcóyotl			
Tecamac			
Texcoco			
Tultitlán			

8 Conservación de Suelos Consejo Agrario Provincial, 2005. Recursos Naturales, http://www.scruz.gov.ar/recursos (septiembre, 2005).

9 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 (EPA, 1997), con la ecuación modificada de erosionabilidad del suelo, desarrollada por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés); y las $PM_{2.5}$ se estimaron con base en el perfil de especiación de material particulado propuesto por CEIDARS[10], donde se considera que las $PM_{2.5}$ representan en promedio, el 11% de las partículas suspendidas totales (PST).

Los datos meteorológicos (temperatura y viento) para el año 2004 provienen de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y los valores de precipitación de la Dirección General Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH-GDF).

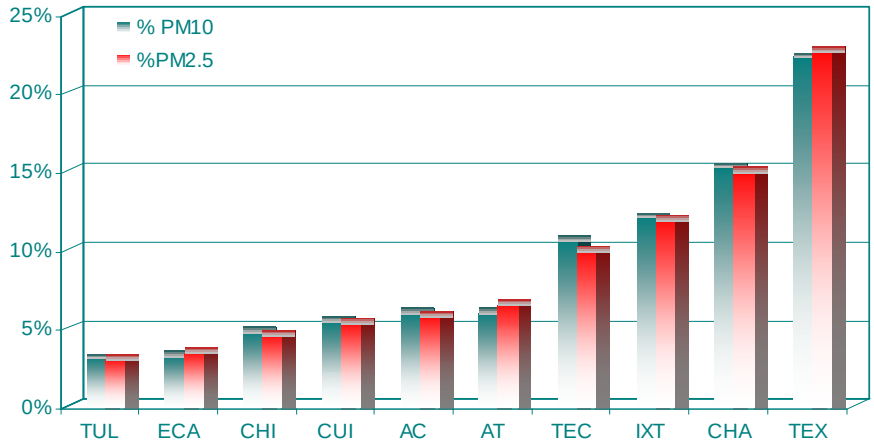
La superficie considerada como susceptible de erosión eólica en la Zona Metropolitana del Valle de México, es de 193,609 hectáreas (ha), 48,938 ha corresponden al Distrito Federal y 144,671 ha al Estado de México.

En total, en la ZMVM se generan 1,201 ton/año de PM_{10} por erosión eólica y 261 toneladas de $PM_{2.5}$, siendo los municipios de Texcoco y Chalco los más emisores, con 267 y 183 toneladas anuales de PM_{10} respectivamente (Gráfica 4.4.3 y Tabla 4.4.4).

Tabla 4.4.4 Partículas generadas por erosión eólica, ZMVM

Entidad	Emisiones [ton/año]		
	Superficie de erosión [ha]	PM_{10}	PM_{25}
Distrito Federal	48,938	20	4
Estado de México	144,671	1,181	257
ZMVM	**193,609**	**1,201**	**261**

10 California Emission Inventory And Reporting System, 2002. Particulate Matter (PM) Speciation Profiles. Summary of overall size fractions and reference documentation.



TUL: Tultitlán
ECA: Ecatepec
CHI: Chicoloapan
CUI: Cuautitlán Izcalli
AC: Acolman
AT: Atenco
TEC: Tecámac
IXT: Ixtapaluca
CHA: Chalco
TEX: Texcoco

Gráfica 4.4.3 Principales municipios generadores de partículas

4.5 GASES EFECTO INVERNADERO (GEI)

La Comisión Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) ha definido al cambio climático como *"un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, actividad que altera la composición de la atmósfera global y que es adicional a la variabilidad natural del clima observada en un período de tiempo comparable".* Actualmente se reconoce que el posible cambio climático constituye una seria amenaza al ambiente global, el Intergovernmental Panel Climate Change (IPCC)[1] espera que el clima de la Tierra continúe cambiando en el futuro.

Los GEI como resultado de la actividad humana, son responsables del cambio climático, principalmente por la quema de combustibles fósiles y la deforestación, así como el cambio en el uso de la tierra. Estas actividades producen un incremento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, lo cual lleva, según las proyecciones, a cambios a nivel global y regional de la temperatura, de la precipitación y de otras variables climáticas, dando origen a: cambios en la humedad del suelo, aumento del nivel medio del mar, incremento de crecidas, inundaciones y sequías, así como al posible aumento de la intensidad y la frecuencia de los eventos climáticos extremos.

Desde 1992, México ha participado en la negociación y desarrollo ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC); como parte de los compromisos en este foro, se presentó en 1997 la Primera Comunicación Nacional de México ante la CMNUCC, la cual incluyó avances y resultados de estudios, talleres, cursos y conferencias, publicaciones sobre vulnerabilidad y el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 para México. La elaboración de la Segunda Comunicación Nacional de México se inició en el año 2000 e incluye la actualización del Inventario para 1994, 1996 y 1998.

Los inventarios incluyen gases de efecto invernadero denominados directos: bióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) e indirectos (que contribuyen a la formación atmosférica del ozono): monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles que no incluyen al metano (COVNM). 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 de gas referido a CO_2; por lo tanto, se expresa en Tg de CO_2 equivalente. La Tabla 4.5.1 contiene el potencial de calentamiento de los principales Gases de Efecto Invernadero.

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

Gas	Potencial de calentamiento [Tg CO2 Eq.]
Bióxido de carbono	1
Metano	21
Óxido nitroso	310

IPCC, 1996 en EPA, 20032

1 Es un grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático, coordinado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).
2 EPA, 2003. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2001

Con el objeto de actualizar el inventario de emisiones de GEI producidos en la ZMVM, se realizó la evaluación para CO_2 por proceso de combustión de hidrocarburos como la gasolina, el gas L.P. entre otros (ver tabla 4.5.2); así mismo, en las secciones anteriores se estimó la emisión de metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles que no incluyen al metano (COVNM) por sector.

La estimación de GEI se realizo utilizando la metodología del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)[3] y la siguiente ecuación representa el sistema de cálculo.

$$ETi = \sum_{j}\sum_{k} A_{kjm} * F_{jikm}$$

Donde:
ET_i = Emisión total del GEI i [kg/año]
A_{kjm}= Consumo de energía del sector j con tecnología m para el combustible k [TJ/año]
F_{jikm}= Factor de emisión del gas i en la actividad j con tecnología m y combustible k [kg/TJ]

Tabla 4.5.2 Distribución de energía, factores de emisión y emisiones de CO_2 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	**291,932**		**20,480,015**
PEMEX Magna	189,552	69,300	13,135,945
PEMEX Premium	31,917	69,300	2,211,852
PEMEX Diesel	63,219	74,070	4,682,618
Gas Natural	1,044	56,100	58,563
GLP	6,200	63,070	391,037
Industria	**184,525**		**10,569,125**
Diesel Industrial bajo Azufre	9,773	74,067	723,831
Gas Natural	168,765	56,100	9,467,741
GLP	5,987	63,070	377,553
Residencial	**52,366**		**3,256,485**
Gas Natural	6,611	56,100	370,901
GLP	45,754	63,067	2,885,584
Comercial - Institucional	**14,031**		**1,493,027**
Gasóleo Doméstico	8	74,067	620
Gas Natural	696	56,100	39,042
GLP	13,327	63,067	840,505
Total	**542,854**		**35,185,793**

Fuente: 1) Elaborada con datos de PEMEX Refinación, Gas y Petroquímica Básica y SENER, 2004.
2) IPCC, 1996. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Adicionalmente se anexa la generación de CO_2 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.

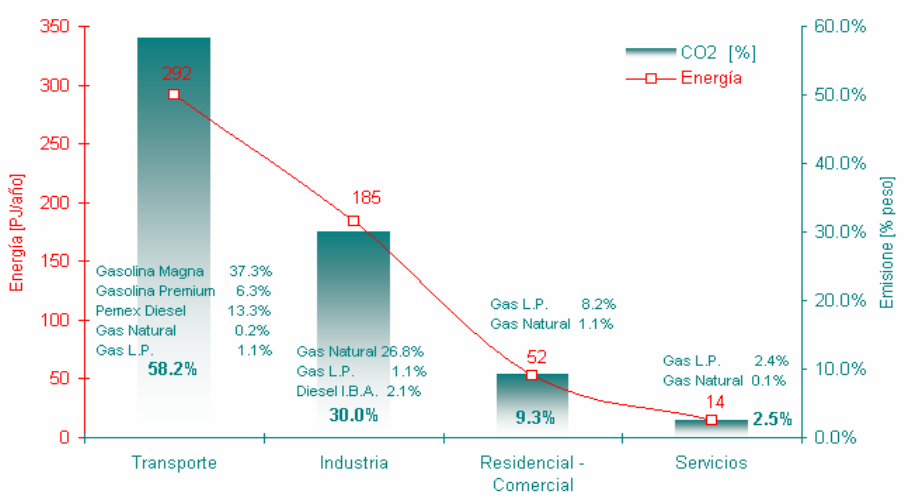
3 UNAM-Comisión Ambiental Metropolitana, 2000. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Asociados a la Producción y Uso de la Energía en la Zona Metropolitana del Valle de México. Reporte del Grupo de Energía y Ambiente del Instituto de Ingeniería.

Tabla 4.5.3 Emisiones de CO_2 en Rellenos sanitarios de la ZMVM

Relleno sanitario	Emisiones de CO_2 [ton/año]
Prados de la Montaña	43,670
Bordo Poniente	449,190
Santa Catarina	120,000
Total ZMVM	**612,860**

Las emisiones totales de CO_2 en la Zona Metropolitana del Valle de México ascienden a 35.799 millones de toneladas, el 99% se genera por procesos de combustión y el 1% por procesos de degradación de residuos sólidos municipales. Debido a que las emisiones de CO_2, 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 CO_2.

El sector transporte es el mayor emisor contribuyendo con el 58% del CO_2, teniendo la combustión de gasolina como la que genera la mayor emisión, el sector industrial representa el 30 % de las emisiones destacando por la combustión de gas natural y por último se tiene que el sector residencial-comercial y de servicios emite el 12% restante.

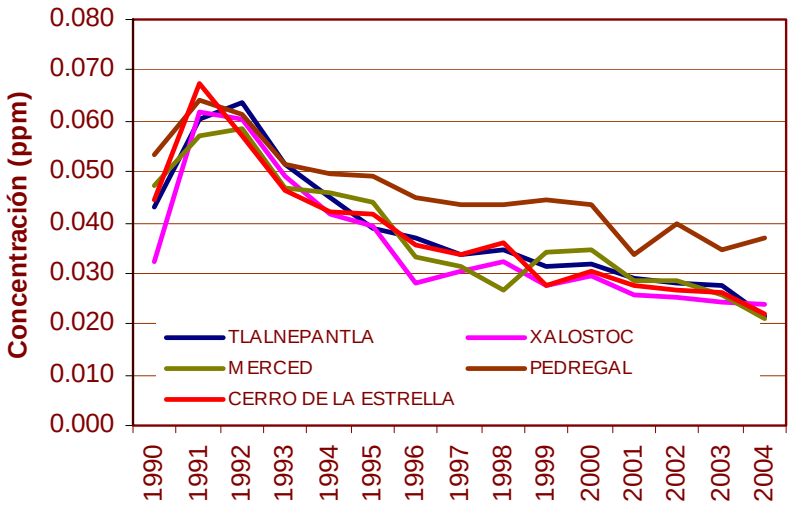


Gráfica 4.5.1 Consumo energético y emisiones de CO_2 por sector en la ZMVM, 2004

5. REDUCCIÓN DE EMISIONES

Para enfrentar el problema de la contaminación atmosférica, las autoridades ambientales han desarrollado inventarios de emisiones, con la finalidad de conocer el origen de la contaminación e implementar medidas o programas de mitigación, así mismo, en forma permanente y continua, se miden las concentraciones de los contaminantes atmosféricos para conocer la calidad del aire e informar a la población.

Como resultado de los programas instrumentados para mejorar la calidad del aire de la ZMVM, a partir de la década de los noventa, los niveles de contaminación dejaron de aumentar, por ejemplo el ozono modificó la tendencia que mantenían a principios de esa década. Ver Gráfica 5.1.1.



Gráfica 5.1.1 Tendencia del ozono en la ZMVM, 1990-2004

Promedio anual de concentraciones horarias

En la actualidad, las normas de calidad del aire para protección de la salud de los habitantes de la Ciudad de México y su Zona Metropolitana que se rebasan con mayor frecuencia son la de ozono y la de las partículas menores a diez micrómetros, y posiblemente los valores permisibles de las $PM_{2.5}$. El resto de los contaminantes casi siempre registran niveles dentro de la norma. La Tabla 5.1.1 presenta la información estadística de 1990 a 2004, referente al cumplimiento de estas normas con respecto al O_3, PM_{10}, CO, SO_2, NO_2 y Pb.

Tabla 5.1.1 Número de eventos y su porcentaje por arriba de la norma, 1990-2004

Año	O_3		PM_{10}*		CO		SO_2		NO_2		Pb	
	No. de días	%	# de muestreos	%	No. de días	%	No. de días	%	No. de días	%	No. de trimestres	%
1990	325	92	58	72	141	39.8	11	3.1	31	8.9	4	100
1991	335	97	13	24	93	27.4	8	2.3	16	4.7	2	50
1992	317	90	21	37	56	16.8	29	8.6	8	2.3	1	24
1993	320	88	41	68	17	4.9	0	0	29	8.0	0	0
1994	340	93	33	55	11	3.0	0	0	28	7.7	0	0
1995	319	87	30	49	4	1.1	0	0	32	8.8	0	0
1996	317	87	42	72	6	1.6	0	0	84	23.0	0	0
1997	311	85	28	46	1	0.3	0	0	38	10.4	0	0
1998	305	84	27	44	4	1.1	0	0	30	8.2	0	0
1999	286	78	33	54	2	0.5	0	0	19	5.2	0	0
2000	308	84	16	26	1	0.3	1	0.3	23	6.3	0	0
2001	273	75	5	8	0	0	8	2.2	1	0.3	0	0
2002	280	77	5	8	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	253	69	6	10	0	0	0	0	6	1.6	0	0
2004	225	62	0	0	0	0	0	0	3	0.9	N/D	N/D

Nota: Se considera a las estaciones que presentan el mejor desempeño histórico, es decir, aquellas que en el período 1990-2003, en más del 75% de los años han registrado 75% de datos horarios/ muestreos o más (75%-75%).
N/D.- No determinados; *Las PM_{10} se obtuvieron de la red manual.
Fuente: Elaborada con datos del Sistema de Monitoreo Atmosférico, Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, 2004.

El fundamento principal del desarrollo e instrumentación de todos los programas de mejoramiento de la calidad del aire, son los inventarios de emisiones, por lo que a principios de la presente administración, para guiar una política ambiental integral del aire, plasmada en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ProAire 2002-2010) y para continuar bajando los niveles de contaminación, se planteo, en un marco de concurrencia institucional entre las autoridades ambientales locales y federales que convergen en la ZMVM, la elaboración del inventario de emisiones de contaminantes al aire del año de 1998. Posteriormente con el fin de seguir fortaleciendo las bases para la toma de decisiones y atender los compromisos adquiridos en el ProAire 2002-2010, se desarrollaron y publicaron las actualizaciones del inventario de emisiones de la ZMVM correspondiente al año 2000, 2002 y actualmente, el presente documento que corresponde al inventario de emisiones del año 2004.

Con ello, en particular el Gobierno del Distrito Federal a través de la Secretaria 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 generadas en la ZMVM.

Actualmente, con los inventarios de emisiones, las autoridades ambientales de la ZMVM cuentan con un instrumento que permite identificar de manera precisa los sectores de mayor contribución por tipo de contaminante, el impacto de las emisiones generadas por cada una de las fuentes, así como conocer la evolución de las emisiones y ser una fuente de información para evaluar los programas de mejoramiento de la calidad del aire en la ZMVM, ya que por medio de ellos se puede estimar la reducción de emisiones por contaminante, debido a las medidas que se han instrumentado para mejorar la calidad del aire.

5.1 EMISIONES DE LA ZMVM POR CONTAMINANTE 1994-2004

En resumen, las emisiones totales generadas en cada uno de los años de cálculo del periodo 1994-2004 en la Zona Metropolitana del Valle de México, se muestran en la tabla siguiente, en ella se reportan las toneladas de partículas menores a 10µm (PM_{10}), de bióxido de azufre (SO_2), de monóxido de carbono (CO), de óxidos de nitrógeno (NOx), de compuestos orgánicos totales (COT) y de compuestos orgánicos volátiles (COV).

Tabla 5.1.2 Evolución de la emisión de contaminantes en la ZMVM, 1994-2004

Año del inventario	Emisiones [ton/año]					
	PM_{10}	SO_2	CO	NOx	COT	COV
1994	31,380	35,470	3,822,441	246,759	926,669	628,508
1996	29,317	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
2004	20,686	7,452	1,792,081	179,996	822,545	532,168

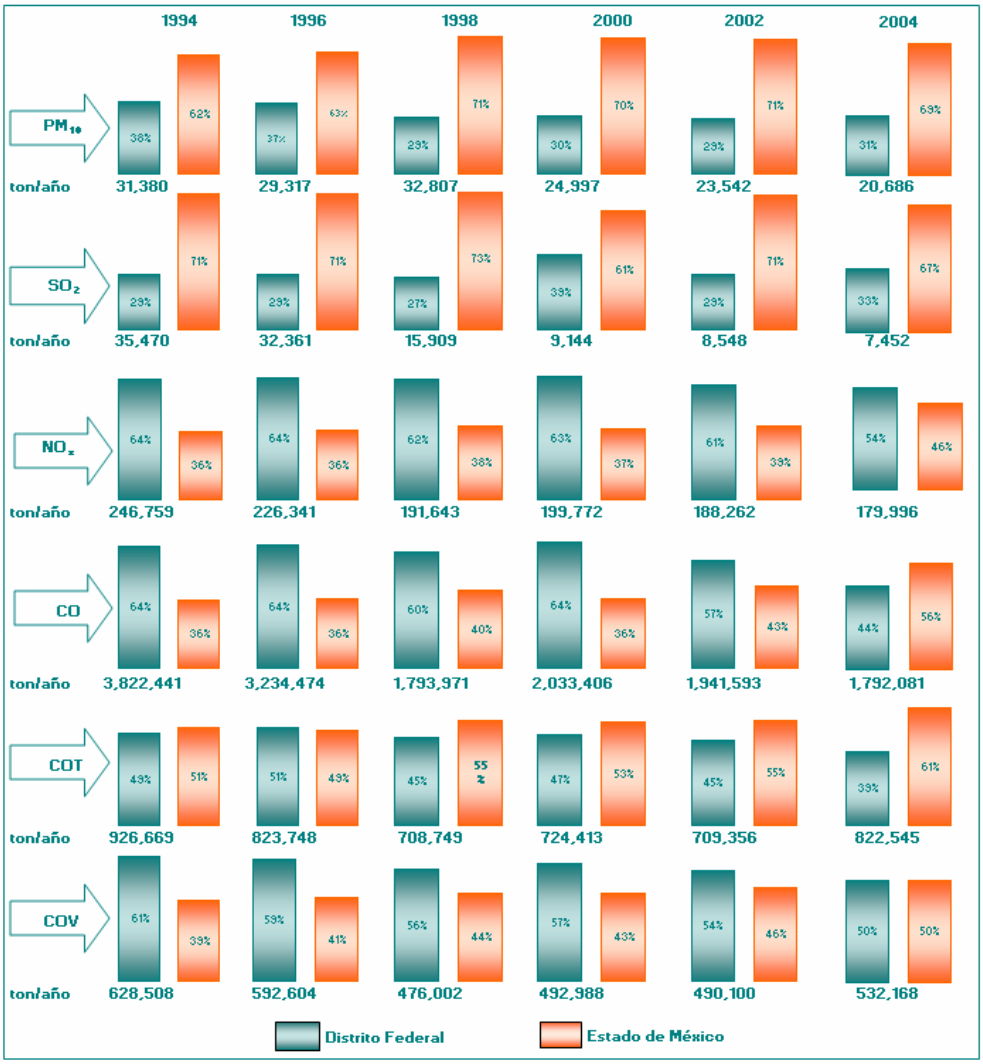


Figura 5.1.1 Análisis comparativo de las emisiones 1994-2004

En la tabla y gráfica anterior, se muestra la evolución de las emisiones totales por contaminante de los años 1994 al 2004, en ella se observa una disminución en la generación de las emisiones de casi todos los contaminantes, la generación de SO_2 disminuye 79% debido principalmente a la reducción del contenido de azufre en los combustibles; las partículas PM_{10} también se ven inhibidas (34%) principalmente por la reducción del contenido de azufre en las gasolinas y al aumento de los días con lluvias (de más de 0.254 mm de precipitación), lo cual implica un aumento en la humedad del suelo y 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 Zona Metropolitana del Valle de México.

La reducción de CO (53%) se debe principalmente al cambio tecnológico del parque vehicular, cabe mencionar que durante el periodo de 1998 al 2004, disminuyó en un 30% el número de vehículos particulares matriculados en el Distrito Federal año modelo 1990 y anteriores (sin con control de emisiones), y por otro lado la flota vehicular total en este mismo periodo aumento en más de 666 mil unidades.

Así mismo, en la gráfica podemos ver la contribución porcentual de las emisiones por entidad, donde se observa que en todos los años del periodo, la tendencia de contribución por entidad es similar, por ejemplo en el año 2004 para el caso de las PM_{10} y el SO_2 el Estado de México emite más del 65%, y para el CO, NOx y los COV el Distrito Federal emite el 44% 54% y 50% respectivamente, solo debido a las emisiones de metano de los rellenos sanitarios es que en el estado de México se emiten más COT(61%).

5.2 REDUCCIÓN DE EMISIONES

Como ya se mencionó anteriormente, la reducción de emisiones es producto de la instrumentación de las medidas incluidas en las programas, principalmente las que van dirigidas a los vehículos y a el transporte. Para ejemplificar esta afirmación y mostrar la reducción de emisiones que se han alcanzado con la implementación de medidas instrumentadas por el Gobierno del Distrito Federal para mejorar la calidad del aire, analizaremos la evolución del año 2000 al 2004 del parque vehicular y las emisiones de CO, NOx y COV de los vehículos particulares y taxis registrados en el Distrito Federal.

Autos particulares

Los autos particulares registrados en el Distrito Federal del año 2000 al 2004, aumentaron en un 17%, pasando de 1,649,371 unidades a 1,924,281 (ver Tabla 5.2.1), no obstante las emisiones de CO, NOX y COV disminuyeron en un 29%, 22% y 27% respectivamente, debido principalmente a la eliminación del 27% de los vehículos contaminantes de mayor edad de uso privado que no cuentan con convertidor catalítico para el control de emisiones (año modelo 1990 y anteriores). La reducción neta fue de 135 mil toneladas de CO, 7.6 mil toneladas de NOx y 12.4 mil toneladas de COV, ver tabla siguiente.

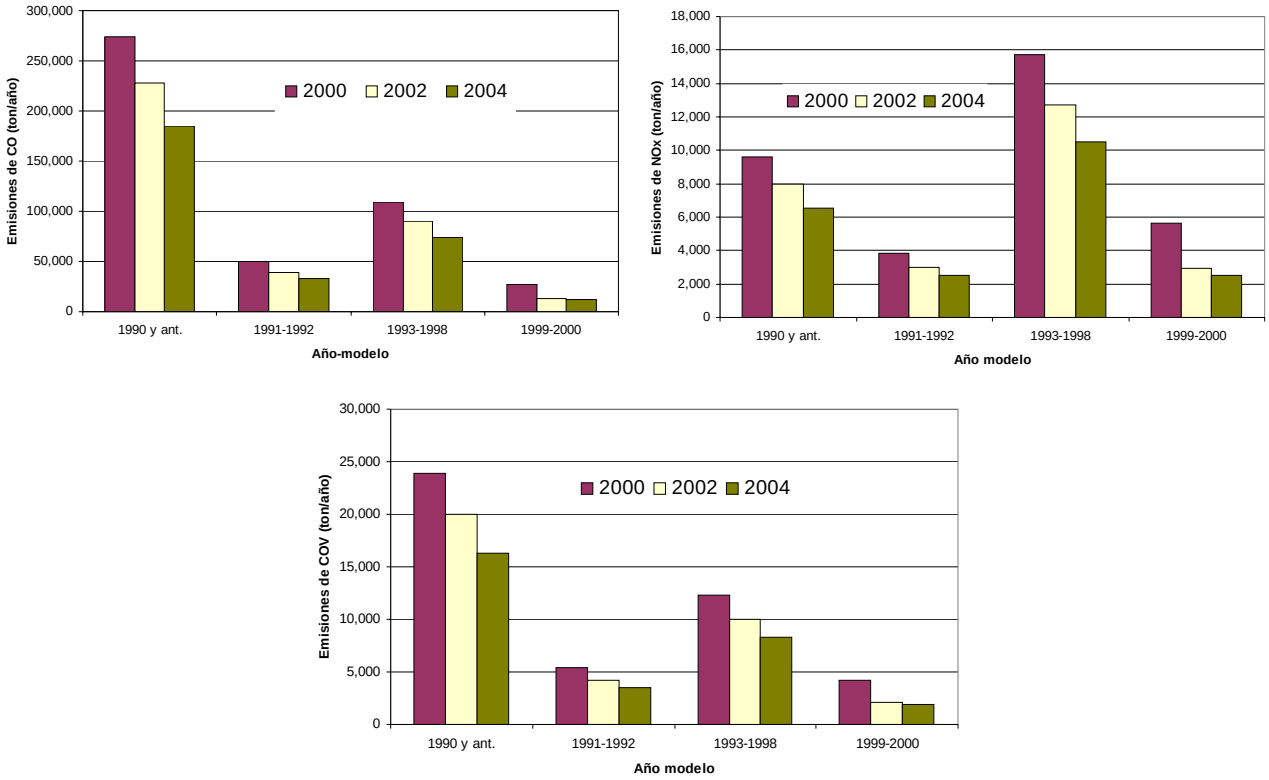
Tabla 5.2.1 Evolución 2000-2004 de los autos particulares, D.F.

Año modelo	Control de emisiones	Número de vehículos		
		2000	2002	2004
1990 y ant.	Sin control	517,605	457,429	379,889
1991-1992	Con control de CO y COV	160,331	142,352	125,723
1993-1998	Con control de CO, COV y NOx	529,921	472,215	419,095
1999-2000		441,514	279,641	265,732
2001-2002			440,055	370,019
2003-2004				363,823
Total		**1,649,371**	**1,791,692**	**1,924,281**

Tabla 5.2.2 Evolución 2000-2002 de las emisiones de CO NOX y COV de autos particulares, Distrito Federal

Emisiones	Control de emisiones	Año modelo	Año del inventario		
			2000	2002	2004
CO	Sin control	1990 y ant.	273,521	228,335	185,171
	Con control de CO y COV	1991-1992	50,341	38,972	32,752
	Con control de CO, COV y NOx	1993-1998	109,483	89,578	73,891
		1999-2000	26,884	13,445	12,003
		2001-2002		11,866	13,266
		2003-2004			7,946
		Total	**460,229**	**382,196**	**325,030**
NOx	Sin control	1990 y ant.	9,576	8,009	6,526
	Con control de CO y COV	1991-1992	3,849	2,996	2,514
	Con control de CO, COV y NOx	1993-1998	15,739	12,694	10,483
		1999-2000	5,629	2,940	2,533
		2001-2002		3,924	2,871
		2003-2004			2,213
		Total	**34,792**	**30,563**	**27,139**
COV	Sin control	1990 y ant.	23,873	19,958	16,311
	Con control de CO y COV	1991-1992	5,388	4,199	3,541
	Con control de CO, COV y NOx	1993-1998	12,282	9,987	8,286
		1999-2000	4,199	2,096	1,863
		2001-2002		1,949	2,015
		2003-2004			1,309
		Total	**45,743**	**38,190**	**33,326**

Como se puede apreciar en la gráfica siguiente, para cada año inventariado las emisiones se clasificaron en los mismos años modelos, tenemos que las emisiones del año 2000 al 2004 para los autos modelo 1990-anteriores, 1991-1992, 1993-1998 y 1999-2000, disminuyeron en 156,411 toneladas de CO, 12,737 toneladas de NOx y 15,741 toneladas de COV, esto debido principalmente a que salieron de circulación cerca de 459 mil vehículos años modelo 2000 y anteriores. Por otro lado del año 2000 al 2004 aumentaron las emisiones de CO en 21,211 toneladas, las de NOx en 5,000 toneladas y la de COV en 3,325 toneladas, debido a que se incorporaron cerca de 734 vehículos modelo 2001 al 2004.



Gráfica 5.2.1 Evolución de las emisiones de CO NOx y COV de autos particulares por estrato tecnológico

Por lo anterior tenemos que la continuidad y actualización del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas y del Programa Hoy No Circula contribuyeron con la renovación del parque vehicular que permitió que las emisiones de los vehículos particulares registrados en el Distrito Federal disminuyeran en un 29% las de CO, en un 22% las de NOx y en un 27% las de COV.

Taxis

En el Distrito Federal en el año 2000 se tenían registrados 103,694 taxis y en el 2004 106,642 (ver Tabla 5.2.3), que representa un crecimiento de menos del 3%, lo que nos indica que la flota vehicular de taxis en este periodo es casi la misma, no así sus emisiones que en este disminuyeron, en un 42% las de CO, en un 42% las de NOX y las de los COV en un 31%.

Tabla 5.2.3 Evolución 2000-2004 de la flota vehicular de taxis, D.F.

Año modelo	Número de Taxis		
	2000	2002	2004
1990 y ant.	10,995	4,795	1,033
1991-1992	39,353	31,428	13,007
1993-1998	45,490	46,460	40,098
1999-2000	7,856	10,832	15,405
2001-2002		10,467	21,491
2003-2004			15,608
Total	**103,694**	**103,982**	**106,642**

La reducción de emisiones en la flota vehicular de taxis, se dio gracias al apoyo económico que dio el Gobierno del Distrito Federal y la banca a los propietarios de taxis para renovar las sus unidades por un vehículos nuevos, que ya cuentan con sistemas de control de emisiones y que hayan sido construidos bajo el criterio de eficiencia energética. Entre los años 2000 y 2004 salieron de circulación más del 90% de los taxis viejos modelo 1990 y anteriores, disminuyendo las emisiones de CO, NOx y COV en un 90%, ver tabla siguiente.

Tabla 5.2.4 Evolución 1998-2004 de las emisiones de CO NOx y COV de taxis en el Distrito Federal

Emisiones	Control de emisiones	Año modelo	Año del inventario			
			1998	2000	2002	2004
CO	Sin control	1990 y ant.	3,860	3,494	1,504	280
	Con control de CO y COV	1991-1992	5,209	9,653	7,709	2,751
	Con control de CO, COV y NOx	1993-1998	5,921	5,722	5,844	4,345
		1999-2000		988	1,265	1,570
		2001-2002			882	1,754
		2003-2004				1,048
		Total	**14,990**	**19,857**	**17,204**	**11,749**
NOx	Sin control	1990 y ant.	36,165	33,061	14,128	2,629
	Con control de CO y COV	1991-1992	45,948	90,205	72,039	25,561
	Con control de CO, COV y NOx	1993-1998	52,225	50,476	51,552	38,120
		1999-2000		8,717	11,196	13,956
		2001-2002			7,542	15,918
		2003-2004				8,775
		Total	**134,337**	**182,459**	**156,458**	**104,960**
COV	Sin control	1990 y ant.	2,529	1,686	735	136
	Con control de CO y COV	1991-1992	4,474	6,895	5,506	1,954
	Con control de CO, COV y NOx	1993-1998	5,085	4,915	5,020	3,713
		1999-2000		849	1,134	1,366
		2001-2002			1,042	1,597
		2003-2004				1,131
		Total	**12,088**	**14,344**	**13,436**	**9,897**

Es importante mencionar que de no haberse implementado mejoras al Programa de Verificación Vehicular Obligatoria, al Programa Integral de Reducción de Emisiones Contaminantes (PIREC), así como al Programa de Detección y Retiro de Vehículos Ostensiblemente Contaminantes y Unidades Sin Verificar, las emisiones se hubieran incrementado. Con el fortalecimiento del PVVO se ha detectado un mayor número de vehículo con convertidor catalítico dañado, por lo que la cifra de convertidores catalíticos reemplazados en el año 2000 era de cerca de 26 mil y en el 2004 aumentó a cerca de 32 mil, suponiendo así, que 6 mil vehículos circulaban con el convertidor catalítico dañado y que en promedio emiten 12 veces más CO, 11 veces más NOx y 14 veces más COV, que un vehículo con un convertidor catalítico en buen estado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

El presente inventario de emisiones como cualquier otro inventario que se elabora, tiene 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.

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 recomendaciones hechas por el Dr. Mario Molina Pasquel y el Eastern Research Group Inc.

Una de las aportaciones importantes del presente inventario, son las mejoras realizadas para aumentar la certidumbre del cálculo de las partículas que se desprenden de las vialidades (pavimentadas y sin pavimentar) por el tránsito vehicular, las cuales asciende más de 8 mil toneladas anuales de PM_{10}; cabe mencionar que junto con la erosión eólica, constituyen las partículas de origen geológico y representan el 56% del aporte total de PM_{10}. Por otro lado, durantes las mediciones realizadas en 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 geológico[1]

Es importante mencionar que cada vez realizamos estimaciones más precisas en los inventarios de emisiones, además de que la generación de emisiones de todos los contaminantes inventariados en la ZMVM, desde 1994 hasta el año 2004, han disminuido.

La generación de SO_2 y partículas PM_{10} disminuyó debido principalmente a la reducción del contenido de azufre en los combustibles.

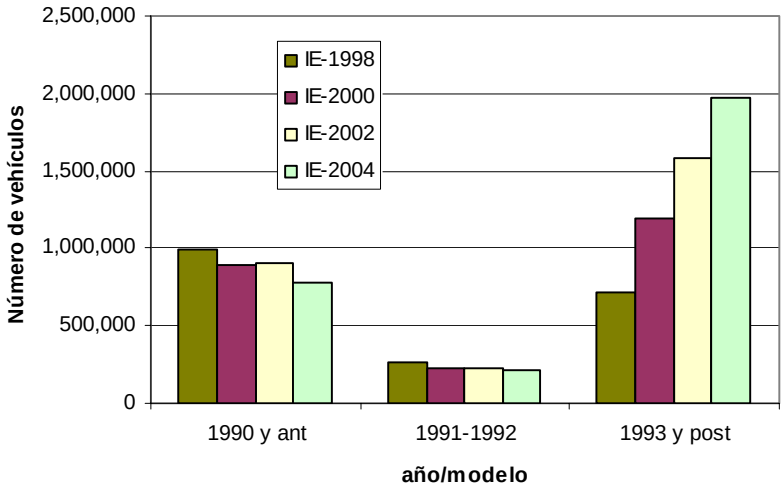
La reducción de CO, COV y NOx se debe principalmente a la renovación del parque vehicular, donde el seguimiento y actualización del Programa Hoy No Circula y el Programa de Contingencias Ambientales Atmosférica contribuyeron al impulso de esta medida.

Calcular las emisiones por año modelo adquiere vital importancia cuando se toma en cuenta que los vehículos viejos presentan mayor cantidad de emisiones en todos los contaminantes por no contar con convertidor catalítico; por lo que al evaluar la evolución de la misma a causa de la renovación del parque vehicular tenemos como ejemplo que de 1998 al año 2004 en promedio dejaron de circular en la ZMVM más de 214 mil autos particulares modelo 1990 y anteriores, que no cuentan con sistema de control de emisiones (ver Gráfica 6.1.1).

