



GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL
México, la Ciudad de la Esperanza



I **n**ventario de **E** misiones



Zona

Metropolitana del

Valle de

México

2
0
0
4

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 Aeroportuario de la Ciudad de México AICM-Gerencia de Sistemas-Comunicaciones e Información de la Subdirección de Finanzas y Administración.
- Cámara Nacional de la Industria de Baños y Balnearios (CANAIBAL).
- Cámara Nacional de la Industria de Artes Gráficas (CANAGRAF).
- Red de Transporte de Pasajeros del Gobierno del Distrito Federal.

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

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 Secretaría del Medio Ambiente, ha desarrollado inventarios que han mejorado en su calidad y actualmente estos presentan, además de la cuantificación desagregada de las emisiones por tipo de fuente, categoría o subsector, la variación temporal y espacial de las emisiones contaminantes generados en la ZMVM.

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

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

Al igual que en el inventario del año 2000 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 PM₁₀ 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 información³. 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 Ambiental⁴. 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 investigadores⁵, 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 (PM₁₀, CO, NO_x y SO₂) las emisiones de PM_{2.5}, COT, COV, NH₃ y CH₄, 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.

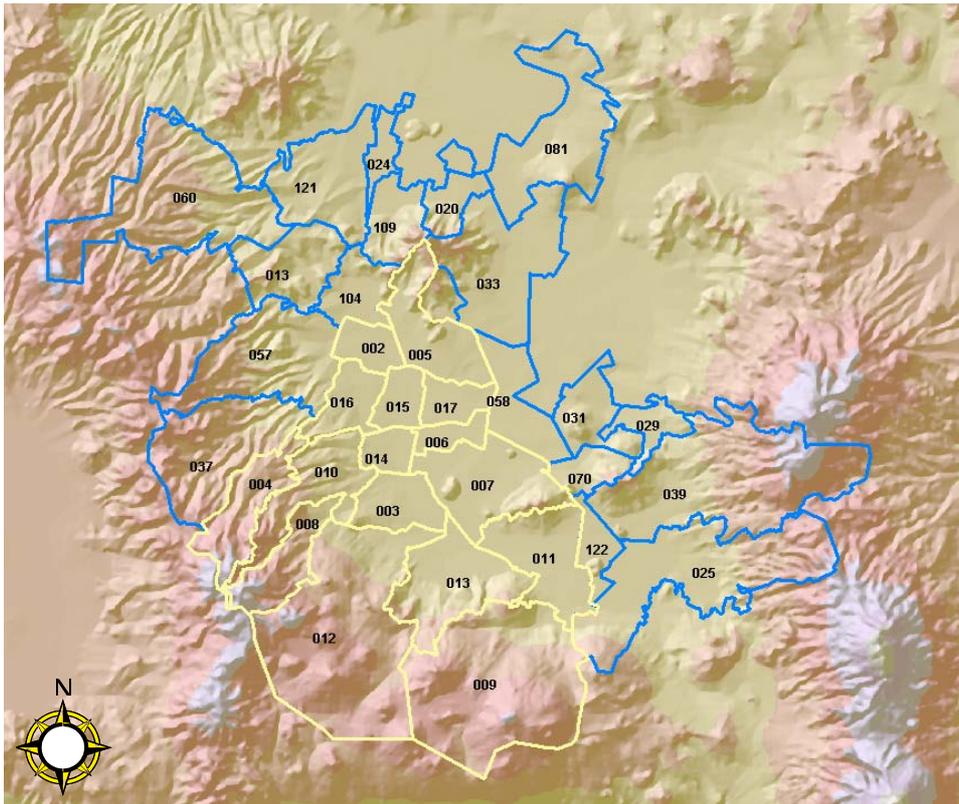
6 Evaluation of the 1998 Emissions Inventory for the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico. Prepared for Western Governors' Association. Denver, Colorado. May 7, 2003.

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 km² de área, incluye las 16 delegaciones del Distrito Federal (1,486 km²) y 18 municipios conurbados del Estado de México (2,054 km²) ver Figura 2.1.1.



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 | | DISTRITO FEDERAL | |
|-------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| NOMBRE | CVE | NOMBRE | CVE |
| ▪ ATIZAPAN DE ZARAGOZA | 013 | ▪ ALVARO OBREGÓN | 010 |
| ▪ CHALCO | 025 | ▪ AZCAPOTZALCO | 002 |
| ▪ VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD | 122 | ▪ BENITO JUÁREZ | 014 |
| ▪ CHICOLOAPAN | 029 | ▪ COYOACAN | 003 |
| ▪ CHIMALHUACAN | 031 | ▪ CUAJIMALPA DE MORELOS | 004 |
| ▪ COACALCO | 020 | ▪ CUAUHTEMOC | 015 |
| ▪ CUAUTITLAN | 024 | ▪ GUSTAVO A. MADERO | 005 |
| ▪ CUAUTITLAN IZCALLI | 121 | ▪ IZTACALCO | 006 |
| ▪ ECATEPEC DE MORELOS | 033 | ▪ IZTAPALAPA | 007 |
| ▪ HUIXQUILUCAN | 037 | ▪ LA MAGDALENA CONTRERAS | 008 |
| ▪ IXTAPALUCA | 039 | ▪ MIGUEL HIDALGO | 016 |
| ▪ LA PAZ | 070 | ▪ MILPA ALTA | 009 |
| ▪ NAUCALPAN DE JUÁREZ | 057 | ▪ TLAHUAC | 011 |
| ▪ NEZAHUALCOYOTL | 058 | ▪ TLALPAN | 012 |
| ▪ NICOLAS ROMERO | 060 | ▪ VENUSTIANO CARRANZA | 017 |
| ▪ TECAMAC | 081 | ▪ XOCHIMILCO | 013 |
| ▪ TLALNEPANTLA | 104 | | |
| ▪ TULTITLAN | 109 | | |

La ZMVM, se localiza en la región central de la República Mexicana, forma parte de una cuenca semicerrada de 9,560 Km² 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. 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, 2001¹).