Por otro lado en este mismo periodo entraron en circulación cerca de 1.3 millón de vehículos particulares con convertidor catalítico que en promedio emiten 18 veces menos CO, 11 veces

1 Analysis of PM2.5 and PM10 in the Atmosphere of Mexico City during 2000-2002 y Chemical composition of PM10 in Mexico City during winter 1997.

menos COV y 3 veces menos NOx que un vehículo viejo que no cuenta con sistema de control de emisiones.



Gráfica 6.1.1 Evolución de los vehículos particulares 1998-2004

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 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 entre las más importantes: verificar si las industrias registradas en el inventario que han dejado de entregar la actualización del anexo A de la Licencia Ambiental Única o la Cedula de Operación Anual, están operando actualmente; 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; y emplear algunos modelos para verificar los kilómetros recorridos por tipo de vehículo;.

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 matriculada en el Estado de México y 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, además de incluir las emisiones de sectores faltantes, entre los que se pueden mencionar, los procesos de cocción de alimentos en taquerías, las actividades de demolición y construcción de estructuras, actividades relacionadas con la ganadería, así como el manejo y aplicación de plaguicidas y fertilizantes.

Se deberán instrumentar nuevas medidas para incentivar al sector industrial y de servicios en la entrega de su Licencia Ambiental Única (LAU-DF), y propiciar la integración de la información 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 dicho reporte, 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 y de servicios.

Ampliar la zona de estudio para el desarrollo del Inventario de Emisiones, donde se incluyan los 59 municipios del estado de México que forman parte de la nueva declaratoria de la ZMVM.

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, como son: ir al trabajo, a la escuela y preparar alimentos, por mencionar algunas. 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.

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

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 531 mil toneladas de las cuales, aproximadamente el 41% 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 *per cápita*, 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; como es el caso del uso comercial y doméstico de solventes, el cual genera el 10% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Para esto, se propone la realización de un estudio que nos proporcione para identificar la cantidad y variedad de los compuestos orgánicos utilizados, así como su reactividad en la atmósfera, asociada con la formación de ozono, además de validar los factores de emisión y crear alternativas de sustitución o eliminación de los compuestos orgánicos más reactivos en los productos comerciales que los contienen.

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, así como 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 amoniaco y de tóxicos.

7. BIBLIOGRAFÍA

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.

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.

Benjamin, M. T., Sudol, M., Bloch, L. Y Winer, A. M., 1996. Low -emmitting urban forest: a taxonimic 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), 2002. 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.

Conservación de Suelos Consejo Agrario Provincial, 2005. Recursos Naturales, http://www.scruz.gov.ar/recursos (septiembre, 2005).

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/rep_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. Analisis of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the Atmosphereof Mexico City during 2000-2002. 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.

ETEISA, 2003. Sistema de Información de Condiciones de Tránsito para la Estimación de Emisiones Contaminantes por Fuentes Móviles en la Zona Metropolitana del Valle de México.

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. Emmisions of volatile organic compounds from vegetation and the aplications 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 5ª.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/cmaps2002.asp.

IMP; 1998. Investigación sobre material partículado 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, 1998. Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares. Características de las viviendas por Niveles de Ingresos de sus Hogares.

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,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 PM2.5 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.

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

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.

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.

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 PM_{10} 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. Hojas de Seguridad de Productos Petrolíferos. Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial.

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

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, 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, 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.

Radian International, 1998. Aguascalientes Vehicle Emissions Measurement Study.

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.

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, 2006. Estadística Básica del Autotransporte Federal 2004. http://www.sct.gob.mx/ (enero 2006)

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2004. Estadística Básica del Autotransporte Federal 2003.

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-ventade 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, 2002. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2001.

Secretaría de Transportes y Vialidad, 2002. Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006.

Secretaría de Transportes y Vialidad, 2005. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2004.

Secretaría de Transportes y Vialidad. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 1995-1996.

Secretaría de Transportes y Vialidad. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 1997.

Secretaría de Transportes y Vialidad. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 1998-1999.

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, 1999 .Aircraft Engine Emission User Guide and Datbase (FAEED 3.1). Consulta en internet, http://www.epa.gov/otaq/aviation.htm

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

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, agosto 1996. Emission Inventory Improvement Program: Preferred and Alternative Methods for Estimating Air Emissions. Vol. III, Chapter 5. Reserch Triangle Park, North Carolina. Air Chief Vol.8.

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 combustión. 454/C-00-003.

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 Quatity Planning and Standards.

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

U.S. Environmental Protection Agency, mayo 1998. User´s Manual Lanfill 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, mayo 2001. Emission Factor and Inventory Group and Eastrn Research Group, INC/Documentation For The 1996 Base Year National Toxics Inventory For Area Sorces.

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

U.S. Environmental Protection Agency, septiembre 1999. Office of Air Quality Planning and Standars/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. TANKS. Versión 4.0.

U.S. Environmental Protection Agency, septiembre 1999. User´s Guide to Tank´s 4.0.

V. Ramírez, B. J. Jairo, 2001. Inventario de emisiones biogénicas en el Valle de Aburrá. Revista de Ingeniaría 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 2004, está integrado por las emisiones de 4,946 industrias, de las cuales, 2,800 se encuentran ubicadas en el Distrito Federal y 2,146 en el Estado de México. Para fines de cálculo, se utilizaron los datos que proporciona el industrial en el Anexo A de la Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal (LAU-DF), así como la Cédula de Operación Anual (COA) para las industrias de jurisdicción federal y local del Estado de México. Se tienen 2,482 industrias de jurisdicción local, de las cuales 1,732 se ubican el Distrito Federal y 750 en el Estado de México, de jurisdicción federal se tienen 2,464, de éstas 1,068 en el Distrito Federal y 1,396 en el Estado de México.

Las actividades realizadas para estimar las emisiones fueron las siguientes:

- Control de calidad de la información proporcionada en la LAU-DF y de la COA
- Captura de datos
- Cálculo de emisiones
- Análisis de resultados

Como parte de las mejoras en la realización del inventario de emisiones del año 2004 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 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 comercial/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
NOx	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 NOx

** Recirculación de gases

Tabla A.1.2 Factores de emisión para combustión de GLP

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
NOx	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

[a]S =0.009 g/m^3

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	Sin control	--	0.12
$PM_{.5}$	Sin control	0.03	0.03
SO_2	Sin control	17.04S*	17.04S*
CO	Sin control	0.6	0.6
NOx	Sin control	2.88	2.4
	QBN/RG	1.2	1.2
COT	Sin control	0.1248	0.03024
COTNM	Sin control	0.0912	0.024
NH_3	Sin control	0.096	0.096
CH_4	Sin 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
NOx	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

	Caldera > 3000 C.C.		Caldera < 3000 C.C.	
Contaminante	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
NOx	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 = 2. COL: Combustóleo ligero. S = % azufre = 1
*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).

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 (SCC[1]) de la EPA. Los factores utilizados son factores sin control, ya que en el reporte de la LAU-DF 2005, 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:

[1] SCC Source Clasification Code 2000

a. Se seleccionó de la base de datos *FIRE 6.23* los procesos que fueron reportados en la LAU-DF.
b. Se Localizó el código SCC que representa el proceso o actividad productiva.
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
Tostado de café		**PM_{10}**	**SO_2**	**NO_x**	**COV**	
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	17.5				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

[b] Apendix A miscellaneus data and conversions factor 9/85 (reformatted 1/95) apendix A-1

Continúa...

SCC	Nombre del proceso	kg/unidad					Unidad
Carne ahumada		**PM_{10}**	**SO_2**	**NO_x**	**COV**	**CO**	
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 cacahuate			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			**SO_2**		**COV**		
3-02-032-99	Otros no clasificados		0.24		0.17		Toneladas de producto
Cereal				**PM_{10}**			
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

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		**PM_{10}**	**SO_2**	**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
3-07-007-09	Tabla roca: estufa de secado	-	-	0.05	-	Toneladas de producto seco
Operaciones varias de trabajo de madera		**PM_{10}**				
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**
Impresión/publicidad. Proceso de impresión					
Secadores		**SO_2**	**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 Etílico	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		**PM_{10}**	**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		**PM_{10}**	**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	Óleo resinas	75.07		Toneladas producidas
3-01-015-03	Alquidálicas	80.08		Toneladas producidas
3-01-015-05	Acrílicas	10.01		Toneladas producidas
Manufacturas de tintas de impresión		**PM_{10}**	**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: Alquidálicos	-	80.08	Toneladas de material producido
3-01-020-05	Mezcla de pigmentos	0.85	3.10	Toneladas de pigmento producido
Preparaciones farmacéuticas		**COV**		
Solventes		**COV**		**Unidad**
Ácido Acético		1		Porciento peso del solvente
Anhídrido Acético		1		Porciento peso del solvente
Acetona		14		Porciento peso del solvente
Acetonitrilo		83		Porciento peso del solvente
Amil Acetato		42		Porciento peso del solvente
Amil Alcohol		99		Porciento peso del solvente
Benceno		29		Porciento peso del solvente
Butanol		24		Porciento peso del solvente
Tetracloruro de Carbono		11		Porciento peso del solvente
Cloroformo		57		Porciento peso del solvente
O-Diclorobenceno		2		Porciento peso del solvente
Dietilamina		94		Porciento peso del solvente
Dietilcarbonato		4		Porciento peso del solvente
Dimetil Acetamida		7		Porciento peso del solvente
Dimetil Formamida		1		Porciento peso del solvente
Dimetil Sulfoxido		1		Porciento peso del solvente
1,4-Dioxano		5		Porciento peso del solvente

Continúa tabla anterior

Etanol		10	Porciento peso del solvente
Acetato de Etilo		30	Porciento peso del solvente
Etil Eter		85	Porciento peso del solvente
Formaldehído		19	Porciento peso del solvente
Freon		0.1	Porciento peso del solvente
Hexano		17	Porciento peso del solvente
Isobutiraldehido		50	Porciento peso del solvente
Isopropanol		14	Porciento peso del solvente
Isopropil Acetato		28	Porciento peso del solvente
Isopropil Eter		50	Porciento peso del solvente
Metanol		31	Porciento peso del solvente
Metil Cellosolve		47	Porciento peso del solvente
Cloruro de Metileno		53	Porciento peso del solvente
Metil Etil Cetona		65	Porciento peso del solvente
Metil Isobutil Cetona		80	Porciento peso del solvente
Solvente Skelly B (Hexanos)		29	Porciento peso del solvente
Tolueno		31	Porciento peso del solvente
Tricloroetano		100	Porciento peso del solvente
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
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, estrusión / 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	Get 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		**PM_{10}**	**SO_2**	**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		**PM_{10}**				
3-05-011-01	General (no fugitivas)	0.0344				Metros cúbicos de concreto producido
3-05-011-06	Trasferencia: Arena / agregados para elevarlos a la tolva	0.01				Toneladas procesadas

Continúa tabla anterior

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	Toneladas de recubrimiento
4-02-008-10	General	0.12	1.56	Litros de recubrimiento
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 Etílico	908.00		Toneladas de solvente usado
4-02-009-10	Alcohol Etílico	908.00		Toneladas de solvente usado
4-02-009-11	Gasolina	908.00		Toneladas de solvente usado
4-02-009-12	Alcohol Isopropílico	908.00		Toneladas de solvente usado
4-02-009-13	Acetato Isopropílico	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 Metílico	908.00		Toneladas de solvente usado
4-02-009-17	Alcohol Metílico	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 53 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:

$E = A \times FE$ Ecuación A.1.1 (Sin control)

$E = A \times FE ((1-EC)/100)$ Ecuación A.1.2 (Con control)

Donde

E: Emisión de contaminante
A: Tasa de actividad
FE: Factor de emisiones, [kg de contaminante emitido por m^3 de combustible quemado]
EC: Eficiencia del sistema de control [%]

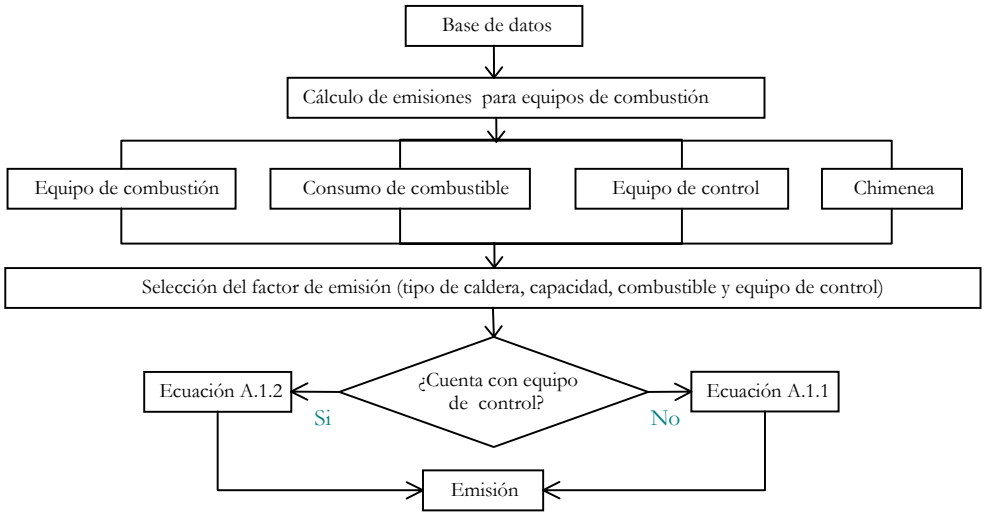


Figura A.1.1 Etapas para el cálculo de emisiones en equipos de combustión

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 y NH_3.

2. De la LAU-DF, 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 LAU-DF, 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	Boyler
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.

Se verificó el consumo de gas natural en la ZMVM y se comparó con el reportado por las industrias; 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 1. 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:

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:

Emisión = Consumo de combustible anual (m^3/año) * 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
NOx = 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 NOx son controladas con un equipo (quemador de Bajo NOx), con una eficiencia de control del 40%. La ecuación para estimar estas emisiones es como sigue:

Emisión sin control = Emisión total * (1 – Eficiencia del equipo de control)

$NOx_{\text{sin control}}$ = 6,400 kg/año * (1 – 0.40) = 3,840 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 LAU-DF (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.

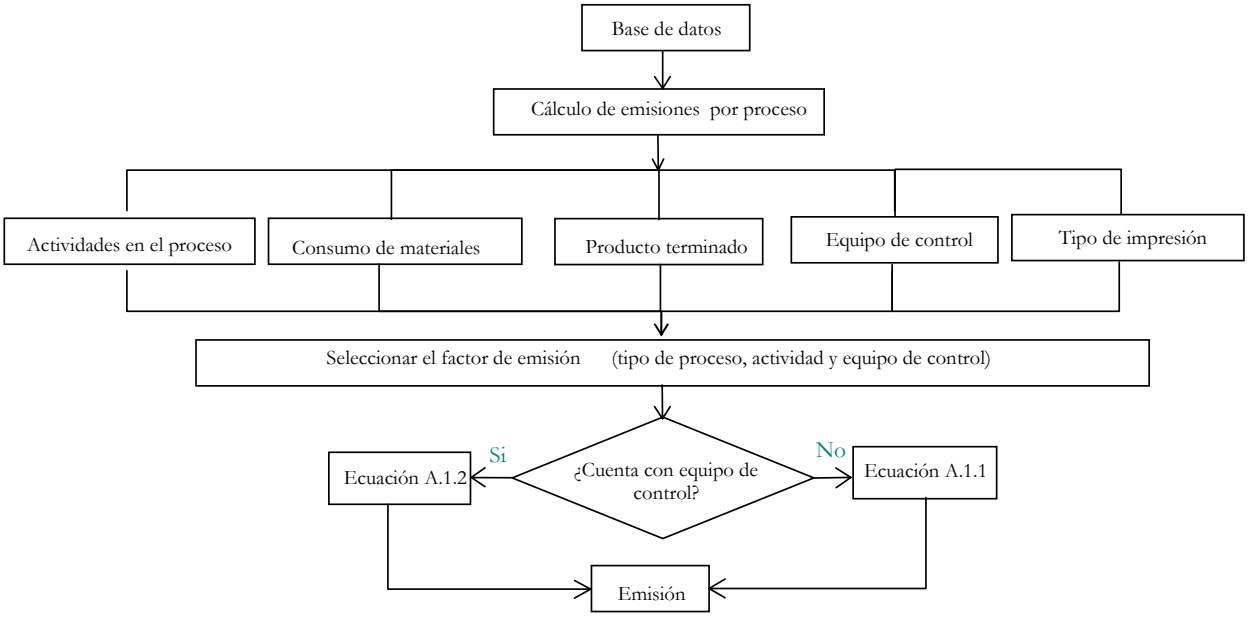


Figura A.1.2 Etapas para el cálculo de emisiones por proceso.

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 trabajo 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 SCC[2] correspondiente a la actividad y/o proceso.

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

B. Si no se tienen las unidades que reporta el factor de emisión (kg/ton, kg/lt, 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
- 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 especifico” 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 LAU-DF 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 2. 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	piezas/año
Reveladores	5250	l/año
Goma arábiga	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 ton tinta/año * 108.052 kg COV/ton tinta) * (1ton/1000kg) = 5.86 ton de COV/año

Para el caso de libros y revistas se estima la emisión de COV 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 kg COV/ton peg. * 21.418 ton peg./año) * (1ton/1,000kg) = 12.35 ton de COV/año

Emisión total de COV = 12.35 + 5.86 = 18.21 ton de COV/año

Ejemplo 3. 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	NOx	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 kg/ton de grano * 12 ton/año)*(1ton/1,000 kg) = 0.0036 ton/año de PM_{10}
ESO_2 = (0.2 kg/ton de grano * 12 ton/año)*(1ton/1,000 kg) = 0.0024 ton/año de SO_2
ENOx = (0.05 kg/ton de grano * 12 ton/año)*(1ton/1,000 kg) = 0.0006 ton/año de NOx
ECOV = (1.3 kg/ton de grano * 12 ton/año)*(1ton/1,000 kg) = 0.0156 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 realizo 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 4.

Una empresa que emite 20 toneladas anuales de NOx, y labora 9 horas diarias de lunes a sábado (313 días/año), tendría la siguiente emisión por hora.

Emisión total = 20 ton/año de NOx

Horas anuales = 9 hr/día * 313 día/año = 2,817 hr/año

Emisión horaria = 20 ton/año / 2,817 hr año = 0.0071 ton/hr = 7.1 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 algunas 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 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 2004.

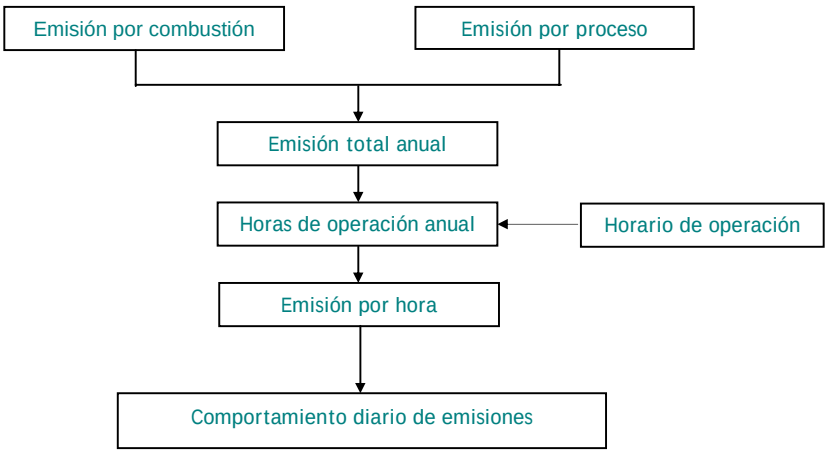


Figura A.1.3 Etapas para el cálculo de emisiones por hora

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 (HCT, HCNM y CH_4) con relación a los COT generados por combustión, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones
COT= HCT + ALDEHIDOS
HCT = COT – ALDEHIDOS
HCNM = HCT – CH_4

La determinación de aldehídos presentes en los COT generados por la combustión, se realizo 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 de la US-EPA.

Para determinar la cantidad de Compuestos Orgánicos Volátiles por combustión, se considero 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 contenido en los COT por combustión

Contaminante	Gas Natural	Diesel		Gasóleo		GLP
	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.

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 especiate 3.2 del Air Chief 8.0 de la US-EPA. 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.

COT = HC + Aldehídos
HCT = COT – Aldehídos
HCNM = HC - 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, CH_4, Aldehídos e Hidrocarburos respecto del total de COT generados por proceso

Giro	% COV*	% CH_4	% Aldehídos	% 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 y cloruro de metileno, entre otros.
* *Corresponde a la combustión de Gas Natural.
Fuente: Especiate 3.2 del Air Chief 8.0 de la US-EPA

A.2 FUENTES DE ÁREA

En esta sección se describe y documenta el procedimiento con el que se estimaron las emisiones de cada una de las categorías de fuentes de área que se incluyen en el presente inventario de emisiones. Además de los ajustes realizados a los factores de emisión y modelos computacionales con la información de parámetros meteorológicos locales y de la calidad de los combustibles que se distribuyen en la ZMVM, entre otros.

A.2.1 Combustión en fuentes estacionarias

Los contaminantes que se estiman en esta categoría son los que se generan en el proceso de combustión del sector industrial, habitacional y comercial–institucional, se calculó con factores de emisión en función al tipo de combustible, aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{ik}=FE_{ik}*C_k$$

Donde:
E_{ik}= Emisión del contaminante (i) asociado al combustible (k)
FE_{ik}= Factor de emisión del contaminante (i) asociado al combustible (k) tabla A.2.1.
C_k= Volumen de combustible (k)

Se emplearon los factores de emisión[1] por combustión de gas natural, gas L.P. y gasóleo para calderas y hornos industriales, comerciales y de uso habitacional menores a 100 millones de BTU por hora y que no cuentan con equipo para el control de emisiones (tabla A.2.1).

Tabla A.2.1 Factor de emisión para fuentes estacionarias

Sector	Combustible Tipo (k)	Factor de emisión del contaminante (i)										Unidades
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COT	COV	CH_4	NH_3*	Aldehídos**	
CI, CCI	Gas natural	121.6	121.6	9.6	1,344	1,600	176	88	36.8	7.84	1.2	kg/10^6 m^3
CH, CCI	GLP	0.052	0.052	4E-5	0.236	1.720	0.064	0.041	0.024		0.0047	kg/m^3
CH	Gas natural	121.6	121.6	9.6	640	1,504	176	88	36.8	7.84	1.2	kg/10^6 m^3
CCI	Gasóleo	0.840	0.433	0.72	0.600	2.400	0.067	0.047	0.026	0.096	0.0039	kg/m^3

Fuente:AP-42 Air Pollutants Emission Factors V.I. Stationary Point and Area Sources. Fifth Edition. 1.4 Natural Gas Combustion 1998 (Small boilers uncontrolled, Residential furnaces uncontrolled). 1.5 Liquefied Petroleum Gas Combustion, 1996. 1.3 Fuel Oil Combustion, 1998. CI: Combustión industrial, CCI: Combustión comercial - institucional, CH: Combustión habitacional. * FIRE v. 6.25. Para Gas natural SCC: 10200603 y Gasóleo SCC: 10300504. ** Para gas L.P (U.S. EPA, 2001)[2].

El factor de emisión del bióxido de azufre por combustión de gas L.P., reportado en el AP-42[1], se ajustó considerando el contenido de propano y butano en el gas[3] L.P. con la siguiente ecuación:

$$FE_{SO2}=[X(0.10S)+Y(0.09S)]0.12=4.53E-5$$

Donde:
FE_{SO2} = Factor de emisión de SO_2 [kg/m^3]
X: Fracción de propano contenido en el gas L.P. [0.67]
Y: Fracción de butano contenido en el gas L.P. [0.33]
S: Contenido de azufre en el gas L.P [0.0039 gr/100 ft^3]
0.12 = Factor de conversión de [lb/1,000 gal] a [kg/m^3]

1 U.S. EP, AP-42 Air Pollutants Emission Factors V.I. Stationary Point and Area Sources. Fifth Edition.
2 U.S. EPA, 2001. Documentation for the 1996 Base Year National Toxics Inventory For Area Sources.
3 PEMEX Gas y Petroquímica Básica: El gas L.P. distribuido en la ZMVM es una mezcla 67% propano y 33% butano.

El factor de emisión del bióxido de azufre por combustión del gasóleo, que reporta el AP-42 (150S [lb/1,000 gal]), se calculó con el contenido de azufre del combustóleo que se distribuye en la ZMVM, empleando la siguiente ecuación:

$$FE_{SO2}=150(S)*0.12= 0.72\ [kg/m^3]$$

Donde
FE_{SO2}= Factor de emisión de SO_2 [kg/m^3]
S= Contenido de azufre [0.04 %w][4]
0.12= Factor de conversión de [lb/1,000 gal] a [kg/m^3]

La emisión de HCT y HCNM, se calculó con el siguiente sistema de ecuaciones[5]:

$$E_{HCT}=E_{COT}-E_{Aldehídos} \qquad E_{HCNM}=E_{HCT}-E_{CH4}$$

Donde:
E_{HCT}= Emisión de Hidrocarburos Totales
E_{COT}= Emisión de Compuestos Orgánicos Totales
$E_{Aldehídos}$= Emisión de Aldehídos
E_{HCNM}= Emisión de Hidrocarburos No Metánicos
E_{CH4}= Emisión de Metano

La cantidad de combustible usado, se presenta en la tabla A.2.2.

Tabla A.2.2 Distribución de combustibles por sector

Entidad	Sector						Unidades
	Industrial	Comercial- Institucional			Habitacional		
	Gas Natural*	GLP	Gas Natural	Gasóleo	GLP	Gas Natural	
Distrito Federal	451,146,976	270,027	20,671,296	103	888,335	132,806,520	[m^3/año]
Estado de México	1,406,552,397	277,093	N/D	105	912,016	63,570,793	
ZMVM	1,857,699,373	547,120	20,671,296	208	1,800,351	196,377,313	

Fuente: Elaborada con datos de PEMEX Refinación Gas y Petroquímica Básica, 2004/ SENER, 2004. N/D: No disponible. * No incluye la cantidad de gas natural evaluado en el inventario de fuentes puntuales.

Las tablas A.2.3, A.2.4 y A.2.5, muestran la emisión de contaminantes por sector y tipo de combustible.

Tabla A.2.3 Emisión de contaminantes del sector comercial – institucional

Combustible	Entidad	Emisión [ton/año]											
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	COT	CH_4	NH_3	HCNM	HCT	Aldehídos
Gas Natural	Distrito Federal	3	3	N/S	28	33	2	4	1	N/S	3	4	N/S
	Estado de México	N/D											
	ZMVM	3	3	N/S	28	33	2	4	1	N/S	3	4	N/S
Gas L.P.	Distrito Federal	14	14	N/S	64	464	11	17	6	N/D	10	16	1
	Estado de México	14	14		65	477	11	18	7		10	16	1
	ZMVM	28	28		129	941	22	35	13		20	32	2
Gasoleó	Distrito Federal	0.09	0.04	0.07	0.06	0.2	0.005	0.007	0.003	0.010	0.004	0.006	0.0004
	Estado de México	0.09	0.05	0.08	0.06	0.3	0.005	0.007	0.003	0.010	0.004	0.007	0.0004
	ZMVM	0.17	0.09	0.15	0.12	0.5	0.010	0.014	0.005	0.020	0.008	0.013	0.0008
Total	Distrito Federal	17	17	N/S	92	497	13	21	7	N/S	13	20	1
	Estado de México	14	14		65	477	11	18	7		10	16	1
	ZMVM	31	31		157	974	24	39	14		23	36	2

N/S: No significativo. N/D: No determinado

4 PEMEX Refinación, Subdirección Comercial 2001.
5 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Vol. II - Fundamentos de inventarios de emisiones, 1997.

Tabla A.2.4 Emisión de contaminantes del sector industrial

Combustible	Entidad	Emisión [ton/año]											
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	COT	CH_4	NH_3	HCNM	HCT	Aldehídos
Gas Natural	Distrito Federal	55	55	4	606	722	40	79	17	4	62	79	1
	Estado de México	171	171	14	1,890	2,250	124	248	52	11	194	246	2
	ZMVM	226	226	18	2,496	2,972	164	327	69	15	256	325	3

Tabla A.2.5 Emisión de contaminantes del sector habitacional

Combustible	Entidad	Emisión [ton/año]											
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	COT	CH_4	NH_3	HCNM	HCT	Aldehídos
Gas Natural	Distrito Federal	24	24	1	85	200	12	24	5	1	19	24	N/S
	Estado de México	12	12	1	41	96	6	11	2	N/S	9	11	
	ZMVM	36	36	2	126	296	18	35	7	1	28	35	
Gas L.P.	Distrito Federal	47	47	N/S	211	1535	37	58	21	N/D	32	54	4
	Estado de México	48	48		217	1576	38	59	22		33	55	4
	ZMVM	95	95		428	3111	75	117	43		65	109	8
Total	Distrito Federal	71	71	1	296	1735	49	82	26	1	51	78	4
	Estado de México	60	60	1	258	1672	44	70	24	N/S	42	66	4
	ZMVM	131	131	2	554	3407	93	152	50	1	93	144	8

N/S: No significativo. N/D: No determinado

A.2.2 Fuentes móviles que no circulan por carretera

Esta categoría incluye las fuentes móviles que se desplazan por vía férrea (locomotoras de patio y foráneas) y vía aérea (aviones).

Operación de locomotoras

La emisión de contaminantes por el proceso de combustión interna del diesel en locomotoras se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_i=[(C*FE_i)/1{,}000]$$

Donde:
E_i= Emisión del contaminante (i) [ton/año]
C= Cantidad de diesel quemado [l/año], tabla A.2.7
FE_i= Factor de emisión del contaminante (i), [kg/l], tabla A.2.6
1000= Factor de conversión de [kg] a [ton]

Tabla A.2.6 Factor de emisión para locomotoras

Factor de emisión del contaminante (i) [g/l]										
PM_{10}	$PM_{2.5}$*	SO_2	CO	NOx	COT	COV	CH_4**	HCNM	HCT*	Aldehídos**
1.400	1.3	0.581	7.5	59.1	2.5	2.43	N/S	2.5	2.5	N/S

Fuente: Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área. *U.S. EPA, 2003 - Documentation for Aircraft, Commercial Marine, Vessel, Locomotive, and Other Non road Components of the National Emissions Inventory. ** U.S. EPA, 1997- Documentation For The 1996 Base Year National Toxics Inventory For Area Sources. Nota: El factor de emisión de metano y aldehídos son no significativos, por lo que se asume que el factor de emisión de HCT=HCNM=COT.

El factor de emisión para el bióxido de azufre, reportado en la tabla A.2.6, se calculó con el contenido de azufre y densidad del diesel que se distribuye en la ZMVM[6], aplicando la siguiente ecuación:

6 PEMEX Refinación, Subdirección de distribución 2004.

$$FE_{SO2}=[(\delta_{[kg/l]} *(C\ [\%w]/100)*2_{[kg\ SO2/Kg\ S]})/1{,}000]= 0.581[g/l]$$

Donde:
δ= Densidad del diesel [0.830 kg/l]
C= Contenido de azufre [0.035 %w]

La cantidad de diesel quemado por las locomotoras se presenta en la Tabla A.2.7.

Tabla A.2.7 Diesel quemado por tipo de locomotora

Año	Locomotora[7]			Unidades
	Foráneas	Patio	Total	
Distrito Federal	364	4,966	5,330	[m^3/año]
Estado de México	1,878	14,959	16,837	
ZMVM	2,242	19,925	22,167	

Fuente: Elaborada con datos de PEMEX Refinación, 2004.
Terminal Ferroviaria del Valle de México S.A. de C.V. 2004.

La Tabla A.2.8. reporta la emisión de contaminantes por combustión de diesel en locomotoras.

Tabla A.2.8 Emisiones de contaminantes en locomotora por entidad federativa

Emisión de contaminantes [ton/año]										
Entidad		Distrito Federal			Estado de México			ZMVM		
Tipo de locomotora		Foránea	Patio	Total	Foránea	Patio	Total	Foránea	Patio	Total
Contaminante (/i)	PM_{10}	N/S	7	7	3	21	24	3	28	31
	$PM_{2.5}$	N/S	7	7	3	19	22	3	26	29
	SO_2	N/S	4	4	1	12	13	1	16	17
	CO	3	37	40	14	112	126	17	149	166
	NO_X	22	293	315	111	884	995	133	1,177	1,310
	COV	1	12	13	5	36	41	6	48	54
	COT	1	12	13	5	37	42	6	49	55
	HCNM	1	12	13	5	37	42	5	49	55
	HCT	1	12	13	5	37	42	6	49	55

N/S = No significativo

Operación de aeronaves

Esta sección incluye la emisión que generan las aeronaves a nivel de piso y cuando se elevan hasta llegar a una altura conocida como capa de mezclado. Para estimar la emisión de contaminantes se utilizó el modelo FAEED 3.1[8], y la cantidad de ciclos de operación de vuelo en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México por tipo de aeronave (161,080 ciclos de operación[9] distribuidos en 46 tipos de aeronaves). Para realizar los ajustes correspondientes al tiempo en modo de aproximación (APP_TIME) y ascenso (CLI_TIME) se utilizo la altura promedio de la capa de mezcla de la ZMVM (2,304 metros).[10]

La tabla A.2.9. muestra los datos de entrada al modelo FAEED V. 3.1, no incluye aviación militar.

7 FERROVALLE 2002, Rendimiento del diesel en locomotoras 3.1 [l/km]; 146.1 [l/h].
8 U.S. EPA, FAA Aircraft Engine Emission User Guide and Database (FAEED 3.1) http://www.epa.gov/otaq/aviation.htm
9 Grupo Aeropuertario de la Ciudad de México http://.aicm.com.mx/Principal/Corporativo/aicmcifras/Operaciones.htm.
10 Servicio Meteorológico Nacional, 2004.

Tabla A.2.9 Datos de entrada y salida del modelo FAEED 3.1

AC_MODEL	CLI_TIME	APP_TIME	LTO	Emisiones [kg/año]			
				CO	NO_X	HC	SO_X
AN-72	6.7	10.8	6	6	80	0	0.00
SE 210 CARAVELL	6.7	10.8	16,071	306,956	234,692	82,722	4.04
B707-100B	6.7	10.8	135	14,718	5,749	13,733	0.00
B52-H	1.5	4.3	4	277	68	261	0.00
B727-100	6.7	10.8	24,778	273,845	526,505	69,234	8.54
B737-100	6.7	10.8	8,413	159,782	155,878	52,857	2.93
B737-100	6.7	10.8	1	19	19	6	0.00
B747 (CARG)	6.7	10.8	708	56,472	92,868	26,408	1.51
B747 (CARG)	6.7	10.8	2,026	161,599	265,751	75,568	4.32
B757-200(CARG)	6.7	10.8	12,637	152,492	761,651	8,097	10.07
B767-300	6.7	10.8	2,329	37,410	146,466	3,035	0.00
C-12A/B/C	1.5	4.3	32	129	8	108	0.00
337H SKYMASTER	7.6	12.1	31	798	3	26	0.00
CONVAIR-LINER	7.6	12.1	379	7,282	350	1,525	0.00
550 CITATION	1.5	4.3	7	35	4	13	0.00
FALCON 100	1.5	4.3	5	19	9	3	0.00
FALCON 20	1.5	4.3	331	854	381	140	0.00
F-15 EAGLE	1.5	4.3	1	20	18	1	0.00
DC-10	6.7	10.8	189	11,638	16,084	2,693	0.00
DC8	6.7	10.8	1,388	185,518	35,661	139,938	1.02
DHC-6	6.7	12.1	30,668	118,502	22,940	72,250	0.04
A340-300	6.7	10.8	3	83	211	12	0.00
A320	6.7	10.8	1,221	14,737	32,325	1,751	0.00
A300B	6.7	10.8	632	25,945	35,856	6,004	0.00
A330	6.7	10.8	22	214	1,833	56	0.00
B52	1.5	4.3	12,201	1,247,781	413,109	1,213,378	0.00
SABRELINER 75A	1.5	4.3	36	699	18	62	0.00
F100	6.7	10.8	57	911	744	101	0.01
F-14A	1.5	4.3	2	40	12	16	0.00
GULFSTREAM 3	1.5	4.3	17,130	115,831	85,267	13,300	1.02
IL-62M	6.7	10.8	2	192	81	33	0.00
IL 96	6.7	10.8	100	983	10,469	90	0.14
IL-86	6.7	10.8	29	1,572	1,177	193	0.05
C-141	7.6	12.1	12	895	338	806	0.01
F-16	1.5	4.3	11	109	98	3	0.00
JETSTAR	1.5	4.3	4	10	5	2	0.00
L-1011-500	6.7	10.8	42	703	4,777	156	0.07
35/36	1.5	4.3	7	18	8	3	0.00
LEARJET 24D	1.5	4.3	44	1,022	19	80	0.00
LEARJET 24D	1.5	4.3	50	1,162	22	90	0.00
L-1011-100	6.7	10.8	1	120	71	78	0.00
MD-11	6.7	10.8	338	14,836	23,698	3,094	0.59
MU-300 (DIA.I)	1.5	4.3	27,479	138,017	15,489	49,216	0.00
MD-90-30	6.7	10.8	1,048	6,545	31,060	111	0.36
SABRELINER 75A	1.5	4.3	449	8,721	223	772	0.00
TU-134B	6.7	10.8	21	1,062	605	582	0.01

La emisión de Aldehídos, metano, y COV[11] representan el 18.46%, el 9.6% y 96% de COT respectivamente. Las PM_{10}, fueron estimadas en función a la cantidad de ciclos de operación de vuelo [0.10736 kg/LOT][12] y la emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) el

11 U.S. EPA, 2000. Documentation for the 1996 Base Year National Toxics Inventory for Aircraft Sources. http://www.epa.gov/ttn/chief/nti/aircrrpt.pdf
12 U.S. EPA, 1999. Aircraft, Locomotives, and Commercial Marine Vessels (CMVM) Section 4; Part II. http://www.epa.gov/ttn/chief/eidocs/portllsec4.pdf

96.7% PM_{10}[13]. La emisión de HCNM se obtuvo por diferencia entre la emisión de HCT y la emisión de CH_4.

Tabla A.2.10 Emisión por la operación de aeronaves

Emisiones [ton/año]											
PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2*	CO*	NOx*	COT	HCT*	HCNM	CH_4	COV	NH_3	Aldehídos
17.29	17	N/S	3,071	2,923	1,859	1,839	1,660	178	1,785	N/E	343

* Emisiones estimadas con aplicación del modelo Faeed 3.1.

Terminales de autobuses.

La emisión de contaminantes de esta categoría se debe a la combustión interna del diesel en camiones de pasajeros que se encuentran estacionados con motor encendido en la terminal de autobuses. La siguiente ecuación[14] es única para el calculó de CO, CO_2, NO_X y HCT:

$$E_{ijl}=[((NC_j)*(FE_{ij})*(V_j)*(Tr_j))/1{,}000]$$

Donde:
E_{ijl}= Emisión del contaminante (i) [ton/año] del vehículo año modelo (j) en la terminal (l)
NC_j= Número de corridas de vehículos año modelo (j) en la terminal (l), tabla A.2.13
FE_{ij}= Factor de emisión del contaminante (i) [kg/km] del vehículo año modelo (j), tabla A.2.12
V_j= Velocidad del vehículo año modelo (j) [4 km/h][15]
Tr_j= Tiempo en reposo promedio del vehículo año modelo (j) [0.25 h][14]
1,000= Factor de conversión de [kg] a [ton]

Para el calculó de emisiones de PM_{10}, $PM_{2.5}$ y NH_3, se empleo la siguiente ecuación modificada, debido a que el factor de emisión no considera la velocidad.

$$E_{ijl}=[((NC_j)*(FE_{ij})*(Tr_j))/1{,}000{,}000]$$

Donde:
E_{ijl} = Emisión del contaminante (i) [ton/año] del vehículo año modelo (j) en la terminal (l)
NC_j = Número de corridas de vehículos año modelo (j) en la terminal (l), tabla A.2.13
FE_{ij} = Factor de emisión contaminante (i) [g/h], tabla A.2.11
Tr_j =Tiempo en reposo promedio del vehículo año modelo (j) [0.25 h][17]
1,000,000= Factor de conversión de [g] a [ton]

Tabla A.2.11 Factor de emisión para autobuses

Factor de emisión [g/h]		
PM_{10}	$PM_{2.5}$	NH_3
1.4994	0.92	0.0168

Fuente: MOBILE6 México

Para calcular la emisión de COT, COV y de HCNM se realiza en función a los HCT,[16] con la relación: 1.032 HCT, 0.987 HCT y 0.956 HCT respectivamente. El factor de emisión del metano se calculó con la siguiente expresión:

$$E_{CH4}= E_{HCT}-E_{HCNM}$$

13 U.S. EPA. California Emission Inventory And Reporting System (CEIDARS) – Particulate Matter (PM) Speciation Profiles Summary of Overall Size Fractions and Reference Documentation.
14 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen V: Terminales de Autobuses y Camiones, 1997.
15 Factor de conversión de [g/km] a [g/h], equivalente a la velocidad más baja que puede usarse en el modelo Mobile6-México.
16 Ver anexo A.3 Fuentes Móviles.

Donde:
E_{CH4}= Emisión de metano
E_{HCT}= Emisión de hidrocarburos totales
E_{HCNM}= Emisión de hidrocarburos no metano

La actividad vehicular expresada como el número de corridas que se realizan anualmente por camiones de pasajeros en terminal de autobuses, se presentan por año modelo en la tabla A.2.13.

Tabla A.2.12 Factores de emisión para autobuses por año modelo

Año Modelo	Factor de emisión [kg/km]			
	CO	CO_2	NOx	HCT
1980 y ant.	0.0468	1.097	0.0317	0.0139
1981	0.0468	1.097	0.0317	0.0139
1982	0.0466	1.097	0.0316	0.0139
1983	0.0468	1.097	0.0318	0.0140
1984	0.0468	1.097	0.0317	0.0139
1985	0.0462	1.097	0.0313	0.0138
1986	0.0460	1.097	0.0312	0.0137
1987	0.0461	1.097	0.0313	0.0137
1988	0.0459	1.097	0.0312	0.0137
1989	0.0456	1.097	0.0310	0.0136
1990	0.0458	1.011	0.0311	0.0137
1991	0.0453	1.011	0.0307	0.0135
1992	0.0460	1.011	0.0313	0.0138
1993	0.0480	1.011	0.0234	0.0100
1994	0.0402	0.987	0.0197	0.0084
1995	0.0425	0.987	0.0208	0.0089
1996	0.0388	0.987	0.0191	0.0072
1997	0.0386	0.987	0.0191	0.0072
1998	0.0385	0.987	0.0191	0.0072
1999	0.0383	0.987	0.0191	0.0072
2000	0.0380	0.987	0.0191	0.0072
2001	0.0352	0.987	0.0108	0.0067
2002	0.0345	0.987	0.0089	0.0066
2003	0.0342	0.987	0.0088	0.0066
2004	0.0340	0.987	0.0088	0.0066

Fuente: MOBILE5-México

Tabla A.2.13 Número de Corridas por terminal

Número de corridas por terminal			
Norte	Oriente	Poniente	Sur
25,790	20,862	23,534	11,005
10,596	8,571	9,669	4,522
8,663	7,008	7,905	3,697
3,732	3,019	3,405	1,592
6,931	5,606	6,324	2,957
9,196	7,439	8,392	3,924
6,797	5,499	6,203	2,901
4,065	3,288	3,709	1,735
5,864	4,744	5,351	2,502
10,196	8,248	9,304	4,351
21,258	17,196	19,399	9,072
38,518	31,158	35,149	16,437
52,246	42,263	47,676	22,295
73,371	59,353	66,954	31,310
43,316	35,040	39,527	18,484
12,129	9,811	11,068	5,176
4,798	3,881	4,378	2,047
17,660	14,285	16,115	7,536
26,656	21,563	24,324	11,375
30,188	24,420	27,547	12,882
56,578	45,767	51,629	24,143
72,305	58,489	65,980	30,855
39,318	31,805	35,878	16,778
48,781	39,460	44,514	20,816
37,452	30,296	34,176	15,982
666,404	**539,071**	**608,110**	**284,374**

Fuente: Estadística Básica del Autotransporte Federal 2004, SCT. Servicios Auxiliares del Autotransporte, Corridas de Origen y Paso de las Terminales Centrales de Pasajeros.

Con base en lo anterior se estimaron las emisiones por año modelo y por central de autobús ver tabla A.2.14.

Tabla A.2.14 Emisión de contaminantes por central de autobuses

Central	PM_{10}	$PM_{2.5}$	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Norte	0.25	0.22	27.3	13.7	6.4	0.3	6.2	0.011
Oriente	0.20	0.19	22.0	11.1	5.3	0.2	5.0	0.009
Poniente	0.23	0.21	24.8	12.5	5.9	0.2	5.7	0.010
Sur	0.11	0.10	11.6	5.8	2.8	0.1	2.7	0.005
Total	**0.79**	**0.72**	**85.7**	**43.1**	**20.4**	**0.8**	**19.6**	**0.035**

A.2.3 Uso de solventes

Debido a que no se cuenta con información sobre el tipo y cantidad de solvente incinerado, se asume que todo el solvente utilizado se evapora durante el procesamiento o paulatinamente por el uso del producto que lo contenga. En este apartado se estima la emisión de COT y COV empleando la siguiente ecuación:

$$E_{ij} = FA * FE_{ij}$$

Donde:
E_{ij}= Emisión del contaminante (i) referido a la actividad (j) [kg/año]
FA= Factor de actividad [hab/año] en el área de estudio
FE_{ij}= Factor de emisión del contaminante(i) referido a la actividad (j) [kg/hab-año]

La emisión de HCT y HCNM, se estiman con el siguiente sistema de ecuaciones[17]:

$$E_{HCT} = E_{COT} - A_{ldehídos} \qquad E_{HCNM} = E_{HCT} - E_{CH4}$$

Donde:
E_{HCT}= Emisión de Hidrocarburos Totales
E_{COT}= Emisión de Compuestos Orgánicos Totales
$E_{Aldehídos}$= Emisión de Aldehídos
E_{HCNM}= Emisión de Hidrocarburos No Metánicos
E_{CH4}= Emisión de Metano

El nivel de actividad (FA) es referido a la población del área de estudio, ver tabla A.2.15.

Tabla A.2.15 Indicadores de actividad poblacional

Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Habitantes, 2004	8,914,136	8,686,849	17,600,985
% Habitantes	50.64	49.35	100

Fuente: INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000.
CONAPO 2002, Proyecciones Municipales de población 1995-2010.

Recubrimientos de superficies industriales

La aplicación de recubrimientos en superficies industriales, consisten en la aplicación de pintura, barniz o laca; se asume que el solvente contenido en el recubrimiento se evapora durante su uso. El factor de emisión y la cantidad de contaminantes generados se reportan en la tabla A.2.16.

Tabla A.2.16 Emisiones por recubrimientos de superficies industriales

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.28	11,410	11,119	22,529
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.26	11,273	10,986	22,259

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

17 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Vol. II - Fundamentos de inventarios de emisiones, 19997.

Pintura automotriz

Las emisiones generadas por la aplicación de pintura automotriz se emiten durante la limpieza, resanado, pintado y pulido, por lo tanto, éstas dependen del contenido de solventes en el producto. El factor de emisión y las emisiones estimadas por entidad federativa y contaminante, se reportan en la siguiente tabla.

Tabla A.2.17 Factor de emisión y emisiones generadas por la aplicación de pintura automotriz

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.140	1,248	1,216	2,464
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.137	1,223	1,192	2,415

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Recubrimiento de superficies arquitectónicas

El recubrimientos de superficies arquitectónicas consiste en la aplicación de una capa de pintura, barniz o laca. La estimación de sus emisiones y el factor de emisión utilizado se muestra en la tabla A.2.18.

Tabla A.2.18 Factor de emisión y emisiones por recubrimientos de superficies arquitectónicas

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.360	12,123	11,814	23,937
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.183	10,547	10,278	20,825

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Pintura en tránsito

La aplicación de pintura en tránsito se realiza para indicar señalamientos viales en superficies pavimentadas. La siguiente tabla muestra la emisión de COT y COV por entidad federativa y el factor de emisión utilizado.

Tabla A.2.19 Factor de emisión y emisiones por aplicación de pintura de tránsito

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.0400	357	347	704
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.0395	352	343	695

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Limpieza de superficies industriales

La limpieza de superficies industriales es un proceso físico, en el cual se utilizan solventes orgánicos (destilados de petróleo, hidrocarburos clorados, cetonas y alcoholes, entre otros) que se seleccionan dependiendo de el coeficiente de solubilidad, sustancia a remover, toxicidad, flamabilidad y velocidad de evaporación, entre los principales. Las sustancias a remover generalmente son grasas, aceites, ceras, depósitos de carbón, óxidos y alquitranes de superficies tales como metales, plásticos y vidrios. A continuación se muestran las emisiones por entidad federativa y los factores de emisión de esta categoría:

Tabla A.2.20 Factor de emisión y emisiones por limpieza de superficies industriales

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	1.80	16,045	15,636	31,682
Compuestos Orgánicos Volátiles	1.08	9,627	9,382	19,008

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Lavado en seco

La operación de lavado en seco consiste en la limpieza de ropa mediante el uso de solventes orgánicos no acuosos, como el percloroetileno y gas nafta, entre los de mayor uso. La estimación de sus emisiones y el factor de emisión utilizado para esta actividad, se muestra en la siguiente tabla:

Tabla A.2.21 Emisiones por lavado en seco en tintorerías

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.6007	5,355	5,218	10,573
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.3484	3,106	3,026	6,132

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

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 por tres componentes básicos: 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 como un componente más en las soluciones fuente para sumergir los sistemas en la impresión litográfica. La tabla siguiente muestra los factores de emisión y las emisiones por entidad federativa:

Tabla A.2.22 Factor de emisión y emisiones por artes gráficas

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.4	3,566	3,475	7,040
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.4	3,566	3,475	7,040

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Aplicación de asfalto

La evaporación de solventes durante la aplicación de asfalto, depende de la cantidad y del tipo de diluyente que se utiliza en la fabricación de la mezcla asfáltica en la Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal. La mezcla es una combinación de asfalto AC20 (conocido como chapopote con un nivel de dureza 20) y de un triturado basáltico en una proporción de 6.5% y 93.5% respectivamente.

Para el año 2004 se registró una producción de 183,238 toneladas, 3,936 toneladas fueron rechazadas, lo que implica que en el Distrito Federal sólo se distribuyeron 179,302 toneladas. El calculó de las emisiones se realiza con la siguiente ecuación:

$$E = MA*\%A*\%DA*\%EV = 38 \text{ ton}$$

Donde:
E= Emisión de COT [ton/año]
MA= Masa asfáltica distribuida en la zona de aplicación [179,302 ton/año]
%A= Por ciento en peso de asfalto en la mezcla [6.5%w]
$\%D_A$= Por ciento en peso del diluyente en el asfalto [0.34%w][18]
%EV= Evaporación del contenido de solvente como curado rápido [95%]

Considerando que la mezcla asfáltica distribuida en el Distrito Federal presenta las mismas características físicas y químicas que la del Estado de México, las emisiones de esta categoría para los municipios del Estado de México que integran la ZMVM, se obtuvo mediante un factor de emisión *per cápita* (FE_{COT}), obtenido con base a la emisión total y el número de habitantes del Distrito Federal, como se muestra a continuación:

$$FE_{COT} = 37.64 \text{ [ton COT/año]}/8{,}686{,}849 \text{ [hab/año]} = 4.36*10^{-6} \text{ [ton COT/hab-año]}$$
$$E_{COT} = 4.36*10^{-6} \text{ [ton COT/hab-año]} * 8{,}914{,}136 \text{ [hab/año]} = 39 \text{ [ton COT/año]}$$

Tabla A.2.23 Factor de emisión y emisiones en aplicación de asfalto

Contaminante	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.00436	39	38	77
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.00436	39	38	77

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Uso comercial y doméstico de solventes.

Esta categoría 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 cloros y fluorocarbonos que son emitidos durante el uso del producto. Los factores de emisión y la emisión estimada por contaminante se muestran en las tablas siguientes.

Tabla A.2.24 Factor de emisión y emisiones de COT en uso comercial y doméstico de solventes

Actividad (j)	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	0.067	597	582	1,179
Productos domésticos	0.520	4,635	4,517	9,152
Productos de cuidado personal	1.520	13,550	13,204	26,754
Productos de cuidado automotor	0.880	7,844	7,644	15,489
Adhesivos y selladores	0.380	3,387	3,301	6,688
Pesticidas comerciales y domésticos	1.170	10,430	10,164	20,593
Productos misceláneos	0.040	357	348	705
Total	**4.577**	**40,800**	**39,760**	**80,560**

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

18 Programa de Inventarios de Emisiones para México, 1997.

Tabla A.2.25 Factor de emisión y emisiones de COV en uso comercial y doméstico de solventes

Actividad (j)	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	0.046	9,349	9,111	18,460
Productos domésticos	0.359	3,198	3,117	6,315
Productos de cuidado personal	1.049	412	402	814
Productos de cuidado automotor	0.607	5,413	5,274	10,687
Adhesivos y selladores	0.262	2,337	2,277	4,614
Pesticidas comerciales y domésticos	0.807	7,196	7,013	14,209
Productos misceláneos	0.028	247	240	487
Total	**3.158**	**28,152**	**27,434**	**55,586**

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.

Tabla A.2.26 Factor de emisión y emisión de aldehídos en uso comercial y doméstico de solventes

Actividad (j)	Factor de Emisión* [kg/hab]	Emisión [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	8.84E-4	8	8	16
Productos domésticos	1.8E-5	N/S	N/S	N/S
Adhesivos y selladores	6.73E-5	N/S	N/S	1
Pesticidas comerciales y domésticos	2.29E-3	20	20	40
Total	**3.2593E-3**	**28**	**28**	**57**

Fuente: *Manuales de Inventario de Emisiones de México. Vol. 5.
N/S: No significativo

La emisión de HCT se calculó con la siguiente expresión:

$$E_{HCT} = E_{COT} - A_{ldehídos}$$

Donde:
E_{HCT}= Emisión de Hidrocarburos Totales
E_{COT}= Emisión de Compuestos Orgánicos Totales
$E_{Aldehídos}$= Emisión de Aldehídos

Las emisiones por consumo de solventes se muestran a continuación:

Tabla A.2.27 Emisiones de HCT por consumo de solventes

Actividad (j)	Emisión [ton/año]		
	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Productos en aerosol	589	574	1,163
Productos domésticos	4,635	4,517	9,152
Productos de cuidado personal	13,550	13,204	26,754
Productos de cuidado automotor	7,844	7,644	15,488
Adhesivos y selladores	3,387	3,300	6,687
Pesticidas comerciales y domésticos	10,409	10,144	20,553
Productos misceláneos	357	348	705
Total	**40,771**	**39,731**	**80,502**

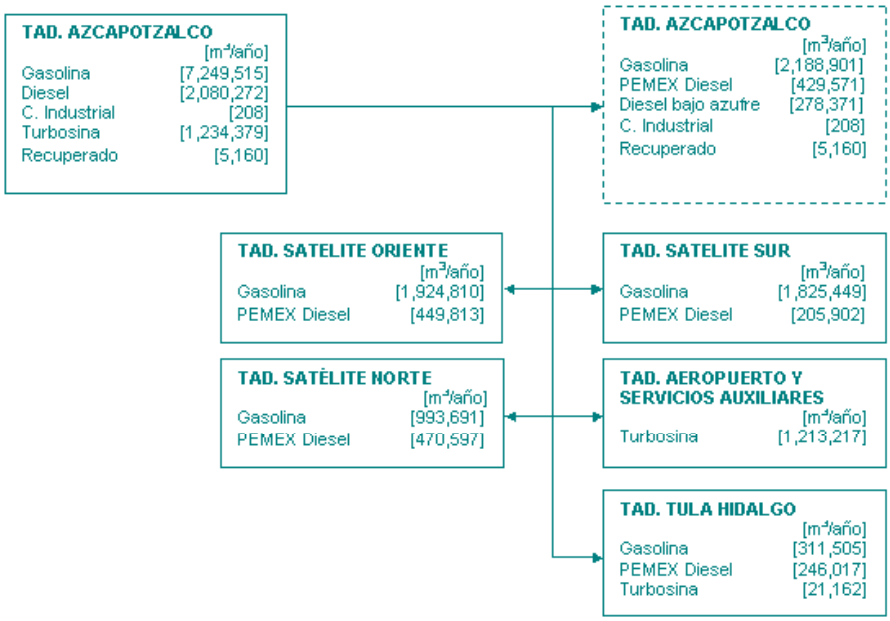
A.2.3 Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo

Almacenamiento masivo de combustibles líquidos

Los productos refinados que son distribuidos en la Zona Metropolitana del Valle de México llegan a través de ductos a la terminal de almacenamiento y distribución Azcapotzalco; ésta 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 ductos, 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; la Turbosina fue distribuida a los tanques de almacenamiento de la terminal Aeropuerto y Servicios Auxiliares (ASA) y a la terminal de almacenamiento ubicada en Tula Hidalgo. Todas las terminales realizan su distribución a estaciones de servicio y auto-abasto, así como al sector industrial por medio de auto-tanques, figura A.2.1.



Fuente: Elaborado con datos de PEMEX Refinación, 2004

Figura A.2.1 Tren de distribución y almacenamiento de combustibles

La evaporación de hidrocarburos de gasolina en los tanques de almacenamiento masivo, ocurren como consecuencia de los cambios de temperatura que conduce al venteo del vapor del tanque a la atmósfera, de los cambios en el nivel del líquido del tanque y principalmente por las operaciones de recarga.

La emisión de COT se estimo con la metodología del AP-42[19], implica la utilización del software TANKS V.4.0[20]. La tabla A.2.28 muestra las características físicas y de operaciones básicas del tanque de almacenamiento[21] que se requieren para alimentar al programa, se realiza un archivo por terminal y una corrida por tanque.

19 U.S. EPA, 1995a. AP-42 Section 7.1.3.1, Total Losses from Fixed Roof Tanks, Febrero 1996.
20 U.S. EPA, 1999. USR´S GUIDE to TANKS V.4.0, Storage Tank Emissions Calculation Software, September 30, 1999
21 PEMEX Refinación. Características físicas y de operación de los tanques de almacenamiento por terminal, 2004.

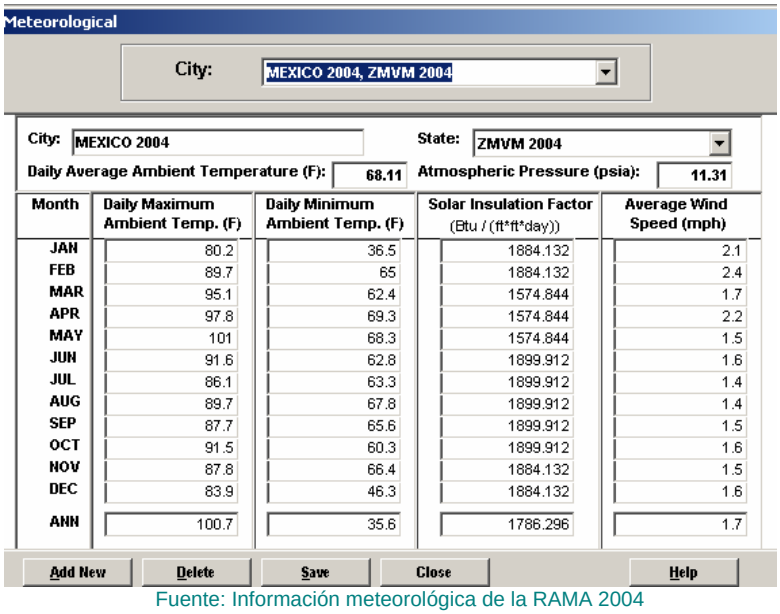
Tabla A.2.28 Características físicas y de operación TAD-TV5-AZC-2004

TAD	CTA	TTA	TT	TCT	PT	PTST	TSM	SM	CA	CNT [gal]	DT [ft]	ATT [ft]	AOT [ft]	COP [gal]	NRA	DCA [gal/año]
AZC	TV-5	VCTFMIF	DGD	S	B,B	B,B	PMS-VMSS	AYA	P	4,200,000	134	40	36.2	3,820,152	29	93,548,952

TAD	Terminal de almacenamiento y distribución	**PMS-VMSS**	Primario montado sobre-vapor más sello secundario
SS	Satélite Sur	**AYA**	Auto soportada 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		

Fuente: PEMEX Refinación 2004

El programa TANKS V.4.0 cuenta con información sobre características meteorológicas para la gran mayoría de las ciudades de los Estados Unidos. En particular para la ZMVM se diseño la base de datos[22] correspondiente como lo muestra la figura A.2.2.



Fuente: Información meteorológica de la RAMA 2004

Figura A.2.2 Características meteorológicas de la ZMVM, 2004

Con la información anterior se calculó las emisiones por tanque de almacenamiento, la tabla A.2.29. muestra las emisiones por terminal de almacenamiento estimadas con el programa TANKS 4.0.

22 RAMA, 2004. 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 menos18 datos. Las estaciones de monitoreo que cumplieron con el criterio anterior son. TAC, EAG, SAG, TLA, XAL, MER, PED, CES, PLA, HAN, PLA. Para el caso especifico del Factor de insolación, ver anexo A.4 Fuentes Naturales.

Tabla A.2.29 Emisiones por terminal de almacenamiento y distribución "TAD"

Localidad	Terminal de Almacenamiento y Distribución	COT
Miguel Hidalgo	Azcapotzalco	35
Iztacalco	Satélite Oriente	21
Álvaro Obregón	Satélite Sur	13
Tlanepantla	Satélite Norte	8
Venustiano Carnaza	Aeropuerto y Servicios Auxiliares	1
	Distrito Federal	**70**
	Estado de México	**8**
	Zona Metropolitana del Valle de México	**78**

La emisión de COV por almacenamiento de gasolina es igual al 100% de los COT
La emisión de COV por el uso de turbosina es igual al 96% de los COT
La emisión de COV por el uso de diesel es igual al 97.2% de los COT

Distribución y venta de gasolina

Los compuestos orgánicos totales que se emiten en esta categoría son vapores provenientes de la distribución y venta de gasolina, se calculó por etapas considerando el sistema de recuperación de vapores.

Estimación de emisiones por perdidas en transito E1

La emisión por pérdidas en tránsito incluyen el recorrido de la terminal a la estación de servicio y viceversa (con o sin carga). La cantidad emisiones depende del grado de venteo que se presente en tránsito, de la hermeticidad del tanque, el ajuste de presión a la válvula de alivio, la presión del tanque al inicio del recorrido, la presión de vapor del combustible transportado y del grado de saturación de vapor del combustible en el espacio vapor del tanque. La estimación de emisiones se realiza con la siguiente ecuación:

$$E_{E1} = \sum_{i=1}^{n} ([FE_{tc,i,c} + FE_{tv,i,c}] * C_{Vi})$$

Donde:
E_{E1}= Emisión de COT en la etapa E1 [ton/año]
$FE_{tc,i,c}$= Factor de emisión por pérdida en tránsito con producto a la estación de servicio (i) en condiciones de tránsito (c) [5E-8 ton/m^3]
$FE_{tv,i,c}$= Factor de emisión de pérdida en tránsito sin producto a la estación de servicio (i) en condiciones de tránsito (c) [6.5E-8 ton/m^3]
C_{Vi}= Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m^3/año], tabla A.2.31
n= Numero de estación de servicio (i)

Estimación de emisiones por la descarga de pipas a estaciones de servicio E2

La descarga de gasolina a tanques subterráneos en la estación de servicio, se conoce como carga sumergida con balance de vapor, debido a que cuenta con la instalación del Sistema de Recuperación de Vapores[23]. "SRV", permite recupera los vapores desplazados durante la descarga de gasolina y los lleva de regreso al tanque de la pipa de distribución. La emisión de COT se calculó con la siguiente ecuación:

23 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 estacione de servicio y estaciones de autoconsumo, que de otra manera serían emitidos a la atmósfera.

$$E_{E2} = \sum_{i=1}^{n} FE_{dp} * C_{Vi} * (1-(F_C/100))$$

Donde:
E_{E2}= Emisión de COT en la etapa E2 [ton/año]
FE_{dp}= Factor de emisión por descarga de pipas a la estación de servicio (i) [1.0468E-3 ton/m^3]
C_{Vi}= Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m^3/año], tabla A.2.31
F_C= Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV [95%][24]
n= Numero de estación de servicio (i)

Estimación de emisiones por respiración de tanques subterráneos E3

La cantidad de emisión depende principalmente de la evaporación y los cambios en la presión barométrica, la frecuencia de extracción de gasolina del tanque también puede afectar las emisiones debido a que el aire fresco que entra incrementar la tasa de evaporación. La emisión de COT se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{E3}= \sum_{i=1}^{n} C_{Vi} * FE_r * (1-(Fc/100))$$

Donde:
E_{E3}= Emisión de COT en la etapa E3 [ton/año]
C_{Vi}= Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m^3/año], tabla A.2.31
FE_r= Factor de emisión de pérdida por respiración del tanque [1.2E-4 ton/m^3]
F_C= Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV [95%][25]
n= Numero de estación de servicio (i)

Estimación de emisiones por recarga de gasolina en vehículos E4

Durante la recarga de gasolina en vehículos se producen emisiones por desplazamiento y la cantidad de vapores depende de la temperatura de la gasolina, la temperatura del tanque del automóvil, de la presión de vapor Reid de la gasolina[26] y de la cantidad de gasolina vendida. La emisión de COT se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{E3}= \sum_{i=1}^{n} C_{Vi} * FE_{cg} * (1-(Fc/100))$$

Donde:
E_{E4}= Emisión de COT en la etapa E4 [ton/año]
C_{Vi}= Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m^3/año], tabla A.2.31
FE_{cg}= Factor de emisión de pérdida por recarga en vehículos [1.079E-3 ton/m^3]
F_C= Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV [95%][26]
n= Numero de estación de servicio (i)

24 DGGAA La eficiencia de los SRV varia 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%. Con datos de pruebas de eficiencia y tasa volumétrica por tecnología.
25 DGGAA. La eficiencia de los SRV varia 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%. Con datos de pruebas de eficiencia y tasa volumétrica por tecnología.
26 Presión de Vapor Reid: Presión absoluta a 37.8 °C en KPa. 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, así como aire en los espacios confinados. Se determina con el Método ASTM D323-94.

Estimación de emisiones por derrames de combustible en la recarga E5

La emisión de COT en esta etapa depende de las características comerciales de la estación de servicio, de la configuración del tanque y especialmente de la técnica del operador por recarga de combustible. La emisión de COT se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{E3} = \sum_{i=1}^{n} C_{Vi} * FE_d * (1-(Fc/100))$$

Donde:
E_{E5}= Emisión de COT en la etapa E5 [ton/año]
C_{Vi}= Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m^3/año], tabla A.2.31
FE_d= Factor de emisión por derrames [8E-5 ton/m^3]
F_C= Factor de corrección referido a la eficiencia del SRV [95%][26]
n= Numero de estación de servicio (i)

Los factores de emisión correspondientes a cada etapa se encuentran reportados en la tabla A.2.30.

Tabla A.2.30 Factor de emisión en distribución y venta de gasolina

Punto emisor	Fuente de Emisión "Actividad"	Factor de emisión COT [ton/m^3]
E1	**Pérdidas en tránsito** Auto-tanque cargado Auto-tanque vacío	 $FE_{tc,i,c}$= 5E-8 $FE_{tv,i,c}$= 6.5E-8
E2	Descarga de pipas a estaciones de servicio	FE_{dp}= 1.0468E-3
E3	Respiración del tanque subterráneo	FE_r= 1.2E-4
E4	Recarga de gasolina en automóviles	FE_{cg}= 1.079E-3
E5	Derrames de combustibles en la recarga	FE_d= 8E-5

Fuente: Manuales de Inventarios de Emisiones para México. Con información AP-42 1995.
E1:Factores de emisión para condiciones de transito típicas
E2, E4: Factor de emisión se calculó con las propiedades de la gasolina comercializada en la ZMVM
E3, E5: Reportadas por la fuente de información
Se asume que las emisiones de COV constituyen el 100% de los COT

El factor de emisión de COT en la Etapa 2, se estimo con relación a las características de la gasolina distribuida en la ZMVM y se calculó con la siguiente ecuación modificada[27]:

$$FE_{dp} = 0.001493(S*P*M/T) = 0.0010468 \text{ [ton/m}^3\text{]}$$

Donde:
FE_{dp}= factor de emisión por descarga de las pipas durante la carga de combustible [ton/m^3]
S= Factor de saturación [1 adimensional][28]
P= Presión de vapor verdadera del líquido [5.5034 PSIA] @ RVP 8[29]
M= Peso molecular de los vapores [68lb/lb-mol]
T= Temperatura del líquido en la descarga, equivalente a temperatura ambiente [533.76°R][30]
0.001493= Factor de conversión de [lb/1,000 gal] a [ton/m^3]

El factor de emisión de COT en la Etapa 4, se ajusto a las características de la gasolina distribuida en la ZMVM y se calculó con la siguiente ecuación modificada[31]:

27 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final. Las emisiones de la carga de gasolina o de cualquier líquido de petróleo puede estimarse con un error probable de +- 30% usando la expresión de la ecuación (7.1-1) Pág. 7-5.
28 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final. Tabla 7.1-1 Factores de saturación (S) para el calculó de las pérdidas por recarga de Líquidos de Petróleo. Pág. 7-14.
29 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, se decidió utilizar un RVP máximo de 8 y las propiedades fisicoquímicas establecidas en el programa TANKS V.4.0.
30 Subdirección de Análisis e Información - DRAMA-DGGAA-SMA-GDF.

FE_{cg}=264.2*[(-5.9099)-(0.0949∗ΔT))+(0.0884*Ts)+(0.485*PVR)]=1,709[mg/l]=10.8E-4 [ton/m^3]

Donde:
FE_{cg}= Factor de emisión no controlada de COT para recarga de combustible [mg/l]
ΔT= Gradiente de temperatura del tanque del vehículo y del combustible despachado [3.24°F]
(La temperatura del combustible en el tanque del vehículo es aproximadamente 25°C (77°F) ΔT = (77-73.6) = 3.24 °F.)
Ts= Temperatura del combustible despachado (temperatura ambiente promedio [73.76°F]
PVR= Presión de Vapor de Reid [7.8 PSIA]

La tabla A.2.31. muestra la distribución de gasolina, así como las emisiones estimadas por entidad federativa y etapa, el análisis se realizo por estación de servicio..

Tabla A.2.31 Emisiones de COT por distribución de gasolina en estaciones de servicio

NES	Delegación y Municipio	Gasolina [m^3]			Emisión [ton/año]					
		Premium	Magna	Total	E1	E2	E3	E4	E5	Et
17	Azcapotzalco	27,991	202,162	230,153	1.51	13.25	1.52	13.67	1.01	30.96
28	Coyoacán	92,252	383,711	475,963	3.12	27.40	3.14	28.26	2.09	64.02
8	Cuajimalpa de Morelos	22,052	91,566	113,618	0.74	6.54	0.75	6.75	0.50	15.28
32	Gustavo A. Madero	51,817	384,901	436,718	2.86	25.14	2.88	25.93	1.92	58.74
15	Iztacalco	27,257	179,012	206,269	1.35	11.88	1.36	12.25	0.91	27.74
45	Iztapalapa	65,255	533,026	598,281	3.92	34.45	3.95	35.52	2.63	80.47
3	Magdalena Contreras, La	6,308	27,176	33,484	0.22	1.93	0.22	1.99	0.15	4.50
1	Milpa Alta		13,759	13,759	0.09	0.79	0.09	0.82	0.06	1.85
19	Álvaro Obregón	74,046	265,755	339,801	2.23	19.56	2.24	20.18	1.50	45.70
3	Tláhuac	4,847	57,261	62,108	0.41	3.58	0.41	3.69	0.27	8.35
8	Tlalpan	20,988	119,456	140,444	0.92	8.09	0.93	8.34	0.62	18.89
6	Xochimilco	16,628	111,731	128,359	0.84	7.39	0.85	7.62	0.56	17.26
34	Benito Juárez	79,899	265,848	345,747	2.26	19.91	2.28	20.53	1.52	46.50
49	Cuauhtèmoc	62,082	305,671	367,753	2.41	21.17	2.43	21.83	1.62	49.46
29	Miguel Hidalgo	80,401	263,475	343,876	2.25	19.80	2.27	20.42	1.51	46.25
22	Venustiano Carranza	33,937	241,051	274,988	1.80	15.83	1.81	16.33	1.21	36.99
9	Atizapàn de Zaragoza	33,280	123,783	157,063	1.03	9.04	1.04	9.33	0.69	21.12
4	Coacalco de Berriozábal	4,615	36,486	41,101	0.27	2.37	0.27	2.44	0.18	5.53
11	Cuautitlán de Romero	9,763	89,730	99,493	0.65	5.73	0.66	5.91	0.44	13.38
7	Cuautitlán Izcalli	15,236	83,673	98,909	0.65	5.69	0.65	5.87	0.44	13.30
7	Chalco	9,975	72,274	82,249	0.54	4.74	0.54	4.88	0.36	11.06
6	Valle de Chalco Solidaridad	1,508	41,643	43,151	0.28	2.48	0.28	2.56	0.19	5.80
2	Chicoloapan	1,229	10,992	12,221	0.08	0.70	0.08	0.73	0.05	1.64
5	Chimalhuacán	3,155	62,404	65,559	0.43	3.77	0.43	3.89	0.29	8.82
49	Ecatepec de Morelos	49,049	500,193	549,242	3.60	31.62	3.62	32.61	2.42	73.87
8	Huixquilucan	22,959	64,868	87,827	0.58	5.06	0.58	5.21	0.39	11.81
10	Ixtapaluca	5,498	75,885	81,383	0.53	4.69	0.54	4.83	0.36	10.95
19	Naucalpan de Juárez	65,562	303,803	369,365	2.42	21.27	2.44	21.93	1.63	49.68
13	Nezahualcóyotl	13,640	197,363	211,003	1.38	12.15	1.39	12.53	0.93	28.38
5	Nicolás Romero	4,940	47,552	52,492	0.34	3.02	0.35	3.12	0.23	7.06
5	Paz, La	3,294	43,127	46,421	0.30	2.67	0.31	2.76	0.20	6.24
5	Tecámac	6,007	39,856	45,863	0.30	2.64	0.30	2.72	0.20	6.17
31	Tlalnepantla de Baz	53,038	299,896	352,934	2.31	20.32	2.33	20.95	1.55	47.47
16	Tultitlán	9,462	97,191	106,653	0.70	6.14	0.70	6.33	0.47	14.34
212	**EDOMEX**	**312,210**	**2,190,720**	**2,502,930**	**16**	**144**	**16**	**149**	**11**	**337**
320	**D.F.**	**665,761**	**3,445,562**	**4,111,323**	**27**	**238**	**27**	**244**	**18**	**553**
532	**ZMVM**	**977,971**	**5,636,282**	**6,614,253**	**43**	**382**	**43**	**393**	**29**	**890**

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.

31 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área Final. Puede usar la ecuación 7.1-5 para estimar el factor de emisión sin control por desplazamiento.

Debido a que el contenido de metano y aldehídos en la gasolina es despreciable, la emisión de COT es igual a la emisión de COV, HCNM, HCT.

Carga de combustible en aeronaves

La emisión de hidrocarburos ocurre cuando se recarga el tanque de la aeronave, la cantidad de vapor desplazado depende de la presión de vapor del combustible, la temperatura del tanque y se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,i} = (FE_{COT,i} * Ci)/2{,}202.6 = [ton/año]$$

Donde:
$E_{COT,i}$ = Emisión de COT por recarga del combustible (i)
$FE_{COT,i}$= Factor de emisión de COT por recarga del combustible (i) [lb/1,000 gal], tabla A.2.32
Ci= Cantidad de combustible (i) en la recarga [1,000 gal], tabla A.2.33
El factor de emisión se ajusto a las características del combustible con la siguiente expresión:

$$FE_{COT,i} = 12.48*(S*P*PM/T) = [lb/1{,}000\ gal]$$

Donde:
$FE_{COT,i}$= Factor de emisión de COT por recarga del combustible (i) [lb/1,000 gal], tabla A.2.32
S= Factor de saturación [1.45][32]
P= Presión de vapor verdadera del combustible (i) a temperatura ambiente @ [PSIA]
PM= peso molecular de los vapores del combustible (i) [lb/lb-mol]
T= Temperatura de la masa del combustible (i) a temperatura ambiente [533.36 °R]

Tabla A.2.32 Propiedades (PM y P, S) y factor de emisión por combustible

Combustible (I)	S	P @73.36°F [PSIA]	PM [lb/lb-mol]	T [°R]	Factor de emisión [lb COT/1,000 gal]
Turbosina	1.45	9E-3	130	533.36	3.79E-2
Gas avión 100/130	1.45	5	65.3	533.36	9.733

Fuente: PEMEX Gas y Petroquímica Básica/ Manual del Programa de Inventarios de Emisiones de México. Fuentes de Área. Nota: Las emisiones de COV constituyen el 100% de los COT, debido a que las fracciones de metano y etano son despreciables.

El calculó de emisiones considera el consumo de turbosina y gas avión reportado en la tabla A.2.33 y el factor de emisión por tipo de combustible “tabla A.2.32”. La tabla A.2.33, muestra la emisión de COT por tipo de combustible.

Tabla A.2.33 Consumo de combustible y emisión generada en recarga de aeronaves

Combustible (i)	Consumo [1,000 gal/año]	Emisión de COT [ton/año]
Turbosina	322,735	5.55
Gas avión 100/130	84.7	0.37

Fuente: Con datos de PEMEX Refinación, 2004.
Aeropuerto y Servicios Auxiliares “ASA”, 2005.
La emisión de COT es igual a la emisión de COT.

32 Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área.

Almacenamiento y distribución de GLP

La importancia de contabilizar la emisión de este hidrocarburo, radica en la alta concentración en el ambiente de la ZMVM de propano y butano[33] por emisiones fugitivas de GLP. Las emisiones fugitivas en terminales de almacenamiento y distribución se generan durante el almacenamiento, descarga-recarga de auto-tanques y recarga de recipientes portátiles. La estimación de emisiones de COT se realiza con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,j} = FE_{COT,j} * FA_j$$

Donde:
$E_{COT,j}$= Emisión de COT asociada a la actividad (j) [kg/año]
$FE_{COT,j}$= Factor de emisión de COT asociado a la actividad (j), tabla A.2.34
F_A= Factor de actividad (j)

Los factores de emisión fueron obtenidos de la memoria técnica 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[33] y son reportados en la tabla A.2.34.

Tabla A.2.34 Factor de emisión en almacenamiento y distribución de GLP

Categoría	Actividad j	Factor de emisión COT	Unidades
Almacenamiento masivo de GLP en terminales	Almacenamiento	0.179	[kg/ton]
	Carga de auto-tanque	0.471	
	Descarga de semirremolques	0.179	
	Llenado de recipientes portátiles	0.563	
Distribución de GLP	Estaciones de servicio	8.356	
	Tanques estacionarios	0.474	
	Venta de tanque portátil	8.6E-4	

Fuente: PEMEX 1997. 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.

La emisión de CH_4 se calculó por balance de materiales con la siguiente información:

Volumen de GLP=1 [l]
δ_{GLP}= 0.555 [ton/m^3]
δ_{CH4}= 0.554 [ton/m^3]
V_{CH4}= 0.01 [%v]

Contenido de metano en 1 litro de GLP =(1)*(0.01/100)= [$1*10^{-5}$ l CH_4/ l GLP]
= ($1*10^{-5}$ /1,000)*0.554= [$5.54*10^{-8}$ ton CH_4/l GLP]

Peso de 1 litro de GLP = (1/1,000)*(0.555)= [$5.55*10^{-4}$ ton GLP/l GLP]

Por lo tanto, se estima que por cada tonelada de GLP que se emite a la atmósfera por fugas contiene $9.98*10^{-5}$ toneladas de CH_4.

$$\frac{5.54*10^{-8}\ [\text{ton } CH_4/\text{l GLP}]}{5.55*10^{-4}\ [\text{ton GLP/l GLP}]} = [9.98*10^{-5}\ \text{ton } CH_4 / \text{ton GLP (referido a COT)}]$$

33 PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 1997. 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.

Se asume que las emisiones de COV representan el 98.4% de COT y debido a que no se emiten aldehídos la emisión de hidrocarburos totales es igual a la emisión de COT; así mismo, la diferencia entre los COT y el CH_4 es igual a los hidrocarburos no metánicos.[34]

Los indicadores de actividad que se presentan en la tabla A.2.35 se obtuvieron con las siguientes consideraciones[35].

- *Almacenamiento:* Volumen de GLP suministrado a cada una de las plantas de almacenamiento y distribución, equivalente a la descarga por semirremolque.
- *Carga de auto-tanques:* Volumen de GLP suministrado a tanques estacionarios del sector industrial, comercial, auto-transporte y residencial, equivalente a la recarga de auto-tanques en por planta de almacenamiento y distribución.
- *Descarga de semirremolques:* Se desconoce el porcentaje de distribución por semirremolque y por ductos, por lo tanto, se considera que la distribución total de GLP a la ZMVM (1'605,094 ton.) se realizó por semirremolques, misma que fue transferido a las terminales de almacenamiento y distribución del Distrito Federal y del Estado de México a razón del 13% y 87% respectivamente.
- *Llenado de recipiente portátil:* Considera el 51% del suministro al sector residencial por entidad federativa.
- *Estaciones de carburación:* Es la cantidad de GLP suministrado al sector auto-transporte.
- *Tanques estacionarios:* Cantidad de gas suministrado a tanques estacionarios y es la suma del consumo en el sector industrial, comercial y Autotransporte, más el 49% del suministro al sector residencial.
- *Venta de tanques portátiles*: Es equivalente a la recarga de recipientes portátiles en la terminal de almacenamiento, solo que su emisión se da fuera de las plantas de almacenamiento y distribución.

Tabla A.2.35 Indicadores de actividad para almacenamiento y distribución de GLP.

Categoría	Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM	Unidades
Almacenamiento masivo de GLP en terminales.	Almacenamiento	1,396,432	208,662	1,605,094	ton/año
	Carga de auto-tanques	957,142	143,022	1,100,164	
	Descarga de semirremolques	1,396,432	208,662	1,605,094	
	Llenado de recipientes portátiles	532,467	79,564	612,031	
Distribución de GLP	Estaciones de servicio	41,368	98,275	139,643	
	Tanques estacionarios	558,373	541,791	1,100,164	
	Venta de tanque portátil	302,064	309,967	612,031	

Fuente: Elaborada con información de la Secretaria de Energía 2004, PEMEX Gas y Petroquímica Básica 2004.

La tabla siguiente muestra las emisiones obtenidas por actividad y entidad federativa.

Tabla A.2.36 Emisión de COT por distribución de GLP

Categoría	Actividad j	Emisiones [ton/año]								
		Estado de México			Distrito Federal			ZMVM		
	Contaminante	COT	COV	CH_4	COT	COV	CH_4	COT	COV	CH_4
Almacenamiento masivo de GLP en terminales.	Almacenamiento	3	3	*3.0E-4*	1	1	*1.0E-4*	4	4	*4.0E-4*
	Carga de auto-tanques	486	479	*4.9E-2*	73	72	*7.3E-3*	559	551	*5.6E-2*
	Descarga de semirremolques	250	246	*2.5E-2*	37	36	*3.7E-3*	287	282	*2.9E-2*
	Llenado de recipientes portátiles	300	295	*3.0E-2*	45	44	*4.5E-3*	345	339	*3.4E-2*
Distribución de GLP	Estaciones de servicio	346	340	*3.5E-2*	821	808	*8.2E-2*	1167	1148	*1.2E-1*
	Tanques estacionarios	278	273	*2.8E-2*	285	280	*2.8E-2*	563	553	*5.6E-2*
	Venta de tanque portátil	N/S	N/S	*N/S*	N/S	N/S	*N/S*	N/S	N/S	*N/S*
Total		**1,663**	**1,636**	**1.7E-1**	**1,262**	**1,241**	**1.3E-1**	**2,925**	**2,877**	**2.9E-1**

34 Fuente: Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área.
35 SENER 2005. Suministro de GLP por terminal de almacenamiento.

Fugas en instalaciones de gas L.P.

La emisión de hidrocarburos de GLP por fugas y de hidrocarburos no quemados en instalaciones del sector industrial, habitacional y comercial–institucional, se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,j} = FE_{COT,j} * FA_j$$

Donde:
$E_{COT,j}$= Emisión de COT asociada a la actividad (j) [kg/año]
$FE_{COT,j}$= Factor de emisión de COT asociado a la actividad (j), tabla A.2.34
F_A= Factor de actividad (j)

Los factores de emisión reportados en la tabla A.2.37, fueron obtenidos de PEMEX[36] y del TÚV Rheinland de México.[37]

Tabla A.2.37 Factor de emisión por fugas de GLP y de HCNQ

Categoría	Sector	Fuente de emisión "Actividad"	Factor de emisión 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/#Efcp
		Pilotos apagados en calentadores	1.57E-07	ton/#CAL
		Pilotos encendido de estufas	2.24E-04	ton/#Efcp
		Pilotos encendido de calentadores	1.57E-07	ton/#CAL
HNQC	**Residencial	Estufas	5.42E-03	ton/#Efcp
		Calentadores	2.33E-03	ton/#CAL
	*Servicios		15	kg/ton GLP
	*Industria		15	

Fuente: * PEMEX Gas y Petroquímica Básica 1997. TÜV Rheinland de México S.A. de C.V., 2000.
** Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área
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 calcular la emisión de CH_4, se utiliza el factor ($9.98*10^{-5}$ ton CH_4/ton de COT). La emisión de COV se calculó por el 98.4% de la emisión de COT y para la estimación de HCNM y HCT se utiliza la siguiente expresión "ver almacenamiento y distribución de GLP.

$$E_{HCNM} = E_{COT} - E_{CH4} - E_{Aldehídos} \qquad E_{HCT} = E_{COT} - E_{Aldehídos}$$

36 PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 1997. 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.
37 TÜV Rheinland de México S.A. de C.V. Programa para la Reducción y Eliminación de Fugas de Gas L.P. en las Instalaciones Domésticas, ZMVM 2000.

Donde
E_{HCNM}= Emisión de HCNM
E_{COT}= Emisión de COT
E_{CH4}= Emisión de CH_4
$E_{Aldehídos}$= Emisión de Aldehídos

Los datos de actividad como son el nivel de población y viviendas,[38] son necesarios para estimar el número de accesorios o equipos (tanques portátiles, estacionarios, estufas y calentadores) en casa habitación.

Tabla A.2.38 Indicadores demográficos[38]

Entidad	Población	Viviendas
Distrito Federal	8,686,849	2,232,548
Estado de México	8,914,136	2,137,750
ZMVM	17,600,985	4,370,298

Tabla A.2.39 Factores de saturación de equipos a GLP

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	0.644
Factor de saturación de instalaciones a GLP	
Con tanque portátil.	0.808
Con tanque estacionario.	0.192

Fuente: Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares,-2002.

Estimación del número de accesorios para el Distrito Federal

Considera que cada vivienda ocupa por lo menos una estufa, es decir:

Viviendas = # Estufas = 2’232,548

El número de estufas y el factor de saturación de estufas a GLP dan como resultado las estufas que utilizan GLP:

Estufas $_{GLP}$ = # Estufas * 0.971 = 2’167,533 estufas a GLP

Se asume que por lo menos cada estufa tiene un tanque portátil; con el factor de saturación de estufas a tanque portátil se obtiene el número de tanques:

Tanques Portátil = # Estufas $_{GLP}$ * 0.808 = 1’750,566 recipientes portátil

Con el número de estufas a GLP y el factor de saturación de estufas a tanque estacionario, tenemos el número de tanques estacionarios:

Tanques Estacionarios = # Estufas $_{GLP}$ * 0.192 = 416,967 recipientes estacionarios

El número de calentadores se calculó con el número de viviendas y el factor de saturación de calentadores a GLP:

Calentadores = # Viviendas * 0.644 = 1’438,545 calentadores

38 INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000. CONAPO, Escenarios Demográficos y Urbanos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1990-2010.

El número de estufas con piloto fue estimado con el número de estufas a GLP y el factor de saturación de estufas a GLP con piloto:

#Estufas con piloto a gas L.P. = #Estufas * 0.798 = 1’729,691 estufas con piloto

De la misma forma se estimo el equipamiento para el Estado de México, los resultados obtenidos se muestran en la tabla A.2.40.

Tabla A.2.40 Equipamiento por entidad federativa

Tipo	Distrito Federal	Estado de México
Estufas	2,232,548	2,137,540
Estufas a GLP	2,167,533	2,075,495
Calentadores a GLP	1,438,545	1,377,462
Tanque portátil "TP"	1,750,566	1,676,233
Tanque estacionario "TE"	416,967	399,262

La tabla A.2.41 muestra las emisiones estimadas por fugas en instalaciones y de hidrocarburos no quemados por sector.

Tabla A.2.41 Emisiones estimadas en instalaciones domésticas a GLP

Categoría	Fuente de emisión “Actividad”	Emisión [ton/año]					
		Distrito Federal		Estado de México		ZMVM	
		COT	COV	COT	COV	COT	COV
Accesorios en instalaciones domésticas	Tanque portátil “TP”	6	6	6	6	12	12
	Conexiones en TP	3,623	3,565	3,469	3,414	7,092	6,979
	Picteles en TP	3,448	3,393	3,302	3,249	6,750	6,642
	Válvulas de paso en TP	42	41	41	40	83	81
	Reguladores en TP	1,908	1,877	1,827	1,798	3,735	3,675
	Tanque estacionario “TE”	437	431	419	412	856	843
	Válvulas de paso en TE	10	10	10	10	20	20
	Reguladores en TE	454	447	435	428	889	875
	Estufas	262	258	251	247	513	505
	Calentadores	175	171	167	164	342	335
Apagado y encendido de pilotos	Apagados en estufas	1,764	1,736	1,689	1,662	3,453	3,398
	Apagados en calentadores	0.23	0.22	0.22	0.21	0.45	0.43
	Encendido de estufas	387	381	371	365	758	746
	Encendido de calentadores	0.23	0.22	0.22	0.21	0.45	0.43
HNQC	Estufas	11,748	11,560	11,249	11,069	22,997	22,629
	Calentadores	3,352	3,298	3,209	3,158	6,561	6,456

Tabla A.2.42 Emisiones estimadas sector industrial, comercial-institucional a GLP

Categoría	Fuente de emisión “Actividad”	Emisión [ton/año]					
		Distrito Federal		Estado de México		ZMVM	
		COT	COV	COT	COV	COT	COV
Fugas en instalaciones	Industria	14	14	22	22	37	36
	Comercial-Institucional	103	101	106	104	21	205
Hidrocarburos No quemados	Industria	789	776	1,233	1,214	2,022	1,990
	Comercial-Institucional	2,221	2,185	2,279	2,242	4,499	4,427
Total		3,127	3,076	3,640	3,582	6,579	6,658

A.2.5. Fuentes industriales ligeras y comerciales

Panaderías

La emisión de COT en esta categoría es principalmente etanol como subproducto del proceso de fermentación de la levadura y el horneado de la misma y depende de la cantidad de azúcar fermentable en la masa, el tiempo y temperatura de horneado, entre los principales. El calculó de emisiones se realiza con la siguiente ecuación:

$$E_{COT} = FE_{COT} * FA$$

Donde:
E_{COT}= Emisión de COT [kg/año]
FE_{COT}= Factor de emisión de COT [26.38E-2 kg COT/hab-año][39]
FA= Factor de actividad en el área de estudio [hab/año] tabla A.2.43

Tabla A.2.43 Indicadores de actividad por entidad federativa

Entidad Federativa	Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Habitantes, 2004	8,914,136	8,686,849	17,600,985
% Habitantes	50.64	49.35	100

Fuente: INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000.
CONAPO 2002, Proyecciones Municipales de población 1995-2010.

Debido a que el proceso de fermentación carece de la generación de metano y aldehídos, las emisiones de HCT y HCNM serán iguales a la emisión de COT. La tabla A.2.44, muestra las emisiones obtenidas.

Tabla A.2.44 Factor de emisión y emisiones generadas por panaderías

Contaminante	Factor de emisión [kg/hab]	Emisiones de COT [ton/año]		
		Estado de México	Distrito Federal	ZMVM
Compuestos Orgánicos Totales	0.26389	2,352	2,292	4,644
Compuestos Orgánicos Volátiles	0.26389	2,352	2,292	4,644

Esterilización en hospitales

La emisión de COT por esterilización en hospitales fue estimada con factor de emisión[40] en función al número de camas, con la siguiente ecuación:

$$E_{COT,j} = (FE_{COT,j} * FA_j)/1000$$

Donde:
$E_{COT,j}$= Emisión de COT asociada a la unidad medica (j) [ton/año]
$FE_{COT,j}$= Factor de emisión de COT asociado al numero de camas de la unidad medica (j) [kg/cama/año], tabla A.2.45
FA_j= Numero de camas en la unidad medica (j) [cama/año], tabla A.2.46
1,000= Factor de conversión de [kg] a [ton]

39 SMA-GDF Inventario DE Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002.
40 Procedures for Estimating and Allocating Area Source missions of Air Toxics. EPA Contract No. 68-02-4254 Work Assignment No.105

Tabla A.2.45 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

El nivel de actividad fue obtenido del Directorio de Unidades Médicas 2002, de la Secretaria de Salud[41]. La base de datos presenta información sobre el número de camas del sector público y privado para el año 2002, el calculó del año 2004 se realizó como un estimado del número de camas a nivel nacional.

Tabla A.2.46 Emisión de COT generado en hospitales

Entidad	Numero de camas	Emisión de COT [ton/año]
Distrito Federal	**23513**	**17**
Estado de México	**3410**	**2**
ZMVM	**26923**	**19**

Nota: El análisis se realizo por unidad medica
Debido a que la composición de los solventes utilizados no cuenta con metano, las emisiones de HNM y HCT son iguales a la emisión de COT, igual a la emisión de COV.

A.2.6. Manejo de residuos

Rellenos sanitarios

Para el año 2004, la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal, reporta una producción *per cápita* de basura de 1.5 kg por día[42]; generándose cerca de 12 mil toneladas de residuos sólidos al día (ver tabla A.2.47) y solo el 10% es recuperado, aproximadamente el 90% es transferido a disposición final.

Tabla A.2.47 Composición de los residuos sólidos municipales

Concepto	Composición [%W]
Residuos alimenticios	31.6
Papel y Cartón	14.2
Desechos de jardinería	9.8
Metal	3.1
Vidrio	6.6
Textiles	1.2
Plástico	5.8
Otros (sin clasificar)	27.7

Fuente: Fundación de Estudios Urbanos y Metropolitanos, 2004

El metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) son los principales constituyentes de los gases que se desprenden de la degradación de residuos en un relleno sanitario, la estimación de emisiones se realiza con el modelo LANDFILL[43] y se requiere de información relacionada al sitio de disposición (tasa de aceptación anual, año de apertura, año de clausura, capacidad del sitio) como se muestra en la tabla A.2.48.

41 Recursos materiales de Instalaciones médicas del DDF, IMSS, ISSSTE, SSA y Privados http://sinais.salud.gob.mx/recursos/recursoshumanos.htm

42 Mora Reyes, 2004. Fundación de Estudios Urbanos y Metropolitanos.
43 U.S. EPA, May 1998; User's Manual Landfill Gas Emissions Model V.2.01, http:// www.epa.gov/ttn/atw/landfill/landflpg.html

Tabla A.2.48 Indicadores de actividad en rellenos sanitarios

Sitio de Disposición	Año de Apertura	Año de Clausura	Cantidad Dispuesta [ton/año]
Bordo Poniente Etapa I	1985	1992	3,323,247
Bordo Poniente Etapa II	1986	1991	3,659,368
Bordo Poniente Etapa III	1992	1994	5,819,892
Bordo Poniente Etapa IV	1995	En uso	30,002,556
Santa Catarina	1982	2001	13,153,018
Prados de la Montaña	1987	1994	5,353,270

Fuente: Secretaría de Obras y Servicios/ Dirección General de Servicios Urbanos: Manejo de Residuos Sólidos en el D.F., 2004.

Debido a que la emisión de aldehídos es despreciable, la emisión de HCT es igual a HCNM más CH_4 y la emisión de COT es igual a la emisión de HCT; por su parte, la emisión de COV es el 0.5% de COT. Los resultados de la aplicación del programa, se presentan en la tabla A.2.49.

Tabla A.2.49 Emisiones generadas por rellenos sanitarios

Entidad	Sitio de disposición	CO	CO_2	COV	COT	CH_4	HCNM	HCT
Álvaro Obregón	Prados de la montaña	17	43,670	681	16,604	15,920	684	16,604
Nezahualcóyotl	Bordo poniente Etapa 1 a Etapa 4	177	449,190	7,002	170,723	163,686	7,037	170,723
Paz, La	Santa Catarina	47	120,000	1,871	45,620	43,740	1,880	45,620
Estado de México		**224**	**569,190**	**8,873**	**216,343**	**207,426**	**8,917**	**216,343**
Distrito Federal		**17**	**43,670**	**681**	**16,604**	**15,920**	**684**	**16,604**
ZMVM		**241**	**612,860**	**9,553**	**232,947**	**223,346**	**9,601**	**232,947**

Tratamiento de aguas residuales

Para estimar las emisiones de esta categoría, se utilizó la metodología del Manual del Programa de Inventario de Emisiones para México (Radian Internacional, 1997), la cual se basa en un factor de emisión, aplicando la siguiente ecuación:

$$E_{COT} = (VART*FE_{COT})/1{,}000$$

Donde:
E_{COT}: Emisión de COT [ton/año]
VART: Volumen de agua residual tratada [l/año]
FE_{COT}: Factor de emisión COT [1.3 x 10^{-5} kg/l agua tratada-año]
1000: Factor de conversión de [kg] a [ton]

Debido a la ausencia de aldehídos, se asume que las emisiones de HCT son iguales a los COT, así mismo, la emisión de COV representan el 92% de los COT.

Para el año 2004 se estimó un nivel de tratamiento de aguas residual de 201'757,633 m^3, de los cuales el 52% fueron tratadas en las plantas de tratamiento del Distrito Federal y el 48% en el Estado de México.

Tabla A.2.50 Volumen de agua tratada y emisión de contaminantes

Entidad	VART [m^3/año]	COT [ton/año]	COV [ton/año]
Distrito Federal	**96,864,087**	**1,401**	**1,289**
Estado de México	**104,893,546**	**1,225**	**1,127**
ZMVM	**201,757,633**	**2,626**	**2,416**

Fuente: Comisión Nacional del Agua, Gerencia Nacional de Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. Julio 2004. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
VART: Volumen de Agua Residual Tratada.

Incendios en estructuras

Los incendios en estructuras en casa habitación, hoteles, departamentos y comercios, entre otros, son considerados como fuentes de contaminación por combustión, a diferencia de muchas otras, estos son involuntarios y la cantidad de material consumido puede ser difícil de determinar. Para la estimación de 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.

$$Ei = (Fei * (I * \%W * (MI + MC)) / 1{,}000$$

Donde:
Ei= Emisión del contaminante (i) [kg/año]
FEi= Factor de emisión del contaminante (i) [kg/Mg], tabla A.2.51
I= Número de incendios por año [año], tabla A.2.52
%W= Promedio porcentual de perdida estructural [7.3%]
MI= Cantidad de Material contenido en el Inmueble [Mg], tabla A.2.53
MC= Cantidad de material estructural [Mg], tabla A.2.53

Los factores de emisión por contaminante se reportan en la tabla A.2.51 y el número de incendios[44] se presentan en la tabla A.2.52. La emisión de partículas menores a 2.5 micrómetros representan el 91.4% de las PM_{10} y la emisión de aldehídos el 2% de las emisiones de COT (Radian Internacional, 1997).

Tabla A.2.51 Factores de Emisión para incendios en estructura

Factor de emisión (Fi) [kg/Mg]		
PM	84	Factor de emisión obtenido a partir de pruebas como modelo en la quema de madera en el interior de edificios.
CO	5.4	
COT	6.95	
COV	4.85	
NOx	2	Factor de emisión, propuesto por el AP-42 y considerado como similar para residuos municipales e incendios estructurales

44 Secretaría de Seguridad Publica, Dirección General del Heroico Cuerpo de Bomberos, 2004.

Tabla A.2.52 Número de incendios en estructuras por entidad federativa

Lugar	Distrito Federal*	Estado de México**
Asentamientos irregulares	11	11
Bancos	2	2
Casa particular	861	884
Casa vecindad	56	57
Centros culturales	125	128
Comercios	201	206
Edificios de departamentos	433	444
Edificios públicos	46	47
Escuelas	46	47
Fábricas / industrias	81	83
Hospitales	15	15
Hoteles	9	9
Iglesias	6	6
Instalaciones de F.F.C.C.	4	4
Mercados	53	54
Panteones	34	35
Predio baldío	897	920
Reclusorios	8	8
Talleres	22	23
Terrenos de gobierno	29	30
Vía publica	1,755	1,801
Total	**3,438**	**3,526**

Fuente: Dirección General del Heroico Cuerpo de Bomberos, 2004.
** Obtenido con la cantidad de incendios y habitantes.

Se debe estimar el porcentaje promedio de perdida estructural 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 construcción.[45]

En California el porcentaje de perdida estructural se ha estimado en 7.3% este dato puede ser utilizado como default, siendo deseable una estimación especifica para la ZMVM. Ha diferencia de Estados Unidos, en México los materiales de construcción generalmente son de mampostería y metales, en menor cantidad se requiere del uso de madera, por lo tanto el material estructural combustible se considera como cero. La tabla A.2.54 muestra las emisiones estimadas del sector.

45 Superintendente Agustín Aguilar López, Jefe del Heroico Cuerpo de Bomberos

Tabla A.2.53 Material estructural presente en interior de casa habitación

Estructura	MC [Mg]	MI [Mg]
Casa particular	0	3.249
Casa vecindad	0	1.218
Edificios de departamentos	0	2.031
Predio baldío, casas, construcción abandonada	0	4.061
Edificios públicos	0	24.368
Comercios	0	1.625
Fábricas / industrias	0	20.307
Asentamiento irregular	0	8.123
Bancos	0	4.061
Escuelas	0	48.736
Hospitales	0	60.920
Iglesias	0	9.747
Hoteles	0	19.494
Talleres	0	1.625
Mercados	0	24.368
Reclusorios	0	12.184
Centros culturales	0	3.249

Fuente: Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México: Volumen V- Desarrollo de Inventario de Emisiones de Fuentes de Área.

MC: Material de construcción contenido; MI: Cantidad de Material combustible contenido en el inmueble

Tabla A.2.54 Emisiones estimadas en incendios estructurales

Entidad	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	COT	HCNM	HCT	Aldehídos
Distrito Federal	14	12	N/E	214	5	12	18	17	17	0.35
Estado de México	14	13	N/E	220	5	12	18	18	18	0.36
ZMVM	28	25	N/E	434	10	24	36	35	35	0.72

N/E: No estimado

Incendios Forestales

El calculó de emisiones por incendios forestales, se realizó con la siguiente ecuación:

$$E_{ij} = FE_{ij} * L * C * A$$

Donde:
E_{ij}= Emisiones del contaminante (i) por la vegetación (j)
FE_{ij}= Factor de emisión del contaminante (i) para la vegetación (j) [g/kg]
L= Carga de combustible [kg/ha]
C= Porcentaje de combustible consumido en el incendio
A= Superficie quemada [ha]
i= Tipo de contaminante

A cada contaminante le corresponde un factor de emisión ($FE_{i,J}$) por tipo de vegetación quemada, el cual se obtiene utilizando la siguiente tabla de algoritmos “tabla A.2.55:

Tabla A.2.55 Algoritmo para la estimación de factores de emisión por incendios forestales [g/kg]

Contaminante	Algoritmo (FE_{ij})
CO	961-(η*984)
CH_4	42.7-(η*43.2)
HCNM	0.76+(FE_{CH4}*0.616)
HCT	$FE_{[CH4]}$+FE_{NMHC}
PM_{10}	1.18*FE_{PM25}
NOx	2.5 forestal y 3.5 pastos
NH_3	0.0073*CO
SO_2	0.83

Debido a que no se cuenta con información para separar las fases de combustión, se considero la eficiencia promedio de combustión por tipo de vegetación afectada; por su parte, la carga de combustible (L) es un estimado en base seca “tabla A.2.56”. La carga de combustible (C) supone que el 100% es consumido, por lo tanto (C=1).

Tabla A.2.56 Eficiencia de combustión, factor de emisión de $PM_{2.5}$ y carga de combustible

Vegetación	Carga de combustible [L] [kg/ha]	Factor de Emisión de $PM_{2.5}$ [g/Kg.]	Eficiencia de combustión [η]
Cola de antílope-pasto	2,317	6.99	0.90
Roble -pino	2,317	6.95	0.90
Bosque de roble azul	819	8.09	0.89
Mezquite	2,396	6.99	0.90
Pino-arbusto	7,649	8.26	0.89
Pino-pastizal	5,951	9.45	0.87
Abeto	7,968	9.28	0.87

Fuente: AP-42 (US EPA, 1996), Thompson G. Pace (200246)

La base de datos sobre el número de incendios forestales en la ZMVM es proporcionada por la CORENADER[47] (Distrito Federal) y por la CONAFOR[48] (EDOMEX), obteniendo una cobertura digital de incendios forestales sobre el mapa de vegetación (SEMARNAT, 2000[49]) para la ZMVM. La tabla A.2.57. muestra las emisiones estimadas por entidad federativa en la ZMVM.

Tabla A.2.57 Emisiones estimadas por incendios forestales

Entidad	Emisiones [ton/año]										
	PM_{10}	PM_{25}	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3	HCNM	HCT
Distrito Federal	49	40	5	438	16	30	21	14	2	9	28
Estado de México	8	7	N/S	87	2	5	5	2	N/S	1	5
ZMVM	57	47	5	525	18	35	26	16	2	10	33

N/S: No Significativo

Emisiones domésticas de amoniaco

el amoniaco 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 y sulfatos o con otros aniones para formar material particulado, siendo este uno de los principales problemas ambientales de la ZMVM[50].

Las actividades a inventariar en esta categoría son:

- Respiración y transpiración humana
- Desechos de perros y gatos
- Uso doméstico de amoniaco
- Humo de cigarrillos
- Pañales desechables
- Desecho humano

46 US EPA, February 2002. Thompson G. Pace, 2002. Development of Emissions Inventory Methods for Wild land Fire. Final Report
47 Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural del Distrito Federal, 2004.
48 Comisión Nacional Forestal, 2004.
49 Inventario Nacional Forestal 2000.
50 CENR, 2000.

En general la estimación de emisiones se realiza con un factor de emisión y el nivel de actividad, como se muestra en la tabla A.2.58.

Tabla A.2.58 Información para el calculó de amoniaco por fuentes domésticas

Tipo de fuente	Factor de Emisión [FE]	Fórmula de calculó	Información requerida
Perros *	2.49 kg/cabeza/año	E = P*PM*FE	PM= 122 perros/1,000 habitantes
Gatos*	0.82 kg/cabeza/año	E = P*PM*FE	PM= 83 gatos/1,000 habitantes
Ratas	130 mg/cabeza/año	E = P*PM*FE	PM= 1.4 ratas/ habitante
Transpiración humana	0.25 kg/persona/año	E = P*FE	P= población
Respiración humana	1.6E-3 kg/persona/año	E = P*FE	P= población
Desechos humano	2.3E-2 kg/persona/año	E = P*FE	P= población
Uso doméstico de amoniaco	2.3E-2 kg/persona/año	E = P*FE	P= población
Pañales (desechables)	0.16 kg/infante/año	E = PI*FE	PI= infantes menores de 3 años
Cigarrillos	5.2 mg/cigarrillo	E= C*FE	C= número de cigarrillos
Alcantarillas**	80.4 g/persona/año	E = FE*P	P= población

Fuente: Programa de Inventario de Emisiones para México.

*(USDA-ARS, 200251) Las emisiones de amoniaco 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.

**(IMP, 1998) Inventario de Amoniaco para la Zona Metropolitana del Valle de México.

La población utilizada es una estimación correspondiente al año 2004[52], para el calculó de emisiones de perros y gatos, se utilizo el factor per cápita de mascotas, recomendado para áreas urbanas de USA; la estimación de amoniaco por consumo de cigarrillos, se realizo considerando a la población de fumadores y el número de cigarrillos consumidos por edad y sexo[53]. La tabla A.2.59, muestra la cantidad de amoniaco estimado por actividad.

Tabla A.2.59 Emisiones de amoniaco por fuentes domésticas

Fuentes Domésticas	Emisiones [ton/año]		
	Distrito Federal	Estado de México	ZMVM
Perros	2,639	2,708	5,347
Gatos	591	607	1,198
Ratas	2	2	4
Transpiración humana	2,172	2,229	4,401
Respiración humana	14	14	28
Desechos humano	200	205	405
Uso doméstico de amoniaco	200	205	405
Pañales (desechables)	95	113	208
Cigarrillo	59	55	114
Alcantarillas	698	717	1,415
Total	**6,670**	**6,855**	**13,525**

51 United States Department of Agriculture-Agricultural Research Services. National Programs

52 Secretaría del Medio Ambiente del GDF. Dirección de Inventario de Emisiones y Fuentes Estacionarias, población estimada con base en el Censo de Población y Vivienda 1995 y 2000 de INEGI.

53 SSA-COANDIC, 2002. Secretaría de Salud - Consejo Nacional Contra las Adicciones. Encuesta Nacional de Adicciones 2002.

Caminos pavimentados

La cantidad de material particulado por el paso de la flota vehicular en caminos pavimentados se estimó por medio de la siguiente ecuación[54]:

$$E = FE_i * VKT$$

Donde:
E_i= Emisión de material particulado PM_{10} "o" $PM_{2.5}$ [g]
FE_i= Factor de emisión de PM_{10} "o" $PM_{2.5}$ de la flota vehicular [g/km]
VKT= Kilómetros recorridos totales de la flota vehicular
El factor de emisión de PM_{10} "o" $PM_{2.5}$ se calculó con la siguiente expresión: [55]

$$FE_i = [(k_i\ (sL/2)^{0.65}\ (W/3)^{1.5}) - C]\ [1- (P/4N)]$$

Donde:
FE_i= Factor de emisión para PM_{10} "o" $PM_{2.5}$ [g/VKT]
k_i= Factor de emisión para PM_{10} [1.1 g/VKT] "o" $PM_{2.5}$ [4.6 g/VKT][55]
sL= Carga de material [g/m^2], tabla A.2.60
W= peso promedio de la flota vehicular [1.94 ton][59]
P= número de días con al menos 0.254 mm de precipitación pluvial (Tabla A.2.6.1)
N= número de días del periodo a inventariar (Tabla A.2.6.2)
C= factor de emisión por escape, frenos y llantas, para una flota vehicular de 1980, para PM_{10} [0.1698 g/VKT] "o" $PM_{2.5}$ [0.1342 g/VKT][56]

La *carga de material (sL),* se define como la masa de material igual o menor a 75 µm de diámetro por unidad de área en la superficie del camino pavimentado, sus valores más representativos en ausencia de datos locales, son los reportados por el California Aire Resources Board 1997[57,58] y fueron seleccionados en función a los aforos realizados en la ZMVM, donde se sabe que sobre la red vial terciaria o local circulan en promedio menos de 500 vehículos por día (tránsito escaso), mientras que sobre la red primaria y secundaria circulan en promedio 500 o más de 10,000 vehículos diarios (como transito intenso) "tabla A.2.60".

Tabla A.2.60 Valores de carga de material (sL)

Caminos con tránsito intenso [g/m^2]	Caminos con tránsito escaso [g/m^2]
0.035	0.32

Fuente: Improved Activity Levels for National Emission Inventory of Fugitive Dust from Paved and Unpaved Roads.

54 U.S. EPA. AP-42: Cap. 13.2.1 Paved Roads.
55 U.S. EPA, AP-42: Particle Size Multipliers for Paved Road Equation
http://www.marama.org/visibility/Calculótion_Sheets/Paved_Roads_newAP42Dec04.doc
56 El factor de emisión (C) por emisiones de escape, frenos y llantas, se obtiene con la aplicación del modelo MOBILE 6 México para una flota vehicular de 1980.
57 California Air Resources Board, 1997 (CARB 1997). Entrained Paved Road Dust
http://www.arb.ca.gov/emisinv/areasrc/onehtm/one7-9.htm
58 Improved Activity Levels for National Emission Inventories of Fugitive Dust from Paved and Unpaved Roads.

Tabla A.2.61 Días con más de 0.254 mm de precipitación

Delegación	Fría	Lluvias	Secas
Alvaro Obregón	9	112	32
Azcapotzalco	7	99	29
Benito Juárez	4	94	27
Coyoacan	9	97	35
Cuajimalpa	12	123	35
Cuauhtemoc	8	85	29
Gustavo A. Madero	8	103	35
Iztacalco	7	84	31
Iztapalapa	11	112	39
Magdalena Contreras	12	117	33
Miguel Hidalgo	6	99	27
Milpa Alta	9	106	25
Tlahuac	12	109	31
Tlalpan	13	127	37
Venustiano Carranza	8	83	5
Xochimilco	11	86	28
Atizapan z.	0	1	10
Chalco	9	8	15
Chalco Solidaridad	7	62	14
Chicoloapan	9	8	15
Chimalhuacan	5	1	8
Coacalco	8	112	33
Cuautitlan	0	1	5
Cuautitlan Izcalli	0	1	9
Ecatepec	0	0	5
Huixquilucan	7	99	18
Ixtapaluca	9	0	15
La Paz	10	70	20
Naucalpan	10	105	29
Nezahualcoyotl	7	70	20
Nicolas Romero	0	1	13
Tecamac	5	0	4
Tlalnepantla	8	112	33
Tultitlan	8	112	33

Tabla A.2.62 Duración en días por temporada climática (N)

Temporada	Días
Fría	121
Lluvia	152
Seca	92

El *peso promedio de la flota vehicular* (W)[59] se calculó con el peso promedio y los kilómetros recorridos por categoría de vehículo (KRV)[60], obteniendo un peso promedio para la flota vehicular que circula en la ZMVM de 1.94 toneladas, Tabla A.2.61.

Tabla A.2.63 KRV totales de la ZMVM, 2004

Tipo de Vehículo	KRV	% KRV	Peso [ton]	Peso promedio de la flota
Autos particulares	44,693,609,294	0.67	1.319	0.8892
Taxis	7,636,194,000	0.12	0.894	0.1030
Combis*	1,252,167,400	0.02	1.44	0.0272
Microbuses*	2,098,216,600	0.03	3.8549	0.1220
Pick-up*	3,245,790,940	0.05	1.8	0.0881
Camiones < 3 ton*	3,576,625,236	0.05	2.9	0.1565
Tractocamiones*	1,731,764,040	0.03	12	0.3135
Autobuses*	930,956,802	0.01	7.5	0.1053
Camiones de más 3 ton*	1,129,894,620	0.02	8	0.1363
Total	**66,295,218,932**	**1.00**	**40**	**1.9411**

* Se toma el total de KRV para pavimentados

Para separar los KRV por tipo de camino (intenso, escaso) se asume que:

- A excepción de los autos particulares y taxis el resto de las categorías (tipo de vehículos) realizan su recorrido sobre caminos pavimentados.
- Todo conductor accede a una vialidad primaria o secundaría (se midieron 600 tramos de vialidad, partiendo de una zona habitacional a una vialidad primaria o secundaria, para obtener su valor promedio de KRV.[61]

La Tabla A.2.64, muestra el por ciento de recorrido sobre vialidades con tránsito escaso e intenso por entidad federativa.

Tabla A.2.64 Porcentaje de KRV en vialidades de tráfico intenso y escaso

Tipo de holograma	Distrito Federal		Estado de México	
	% Intenso	% Escaso	% Intenso	% Escaso
0 y 00	0.974	0.026	0.935	0.065
1	0.961	0.039	0.902	0.098
2	0.962	0.038	0.906	0.094
Taxis	0.974	0.026	0.935	0.065

Para la obtención del numero de días con más de 0.254 mm de precipitación pluvial por entidad federativa se requirió de la base de datos de *precipitación pluvial* [62]. La tabla A.2.65. muestra las emisiones anuales estimadas del sector.

Tabla A.2.65 Emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en caminos pavimentados

Entidad	Pavimentados	
	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Distrito Federal	527	25
Estado de México	996	66
ZMVM	**1,523**	**91**

59 La ecuación está diseñada para trabajar con el peso promedio de todos los vehículos que transitan el camino, no calculó un factor de emisión por tipo de vehículo.
60 Inventario de Fuentes Móviles 2004.
61 Realizado con SIG, Sistema de información geográfica en Arc View.
62 Subdirección de Meteorología de la SMA con datos de: DGCOH del Gobierno del Distrito Federal.

Caminos no pavimentados

Las partículas que se forman cuando un vehículo pasa sobre un camino no pavimentado, son arrastradas y arrojadas por el rodamiento de las llantas y por la turbulencia que se produce en la superficie del camino, la turbulencia se debilita en la parte trasera del vehículo y continúa actuando en la superficie del camino después de que el vehículo ha pasado.

La cantidad de material particulado por el paso de la flota vehicular en caminos no-pavimentados se estimó por medio de la siguiente ecuación[63]:

$$E = FE_i * VKT$$

Donde:
E_i= Emisión de material particulado PM_{10} "o" $PM_{2.5}$ [g]
FE_i= Factor de emisión de PM_{10} "o" $PM_{2.5}$ de la flota vehicular [g/km]
VKT= Kilómetros recorridos totales de la flota vehicular

El factor de emisión de PM_{10} "o" $PM_{2.5}$ se calculó con la siguiente expresión:[64]

$$FE_i = [((k\ (s/12)^{0.97}\ (S/30)^{0.46}) / (M/0.5)^{0.23}))-C] * [(N-p)/N]$$

Donde:
FE_i= Factor de emisión para PM_{10} "o" $PM_{2.5}$ [g/VKT]
k= Factor de emisión para PM_{10} [507.42 g/VKT] "o" $PM_{2.5}$ [76.11 g/VKT][65]
sL= carga de material [6%][66]
S= velocidad promedio vehicular [16 km/h][67]
M= contenido de humedad del material en la superficie (Tabla A.2.66)
N = número de días del periodo
p= número de días con más de 0.254 mm de precipitación (Tabla A.2.6.1)
C= factor de emisión por escape, frenos y llantas, para una flota vehicular de 1980, para PM_{10} [0.1698 g/VKT] "o" $PM_{2.5}$ [0.1342 g/VKT][68]

El valor de humedad de la superficie del suelo (M) proviene de la variable SOILM del modelo meteorológico MM5 y localizada sobre caminos sin pavimentar de la ZMVM.

63 U.S. EPA. AP-42: Cap. 13.2.1 Paved Roads.
64U.S. EPA. Unpaved Road Area Source Category Calculótion Methodology Sheet
http://www.marama.org/visibility/Calculótion_Sheets/UnpavedRoads_newAP42.pdf
65 U.S. EPA, AP-42: Particle Size Multipliers for Paved Road Equation
http://www.marama.org/visibility/Calculótion_Sheets/Paved_Roads_newAP42Dec04.doc
66 SEMARNAT-INE, 2003. Inventario Nacional de Emisiones de México 1999 (Factor local).
67 U.S. EPA 2003, El rango para la velocidad promedio en los camino no pavimentados (S), va de 16 a 88 [km/h]; sin embargo, se utilizó la velocidad de 16 km/h, ya que en los caminos sin pavimentar, se transita a velocidades mínimas.
68 El factor de emisión (C) por emisiones de escape, frenos y llantas, se obtiene con la aplicación del modelo MOBILE 6 México para una flota vehicular de 1980.

Tabla A.2.66 Porcentaje de humedad del material de la superficie

Delegación	Fría	Lluvias	Secas
Álvaro Obregón	12.36	25.00	19.70
Azcapotzalco	0.00	0.00	0.00
Benito Juárez	0.00	0.00	0.00
Coyoacán	0.00	0.00	0.00
Cuajimalpa	12.21	24.60	21.24
Cuauhtémoc	0.00	0.00	0.00
Gustavo A. Madero	3.65	5.79	18.27
Iztacalco	0.00	0.00	0.00
Iztapalapa	1.97	17.48	9.45
Magdalena Contreras	15.76	27.11	23.10
Miguel Hidalgo	3.51	11.48	0.00
Milpa Alta	8.93	18.80	16.11
Tláhuac	2.45	14.96	5.31
Tlalpan	11.44	27.43	17.70
Venustiano Carranza	0.00	0.00	0.00
Xochimilco	3.62	18.30	9.53
Atizapán de Z.	5.70	5.72	10.03
Chalco	6.09	6.54	14.07
Chalco Solidaridad	3.63	7.03	3.35
Chicoloapan	1.39	5.45	5.48
Chimalhuacán	1.42	6.51	8.12
Coacalco	11.34	10.03	6.58
Cuautitlán	2.65	5.33	4.80
Cuautitlan Izcalli	2.09	7.60	9.40
Ecatepec	4.48	7.38	8.70
Huixquilucan	6.41	25.05	22.93
Ixtapaluca	5.36	5.68	18.07
La Paz	1.48	7.91	4.23
Naucalpan	6.56	25.00	12.78
Nezahualcoyotl	1.69	7.00	4.90
Nicolás Romero	9.39	10.25	13.15
Tecámac	3.39	5.04	5.67
Tlalnepantla	2.93	10.00	13.72
Tultitlán	2.93	10.00	13.72

Para calcular los KRV en caminos no pavimentados, se utilizó la cartografía digital[69] de vialidades y se obtuvo la fracción que representan los caminos de terrecería por entidad y municipio de la ZMVM, se asume que este valor es el porcentaje de KRV en tráfico escaso.

69 SETRAVI, 2001; PNUMA, 2001 y SIGSA, 2002.

Tabla A.2.67 Porcentaje de terracería por delegación y municipio

Delegación	%	Municipio	%
Álvaro Obregón	4.7	Atizapán de Z..	59.88
Azcapotzalco	0.0	Chalco	83.62
Benito Juárez	0.0	Chalco Solidaridad	11.75
Coyoacán	0.0	Chicoloapan	56.39
Cuajimalpa	12.7	Chimalhuacán	64.03
Cuauhtémoc	0.0	Coacalco	30.60
Gustavo A. Madero	0.2	Cuautitlán	64.18
Iztacalco	0.0	Cuautitlán Izcalli	50.61
Iztapalapa	0.5	Ecatepec	36.80
Magdalena Contreras	5.7	Huixquilucan	64.54
Miguel Hidalgo	0.0	Ixtapaluca	78.16
Milpa Alta	13.9	La Paz	36.26
Tláhuac	7.0	Naucalpan	45.13
Tlalpan	6.6	Nezahualcoyotl	29.43
Venustiano Carranza	0.0	Nicolás Romero	82.84
Xochimilco	3.3	Tecámac	63.55
		Tlalnepantla	18.65
		Tultitlán	7.56

En el caso del Estado de México, además de lo anterior, considera el promedio porcentual (12%) de viajes realizados dentro y entre los municipios[70] en un camino sin pavimentar. La tabla A.2.64, muestra las emisiones estimadas en caminos no-pavimentados.

Tabla A.2.68 Emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ en caminos no pavimentados

Entidad	No pavimentados	
	PM_{10}	$PM_{2.5}$
Distrito Federal	866	131
Estado de México	7,889	1,231
ZMVM	**8,755**	**1,362**

70 SETRAVI, 2002. Programa Integral de Transporte y Vialidad, 2001-2006.

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

Tipo de Vehículo	Número de Vehículos				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos Particulares[1,2,3,9]	2,963,103	219	3,918	653	**2,967,893**
Taxis[4,5]	118,585	-	40	9	**118,634**
Combis[4,5]	19,446	1	37	1	**19,485**
Microbuses[3,4,8]	20,310	90	11,697	954	**33,051**
Pick Up[1,2,3]	126,908	67	1,303	3	**128,281**
Vehículos ≤ 3 Toneladas[3,4,8]	81,976	95,807	13,491	134	**191,408**
Tractocamiones[3,7]	36	82,990	7	1	**83,034**
Autobuses[3,4,6,7]	89	32,459	17	-	**32,565**
Vehículos > 3 Toneladas[3,9]	38,503	10,443	8,462	505	**57,913**
Motocicletas[4,5,10]	127,454	-	-	-	**127,454**
Total	**3,496,410**	**222,076**	**38,972**	**2,260**	**3,759,718**

1 Consultas a la base de datos del PVVO del año 2002, DIP/DGGAA/SMA-GDF.
2 Consultas a la base de datos del PVVO del año 2003, DIP/DGGAA/SMA-GDF.
3 Consultas a la base de datos del PVVO del año 2004, DIP/DGGAA/SMA-GDF.
4 Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2002-2003, SETRAVI.
5 Dirección General de Transporte Terrestre, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Gobierno del Estado de México, 2001.
6 Red de Transporte de Pasajeros del Distrito Federal, 2005.
7 Estadística Básica del Autotransporte Federal 2004, SCT.
8 SMA/DGGAA/DIP/SPFM/JUD Políticas de Fuentes Móviles, 2005.
9 Presentación: "La experiencia del GNC en México, DGGAA, DIP, Enero de 2002.
10 Anuarios de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 1995-1996, 1997, 1998-1999, 2000 y 2001. SETRAVI.
N/A: No Aplica.

El parque vehicular que circula en la ZMVM tiene un rango de antigüedad de más de 30 años y debido a las necesidades de los modelos MOBILE-México fue necesario acotar la clasificación a 25 años modelo (Tabla A.3.1) excepto las motocicletas, las cuales únicamente se distribuyen en 12 años, desde 1993 y anteriores hasta 2004. 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 tipo de combustible, por lo cual las tablas aquí presentadas son los totales de las sub-clasificaciones que se utilizaron para estimar las emisiones[1].

1 Los archivos desagregados de la flota por holograma del PVVO y por combustible están 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
1980 y ant.	255,453	54	749	1,406	14,274	19,710	20,458	1,599	8,431	N/A	**322,134**
1981	54,986	27	352	276	3,592	3,684	4,430	632	1,569	N/A	**69,548**
1982	54,671	35	545	258	3,915	3,679	2,800	462	1,723	N/A	**68,088**
1983	32,051	29	285	118	2,108	1,210	1,010	161	576	N/A	**37,548**
1984	39,563	28	416	122	2,261	2,468	1,736	372	652	N/A	**47,618**
1985	48,926	71	615	274	3,154	3,857	2,577	541	1,386	N/A	**61,401**
1986	46,398	90	700	199	3,410	2,998	1,692	468	1,027	N/A	**56,982**
1987	34,885	50	585	180	3,248	1,961	1,484	234	644	N/A	**43,271**
1988	50,116	212	454	344	5,078	2,438	1,831	280	1,009	N/A	**61,762**
1989	72,097	332	866	1,257	6,210	5,421	2,261	451	1,599	N/A	**90,494**
1990	91,723	1,235	1,245	4,571	6,143	10,560	2,085	1,085	2,303	N/A	**120,950**
1991	104,666	4,649	1,438	8,965	7,423	13,745	3,142	1,596	3,697	N/A	**149,321**
1992	114,670	9,337	2,448	9,468	6,319	10,440	3,247	2,003	3,919	N/A	**161,851**
1993	113,230	10,002	1,894	1,338	6,003	11,753	3,109	2,571	3,285	36,586	**189,771**
1994	111,062	12,672	881	463	4,802	11,327	2,934	1,663	2,656	5,415	**153,875**
1995	69,008	5,236	961	300	2,156	7,754	1,780	672	1,690	6,599	**96,156**
1996	48,145	2,373	274	122	1,779	3,164	697	376	875	10,818	**68,623**
1997	90,607	4,981	354	375	3,492	9,553	2,294	966	1,797	11,420	**125,839**
1998	163,682	8,640	407	397	4,904	7,164	2,823	1,241	2,159	12,613	**204,030**
1999	146,573	7,930	344	407	3,896	11,404	3,081	1,298	3,299	5,073	**183,305**
2000	194,711	9,098	656	478	5,393	11,811	3,884	2,646	2,940	4,151	**235,768**
2001	243,959	13,566	649	530	5,649	12,599	4,490	3,843	2,974	6,459	**294,718**
2002	255,942	10,852	704	562	7,574	12,114	2,548	2,758	2,706	9,447	**305,207**
2003	275,255	9,828	954	408	9,247	6,784	2,795	2,453	2,575	9,370	**319,669**
2004	255,514	7,307	709	233	6,251	3,810	3,846	2,194	2,422	9,503	**291,789**
Total	**2,967,893**	**118,634**	**19,485**	**33,051**	**128,281**	**191,408**	**83,034**	**32,565**	**57,913**	**127,454**	**3,759,718**

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
1980 y ant.	117,073	9	21	53	2,317	8,550	15,810	1,317	619	N/A	**145,769**
1981	25,769	0	33	11	710	1,587	3,419	551	142	N/A	**32,222**
1982	25,721	9	40	15	796	1,585	2,153	403	130	N/A	**30,852**
1983	15,324	0	18	12	452	595	781	140	52	N/A	**17,374**
1984	18,892	0	29	19	470	1,829	1,340	329	107	N/A	**23,015**
1985	23,618	0	47	41	615	2,508	1,991	486	273	N/A	**29,579**
1986	22,977	18	73	51	664	2,037	1,312	422	223	N/A	**27,777**
1987	17,137	9	95	67	613	1,402	1,152	211	141	N/A	**20,827**
1988	24,961	27	61	138	998	1,484	1,418	246	230	N/A	**29,563**
1989	37,930	64	148	746	1,276	4,074	1,750	403	441	N/A	**46,832**
1990	50,487	897	312	3,635	1,369	8,920	1,593	996	861	N/A	**69,070**
1991	59,362	4,218	415	7,432	1,633	11,335	2,414	1,443	1,309	N/A	**89,561**
1992	66,361	8,789	876	7,530	1,349	7,657	2,502	1,782	1,327	N/A	**98,173**
1993	70,626	9,373	549	841	1,458	9,331	2,366	2,302	1,209	29,523	**127,578**
1994	73,574	11,807	230	183	1,287	9,562	2,238	1,455	1,106	5,155	**106,597**
1995	48,283	4,723	220	67	785	6,665	1,356	591	735	6,318	**69,743**
1996	34,790	2,190	67	42	746	2,690	523	318	329	10,628	**52,323**
1997	67,198	4,375	70	115	1,385	8,608	1,747	815	936	11,109	**96,358**
1998	124,624	7,630	98	147	2,258	6,039	2,160	1,103	1,060	12,072	**157,191**
1999	113,469	7,058	92	84	1,996	9,922	2,358	1,094	1,775	5,003	**142,851**
2000	152,263	8,347	111	111	2,887	10,310	2,985	2,335	1,541	3,770	**184,660**
2001	183,334	12,120	87	57	2,952	10,986	3,417	3,501	1,356	6,459	**224,269**
2002	186,685	9,371	69	54	4,873	10,581	1,935	2,504	1,362	9,066	**226,500**
2003	200,670	8,990	97	37	6,228	4,981	2,047	2,183	1,012	8,949	**235,194**
2004	163,153	6,618	46	14	3,171	2,262	2,871	1,652	529	9,383	**189,699**
Total	**1,924,281**	**106,642**	**3,904**	**21,502**	**43,288**	**145,500**	**63,638**	**28,582**	**18,805**	**117,435**	**2,473,577**

N/A: No Aplica

Tabla A.3.4 Distribución de la flota vehicular por año modelo en el Estado de México

Año Modelo	Número de Vehículos										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V ≤ 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1980 y ant.	138,380	45	728	1,353	11,957	11,160	4,648	282	7,812	N/A	**176,365**
1981	29,217	27	319	265	2,882	2,097	1,011	81	1,427	N/A	**37,326**
1982	28,950	26	505	243	3,119	2,094	647	59	1,593	N/A	**37,236**
1983	16,727	29	267	106	1,656	615	229	21	524	N/A	**20,174**
1984	20,671	28	387	103	1,791	639	396	43	545	N/A	**24,603**
1985	25,308	71	568	233	2,539	1,349	586	55	1,113	N/A	**31,822**
1986	23,421	72	627	148	2,746	961	380	46	804	N/A	**29,205**
1987	17,748	41	490	113	2,635	559	332	23	503	N/A	**22,444**
1988	25,155	185	393	206	4,080	954	413	34	779	N/A	**32,199**
1989	34,167	268	718	511	4,934	1,347	511	48	1,158	N/A	**43,662**
1990	41,236	338	933	936	4,774	1,640	492	89	1,442	N/A	**51,880**
1991	45,304	431	1,023	1,533	5,790	2,410	728	153	2,388	N/A	**59,760**
1992	48,309	548	1,572	1,938	4,970	2,783	745	221	2,592	N/A	**63,678**
1993	42,604	629	1,345	497	4,545	2,422	743	269	2,076	7,063	**62,193**
1994	37,488	865	651	280	3,515	1,765	696	208	1,550	260	**47,278**
1995	20,725	513	741	233	1,371	1,089	424	81	955	281	**26,413**
1996	13,355	183	207	80	1,033	474	174	58	546	190	**16,300**
1997	23,409	606	284	260	2,107	945	547	151	861	311	**29,481**
1998	39,058	1,010	309	250	2,646	1,125	663	138	1,099	541	**46,839**
1999	33,104	872	252	323	1,900	1,482	723	204	1,524	70	**40,454**
2000	42,448	751	545	367	2,506	1,501	899	311	1,399	381	**51,108**
2001	60,625	1,446	562	473	2,697	1,613	1,073	342	1,618	0	**70,449**
2002	69,257	1,481	635	508	2,701	1,533	613	254	1,344	381	**78,707**
2003	74,585	838	857	371	3,019	1,803	748	270	1,563	421	**84,475**
2004	92,361	689	663	219	3,080	1,548	975	542	1,893	120	**102,090**
Total	**1,043,612**	**11,992**	**15,581**	**11,549**	**84,993**	**45,908**	**19,396**	**3,983**	**39,108**	**10,019**	**1,286,141**

N/A: No Aplica.

A.3.2 Actividad Vehicular

Otro aspecto indispensable para estimar las emisiones por fuentes móviles son los datos de actividad, los cuales deben ser representativos para cada tipo de vehículo. En el caso del los autos particulares, la actividad fue obtenida para cada tipo de holograma a partir de la base de datos del Programa de Verificación Vehicular Obligatorio (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

Para los otros tipos de vehículos considerados por el PVVO se aplicaron los datos de actividad mostrados en la tabla siguiente, los cuales son reportados por el PVVO y la COMETRAVI en diversos estudios realizados para la ZMVM.

Tabla A.3.6 Actividad de la flota vehicular 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 de Uso Intensivo	60	N/A	365	313	313
Autobuses	Concesionados	223	N/A	365	313	313
Taxis	Taxis	200	N/A	365	313	313
Combis	Combis de Transporte de Pasajeros	200	N/A	365	313	313

- Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos, COMETRAVI, 1997.
- Programa de Verificación Vehicular Obligatorio.

La actividad de la flota vehicular que cuenta con un solo tipo de holograma, fue distribuida en 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 de la flota vehicular que cuenta con un solo tipo de holograma

Clasificación Final	Tipo de Vehículo	Km/día	Días/año
Vehículos ≤ 3 Ton	Vehículos ≤ 3 Ton	60	365
Vehículos > 3 Ton	Autotransporte Federal de Carga	60	365
	Servicio Privado de Autotransporte	60	365
Autobuses	Autobuses Red de Transporte de Pasajeros (día hábil)	223	255
	Autobuses Red de Transporte de Pasajeros (día inhábil)	241	110
	Autotransporte Federal de Turismo	60	365
	Autotransporte Federal de Pasaje	48	365
Motocicletas	Motocicletas	79	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, 2005.

Con los datos del recorrido diario, los días que circularon los vehículos durante el año 2004 y el número de vehículos de acuerdo a la distribución por año modelo; 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 al día 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 1980 y anteriores, que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma dos del PVVO.

Los datos que se requieren son los siguientes:

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} [#]	116,151	Número de vehículos correspondiente a los autos particulares año modelo 1980 y anteriores, que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma *dos* del PVVO en el Distrito Federal. Por lo cual es un valor menor al que aparece en la celda sombreada de la tabla A.3.3	79,760	Número de vehículos correspondiente a los autos particulares año modelo 1980y anteriores, que utilizan gasolina y obtuvieron el holograma *dos* del PVVO en el Estado de México. Por lo cual es un valor menor al que aparece en la celda sombreada de la tabla 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
$KRV_{AUTG\ 1980\ y\ ant.}$ = (25)(116,151)(313) = 908’881,575 km/año

Estado de México
$KRV_{AUTG\ 1980\ y\ ant.}$ = (25)(79,760)(313) = 624’122,000 km/año

Al aplicar la ecuación anterior por holograma, uso del vehículo (particular o intensivo), tipo de vehículo y año modelo, se obtuvieron los KRV tanto para el Distrito Federal como para 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]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V < 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1980 y ant.	933	N/S	1	3	45	161	346	26	12	N/A	**1,527**
1981	208	N/S	2	1	14	30	75	11	3	N/A	**344**
1982	207	N/S	3	1	16	30	47	8	2	N/A	**314**
1983	123	N/S	1	1	9	12	17	3	1	N/A	**167**
1984	154	N/S	2	1	9	35	29	7	2	N/A	**239**
1985	194	N/S	3	3	13	47	44	12	5	N/A	**321**
1986	190	1	5	3	14	39	29	9	4	N/A	**294**
1987	145	N/S	6	4	12	27	25	4	3	N/A	**226**
1988	207	2	4	9	20	28	31	5	4	N/A	**310**
1989	317	4	9	47	26	77	38	8	8	N/A	**534**
1990	430	56	20	231	28	169	35	29	17	N/A	**1,015**
1991	496	264	26	469	33	214	53	30	25	N/A	**1,610**
1992	552	550	55	474	28	146	55	35	25	N/A	**1,920**
1993	924	587	34	53	31	177	52	43	23	730	**2,654**
1994	991	739	14	12	29	182	49	28	21	127	**2,192**
1995	660	296	14	4	18	127	30	17	14	156	**1,336**
1996	495	137	4	3	17	53	11	9	6	263	**998**
1997	984	274	4	7	34	164	38	23	18	275	**1,821**
1998	1,805	478	6	10	55	120	47	24	21	299	**2,865**
1999	1,680	442	6	5	51	194	52	22	36	124	**2,612**
2000	2,280	523	7	7	76	205	65	65	30	93	**3,351**
2001	2,708	759	5	4	75	214	75	118	27	160	**4,145**
2002	2,672	587	4	4	115	212	42	117	27	224	**4,004**
2003	2,707	652	6	2	141	102	45	72	20	221	**3,968**
2004	2,198	482	3	1	76	47	63	53	11	232	**3,166**
Total	**24,260**	**6,833**	**244**	**1,359**	**985**	**2,812**	**1,393**	**778**	**365**	**2,904**	**41,933**

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
1980 y ant.	2,458	3	46	85	309	182	101	12	147	N/A	**3,343**
1981	521	2	20	17	74	35	22	3	27	N/A	**721**
1982	519	2	32	15	80	34	14	2	30	N/A	**728**
1983	298	2	17	7	42	10	5	2	10	N/A	**393**
1984	371	2	24	6	46	10	9	1	10	N/A	**479**
1985	451	4	36	15	65	22	13	2	21	N/A	**629**
1986	416	4	39	9	70	15	8	1	15	N/A	**577**
1987	319	3	31	7	67	9	7	1	10	N/A	**454**
1988	457	12	25	13	105	15	9	1	15	N/A	**652**
1989	616	17	45	32	126	22	11	1	22	N/A	**892**
1990	743	21	58	59	123	27	11	2	27	N/A	**1,071**
1991	808	27	64	96	148	39	16	4	45	N/A	**1,247**
1992	859	34	98	122	127	45	16	7	49	N/A	**1,357**
1993	767	39	84	31	116	39	16	7	39	175	**1,313**
1994	853	54	41	18	98	29	15	7	31	7	**1,153**
1995	476	32	46	15	38	19	9	3	19	7	**664**
1996	310	11	13	4	30	8	4	3	11	5	**399**
1997	549	38	18	17	64	17	12	8	18	8	**749**
1998	916	63	19	17	79	20	15	5	23	13	**1,170**
1999	772	55	16	22	56	26	16	10	31	2	**1,006**
2000	991	54	39	25	74	26	20	13	29	9	**1,280**
2001	1,412	105	41	32	80	29	23	13	34	0	**1,769**
2002	1,551	108	46	34	78	28	13	12	28	9	**1,907**
2003	1,203	61	62	26	77	32	16	11	33	10	**1,531**
2004	1,798	50	48	15	88	27	21	35	41	3	**2,126**
Total	**20,434**	**803**	**1,008**	**739**	**2,260**	**765**	**422**	**166**	**765**	**248**	**27,610**

N/A: No Aplica.

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), se obtuvieron de tres fuentes de información:

- Instituto Mexicano del Petróleo. Mediciones realizadas para algunos tipos de vehículo a gasolina[2].
- 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, 2002, 2003 y 2004 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 vehículos: particulares, taxis, combis, microbuses, pick up y camiones.

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 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.

2 Estos factores de emisión son preliminares y experimentales.

La siguiente tabla muestra la información requerida por el modelo Mobile5-México para el cálculo de los factores de emisión.

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	Julio 1, 2004
Velocidad Promedio**	24.1 km/hr
Temperatura Ambiente	16.6 °C
RVP de Gasolina+	7.5 psi
Temperatura Máxima*	30.0°C
Temperatura Mínima*	12.3 °C

* Subdirección de Meteorología, con datos de la RAMA/DGGAA/SMA-GDF.
**ETEISA, 2003. Sistema de Información de Condiciones de Tránsito para la Estimación de Emisiones Contaminantes por Fuentes Móviles en la Zona Metropolitana del Valle de México.
\+ Gerencia de Control de Producción, PEMEX Refinación.

El modelo Mobile5-México contiene información representativa del parque vehicular de la ZMVM, la cual se constituye de 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

La base de datos del modelo *REGMC.INP* se modificó de acuerdo al parque vehicular, como lo muestra en la figura siguiente:

```
1 Vcount : LDGV LDGT1 LDGT2 HDGV LDDV LDDT HDDT MC for Mexico City (ELD 1993, DGGAA/DIEFE 2004)
3106,128,129,48,3106,96,122,116
```

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 un ejemplo del archivo de entrada al modelo Mobile5-México, de igual forma se corrieron los archivos correspondientes para reportar los hidrocarburos como metano (CH_4), compuestos orgánicos totales (COT) y compuestos orgánicos volátiles (COV); con base en lo anterior, se tienen las fracciones de estos contaminantes con respecto a los HCT.

```
1       PROMPT -
MOBILE5a.3-MCMA: FACTORES DE EMISION INVENTARIO DE EMISIONES 2004
1       TAMFLG - PORCENTAJES DE MODIFICACION POR DEFAULT.
1       SPDFLG - UNA VELOCIDAD PROMEDIO PARA TODOS LOS TIPOS DE VEHICULOS
1       VMFLAG - USO DE KRV QUE PROPORCIONA EL MOBILE5a.3
4       MYMRFG - DATOS MODIFICADOS PARA LA Z.M.V.M.
5       NEWFLG - SE UTILIZAN LAS BERS INCLUIDAS EN EL MOBILE5a.3
1       IMFLAG - NO SE APLICA NINGUN TIPO DE PIM
1       ALHFLG - NO SE APLICAN FACTORES DE CORRECION
1       ATPFLG - SE APLICAN LOS PROGRAMAS DE ANTIMODIFICACION CONTENIDOS EN EL MODELO
5       RLFLAG - NO SE CONTABILIZAN PERDIDAS POR RECARGA
1       LOCFLG - SE DA SOLAMENTE UN REGISTRO LAP PARA EL ESCENARIO
2       TEMFLG - EL MODELO UTILIZA LA TEMPERATURA AMBIENTE PROPORCIONADA POR EL USUARIO
5       OUTFMT - IMPRIME UN FORMATO CON FACTORES DE EMISION POR TIPO DE VEHICULO Y AÑO MODELO
4       PRTFLG - IMPRIME LOS FACTORES DE EMISION PARA HC, CO Y NOx
1       IDLFLG - OPCION INHABILITADA EN EL MODELO MOBILE5a.3
1       NMHFLG - IMPRIME LOS HC COMO HCT
1       HCFLAG - NO SE IMPRIMEN LOS HC DESGLOSADOS
.13118 .12408 .11737 .11103 .10503 .09935 .09398 .08889 .08409 .07954  LDGV miles
.07524 .07117 .06733 .06369 .06024 .05698 .05390 .05099 .04823 .04562
.04600 .04600 .04600 .04600 .04600
.15640 .14590 .13610 .12696 .11843 .11048 .10306 .09614 .08968 .08366  LDGT1 miles
.07804 .07280 .06791 .06335 .05909 .05512 .05142 .04797 .04475 .04174
.04200 .04200 .04200 .04200 .04200
.17608 .16217 .14937 .13758 .12671 .11671 .10749 .09901 .09119 .08399  LDGT2 miles
.07736 .07125 .06562 .06044 .05567 .05127 .04723 .04350 .04006 .03690
.03700 .03700 .03700 .03700 .03700
.18211 .16767 .15437 .14213 .13086 .12048 .11093 .10213 .09403 .08657  HDGV miles
.07971 .07339 .06757 .06221 .05728 .05273 .04855 .04470 .04116 .03789
.03800 .03800 .03800 .03800 .03800
.17825 .16478 .15233 .14081 .13017 .12033 .11124 .10283 .09506 .08788  LDDV miles
.08123 .07509 .06942 .06417 .05932 .05484 .05069 .04686 .04332 .04005
.04000 .04000 .04000 .04000 .04000
.20140 .17572 .15432 .13639 .12133 .10863 .09788 .08877 .08103 .07444  LDDT miles
.06883 .06405 .05999 .05655 .05365 .05123 .04924 .04763 .04637 .04543
.04500 .04500 .04500 .04500 .04500
.17608 .16217 .14937 .13758 .12671 .11671 .10749 .09901 .09119 .08399  HDDV miles
.07736 .07125 .06562 .06044 .05567 .05127 .04723 .04350 .04006 .03690
.03700 .03700 .03700 .03700 .03700
.04786 .04475 .04164 .03853 .03543 .03232 .02921 .02611 .02300 .01989  MC miles
.01678 .01368 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000
.00000 .00000 .00000 .00000 .00000
.046 .046 .039 .057 .092 .094 .089 .075 .060 .043                      LDGV
.027 .019 .026 .028 .022 .018 .030 .031 .025 .015
.018 .007 .011 .022 .060
.004 .004 .038 .044 .077 .082 .071 .076 .061 .054                      LDGT1
.036 .024 .033 .040 .026 .026 .056 .050 .036 .018
.021 .008 .014 .028 .073
.019 .019 .008 .016 .034 .054 .220 .268 .148 .069                      LDGT2
.019 .013 .014 .014 .009 .007 .012 .012 .009 .009
.009 .004 .007 .007
.041 .041 .018 .041 .069 .087 .097 .090 .055 .042                      HDGV
.021 .017 .025 .045 .017 .014 .045 .044 .032 .018
.022 .009 .014 .024 .072
.046 .046 .039 .057 .092 .094 .089 .075 .060 .043                      LDDV
.027 .019 .026 .028 .022 .018 .030 .031 .025 .015
.018 .007 .011 .022 .060
.004 .004 .038 .044 .077 .082 .071 .076 .061 .054                      LDDT
.036 .024 .033 .040 .026 .026 .056 .050 .036 .018
.021 .008 .014 .028 .073
.022 .022 .018 .068 .074 .071 .049 .096 .085 .033                      HDDV
.012 .014 .021 .043 .024 .009 .035 .057 .051 .022
.026 .011 .018 .029 .090
.144 .168 .135 .109 .088 .070 .056 .045 .036 .029                      MC
.023 .097 .000 .000 .000 .000 .000 .000 .000 .000
.000 .000 .000 .000 .000
22222222 1
2 04 24.1 16.6 20.6 27.3 20.6  1
SMA-DGGAA/DIEFE  C 12.3 30.0 7.5 7.5 97 1 1 1
```

Figura A.3.1 Archivo de entrada al Mobile-5México

En las tablas siguientes se muestran los factores de emisión para hidrocarburos totales, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno respectivamente; para los vehículos que utilizan diesel y gasolina.

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
1980 y ant.	6.255	6.255	5.651	9.856	4.442	7.448	24.757	N/A	3.453	2.636	7.693
1981	6.255	6.255	5.651	9.856	4.442	7.448	24.757	N/A	3.453	2.636	7.693
1982	6.255	6.255	5.651	9.856	4.442	7.448	24.753	N/A	3.422	2.612	7.670
1983	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	24.736	N/A	3.347	2.585	7.668
1984	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	24.382	N/A	3.329	2.558	7.657
1985	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	24.266	N/A	3.322	2.529	7.602
1986	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	24.223	N/A	3.320	2.514	7.598
1987	5.684	5.684	5.651	9.856	4.442	7.448	24.170	N/A	3.315	2.486	7.588
1988	4.545	4.545	5.651	9.856	4.442	7.448	24.042	N/A	3.267	2.443	7.565
1989	4.545	4.545	5.651	9.856	4.442	7.448	20.964	N/A	3.241	2.425	7.543
1990	4.545	4.545	5.651	9.856	4.442	7.448	20.905	N/A	3.225	2.394	7.523
1991	3.590	3.590	5.651	9.856	4.442	7.448	18.377	N/A	1.554	2.351	7.501
1992	3.590	3.590	5.651	9.856	4.442	7.448	16.070	N/A	1.514	2.325	7.465
1993	2.456	1.841	5.651	9.856	4.442	7.448	9.802	5.558	0.801	1.143	5.501
1994	2.456	1.841	5.651	9.856	4.442	7.448	8.120	5.558	0.609	1.107	4.887
1995	1.047	1.841	5.651	9.856	4.442	7.448	7.925	5.364	0.500	0.771	4.637
1996	1.047	1.841	5.651	9.856	1.867	2.087	4.765	4.289	0.475	0.743	3.978
1997	1.047	1.841	5.651	9.856	1.867	2.087	4.621	4.123	0.457	0.722	3.975
1998	1.047	1.841	5.651	9.856	1.867	2.087	4.461	3.921	0.435	0.694	3.972
1999	0.534	1.841	5.651	9.856	1.867	2.087	4.295	3.731	0.409	0.662	3.972
2000	0.475	1.638	5.029	9.088	1.722	1.924	4.115	3.516	0.379	0.628	3.968
2001	0.426	1.470	4.513	8.265	1.567	1.750	2.717	3.099	0.348	0.590	3.706
2002	0.370	1.277	3.921	7.267	1.379	1.539	2.499	2.867	0.317	0.545	3.656
2003	0.306	1.055	3.239	6.032	1.146	1.278	2.310	2.624	0.283	0.502	3.652
2004	0.256	0.884	2.713	5.157	0.981	1.093	2.125	2.362	0.244	0.444	3.652

- Instituto Mexicano del Petróleo, 1999.
- MOBILE5-México.

N/A: No Aplica.

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
1980 y ant.	76.4	76.4	59.4	108.1	48.2	80.9	407.002	N/A	5.908	4.337	19.431
1981	76.4	76.4	59.4	108.1	48.2	80.9	407.002	N/A	5.908	4.337	18.968
1982	76.4	76.4	59.4	108.1	48.2	80.9	405.407	N/A	5.866	4.307	18.966
1983	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	405.263	N/A	5.801	4.270	18.966
1984	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	399.607	N/A	5.771	4.234	18.910
1985	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	396.381	N/A	5.704	4.204	18.844
1986	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	395.150	N/A	5.679	4.155	18.701
1987	55.6	55.6	59.4	108.1	48.2	80.9	395.146	N/A	5.641	4.121	18.645
1988	39.6	39.6	59.4	108.1	48.2	80.9	394.044	N/A	5.617	4.080	18.626
1989	39.6	39.6	59.4	108.1	48.2	80.9	379.858	N/A	5.567	4.035	18.586
1990	39.6	39.6	59.4	108.1	48.2	80.9	376.434	N/A	5.511	3.989	18.585
1991	31.4	31.4	59.4	108.1	48.2	80.9	326.343	N/A	2.797	3.944	18.538
1992	31.4	31.4	59.4	108.1	48.2	80.9	277.064	N/A	2.737	3.915	18.467
1993	23.7	15.2	59.4	108.1	48.2	80.9	143.071	33.239	2.082	3.874	18.314
1994	23.7	15.2	59.4	108.1	48.2	80.9	138.679	33.239	2.031	3.822	17.211
1995	7.3	15.2	59.4	108.1	48.2	80.9	134.896	32.906	1.317	2.270	16.277
1996	7.3	15.2	59.4	108.1	11.7	48.0	62.380	32.447	1.301	2.243	15.715
1997	7.3	15.2	59.4	108.1	11.7	48.0	61.273	31.987	1.269	2.210	15.642
1998	7.3	15.2	59.4	108.1	11.7	48.0	60.073	31.386	1.239	2.186	15.569
1999	3.2	15.2	59.4	108.1	11.7	48.0	58.762	30.785	1.199	2.149	15.486
2000	2.919	13.865	54.185	101.722	11.010	45.168	57.349	30.110	1.161	2.118	15.401
2001	2.646	12.569	49.119	93.330	10.102	41.442	34.752	29.359	1.116	2.077	14.257
2002	2.291	10.883	42.532	81.225	8.792	36.067	33.395	28.546	1.074	2.031	13.977
2003	1.790	8.504	33.235	64.793	7.013	28.771	32.183	27.678	1.023	1.979	13.856
2004	1.411	6.705	26.206	52.981	5.735	23.526	30.870	26.753	0.970	1.924	13.753

- Instituto Mexicano del Petróleo, 1999.
- MOBILE5-México.

N/A: No Aplica.

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
1980 y ant	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.508	N/A	1.560	2.076	20.364
1981	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.489	N/A	1.560	2.076	20.340
1982	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.473	N/A	1.554	2.057	20.315
1983	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.450	N/A	1.536	2.039	20.315
1984	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.393	N/A	1.532	2.020	20.236
1985	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.371	N/A	1.530	2.011	20.032
1986	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.371	N/A	1.519	1.990	20.009
1987	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.351	N/A	1.500	1.958	19.994
1988	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.252	N/A	1.487	1.945	19.973
1989	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.167	N/A	1.474	1.915	19.956
1990	2.10	2.10	2.70	4.75	3.37	5.75	4.040	N/A	1.466	1.890	19.931
1991	2.40	2.40	2.70	4.75	3.37	5.75	3.536	N/A	1.421	1.872	19.835
1992	2.40	2.40	2.70	4.75	3.37	5.75	3.061	N/A	1.385	1.860	19.675
1993	2.40	1.48	2.70	4.75	3.37	5.75	3.029	0.341	1.185	1.310	14.966
1994	2.40	1.48	2.70	4.75	3.37	5.75	2.876	0.340	1.178	1.286	13.333
1995	1.50	1.48	2.70	4.75	3.37	5.75	2.836	0.337	1.159	1.278	12.578
1996	1.50	1.48	2.70	4.75	1.64	3.20	2.598	0.335	0.842	1.257	12.246
1997	1.50	1.48	2.70	4.75	1.64	3.20	2.563	0.335	0.823	1.247	12.244
1998	1.50	1.48	2.70	4.75	1.64	3.20	2.514	0.335	0.803	1.229	12.243
1999	0.67	1.48	2.70	4.75	1.64	3.20	2.463	0.334	0.778	1.201	12.240
2000	0.618	1.364	2.489	4.503	1.555	3.034	2.408	0.334	0.752	1.178	12.235
2001	0.563	1.244	2.269	4.248	1.467	2.862	2.353	0.333	0.725	0.846	6.882
2002	0.504	1.114	2.032	3.991	1.378	2.689	1.925	0.333	0.699	0.818	5.668
2003	0.461	1.018	1.857	3.870	1.336	2.607	1.859	0.331	0.662	0.779	5.667
2004	0.439	0.970	1.770	3.793	1.309	2.555	1.798	0.321	0.626	0.740	5.664

- Instituto Mexicano del Petróleo, 1999.
- MOBILE5-México.
N/A: No Aplica.

En la siguiente tabla se muestran los factores de emisión para los vehículos que utilizan combustibles alternos (GLP y GNC). Los HCT se obtienen al sumar las emisiones de hidrocarburos no metánicos (HCNM) y las del metano (CH_4).

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/CO	1992 y ant.	3.50	0.18	8.0	2.1
		1993-2004	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
		1993-2004	0.70	0.15	1.0	2.6
GNC	AP/TAX	1992 y ant.	0.50	3.00	4.0	2.1
		1993-2004	0.05	0.70	0.3	0.5
	MIC/PICK/V≤3	1992 y ant.	1.40	10.00	12.0	5.7
		1993-2004	0.20	3.00	1.0	2.6
	V > 3	1997 y ant.	2.00	10.00	8.0	23.0
		1998-2004	0.40	4.00	1.5	4.0

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

PM_{10}, $PM_{2.5}$ y NH_3.

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 Amoniaco (NH_3), Partículas Menores a 10 micras (PM_{10}) y Partículas Menores a 2.5 micras ($PM_{2.5}$) para todos los tipos de vehículo, excepto PM_{10} para 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 PM_{10} 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 NH_3, 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, 2004
Velocidad Promedio**	24.1 km/hr
RVP de Gasolina+	7.5 Psi
Temperatura Máxima*	30.0 ^{o}C
Temperatura Mínima*	12.3 ^{o}C

*Subdirección de Meteorología, RAMA/DGGAA/SMA-GDF.
**ETEISA, 2003. Sistema de Información de Condiciones de Tránsito para la Estimación de Emisiones Contaminantes por Fuentes Móviles en la Zona Metropolitana del Valle de México.
+Gerencia de Control de Producción, PEMEX Refinación.

En la figura siguiente se muestra el archivo de entrada del modelo Mobile6-México para obtener los factores de emisión de Amoniaco (NH_3) y Partículas Menores a 10 micras (PM_{10}). También se realizó la corrida con el archivo modificado para reportar los factores de emisión correspondientes a Partículas Menores a 2.5 micras ($PM_{2.5}$).

```
MOBILE6 INPUT FILE :
Input Extensions   : INTL EFS HI-EM TECHFRAC
*updated 12/5/00, mkb
> SMA/DGGAA/DIEFE INVENTARIO DE EMISIONES 2004
POLLUTANTS         : HC CO NOx CO2
DATABASE OUTPUT    :
WITH FIELDNAMES    :
DAILY OUTPUT       :
PARTICULATES       :
SPREADSHEET        :

RUN DATA
> SMA/DGGAA/DIEFE INVENTARIO DE EMISIONES 2004
MIN/MAX TEMP       : 54.2 86.0
FUEL RVP           : 7.5
EXPRESS HC AS THC  :
NO CLEAN AIR ACT   :
NO REFUELING       :
INTL FLEET FILE    : MexFleet.inc

SCENARIO RECORD    : Scenario Title : ARCHIVO BASE PARA ZMVM
> SMA/DGGAA/DIEFE INVENTARIO DE EMISIONES 2004
CALENDAR YEAR      : 2004
EVALUATION MONTH   : 7
ALTITUDE           : 2
DIESEL SULFUR      : 350
PARTICULATE EF     : PMGZML.CSV PMGDR1.CSV PMGDR2.CSV PMDZML.CSV PMDDR1.CSV PMDDR2.CSV
PARTICLE SIZE      : 10.0
AVERAGE SPEED      : 15.0 AREAWIDE 0.0 93.0 07.0 0.0
SEASON             : 1
FUEL PROGRAM       : 4
 355.0  328.0  412.0  631.0  276.0  474.0  474.0  474.0
 474.0  474.0  474.0  474.0  474.0  474.0  474.0  474.0
 370.0  350.0  420.0  670.0  310.0  500.0  500.0  500.0
 500.0  500.0  500.0  500.0  500.0  500.0  500.0  500.0


END OF RUN
```

Figura A.3.2 Archivo de entrada al Mobile6-México.

A continuación se muestran las tablas con los factores de emisión utilizados en el presente inventario para calcular las emisiones de partículas menores a 10 micras, partículas menores a 2.5 micras y amoníaco; correspondientes a los cuatro tipos de combustible utilizados por los vehículos que circulan en la ZMVM (gasolina, diesel, GLP y GNC).

Tabla A.3.17 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para PM_{10}

Año Modelo	Factores de Emisión para PM_{10} [g/km]										
	Gasolina							Diesel			
	AP/TAX/CO	PICK	V<3/MIC	TRA	AUT	V>3	MC	AP	PICK	V<3/MIC	TRA/AUT/V>3
1980 y ant.	0.0226	0.0218	0.0229	0.1036	0.1097	0.0928	N/A	0.2705	0.1041	0.1351	2.10
1981	0.0210	0.0199	0.0212	0.1036	0.1097	0.0928	N/A	0.2715	0.0792	0.1026	2.10
1982	0.0202	0.0195	0.0207	0.1036	0.1097	0.0928	N/A	0.2653	0.0935	0.1216	2.10
1983	0.0203	0.0189	0.0202	0.1036	0.1097	0.0928	N/A	0.2634	0.0935	0.1216	2.10
1984	0.0200	0.0192	0.0204	0.1024	0.1097	0.0922	N/A	0.2234	0.0924	0.1197	2.10
1985	0.0195	0.0192	0.0203	0.1013	0.1097	0.0914	N/A	0.2370	0.0970	0.1262	2.10
1986	0.0189	0.0184	0.0196	0.1003	0.1097	0.0907	N/A	0.2004	0.0946	0.1229	2.10
1987	0.0189	0.0184	0.0194	0.0991	0.1096	0.0900	N/A	0.2665	0.0987	0.1283	1.37
1988	0.0186	0.0189	0.0201	0.0982	0.1090	0.0893	N/A	0.2169	0.0987	0.1480	1.37
1989	0.0190	0.0191	0.0202	0.0972	0.1085	0.0887	N/A	0.1830	0.0987	0.1453	1.37
1990	0.0191	0.0191	0.0202	0.0963	0.1080	0.0881	N/A	0.2128	0.0987	0.1359	1.37
1991	0.0190	0.0187	0.0199	0.0954	0.1075	0.0874	N/A	0.2128	0.0987	0.1359	0.85
1992	0.0192	0.0192	0.0203	0.0944	0.1070	0.0869	N/A	0.2128	0.0987	0.1359	0.85
1993	0.0189	0.0191	0.0202	0.0935	0.1063	0.0862	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.70
1994	0.0190	0.0193	0.0204	0.0926	0.1058	0.0856	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
1995	0.0188	0.0196	0.0207	0.0917	0.1055	0.0851	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
1996	0.0188	0.0193	0.0204	0.0908	0.1049	0.0844	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
1997	0.0188	0.0194	0.0205	0.0908	0.1049	0.0844	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
1998	0.0187	0.0193	0.0204	0.0908	0.1049	0.0844	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
1999	0.0189	0.0195	0.0207	0.0908	0.1049	0.0844	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
2000	0.0188	0.0195	0.0207	0.0901	0.1042	0.0836	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
2001	0.0188	0.0198	0.0210	0.0901	0.1042	0.0836	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
2002	0.0188	0.0198	0.0210	0.0901	0.1042	0.0836	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
2003	0.0188	0.0198	0.0210	0.0901	0.1042	0.0836	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48
2004	0.0188	0.0198	0.0210	0.0901	0.1042	0.0836	0.024	0.2128	0.0987	0.1359	0.48

- MOBILE6-México.
- Heavy-Duty Diesel Vehicle Testing for the Northern Front Range Air Quality Study.

N/A: No Aplica.

Tabla A.3.18 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para $PM_{2.5}$

Año Modelo	Factores de Emisión para $PM_{2.5}$ [g/km]										
	Gasolina							Diesel			
	AP/TAX/CO	PICK	V<3/MIC	TRA	AUT	V>3	MC	AP	PICK	V<3/MIC	TRA/AUT/V>3
1980 y ant.	0.0126	0.0123	0.0132	0.0749	0.0793	0.0671	N/A	0.2415	0.0903	0.1172	1.8268
1981	0.0117	0.0112	0.0122	0.0749	0.0793	0.0671	N/A	0.2424	0.0687	0.0890	1.8268
1982	0.0113	0.0110	0.0119	0.0749	0.0793	0.0671	N/A	0.2368	0.0811	0.1054	1.8268
1983	0.0113	0.0106	0.0116	0.0749	0.0793	0.0671	N/A	0.2352	0.0811	0.1054	1.8268
1984	0.0112	0.0108	0.0118	0.0740	0.0793	0.0666	N/A	0.1994	0.0801	0.1038	1.8268
1985	0.0109	0.0108	0.0117	0.0732	0.0793	0.0661	N/A	0.2116	0.0842	0.1095	1.8268
1986	0.0105	0.0103	0.0113	0.0725	0.0793	0.0656	N/A	0.1789	0.0821	0.1066	1.8268
1987	0.0105	0.0103	0.0112	0.0717	0.0792	0.0651	N/A	0.2379	0.0856	0.1113	1.1918
1988	0.0104	0.0106	0.0116	0.0710	0.0788	0.0645	N/A	0.1936	0.0856	0.1284	1.1918
1989	0.0106	0.0107	0.0116	0.0703	0.0784	0.0641	N/A	0.1634	0.0856	0.1261	1.1918
1990	0.0106	0.0108	0.0117	0.0696	0.0781	0.0637	N/A	0.1900	0.0856	0.1179	1.1918
1991	0.0106	0.0105	0.0115	0.0689	0.0777	0.0632	N/A	0.1900	0.0856	0.1179	0.7394
1992	0.0107	0.0108	0.0117	0.0682	0.0773	0.0628	N/A	0.1900	0.0856	0.1179	0.7394
1993	0.0105	0.0107	0.0117	0.0676	0.0768	0.0623	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.6089
1994	0.0106	0.0109	0.0118	0.0669	0.0765	0.0619	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
1995	0.0105	0.0110	0.0119	0.0663	0.0762	0.0615	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
1996	0.0105	0.0108	0.0118	0.0656	0.0758	0.0610	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
1997	0.0105	0.0109	0.0118	0.0656	0.0758	0.0610	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
1998	0.0104	0.0108	0.0118	0.0656	0.0758	0.0610	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
1999	0.0105	0.0110	0.0119	0.0656	0.0758	0.0610	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
2000	0.0105	0.0110	0.0119	0.0651	0.0753	0.0605	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
2001	0.0105	0.0111	0.0121	0.0651	0.0753	0.0605	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
2002	0.0105	0.0111	0.0121	0.0651	0.0753	0.0605	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
2003	0.0105	0.0111	0.0121	0.0651	0.0753	0.0605	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176
2004	0.0105	0.0111	0.0121	0.0651	0.0753	0.0605	0.0137	0.1900	0.0856	0.1179	0.4176

- MOBILE6-México.
- Heavy-Duty Diesel Vehicle Testing for the Northern Front Range Air Quality Study.

N/A: No Aplica.

Tabla A.3.19 Factores de emisión por tipo de vehículo para Amoniaco

Año Modelo	Factores de Emisión para NH_3 [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
1980 y ant.	0.0131	0.0089	0.0094	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1981	0.0551	0.0120	0.0120	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1982	0.0557	0.0148	0.0148	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1983	0.0567	0.0201	0.0201	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1984	0.0632	0.0255	0.0255	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1985	0.0632	0.0310	0.0310	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1986	0.0632	0.0363	0.0363	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1987	0.0632	0.0605	0.0605	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1988	0.0632	0.0605	0.0605	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1989	0.0632	0.0605	0.0605	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1990	0.0630	0.0615	0.0615	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1991	0.0631	0.0626	0.0626	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1992	0.0631	0.0625	0.0625	0.028	N/A	0.0042	0.0042	0.0168
1993	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
1994	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
1995	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
1996	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
1997	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
1998	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
1999	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
2000	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
2001	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
2002	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
2003	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168
2004	0.0632	0.0632	0.0632	0.028	0.007	0.0042	0.0042	0.0168

- MOBILE6-México.
N/A: No Aplica.

Tabla A.3.20 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para PM_{10}

Año Modelo	Factores de Emisión para PM_{10} [g/km]											
	GLP						GNC					
	AP/TAX/CO	PICK	V<3/MIC	TRA	AUT	V>3	AP/TAX/CO	PICK	V<3/MIC	TRA	AUT	V>3
1980 y ant	0.0206	0.0198	0.0208	0.0901	0.1006	0.1065	0.0203	0.0187	0.0202	0.0880	0.0982	0.1040
1981	0.0192	0.0180	0.0192	0.0901	0.1006	0.1065	0.0189	0.0170	0.0187	0.0880	0.0982	0.1040
1982	0.0185	0.0177	0.0188	0.0901	0.1006	0.1065	0.0182	0.0167	0.0183	0.0880	0.0982	0.1040
1983	0.0185	0.0172	0.0183	0.0901	0.1006	0.1065	0.0182	0.0162	0.0178	0.0880	0.0982	0.1040
1984	0.0183	0.0174	0.0185	0.0895	0.0994	0.1065	0.0180	0.0164	0.0180	0.0874	0.0970	0.1040
1985	0.0178	0.0174	0.0184	0.0888	0.0984	0.1065	0.0175	0.0164	0.0180	0.0867	0.0960	0.1040
1986	0.0172	0.0167	0.0178	0.0881	0.0973	0.1065	0.0170	0.0157	0.0173	0.0860	0.0950	0.1040
1987	0.0172	0.0167	0.0176	0.0874	0.0963	0.1064	0.0170	0.0157	0.0171	0.0853	0.0940	0.1039
1988	0.0170	0.0171	0.0182	0.0867	0.0953	0.1059	0.0167	0.0162	0.0177	0.0846	0.0931	0.1033
1989	0.0173	0.0173	0.0183	0.0861	0.0944	0.1053	0.0170	0.0163	0.0178	0.0840	0.0921	0.1028
1990	0.0174	0.0174	0.0183	0.0856	0.0935	0.1049	0.0171	0.0164	0.0178	0.0835	0.0913	0.1024
1991	0.0173	0.0170	0.0180	0.0849	0.0926	0.1044	0.0170	0.0160	0.0175	0.0829	0.0904	0.1019
1992	0.0175	0.0174	0.0184	0.0844	0.0917	0.1039	0.0173	0.0164	0.0179	0.0824	0.0895	0.1014
1993	0.0172	0.0173	0.0183	0.0837	0.0908	0.1032	0.0170	0.0163	0.0178	0.0817	0.0886	0.1008
1994	0.0173	0.0175	0.0185	0.0832	0.0899	0.1027	0.0171	0.0165	0.0180	0.0812	0.0878	0.1003
1995	0.0172	0.0178	0.0187	0.0826	0.0890	0.1024	0.0169	0.0168	0.0182	0.0807	0.0869	0.1000
1996	0.0172	0.0175	0.0185	0.0819	0.0881	0.1018	0.0169	0.0165	0.0180	0.0800	0.0860	0.0994
1997	0.0171	0.0176	0.0186	0.0819	0.0881	0.1018	0.0169	0.0167	0.0181	0.0800	0.0860	0.0994
1998	0.0170	0.0175	0.0185	0.0819	0.0881	0.1018	0.0168	0.0165	0.0180	0.0800	0.0860	0.0994
1999	0.0173	0.0177	0.0187	0.0819	0.0881	0.1018	0.0170	0.0167	0.0182	0.0800	0.0860	0.0994
2000	0.0172	0.0177	0.0187	0.0812	0.0874	0.1011	0.0169	0.0167	0.0182	0.0793	0.0854	0.0987
2001	0.0172	0.0179	0.0190	0.0812	0.0874	0.1011	0.0169	0.0169	0.0185	0.0793	0.0854	0.0987
2002	0.0172	0.0179	0.0190	0.0812	0.0874	0.1011	0.0169	0.0169	0.0185	0.0793	0.0854	0.0987
2003	0.0172	0.0179	0.0190	0.0812	0.0874	0.1011	0.0169	0.0169	0.0185	0.0793	0.0854	0.0987
2004	0.0172	0.0179	0.0190	0.0812	0.0874	0.1011	0.0169	0.0169	0.0185	0.0793	0.0854	0.0987

- MOBILE6-México.
N/A: No Aplica.

Tabla A.3.21 Factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo para $PM_{2.5}$

Año Modelo	Factores de Emisión para $PM_{2.5}$ [g/km]											
	GLP						GNC					
	AP/TAX/CO	PICK	V<3/MIC	TRA	AUT	V>3	AP/TAX/CO	PICK	V<3/MIC	TRA	AUT	V>3
1980 y ant	0.0106	0.0102	0.0111	0.0644	0.0719	0.0761	0.0103	0.0092	0.0105	0.0622	0.0695	0.0736
1981	0.0099	0.0093	0.0102	0.0644	0.0719	0.0761	0.0096	0.0084	0.0097	0.0622	0.0695	0.0736
1982	0.0095	0.0092	0.0100	0.0644	0.0719	0.0761	0.0092	0.0082	0.0095	0.0622	0.0695	0.0736
1983	0.0095	0.0089	0.0098	0.0644	0.0719	0.0761	0.0092	0.0080	0.0093	0.0622	0.0695	0.0736
1984	0.0094	0.0090	0.0099	0.0640	0.0710	0.0761	0.0091	0.0081	0.0094	0.0618	0.0687	0.0736
1985	0.0091	0.0090	0.0098	0.0634	0.0703	0.0761	0.0089	0.0081	0.0093	0.0613	0.0680	0.0736
1986	0.0088	0.0086	0.0095	0.0629	0.0695	0.0761	0.0086	0.0077	0.0090	0.0608	0.0672	0.0736
1987	0.0088	0.0086	0.0094	0.0624	0.0688	0.0760	0.0086	0.0077	0.0089	0.0604	0.0665	0.0735
1988	0.0087	0.0089	0.0097	0.0619	0.0681	0.0756	0.0085	0.0080	0.0092	0.0599	0.0659	0.0731
1989	0.0089	0.0090	0.0098	0.0615	0.0674	0.0753	0.0086	0.0080	0.0093	0.0595	0.0652	0.0728
1990	0.0089	0.0090	0.0098	0.0611	0.0668	0.0749	0.0087	0.0081	0.0093	0.0591	0.0646	0.0724
1991	0.0089	0.0088	0.0096	0.0607	0.0662	0.0746	0.0086	0.0079	0.0091	0.0586	0.0639	0.0721
1992	0.0090	0.0090	0.0098	0.0603	0.0655	0.0742	0.0088	0.0081	0.0093	0.0583	0.0633	0.0717
1993	0.0089	0.0090	0.0098	0.0598	0.0649	0.0738	0.0086	0.0080	0.0093	0.0578	0.0627	0.0713
1994	0.0089	0.0091	0.0098	0.0594	0.0642	0.0734	0.0087	0.0082	0.0094	0.0574	0.0621	0.0710
1995	0.0088	0.0092	0.0100	0.0590	0.0636	0.0732	0.0086	0.0083	0.0095	0.0571	0.0615	0.0707
1996	0.0088	0.0090	0.0098	0.0586	0.0630	0.0728	0.0086	0.0081	0.0094	0.0566	0.0609	0.0703
1997	0.0088	0.0091	0.0099	0.0586	0.0630	0.0728	0.0086	0.0082	0.0094	0.0566	0.0609	0.0703
1998	0.0088	0.0090	0.0098	0.0586	0.0630	0.0728	0.0085	0.0081	0.0094	0.0566	0.0609	0.0703
1999	0.0089	0.0092	0.0100	0.0586	0.0630	0.0728	0.0086	0.0082	0.0095	0.0566	0.0609	0.0703
2000	0.0088	0.0092	0.0100	0.0580	0.0625	0.0723	0.0086	0.0082	0.0095	0.0561	0.0604	0.0699
2001	0.0088	0.0093	0.0101	0.0580	0.0625	0.0723	0.0086	0.0083	0.0096	0.0561	0.0604	0.0699
2002	0.0088	0.0093	0.0101	0.0580	0.0625	0.0723	0.0086	0.0083	0.0096	0.0561	0.0604	0.0699
2003	0.0088	0.0093	0.0101	0.0580	0.0625	0.0723	0.0086	0.0083	0.0096	0.0561	0.0604	0.0699
2004	0.0088	0.0093	0.0101	0.0580	0.0625	0.0723	0.0086	0.0083	0.0096	0.0561	0.0604	0.0699

- MOBILE6-México.
N/A: No Aplica.

Tabla A.3.22 Factores de emisión por tipo de vehículo para amoniaco

Tipo de Vehículo	Factores de Emisión para NH_3 [g/km]	
	GNC	GLP
AP/TAX	0.013049	0.128831
MIC/PICK/V≤3	0.039143	
TRA/AUT/V>3		

Investigation of emission rates of ammonia and other toxic and low level compounds, California University, 2001.

A.3.4 Cálculo de Emisiones

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. A partir de los kilómetros recorridos por los vehículos (KRV) y los factores de emisión por tipo de vehículo y año modelo, se obtienen las emisiones de cada contaminante, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$E_{ijk} = (KRV_{ij})\ (FE_{ijk}) / (1{,}000{,}000)$$

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 1980 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.3.23 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]	908,881,575	Kilómetros recorridos por los autos particulares año modelo 1980 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.	624,122,000	Kilómetros recorridos por los autos particulares año modelo 1980 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.
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
$E_{AUTG\ 1980\ y\ ant.\ HCT}$ = (908'881,575) (6.255) / (1'000,000) = 5,685 ton/año

Estado de México
$E_{AUTG\ 1980\ y\ ant.\ HCT}$ = (624,122,000) (6.255) / (1'000,000) = 3,904 ton/año

Zona Metropolitana del Valle de México
$E_{AUTG\ 1980\ y\ ant.\ HCT}$ = (5,685) + (3,904) = 9,589 ton/año

De igual manera se calcularon las emisiones del resto de los contaminantes, los cuales se muestran en las tablas siguientes por tipo de vehículo y año modelo.

Tabla A.3.24 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
1980 y ant.	21,208	21	265	862	1,576	1,944	3,445	315	3,373	N/A	**33,009**
1981	4,554	11	124	168	391	346	745	118	599	N/A	**7,056**
1982	4,539	14	193	158	426	391	470	77	690	N/A	**6,958**
1983	2,391	10	101	72	227	135	170	27	237	N/A	**3,370**
1984	2,979	10	147	75	246	229	291	63	261	N/A	**4,301**
1985	3,666	25	218	167	345	396	429	105	556	N/A	**5,907**
1986	3,443	32	248	122	374	315	281	78	424	N/A	**5,317**
1987	2,632	18	207	109	357	226	247	36	246	N/A	**4,078**
1988	3,014	60	161	208	554	272	303	45	421	N/A	**5,038**
1989	4,237	95	306	752	677	544	373	74	568	N/A	**7,626**
1990	5,324	351	440	2,717	678	875	343	237	768	N/A	**11,733**
1991	4,682	1,045	508	5,271	817	1,232	515	255	1,099	N/A	**15,424**
1992	5,068	2,099	865	5,549	698	1,195	530	312	1,041	N/A	**17,357**
1993	4,132	1,152	667	573	643	912	373	279	496	5,028	**14,255**
1994	4,504	1,460	311	206	549	717	313	175	320	744	**9,299**
1995	1,184	603	340	150	242	409	180	92	185	875	**4,260**
1996	838	273	97	52	85	73	60	49	59	1,148	**2,734**
1997	1,599	572	125	138	181	198	199	122	126	1,164	**4,424**
1998	2,839	995	142	165	249	176	245	113	142	1,223	**6,289**
1999	1,308	914	120	183	199	249	268	129	241	468	**4,079**
2000	1,553	945	232	187	257	239	337	311	196	361	**4,618**
2001	1,755	1,269	207	233	241	216	364	486	159	495	**5,425**
2002	1,562	887	196	191	265	188	204	470	136	670	**4,769**
2003	1,196	752	222	119	249	105	223	305	129	608	**3,908**
2004	1,023	471	139	64	160	53	307	321	145	555	**3,238**
Total	**91,230**	**14,084**	**6,581**	**18,491**	**10,686**	**11,635**	**11,215**	**4,594**	**12,617**	**13,339**	**194,472**

N/A: No Aplica.

Tabla A.3.25 Emisiones de CO por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de CO [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V ≤ 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1980 y ant.	258,949	258	2,785	9,147	17,043	17,704	8,767	1,194	51,999	N/A	**367,846**
1981	55,580	129	1,309	1,726	4,220	2,956	1,837	434	8,998	N/A	**77,189**
1982	55,410	167	2,026	1,689	4,589	3,668	1,175	214	10,563	N/A	**79,501**
1983	23,374	101	1,060	746	2,461	1,140	426	89	3,684	N/A	**33,081**
1984	29,122	98	1,544	769	2,665	1,776	718	177	4,006	N/A	**40,875**
1985	35,835	247	2,287	1,650	3,715	3,565	1,069	328	8,543	N/A	**57,239**
1986	33,658	313	2,603	1,247	4,033	2,852	692	238	6,593	N/A	**52,229**
1987	25,704	174	2,175	1,056	3,832	1,697	613	89	3,672	N/A	**39,012**
1988	26,233	526	1,688	2,052	5,976	2,534	746	133	6,637	N/A	**46,525**
1989	36,847	823	3,220	6,830	7,311	4,671	926	182	9,663	N/A	**70,473**
1990	46,229	3,062	4,629	19,038	7,232	6,255	866	596	12,392	N/A	**100,299**
1991	40,758	9,138	5,337	38,719	8,678	9,926	1,284	690	17,384	N/A	**131,914**
1992	44,137	18,347	9,090	43,064	7,362	10,476	1,311	843	15,640	N/A	**150,270**
1993	39,849	9,514	7,013	6,031	6,957	8,969	1,247	962	6,692	30,070	**117,304**
1994	43,439	12,055	3,272	2,178	5,924	6,683	1,109	623	4,859	4,451	**84,593**
1995	8,238	4,981	3,570	1,612	2,597	3,785	637	328	2,633	5,369	**33,750**
1996	5,834	2,255	1,015	540	515	971	239	196	656	8,679	**20,900**
1997	11,131	4,722	1,313	1,414	1,128	2,580	785	486	1,285	9,033	**33,877**
1998	19,761	8,214	1,492	1,725	1,547	2,737	964	445	1,482	9,789	**48,156**
1999	7,818	7,545	1,261	1,932	1,238	3,633	1,044	505	2,054	3,862	**30,892**
2000	9,523	7,999	2,499	1,991	1,634	3,448	1,309	1,213	2,129	3,090	**34,835**
2001	10,884	10,853	2,259	2,565	1,547	2,765	1,400	1,871	1,271	4,689	**40,104**
2002	9,659	7,555	2,131	2,014	1,677	2,246	779	1,798	1,161	6,668	**35,688**
2003	6,992	6,061	2,275	1,200	1,522	1,372	845	1,161	1,032	6,413	**28,873**
2004	5,638	3,572	1,341	621	935	702	1,157	1,220	1,010	6,286	**22,482**
Total	**890,602**	**118,709**	**69,194**	**151,556**	**106,338**	**109,111**	**31,945**	**16,015**	**186,038**	**98,399**	**1,777,907**

N/A: No aplica.

Tabla A.3.26 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
1980 y ant.	7,122	7	127	423	1,195	1,502	9,109	763	1,179	N/A	**21,427**
1981	1,529	3	60	84	296	267	1,970	285	238	N/A	**4,732**
1982	1,525	5	92	78	323	301	1,243	199	220	N/A	**3,986**
1983	884	4	48	36	173	102	448	68	68	N/A	**1,831**
1984	1,101	4	70	37	187	175	768	163	78	N/A	**2,583**
1985	1,355	9	104	84	262	305	1,129	264	153	N/A	**3,665**
1986	1,273	12	118	61	284	243	741	197	106	N/A	**3,035**
1987	973	7	99	56	270	169	649	95	70	N/A	**2,388**
1988	1,393	28	77	105	420	208	800	116	99	N/A	**3,246**
1989	1,959	44	146	394	513	417	987	195	160	N/A	**4,815**
1990	2,463	162	210	1,511	513	673	906	627	253	N/A	**7,318**
1991	3,127	698	243	2,935	618	951	1,360	666	406	N/A	**11,004**
1992	3,385	1,403	414	3,065	528	909	1,396	808	368	N/A	**12,276**
1993	4,040	926	319	338	492	780	1,015	753	269	308	**9,240**
1994	4,404	1,174	149	120	425	648	853	476	219	46	**8,514**
1995	1,696	485	162	82	189	406	488	247	155	55	**3,965**
1996	1,202	220	46	31	81	140	186	150	62	90	**2,208**
1997	2,291	460	60	92	163	344	613	376	167	95	**4,661**
1998	4,067	800	68	102	223	306	755	348	187	104	**6,960**
1999	1,641	735	57	108	177	428	825	396	309	42	**4,718**
2000	2,020	787	115	118	235	428	1,040	957	257	34	**5,991**
2001	2,320	1,074	104	137	230	353	676	902	232	53	**6,081**
2002	2,128	773	102	131	269	324	316	729	171	78	**5,021**
2003	1,803	725	127	94	292	203	345	473	173	77	**4,312**
2004	1,755	517	91	56	214	113	476	498	199	75	**3,994**
Total	**57,456**	**11,062**	**3,208**	**10,278**	**8,572**	**10,695**	**29,094**	**10,751**	**5,798**	**1,057**	**147,971**

N/A: No Aplica

Tabla A.3.27 Emisiones de PM_{10} por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de PM_{10} [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V ≤ 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1980 y ant.	77	N/S	1	2	8	22	939	78	73	N/A	**1,200**
1981	15	N/S	N/S	N/S	2	4	203	29	16	N/A	**269**
1982	15	N/S	1	N/S	2	3	128	21	12	N/A	**182**
1983	9	N/S	N/S	N/S	1	1	46	7	3	N/A	**67**
1984	10	N/S	1	N/S	1	3	80	17	4	N/A	**116**
1985	13	N/S	1	N/S	1	4	118	28	7	N/A	**172**
1986	11	N/S	1	N/S	2	3	78	21	4	N/A	**120**
1987	9	N/S	1	N/S	1	2	45	6	2	N/A	**66**
1988	12	N/S	1	N/S	2	2	55	8	3	N/A	**83**
1989	18	N/S	1	2	3	7	68	13	5	N/A	**117**
1990	22	2	2	6	3	17	62	43	9	N/A	**166**
1991	25	6	2	11	3	20	58	29	13	N/A	**167**
1992	27	11	3	12	3	10	60	35	11	N/A	**172**
1993	32	12	2	2	3	15	48	35	10	22	**181**
1994	35	15	1	1	2	17	31	17	7	3	**129**
1995	21	6	1	N/S	1	13	19	9	5	4	**79**
1996	15	3	N/S	N/S	1	4	7	6	2	6	**44**
1997	29	6	N/S	1	2	17	24	15	6	7	**107**
1998	51	10	N/S	N/S	3	11	30	14	7	7	**133**
1999	46	9	N/S	1	2	20	32	15	11	3	**139**
2000	62	11	1	1	3	21	41	38	10	2	**190**
2001	78	16	1	1	3	24	47	63	13	4	**250**
2002	79	13	1	1	4	25	27	62	11	6	**229**
2003	74	14	1	1	4	12	29	40	11	6	**192**
2004	75	10	1	N/S	3	6	40	42	15	6	**198**
Total	**860**	**144**	**24**	**42**	**63**	**283**	**2,315**	**691**	**270**	**76**	**4,768**

N/S: No Significativo.
N/A: No Aplica.

Tabla A.3.28 Emisiones de $PM_{2.5}$ por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de $PM_{2.5}$ [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V ≤ 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1980 y ant.	43	N/S	1	1	5	18	817	68	62	N/A	**1,015**
1981	9	N/S	N/S	N/S	1	3	177	25	14	N/A	**229**
1982	8	N/S	N/S	N/S	1	2	112	18	10	N/A	**151**
1983	5	N/S	N/S	N/S	N/S	1	40	6	3	N/A	**55**
1984	6	N/S	N/S	N/S	1	2	69	15	3	N/A	**96**
1985	7	N/S	N/S	N/S	1	3	103	24	6	N/A	**144**
1986	6	N/S	N/S	N/S	1	2	68	18	3	N/A	**98**
1987	5	N/S	N/S	N/S	1	1	39	6	2	N/A	**54**
1988	7	N/S	N/S	N/S	1	2	48	7	2	N/A	**67**
1989	10	N/S	1	1	2	6	59	11	4	N/A	**94**
1990	12	1	1	3	2	15	54	37	7	N/A	**132**
1991	14	3	1	6	2	17	51	25	10	N/A	**129**
1992	15	6	2	7	2	7	52	30	9	N/A	**130**
1993	18	7	1	1	1	12	41	30	8	12	**131**
1994	20	8	1	1	1	14	27	15	6	2	**95**
1995	12	3	1	N/S	1	11	16	8	4	2	**58**
1996	9	2	N/S	N/S	N/S	3	6	5	2	4	**31**
1997	16	3	N/S	N/S	1	14	21	13	5	4	**77**
1998	28	6	N/S	N/S	1	9	26	12	5	4	**91**
1999	26	5	N/S	N/S	1	17	28	13	9	2	**101**
2000	34	6	1	1	2	18	36	33	8	2	**141**
2001	43	9	1	1	2	21	41	55	10	2	**185**
2002	44	7	1	1	2	21	23	54	9	3	**165**
2003	41	8	1	1	2	10	25	35	9	3	**135**
2004	42	6	1	N/S	2	5	35	37	13	3	**144**
Total	**480**	**80**	**14**	**24**	**36**	**234**	**2,014**	**600**	**223**	**43**	3,748

N/S: No Significativo.
N/A: No Aplica.

Tabla A.3.29 Emisiones de NH_3 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
1980 y ant.	45	N/S	1	1	3	3	7	N/S	4	N/A	**64**
1981	40	N/S	1	1	1	1	2	N/S	1	N/A	**47**
1982	41	N/S	2	N/S	2	1	1	N/S	1	N/A	**48**
1983	24	N/S	1	N/S	1	1	-	N/S	N/S	N/A	**27**
1984	33	N/S	2	N/S	1	1	1	N/S	N/S	N/A	**38**
1985	41	N/S	2	1	3	2	1	N/S	1	N/A	**51**
1986	38	N/S	3	1	3	2	1	N/S	1	N/A	**49**
1987	29	N/S	2	1	5	2	-	N/S	N/S	N/A	**39**
1988	42	1	2	2	8	2	1	N/S	1	N/A	**59**
1989	59	1	3	6	9	4	1	N/S	1	N/A	**84**
1990	74	5	5	25	9	6	1	1	2	N/A	**128**
1991	83	18	6	50	12	9	1	1	3	N/A	**183**
1992	90	37	10	52	10	10	1	1	3	N/A	**214**
1993	108	40	8	7	9	10	1	1	3	6	**193**
1994	117	50	3	3	8	8	1	1	2	1	**194**
1995	72	21	4	2	4	5	1	N/S	2	1	**112**
1996	51	10	1	1	3	4	-	N/S	1	2	**73**
1997	98	20	1	2	6	6	1	1	2	2	**139**
1998	173	34	2	2	9	6	1	N/S	2	2	**231**
1999	155	31	1	2	7	7	1	1	3	1	**209**
2000	207	37	3	3	10	7	1	1	3	1	**273**
2001	261	55	3	3	10	7	2	2	3	1	**347**
2002	267	44	3	3	12	6	1	2	3	2	**343**
2003	247	45	4	2	14	4	1	1	2	1	**321**
2004	253	34	3	1	10	3	1	1	1	2	**309**
Total	**2,648**	**483**	**76**	**171**	**169**	**117**	**30**	**14**	**45**	**22**	**3,775**

N/S: No Significativo.
N/A: No Aplica.

Las emisiones de metano (CH_4), compuestos orgánicos volátiles (COV) y compuestos orgánicos totales (COT) 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.3.30 Porcentajes de CH_4, COV y COT con respecto a HCT

Tipo de Vehículo	Gasolina			Diesel		
	% CH_4	% COV	% COT	% CH_4	% COV	% COT
AP	4.3	94.1	101.6	4.1	98.7	104.1
TAX	4.3	94.1	101.6	N/A	N/A	N/A
CO	4.3	94.1	101.6	N/A	N/A	N/A
MIC	4.1	94.4	101.5	2.5	98.7	105.7
PICK	4.8	93.7	101.3	2.5	98.7	105.7
V ≤ 3	4.1	94.4	101.5	2.5	98.7	105.7
TRA	8.2	92.3	102.9	4.4	98.7	103.2
AUT	8.2	92.3	102.9	4.4	98.7	103.2
V > 3	8.2	92.3	102.9	4.4	98.7	103.2
MC	0.1	95.5	102.3	N/A	N/A	N/A

-MOBILE5-México.

Tabla A.3.31 Emisiones de CH_4 por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de CH_4 [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V ≤ 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1980 y ant.	912	1	12	36	76	75	152	15	267	N/A	**1,546**
1981	196	N/S	5	7	19	13	33	6	47	N/A	**326**
1982	195	1	8	7	20	15	21	3	54	N/A	**324**
1983	103	N/S	4	3	11	5	7	1	19	N/A	**153**
1984	128	N/S	6	3	12	9	13	3	21	N/A	**195**
1985	158	1	9	8	16	15	19	5	44	N/A	**275**
1986	148	1	11	6	18	12	12	4	34	N/A	**246**
1987	113	1	9	5	17	9	11	2	19	N/A	**186**
1988	130	3	7	10	27	11	13	2	34	N/A	**237**
1989	182	4	13	44	32	21	16	3	45	N/A	**360**
1990	229	15	19	342	32	32	15	10	61	N/A	**755**
1991	202	45	22	487	39	49	23	11	86	N/A	**964**
1992	218	90	37	393	33	50	23	14	80	N/A	**938**
1993	178	50	29	29	31	38	16	12	40	307	**730**
1994	194	63	13	10	27	31	14	8	26	45	**431**
1995	51	26	15	7	12	18	8	4	15	53	**209**
1996	36	12	4	2	4	5	3	2	5	70	**143**
1997	69	25	5	7	9	9	9	5	10	71	**219**
1998	124	43	6	8	12	10	11	5	12	75	**306**
1999	58	39	5	9	10	12	12	6	57	29	**237**
2000	68	41	10	9	13	11	15	14	16	22	**219**
2001	76	55	9	10	12	10	16	21	11	30	**250**
2002	67	38	9	10	13	9	9	21	10	41	**227**
2003	52	32	10	6	12	6	10	13	9	37	**187**
2004	44	20	6	3	8	3	13	14	8	34	**153**
Total	**3,931**	**606**	**283**	**1,461**	**515**	**478**	**494**	**204**	**1,030**	**814**	**9,816**

N/S: No significativo.
N/A: No Aplica.

Tabla A.3.32 Emisiones de COV por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de COV [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V ≤ 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1980 y ant.	19,957	20	249	814	1,477	1,849	3,400	309	3,129	N/A	**31,204**
1981	4,285	10	117	159	366	330	735	115	556	N/A	**6,673**
1982	4,272	13	181	150	399	371	464	76	639	N/A	**6,565**
1983	2,250	10	95	68	213	128	167	27	220	N/A	**3,178**
1984	2,803	9	138	70	231	218	287	62	241	N/A	**4,059**
1985	3,450	24	205	157	323	376	423	103	515	N/A	**5,576**
1986	3,240	30	233	115	351	300	278	77	392	N/A	**5,016**
1987	2,477	17	195	103	334	215	243	36	228	N/A	**3,848**
1988	2,837	57	151	196	519	258	299	45	389	N/A	**4,751**
1989	3,987	89	288	710	634	517	368	73	525	N/A	**7,191**
1990	5,010	331	414	2,565	636	838	339	234	710	N/A	**11,077**
1991	4,406	983	478	4,976	765	1,176	508	252	1,019	N/A	**14,563**
1992	4,769	1,974	814	5,239	654	1,133	523	307	963	N/A	**16,376**
1993	3,888	1,084	628	541	602	865	369	275	460	4,802	**13,514**
1994	4,238	1,374	293	194	515	683	309	173	298	711	**8,788**
1995	1,114	568	320	142	226	389	178	90	172	836	**4,035**
1996	789	257	91	49	79	69	60	48	55	1,096	**2,593**
1997	1,504	539	118	130	170	191	197	121	118	1,112	**4,200**
1998	2,671	936	134	156	233	168	242	112	133	1,168	**5,953**
1999	1,231	860	113	173	186	239	264	127	226	447	**3,866**
2000	1,461	889	218	177	241	230	333	307	184	345	**4,385**
2001	1,651	1,194	195	220	226	208	359	479	151	473	**5,156**
2002	1,470	834	185	180	248	181	201	464	129	639	**4,531**
2003	1,126	707	209	112	234	101	220	301	123	580	**3,713**
2004	963	443	131	60	150	51	303	317	140	530	**3,088**
Total	**85,849**	**13,252**	**6,193**	**17,456**	**10,012**	**11,084**	**11,069**	**4,530**	**11,715**	**12,739**	**183,899**

N/S: No Significativo.
N/A: No Aplica.

Tabla A.3.33 Emisiones de COT por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

Año Modelo	Emisiones de COT [ton/año]										
	AP	TAX	CO	MIC	PICK	V ≤ 3	TRA	AUT	V > 3	MC	Total
1980 y ant.	21,547	21	269	875	1,597	1,987	3,556	325	3,473	N/A	**33,650**
1981	4,627	11	127	171	396	354	769	121	616	N/A	**7,192**
1982	4,612	14	196	161	431	399	485	79	710	N/A	**7,087**
1983	2,430	10	102	73	230	138	175	28	244	N/A	**3,430**
1984	3,026	10	149	76	249	235	300	65	268	N/A	**4,378**
1985	3,725	26	221	169	350	404	442	108	573	N/A	**6,018**
1986	3,498	33	252	124	379	322	290	80	436	N/A	**5,414**
1987	2,674	18	210	111	362	231	255	37	254	N/A	**4,152**
1988	3,063	61	163	211	562	277	313	47	433	N/A	**5,130**
1989	4,305	96	311	763	685	556	385	76	585	N/A	**7,762**
1990	5,409	357	448	2,757	687	900	354	245	790	N/A	**11,947**
1991	4,757	1,061	517	5,350	827	1,263	532	264	1,131	N/A	**15,702**
1992	5,149	2,132	879	5,632	707	1,218	547	322	1,071	N/A	**17,657**
1993	4,198	1,171	678	582	651	930	385	288	510	5,144	**14,537**
1994	4,576	1,483	316	209	556	733	323	180	330	761	**9,467**
1995	1,202	613	345	152	245	418	186	95	190	896	**4,342**
1996	852	278	98	52	86	75	62	51	61	1,174	**2,789**
1997	1,624	582	127	140	184	205	206	126	129	1,191	**4,514**
1998	2,884	1,011	144	167	252	180	253	117	147	1,251	**6,406**
1999	1,329	928	122	186	201	256	276	133	249	479	**4,159**
2000	1,577	960	236	190	260	247	348	321	202	369	**4,710**
2001	1,783	1,290	211	237	245	223	376	501	164	506	**5,536**
2002	1,587	901	200	194	268	195	210	485	140	685	**4,865**
2003	1,215	764	225	120	253	108	230	315	133	622	**3,985**
2004	1,040	478	141	65	162	54	317	332	150	568	**3,307**
Total	**92,689**	**14,309**	**6,687**	**18,767**	**10,825**	**11,908**	**11,575**	**4,741**	**12,989**	**13,646**	**198,136**

N/S: No Significativo.
N/A: No Aplica.

Emisiones de SO_2.

Las emisiones de Bióxido de Azufre (SO_2) 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.3.34 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	3,445,562	2,190,720	0.031[1]	0.730[1]
PEMEX Premium	665,761	312,210	0.009[1]	0.734[1]
PEMEX Diesel	684,723	576,609	0.035[1]	0.830[1]
Gas LP	189,805	76,608	0.014[2]	0.540[4]
Gas Natural	30,323,376	1,000,000	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".

Se considera que no todo el azufre contenido en los combustibles se convierte en bióxido de azufre, esto debido a que los factores de emisión para PM_{10} contienen una porción de azufre como SO_4. Por lo tanto, el azufre que se convierte en SO_2 es el restante de la diferencia entre el azufre contenido en los combustibles y el que está presente como sulfato en las PM_{10}.

Tabla A.3.35 Emisiones de SO_2 por entidad y tipo de combustible

Tipo de Combustible	Emisiones [ton/año]	
	D.F.	EDOMEX
Gasolina	1,562	979
Diesel	381	321
GLP	28	11
GNC	38	1
Total	**2,009**	**1,312**

La distribución de las emisiones por tipo de vehículo se realizó con base en la distribución de emisiones de SO_2 del Mobile6 por tipo de combustible y con respecto a la fracción de kilómetros que recorre cada categoría.

Tabla A.3.36 Emisiones de SO_2 por tipo de vehículo y combustible

Tipo de Vehículo	Emisiones de SO_2 [ton/año]									
	Distrito Federal					Estado de México				
	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total	Gasolina	Diesel	GLP	GNC	Total
Autos Particulares	1,019	N/S	1	2	**1,022**	696	N/S	1	N/S	**697**
Taxis	285	N/A	N/S	N/S	**285**	27	N/A	N/A	N/A	**27**
Combis	10	N/A	N/S	N/A	**10**	34	N/A	N/S	N/A	**34**
Microbuses	44	N/S	15	25	**84**	36	N/S	2	1	**39**
Pick Up	53	N/S	N/S	N/S	**53**	96	N/S	N/S	N/S	**96**
Vehículos ≤ 3Ton	68	80	5	1	**154**	28	32	1	N/S	**61**
Tractocamiones	N/S	141	N/S	N/A	**141**	N/S	143	N/S	N/A	**143**
Autobuses	N/S	153	N/S	N/A	**153**	N/S	108	N/S	N/A	**108**
Vehículos > 3Ton	25	7	7	10	**49**	58	38	7	N/S	**103**
Motocicletas	58	N/A	N/A	N/A	**58**	4	N/A	N/A	N/A	**4**
Total	**1,562**	**381**	**28**	**38**	**2,009**	**979**	**321**	**11**	**1**	**1,312**

N/S: No Significativo.
N/A: No Aplica.

A continuación se presentan las emisiones de todos los contaminantes considerados en este inventario por tipo de vehículo, para cada entidad federativa y para la Zona Metropolitana del Valle de México.

Tabla A.3.37 Emisiones por las fuentes móviles para el Distrito Federal en el año 2004

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Autos Particulares	463	258	1,022	325,030	27,139	35,982	1,530	33,327	1,485
Taxis	129	72	285	104,960	9,897	12,685	537	11,748	432
Combis	5	3	10	13,990	642	1,353	57	1,253	15
Microbuses	27	15	84	83,756	6,957	12,283	1,177	11,425	126
Pick Up	19	11	53	22,209	2,104	2,499	119	2,311	57
Vehículos ≤ 3Ton	245	205	154	71,764	7,567	8,177	325	7,613	86
Tractocamiones	1,785	1,553	141	24,534	22,408	8,907	381	8,518	23
Autobuses	569	494	153	12,651	8,881	3,889	165	3,718	12
Vehículos > 3Ton	75	61	49	36,930	1,817	2,883	254	2,609	16
Motocicletas	70	40	58	90,360	973	12,368	738	11,546	20
Total	**3,387**	**2,712**	**2,009**	**786,184**	**88,385**	**101,026**	**5,283**	**94,068**	**2,272**

Tabla A.3.38 Emisiones por las fuentes móviles para el Estado de México en el año 2004

Tipo de Vehículo	Emisiones [ton/año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Autos Particulares	397	222	697	565,572	30,317	56,707	2,401	52,522	1,163
Taxis	15	8	27	13,749	1,165	1,624	69	1,504	51
Combis	19	11	34	55,204	2,566	5,334	226	4,940	61
Microbuses	15	9	39	67,800	3,321	6,484	284	6,031	45
Pick Up	44	25	96	84,129	6,468	8,326	396	7,701	112
Vehículos ≤ 3Ton	38	29	61	37,347	3,128	3,731	153	3,471	31
Tractocamiones	530	461	143	7,411	6,686	2,668	113	2,551	7
Autobuses	122	106	108	3,364	1,870	852	39	812	2
Vehículos > 3Ton	195	162	103	149,108	3,981	10,106	776	9,106	29
Motocicletas	6	3	4	8,039	84	1,278	76	1,193	2
Total	**1,381**	**1,036**	**1,312**	**991,723**	**59,586**	**97,110**	**4,533**	**89,831**	**1,503**

Tabla A.3.39 Emisiones por las fuentes móviles para la ZMVM en el año 2004

Tipo de Vehículo	Emisiones[ton/año]								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NOx	COT	CH_4	COV	NH_3
Autos Particulares	860	480	1,719	890,602	57,456	92,689	3,931	85,849	2,648
Taxis	144	80	312	118,709	11,062	14,309	606	13,252	483
Combis	24	14	44	69,194	3,208	6,687	283	6,193	76
Microbuses	42	24	123	151,556	10,278	18,767	1,461	17,456	171
Pick Up	63	36	149	106,338	8,572	10,825	515	10,012	169
Vehículos ≤ 3Ton	283	234	215	109,111	10,695	11,908	478	11,084	117
Tractocamiones	2,315	2,014	284	31,945	29,094	11,575	494	11,069	30
Autobuses	691	600	261	16,015	10,751	4,741	204	4,530	14
Vehículos > 3Ton	270	223	152	186,038	5,798	12,989	1,030	11,715	45
Motocicletas	76	43	62	98,399	1,057	13,646	814	12,739	22
Total	**4,768**	**3,748**	**3,321**	**1,777,907**	**147,971**	**198,136**	**9,816**	**183,899**	**3,775**

A.4FUENTES NATURALES

A.4.1 Vegetación y suelos

Las emisiones de COV generados por la vegetación y los NOx provenientes del suelo, se estimaron con el Global Biosphere Emissions and Interaction System, GloBEIS[1] por sus siglas en inglés. Para la estimación de emisiones se requiere de información *meteorológica, de uso de suelo y de los factores de emisión*.

Meteorología

La meteorología para cada uno de los días seleccionados, consiste en datos horarios de temperatura [°K] y de PAR[2], éstos constituyen el escenario del día a modelar y debido a que la ZMVM presenta tres temporadas bien definidas (seca-fría: noviembre–febrero, seca-cálida: marzo–mayo y lluvias: junio-octubre)[3], se seleccionó un día representativo de cada una de ellas, los cuales fueron: 10 de febrero, 21 de mayo y 25 de junio, respectivamente (para la selección de los días se puede consultar el manual de usuario del PCBEIS y figura siguiente).

La información meteorológica utilizada en los cálculos, fue proporcionada por la Subdirección de Meteorología de la SMA-GDF, con datos provenientes de la RAMA[4], se utilizó la temperatura de la estación meteorológica que queda incluida en cada delegación o municipio, y en caso de no contar con estación dentro de la delegación, se tomaron los datos de la más cercana.

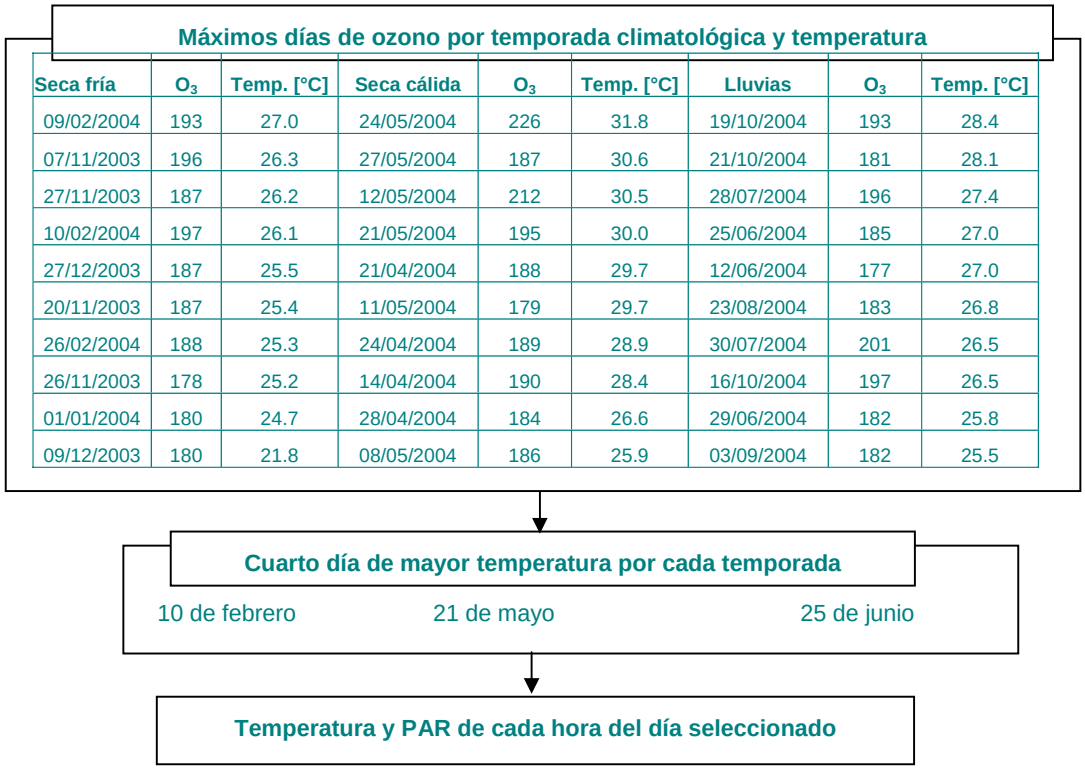
Los datos horarios del PAR fueron estimados con el modelo meteorológico MM5 (Mesoscale Model 5 Version 3.6), a través de su variable *SWDOWN* (Watts/m^2), esta radiación de onda corta es atenuada por la cobertura de nubes en el modelo y debe ser multiplicada por un factor de conversión que representa la fracción de luz visible, el valor de dicho factor es 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.

[1] 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).

[2] 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.

[3] Ruíz Suárez, *et al*, 1994. Cálculos y mediciones de hidrocarburos naturales en el Valle de México.

[4] Red Automática de Monitoreo Atmosférico SMA-GDF.



Seca fría	O_3	Temp. [°C]	Seca cálida	O_3	Temp. [°C]	Lluvias	O_3	Temp. [°C]
09/02/2004	193	27.0	24/05/2004	226	31.8	19/10/2004	193	28.4
07/11/2003	196	26.3	27/05/2004	187	30.6	21/10/2004	181	28.1
27/11/2003	187	26.2	12/05/2004	212	30.5	28/07/2004	196	27.4
10/02/2004	197	26.1	21/05/2004	195	30.0	25/06/2004	185	27.0
27/12/2003	187	25.5	21/04/2004	188	29.7	12/06/2004	177	27.0
20/11/2003	187	25.4	11/05/2004	179	29.7	23/08/2004	183	26.8
26/02/2004	188	25.3	24/04/2004	189	28.9	30/07/2004	201	26.5
26/11/2003	178	25.2	14/04/2004	190	28.4	16/10/2004	197	26.5
01/01/2004	180	24.7	28/04/2004	184	26.6	29/06/2004	182	25.8
09/12/2003	180	21.8	08/05/2004	186	25.9	03/09/2004	182	25.5

Figura A.4.1 Selección de días a modelar para el cálculo de las emisiones

Uso de suelo

El área de la ZMVM se estimó en 3,565 Km^2, cabe mencionar que debido al uso de los sistemas de información y a la escala de la cobertura digital de donde se obtuvieron dichas áreas, éstas pueden variar con la reportada para el área de estudio del inventario general. El uso de suelo para el inventario de emisiones biogénicas se basó en el Inventario Nacional Forestal 2000 (SEMARNAT, 2000), para el caso del Distrito Federal, fue actualizado con los asentamientos humanos irregulares (SMA-GDF, 2000[5]) y con el Inventario de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal (CORENADER, 2003[6]), así como de la información sobre cultivos agrícolas por delegación y por modalidad (primavera-verano, otoño-invierno, temporales y perennes)[7].

Tabla A.4.1 Área para el cálculo de las emisiones biogénicas

Área [Km^2]		
Distrito Federal	Estado de México	ZMVM
1,483	2,082	3,565

El GloBEIS requiere que el uso de suelo sea distribuido como una fracción del total, por especie vegetal o categoría del GloBEIS, la figura siguiente muestra el proceso de generación del archivo de uso de suelo.

5 Cobertura digital de asentamientos irregulares

6 Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural, 2003. Inventario de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal.

7 Secretaría de Agricultura, Ganadería. Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, delegación Distrito Federal, 2005.

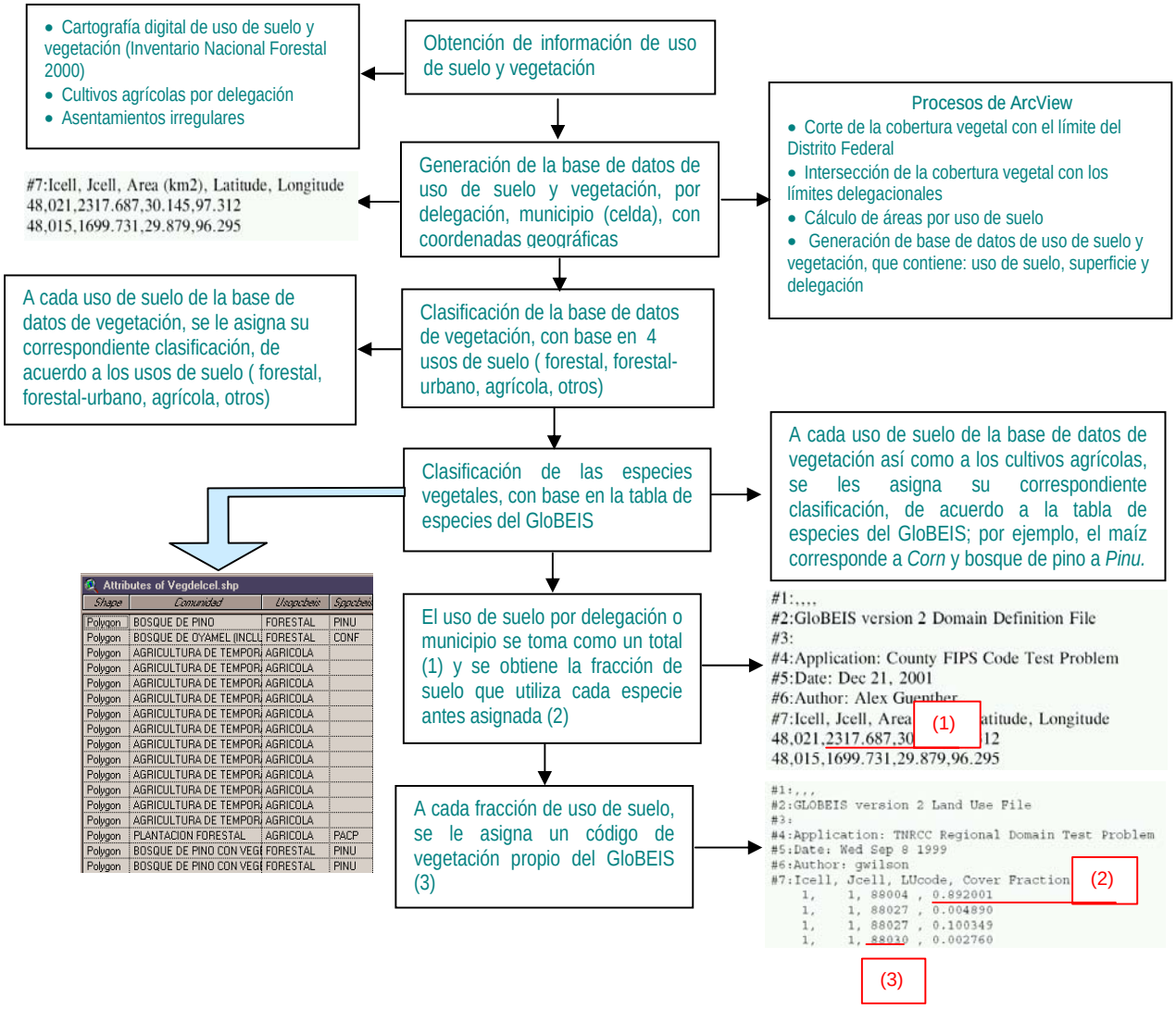


Figura A.4.2. Obtención del archivo de uso de suelo para el GloBEIS

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 de la ZMVM. 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 dicha planta, y se asocia a un factor de emisión del GloBEIS que corresponda a la misma familia.

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.

Debido a que el factor de emisión de las zonas urbanas considera cierto porcentaje de pasto y bosques (20% respectivamente), 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 aplico 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 distribuyó tomando como base las cifras reportadas para pasto y árboles en cada delegación.

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:

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 modulo "*Utilities"*).

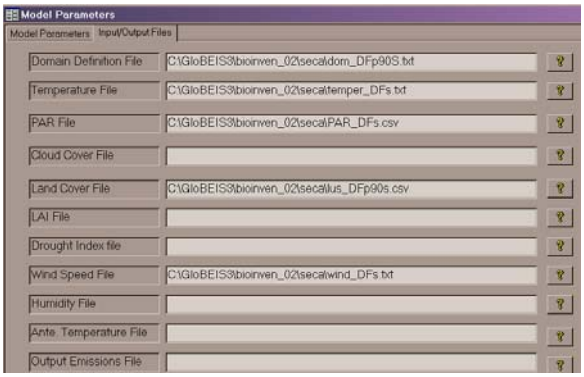


Figura A.4.3 Archivos de entrada del GloBEIS

Una vez definida la información anterior, se modifican los parámetros de entrada al modelo para realizar las respectivas corridas por temporada (ver figura siguiente y manual de usuario del GloBEIS).

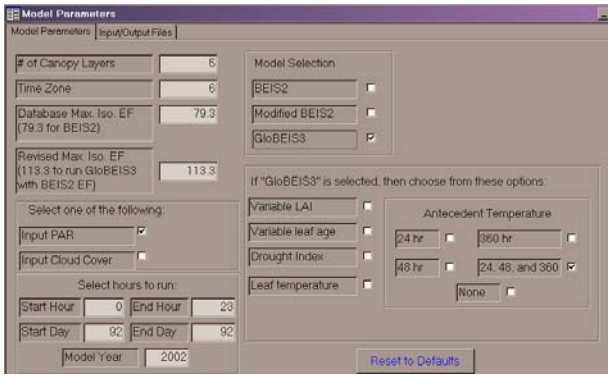


Figura A.4.4 Pantalla de parámetros del GloBEIS

Realizadas las respectivas corridas por temporada, se tienen las siguientes emisiones biogénicas en la Zona Metropolitana del Valle de México:

Tabla A.4.2 Emisiones biogénicas de la ZMVM

Temporada	Emisiones [ton/año]				
	Isopreno	Monoterpeno	OCOV	Total COV	NOx
Seca-Fría	1,224	1,867	1,961	5,052	141
Lluvias	1,978	2,231	2,360	6,569	255
Seca-cálida	2,109	1,896	1,980	5,985	230
Total	**5,311**	**5,994**	**6,301**	**17,606**	**626**

A.4.2 Erosión eólica del suelo.

Para la obtención de las áreas de erosión, se utilizó un sistema de información geográfica (ArcView), generándose una cobertura digital de las zonas susceptibles a la erosión eólica. Se utilizaron las áreas agrícolas del Inventario Nacional Forestal 2000, asumiéndose que las áreas agrícolas de temporal permanecen sin cubierta vegetal la mayor parte del año y son fácilmente susceptibles a la erosión eólica; para el caso de las áreas con 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.4.5).

Para el caso del Distrito Federal, se agregaron las áreas naturales protegidas, superficies consideradas con suelo con cubierta vegetal, también se contabilizaron los asentamientos irregulares y poblados considerados rurales, asumiendo que dichas áreas permanecen sin vegetación.

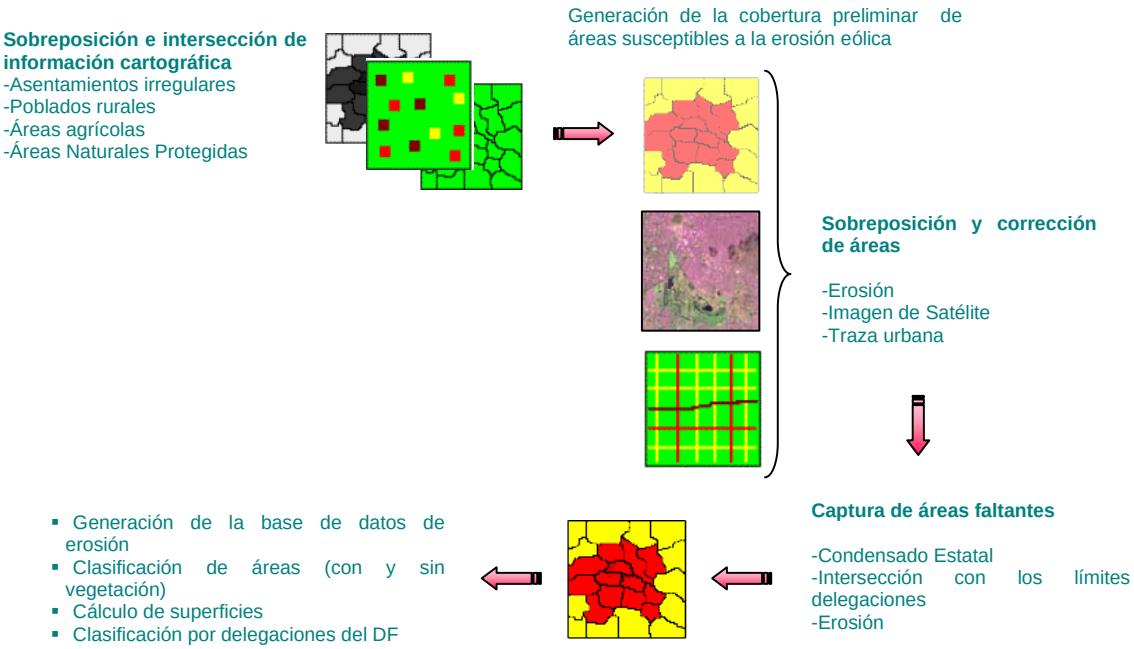


Figura A.4.5 Procedimiento de elaboración de la cobertura de erosión

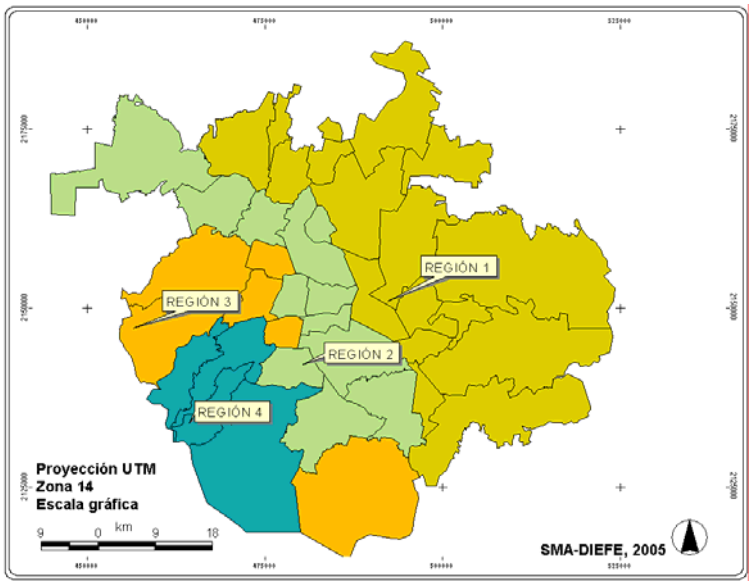
Finalmente se llevó a cabo la sobreposición de la cobertura preliminar de erosión, con una imagen de satélite LANDSAT TM, de 5 bandas del año 2000, con resolución de 30 m, la cual fue proporcionada por SEMARNAT y la traza urbana[8], lo anterior con la finalidad de realizar correcciones a las áreas de 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.

La cobertura digital de zonas susceptibles a la erosión eólica, fue dividida en cuatros regiones, con la finalidad de obtener condiciones meteorológicas específicas para cada una de ellas, basándose en la precipitación pluvial (ver tabla siguiente).

Tabla A.4.3 Regiones para el cálculo de emisiones por erosión

Región 1	**Región 2**	**Región 3**	**Región 4**
Acolman	Atizapán de Zaragoza	Azcapotzalco	Álvaro Obregón
Atenco	Gustavo A. Madero	Huixquilucan	Cuajimalpa de Morelos
Coacalco	Iztapalapa	Miguel Hidalgo	La Magdalena Contreras
Cuautitlán	Nicolás Romero	Milpa Alta	Tlalpan
Cuautitlán Izcalli	Tláhuac	Naucalpan de Juárez	
Chalco	Tlalnepantla de Baz		
Chalco Solidaridad	Xochimilco		
Chicoloapan	Venustiano Carranza		
Chimalhuacán			
Ecatepec			
Ixtapaluca			
La Paz			
Nezahualcóyotl			
Tecamac			
Texcoco			
Tultitlán			

8 SETRAVI, 2000. Cobertura digital de la traza urbana.



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.4.4 Áreas susceptibles a la erosión eólica ZMVM, 2004

Delegación	Superficie susceptible [ha]
Distrito Federal	48,938
Estado de México	144,671
ZMVM	**193,609**

El cálculo de las emisiones de PM_{10} generadas por la erosión, fueron realizadas con la metodología del 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 lo que se refiere a las $PM_{2.5}$, se estimaron con base en el perfil de especiación de material particulado propuesto por CEIDARS[9], 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'**

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

[9] California Emission Inventory And Reporting System, 2002.

V' = Factor de cobertura vegetal, adimensional
Para el factor *FS*[10]*,* 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 $PM_{10.}$

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, de acuerdo a la CORENADER[11] al estudio "Bases para el Manejo Ambiental de la Zona Oriente del Valle de México"[12]. 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. Con base en lo anterior, se tomó un valor de 56 toneladas/acre/año para el factor *I*.

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:

$$C = \frac{(0.345)\, V^3}{\left[115 \sum_{1}^{12} (Pm_i / Tm_i - 10)^{10/9}\right]^2}$$

Donde

V = velocidad promedio del viento, corregido a 10 metros [mi/hr]
Pm = precipitación mensual [pulgadas]
Tm = temperatura promedio mensual [°Fahrenheit]

La información de temperatura y el viento fueron proporcionados por Subdirección de Meteorología de la SMA-GDF, la temperatura proviene de los datos la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) y los valores de precipitación de la Dirección General Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH-GDF).

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 y para el caso de las áreas agrícolas 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),* para la amplitud de campo *(L)* 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; Návar y Treviño 1997[13]).

[10] EPA, 1997. Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Volumen de Fuentes de Área-Erosión eólica.
[11] Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural
[12] GDF-Universidad de Chapingo, 2000.
[13] 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.

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[14].

En la siguiente tabla se muestran los valores de las variables utilizadas para el cálculo de las emisiones de PM_{10} por cada región:

Tabla A.4.5 Variables de cálculo de para la erosión eólica del suelo por región

Parámetro		Región			
		1	2	3	4
Fracción de partículas suspendidas 2.5% (agrícola)	FS	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
Fracción de partículas suspendidas 3.8% (otros)	FS	3.8%	3.8%	3.8%	3.8%
Erosionabilidad (ton/acre/año)	I	56	56	56	56
Factor climático	C	0.0161	0.00089	0.00085	0.00018
Factor de rugosidad (agrícola)	K	0.6	0.6	0.6	0.6
Factor de rugosidad (otros)	K	1	1	1	1
Factor amplitud del campo sin protección(agrícola	L'	0.76	0.76	0.76	0.76
Factor amplitud del campo sin protección (otros)	L'	0.32	0.32	0.32	0.32
Factor de cobertura vegetal (sin veg.)	V'S	1	1	1	1
Factor de cobertura vegetal (con veg.)	V'C	0.5	0.5	0.5	0.5
Velocidad de viento (millas/hora)	V	1.76	1.58	1.87	1.36

1 ha = 2.5 acres

A continuación se muestran las emisiones obtenidas:

Tabla A.4.6 Emisiones generadas por la erosión eólica

Entidad	Superficie de erosión [ha]	PM_{10}	PM_{25}
Distrito Federal	48,938	20	4
Estado de México	144,671	1,181	257
ZMVM	**193,609**	**1,201**	**261**

[14] EPA, 1997. Manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México. Volumen de Fuentes de Área-Erosión eólica.

ANEXO B. GLOSARIO

A continuación se presenta una serie de definiciones, que abarca tanto los conceptos utilizados expresamente en esta publicación como otros que pueden estar involucrados de manera indirecta. Las definiciones no necesariamente constituyen una normatividad o mandato oficial para propósitos de regulación o administración ambiental.

Aerosoles. Grupo de partículas que, debido a su baja velocidad de sedimentación, pueden permanecer suspendidas en el aire durante periodos prolongados de tiempo.

Aire. Mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos veinte por ciento (20%v) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%v) de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua.

Atmósfera. (atmo- + gr. sphaira, esfera) Masa de aire que rodea la Tierra.

Biogás. Gas combustible, mezcla de metano con otras moléculas, formado en reacciones de descomposición de la materia orgánica (biomasa) .

Bióxido de azufre (SO_2). El SO_2 es un gas incoloro que reacciona con una gran variedad de partículas de la atmósfera y con gotas de agua para formar sulfatos, aerosoles y precipitación ácida. Son emitidos durante la combustión de combustibles fósiles conteniendo azufre, tales como carbón, combustóleo y en menor grado el diesel. La combinación de SO_2 con altas concentraciones de partículas incrementa la mortalidad, morbilidad y las deficiencias en las funciones pulmonares.

Bióxido de carbono (CO_2). El CO_2 es un gas incoloro, inodoro e insípido más ligero que el aire. Reacciona con la hemoglobina de la sangre para formar la carboxihemoglobina, y en consecuencia se reduce el oxigeno acarreado en la sangre. Es emitido principalmente por las Fuentes Móviles producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles.

Bióxido de nitrógeno (NO_2). El monóxido y el bióxido de nitrógeno son potencialmente dañinos para la salud humana, estimándose que el bióxido es cuatro veces más tóxico que el monóxido. A la concentración que se encuentra en al atmósfera el óxido nítrico no es irritante, sin embargo al oxidarse se convierte en bióxido de nitrógeno que representa un riego para la salud. El óxido nítrico se deriva de los procesos de combustión, es un contaminante primario y juega un doble papel en materia ambiental, ya que se le reconocen efectos potencialmente dañinos de manera directa, al mismo tiempo que es uno de los precursores del ozono y otros oxidantes fotoquímicos. La acumulación de bióxido de nitrógeno en el cuerpo humano altera la capacidad de respuesta de las células en procesos inflamatorios.

Catalizador. Agente o sustancia química que acelera la velocidad de una reacción química sin que se consuma en la reacción química en que participa. Hay enzimas que actúan como catalizadores biológicos.

Combustible fósil. Producto de la descomposición, parcial o completa, de plantas y animales prehistóricos, y que se encuentran como petróleo crudo, gas natural, carbón o aceites pesados que se originan como resultado de su exposición a intenso calor y alta presión bajo la corteza terrestre, durante millones de años.
Combustión. Proceso químico en el que se produce desprendimiento de calor y en algún caso, luz y ruido. Comúnmente se refiere a la combinación de oxígeno con una substancia,

sin embargo, hay otros procesos de oxidación que ocurren sin presencia de oxígeno como la reacción entre el fósforo o el sodio en atmósfera de cloro.

Compuestos orgánicos volátiles (COV). Incluye un amplio grupo de sustancias individuales como los hidrocarburos (alcanos, alquenos y aromáticos), compuestos halogenados (por ejemplo, tricloroetileno) y compuesto oxigenados (alcoholes, aldehídos y cetonas). Todos son compuestos orgánicos de carbono y poseen una volatilidad suficiente para existir como vapores en la atmósfera.

Concentración de contaminantes. Relación que existe entre el peso o el volumen de la sustancia o contaminante y la unidad de volumen del aire en la cual esté contenida, eje. Partes por millón, microgramos por metro cúbico. Unidad adimensional que permite comparar las magnitudes de los contaminantes en una escala El índice IMECA toma en cuenta las normas de calidad del aire y los niveles de daño significativo a la salud; así, la calidad del aire puede clasificarse como buena, satisfactoria, no-satisfactoria, etc…, que corresponde a los grados en que se puede ver afectada la salud de personas.

Contaminación del aire. Es la presencia en la atmósfera de uno o más elementos, en cantidad suficiente, con ciertas características y una permanencia determinada, que pueda causar efectos indeseables tanto en el ser humano, la vegetación, los animales, las construcciones y los monumentos. Estos elementos pueden ser polvo, olores, humos o vapor.

Contaminación. Presencia de materia o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables. Alteración hecha o inducida por el hombre a la integridad física, biológica, química y radiológica del medio ambiente.

Contaminante del aire. Sustancia en el aire que, en alta concentración, puede dañar al hombre, animales, vegetales o materiales. Puede incluir casi cualquier compuesto natural o artificial susceptible de ser transportado por el aire. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, líquidas, gases o combinados. Generalmente se clasifican en los compuestos emitidos directamente por la fuente contaminante o contaminantes primarios y los compuestos producidos en el aire por la interacción de dos o más contaminantes primarios o por la reacción con los compuestos naturales encontrados en la atmósfera.

Contaminante primario. Sustancias producidas en las actividades humanas o en la naturaleza que entran directamente en el aire alterando su composición normal. Los automóviles, aeroplanos, ferrocarriles diesel y algunas industrias son productores de estos contaminantes (SO_2 y SO_3, hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno).

Contaminante secundario. Substancia que se forma en la atmósfera cuando algún contaminante primario reacciona con otros componentes del aire. Las inversiones térmicas favorecen la formación de contaminantes secundarios conocidos como smog (humo o niebla) mediante las reacciones fotoquímicas. Los contaminantes secundarios que provocan mayores problemas son los denominados oxidantes fotoquímicos. El bióxido de nitrógeno por ejemplo, es un contaminante primario, que en presencia de luz solar forma parte del ciclo fotoquímico:
NO_2 + luz ==>NO +O. Los átomos reaccionan O + O_2 ==>O_3(contaminante secundario).
El ciclo se complementa cuando ocurre la reacción O3 + HNO_3==> NO_2 + O_2 + 2OH- .

El ciclo se desbalancea por los hidrocarburos que participan en las reacciones químicas que permiten que el óxido nítrico reaccione y se transforme en dióxido de nitrógeno.
Los hidrocarburos reaccionan con el oxígeno atómico, molecular y el ozono produciendo otros componentes del smog. Los peroxiacetilnitratos (PAN) y el ácido sulfúrico son otros contaminantes secundarios.

Contaminante. Materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, derivados químicos o biológicos (desechos orgánicos, sedimentos, ácidos, bacterias y virus, nutrientes, aceite y grasa) así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que al incorporarse y actuar en la atmósfera, aguas, suelos, flora, fauna o cualquier elemento del ambiente alteran o modifican su composición o afectan a la salud humana.

Contaminantes criterio. Son los que se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objeto de estudios publicados en documentos de calidad del aire. Los contaminantes criterio son: Óxidos de azufre (SOx) Material particulado Óxidos de nitrógeno (NOx) Ozono (O3) Monóxido de Carbono (CO).

Contingencia ambiental. Situación de riesgo por la presencia de altas concentraciones de contaminantes criterio en el aire, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que pueden poner en peligro la salud de la población, así como afectar a los ecosistemas.

Densidad. Cantidad de materia contenida en la unidad de volumen, se mide por ejemplo, en g/ml.

Desechos sólidos municipales. Materiales sólidos descargados desde las casas, comercios e industrias en las áreas urbanas o cercanas a éstas.

Desnitrificación. Proceso inverso a la nitrificación, se define como la reducción respiratoria de nitratos o nitritos a nitrógeno.

Efecto invernadero. Proceso por el cual, la energía irradiada del suelo es liberada paulatinamente, el exceso ciertos gases (CO_2 y CH_4 principalmente) hace que la liberación de esta energía sea menor y por consiguiente, que exista un aumento de temperatura a nivel global.

Emisión. Descarga de contaminantes a la atmósfera provenientes de chimeneas y otros conductos de escape de las áreas industriales, comerciales y residenciales, así como de los vehículos automotores, locomotoras o escapes de aeronaves.

Emisiones biogénicas. Incluye los compuestos orgánicos volátiles generados por la vegetación y los NOx producto de la actividad microbiana del suelo.

Erosión eólica. La desintegración gradual de la superficie de los suelos, provocada por la acción del viento.

Factor de emisión. Relación entre la cantidad de contaminación producida y la cantidad de materias primas procesadas o energía consumida. Por ejemplo: un factor de emisión para una siderúrgica con procesos de altos hornos para producir hierro puede ser el número de kilogramos de partículas emitidas por cada tonelada de materia prima procesada. Valor

representativo que relaciona la cantidad emitida de un contaminante con una actividad o parámetro asociado al proceso. Usualmente se expresa como el peso de un contaminante dividido entre una unidad de volumen, peso, distancia o duración de la actividad que emite el contaminante.

Fracción respirable. Partículas cuyo tamaño es menor a 10 micrómetros y pueden introducirse sin ningún obstáculo al interior del sistema pulmonar hasta los alvéolos.

Gasolina. Líquido volátil inflamable, de olor característico, mezcla de hidrocarburos de bajo peso molecular (4 a 12 carbonos). Producto de la destilación fraccionada del petróleo. Insoluble en agua, soluble en etanol, éter, cloroformo y benceno. Disuelve a las grasas, aceites y resinas, o por lo que tiene un amplio uso en la industria. sinónimo Bencina o Nafta (Amér.).

Hidrocarburos. Compuestos orgánicos formados por carbono e hidrógeno. Los átomos de C pueden formar largas cadenas. Así, por ejemplo, el hidrocarburo más sencillo es el CH_4 (metano). La gasolina C_8H_{18} está formada principalmente por diferentes isómeros del octano.

IMECA. Unidad adimensional que permite comparar las magnitudes de los diversos contaminantes en una escala homogénea que va de cero a 500. El nivel 100 puntos corresponde al valor de la norma oficial mexicana establecida para cada uno de los contaminantes.

Inversión térmica. Condición atmosférica en la cual una capa de aire frío es atrapada debajo de una capa de aire caliente, de tal manera que impide el movimiento natural de convección del aire. Este evento hace que los contaminantes presentes dentro de la capa atrapada sean difundidos horizontalmente en lugar de verticalmente, y su concentración aumente a un nivel muy alto al encontrar reducida la capacidad de dilución y la entrada continua de emisiones.

Isopreno. Compuesto orgánico de las plantas formado por cinco carbonos, los terpenos están constituidos por dos o más unidades de Isopreno.

Joule (j). Unidad del Sistema Internacional para medir el trabajo y todas las demás formas de energía. Se realiza 1J de trabajo cuando se ejerce una fuerza de un newton sobre un objeto que se desplaza un metro en la dirección de la fuerza.

Metano (CH_4). Hidrocarburo gaseoso, CH_4, producido por descomposición de sustancias vegetales en el cieno de algunos pantanos, en las minas de carbón, etc. Forma con el aire una mezcla inflamable. Sinónimo. Gas de los pantanos.

Metanol. Alcohol metílico, carbinol, . CH_3OH. Punto de ebullición a 64ºC, líquido incoloro, tóxico, miscible en agua. Se obtiene por destilación de la madera e industrialmente del carbono e hidrógeno a 380ºC y 200 atmósferas de presión, con óxido de cromo y zinc como catalizador. Se emplea en la fabricación de lacas, barnices, explosivos, celuloide, seda artificial, resinas y gomas.

mm de lluvia. Forma de medir las precipitaciones de lluvia o nieve o la evapotranspiración. Corresponde a la altura de agua que se evapora o cae sobre el terreno. En número es igual al de litros por m^2, porque si llueve un litro en 1 m^2 significa que sobre ese terreno se deposita una capa de 1 mm de agua.

Monitoreo. Supervisión o comprobación periódica o continua para determinar el grado de cumplimiento de requerimientos establecidos sobre niveles de contaminación en varios medios bióticos.

Monoterpeno. Terpeno formado por una cadena de 10 carbonos.

Monóxido de carbono (CO). Su principal fuente de emisión son los motores de combustión interna, es un gas incoloro, sumamente estable con vida media promedio en el aire de 2 meses, este contaminante presenta un fuerte gradiente espacial, por lo que las concentraciones presentes en micro ambientes como en las banquetas de calles con intenso transito vehicular y en el interior de vehículos privados y públicos son mucho mayores que las concentraciones medidas simultáneamente en las estaciones fijas de análisis continuo. Esto significa que a pesar de que no excede la norma a nivel de estación, puede haber un número considerable de personas que se ven expuestas a niveles peligrosos de este contaminante. El principal efecto en la salud de la población expuesta a este contaminante, es el bloqueo de la hemoglobina de la sangre, lo que priva la oxigenación de los tejidos del organismo con consecuencias fatales en personas con afecciones cardiacas.

Nitrificación. La plantas incorporan el nitrógeno en forma de nitratos, la conversión a éstos nitratos se realiza por medio de algunas bacterias, a través del proceso de nitrificación, éste ocurre en dos etapas, la conversión de amonio a nitrito (NH_4+ a NO_2-) y de nitrito a nitrato (NO_2- a NO_3-).

Norma. Dato numérico adoptado para utilizarse como marco de referencia, con el cual se comparan las mediciones ambientales con el propósito de interpretarlas.

Ozono (O_3). Molécula inorgánica muy oxidante de color azulado y olor a marisco, que es un estado alotrópico del oxígeno producido por la electricidad, y se encuentra en pequeñas proporciones en la atmósfera después de las tempestades. En la parte baja de la atmósfera es un contaminante que daña los tejidos vivos y el caucho; mientras que en la estratosfera desempeña una importante función al filtrar los rayos ultravioleta. Se usa en algunos tratamientos de purificación del agua.

PAR. La radiación solar en la parte del espectro visible de 200 a 400 nanómetros, que es la utilizada para la fotosíntesis de las plantas se expresa como PAR por sus siglas en inglés (Photosintetic Active Radiation).

Partículas suspendidas (PST), (PM_{10}). Las partículas pueden tener un origen natural o bien formarse por reacciones fotoquímicas en la atmósfera, estas últimas pueden estar formadas por sulfatos, nitratos y sus ácidos correspondientes, o por carbón orgánico. También existen partículas y aerosoles en estado líquido, que contienen compuestos orgánicos. Su origen puede deberse a la emisión de polvos, gases y vapores provenientes de vehículos automotores y fabricas, asimismo se pueden formar en la atmósfera a partir de gases y vapores producidos por reacciones químicas entre contaminantes gaseosos en la superficie de partículas ya existentes, aglomeración de aerosoles o reacciones fotoquímicas en las que

intervienen compuestos orgánicos. La exposición a este contaminante puede causar reducción en las funciones pulmonares, asimismo se pueden presentar los siguientes efectos: Interferir con uno o más mecanismos del aparato respiratorio y actuar como vehículo de sustancias tóxicas absorbidas o adheridas a su superficie, adicionalmente las partículas muestran efectos sobre la visibilidad, debido a que estas, dispersan y absorben la luz.

Las partículas suspendidas menores a 10 micras de diámetro aerodinámico pueden ser inhaladas y llegar a los pulmones, causando daño a la salud. Actualmente se considera que este tipo de partículas es un mejor indicador de calidad del aire que las partículas suspendidas totales. Contaminante generado por los procesos de combustión, calentamiento, producción, transporte y manipulación de materiales pulverizados; está constituido por cenizas, humos, polvos, metales, etc. Su principal fuente emisora es la industria que cuenta con calderas, hornos, incineradores, etc., al igual que los vehículos automotores que utilizan diesel. Como fuentes naturales se encuentran las áreas erosionadas, áreas sin pavimentación, emisiones volcánicas, etc. Las partículas en el aire se pueden medir como PST o PM_{10}.

Población. Grupo de individuos de la misma especie que se encuentran en el mismo lugar y tiempo y que se están cruzando.

ppm. Partes por millón. Forma de medir concentraciones pequeñas. 300 ppm equivalen a 0,03%. Preadaptación. Característica que se desarrolló en un conjunto de condiciones ambientales que, sólo por casualidad, ayudan a un organismo a adaptarse a las nuevas condiciones.

Sistema de control. Cualquier sistema, equipo o modificación de procesos, que tenga por objeto reducir la emisión de contaminantes del aire, por ejemplo el sistema de recuperación de vapores de gasolina en estaciones de servicio.

ACRONIMOS Y SIMBOLOGIA

°F	Grados Fahrenheit
%S	Contenido de azufre en por ciento peso
%w	Por ciento en peso
°C	Grados Celsius o centígrados
°R	Grados Rankine
µm	Micrómetros
Aldehídos	Aldehídos
BTU	British Thermal Unit (Unidad térmica británica)
c.c.	Caballos caldera
CMAP	Clasificación Mexicana de Actividades y Productos
CO	Monóxido de carbono
CO_2	Bióxido de carbono
CONAPO	Consejo Nacional de Poblaciòn
COT	Compuestos orgánicos totales
COT	compuestos orgánicos totales
COV	Compuestos orgánicos volátiles
CH_4	Metano
ENIGH	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares

ft^3	Pie cúbico
g	Gramo
g/km	Gramos por kilómetro
gal	Galón
GLOBEIS	Global Biosphere Emissions and Interactions System
GLP	Gas licuado de petróleo
gr	Grano
h	Hora
hab	Habitantes
HCNM	Hidrocarburos no metánicos
HCNQ	Hidrocarburos no quemados
HCT	Hidrocarburos totales
IMECA	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
KPa	Kilopascal
KRV	Kilómetros Recorridos por los Vehículos.
l	Litro
lb	Libra
LOT	Ciclos de operación de vuelo
m^3	Metro cúbico
mbl	Miles de barriles
mg	Miligramos
Mg	Mega gramo
mm	Milímetros
NH_3	Amoniaco
NO_X	Oxido de nitrógeno
PAR	Radiación de Actividad Fotosintética
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PHNC	Programa Hoy No Circula
PM_{10}	Partículas menor a 10 micras
$PM_{2.5}$	Partículas menor a 2.5 micras
PSIA	Libras por pulgada cuadrada (Pounds per Square Inch)
PVVO	Programa de Verificación Vehicular Obligatorio.
RAMA	Red Automática de Monitoreo Atmosférico
RVP	Presión de vapor REID
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de energía
SIMBAD	Sistema Municipal de Base de Datos
SO_2	Bióxido de azufre
SRV	Sistema de recuperación de vapores
TCCA	Tasa de Crecimiento Compuesto Anual
ton	Tonelada
UAM	Universidad Autónoma Metropolitana
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México
%v	Por ciento en volumen