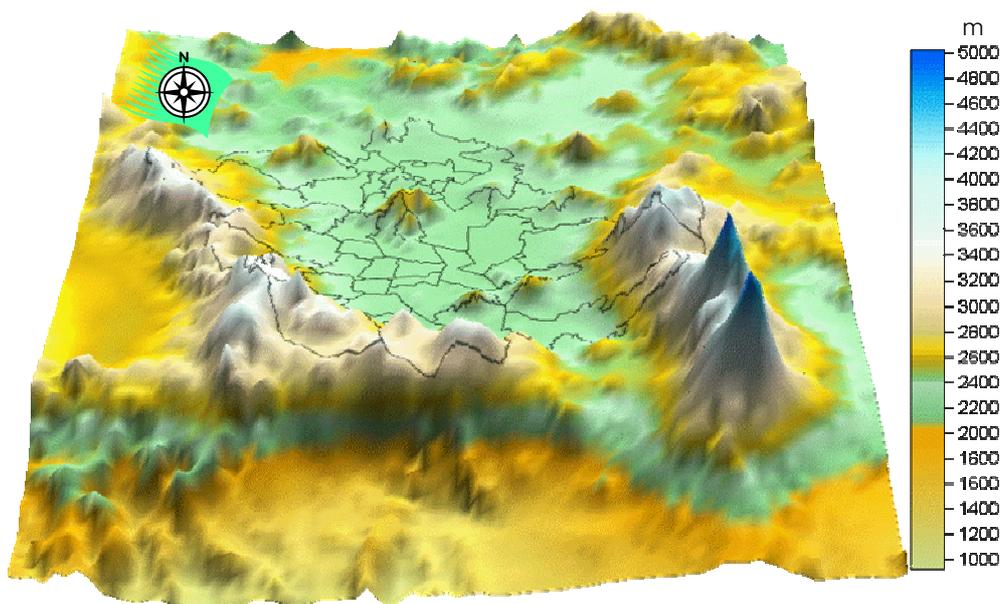


Figura 2.1.2 Alturas del área de estudio

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).

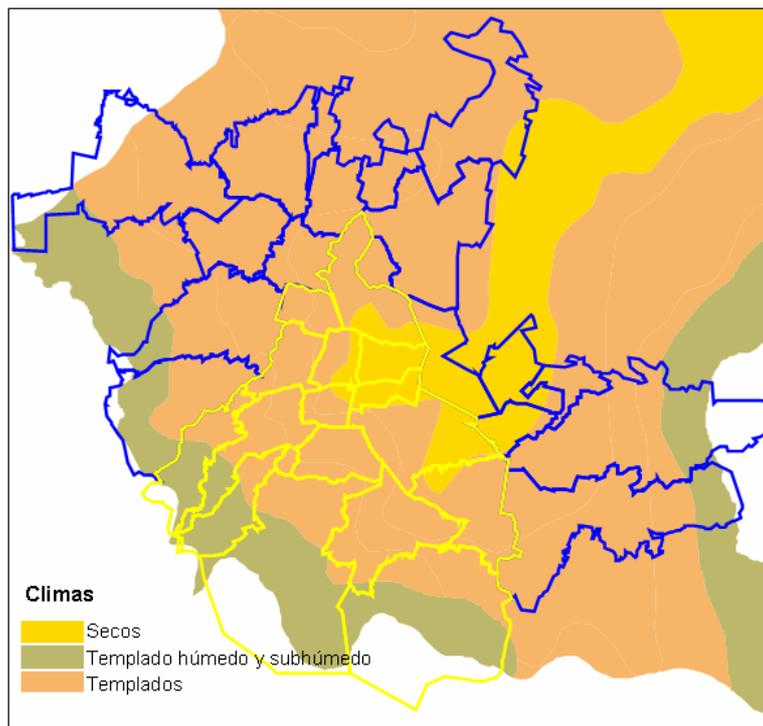


Figura 2.1.3 Climas de la Zona Metropolitana del Valle de México

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 en esta última estación permiten dividirla en dos estaciones: Seca-Caliente y Seca-Fría. La primera comprende de marzo a mayo y la segunda de noviembre a febrero².

Por otro lado la temporada de lluvias y humedad relativa alta, se presenta desde mediados de mayo, pero se vuelve más evidente entre junio y octubre, sobre todo en la primera quincena de este último mes, descendiendo con ello los niveles de algunos contaminantes, principalmente por la inestabilidad atmosférica que provocan los sistemas meteorológicos propios de la época. Especialmente, los niveles más altos de precipitación se registran en las zonas montañosas y los más bajos en la zona oriente (noreste principalmente).

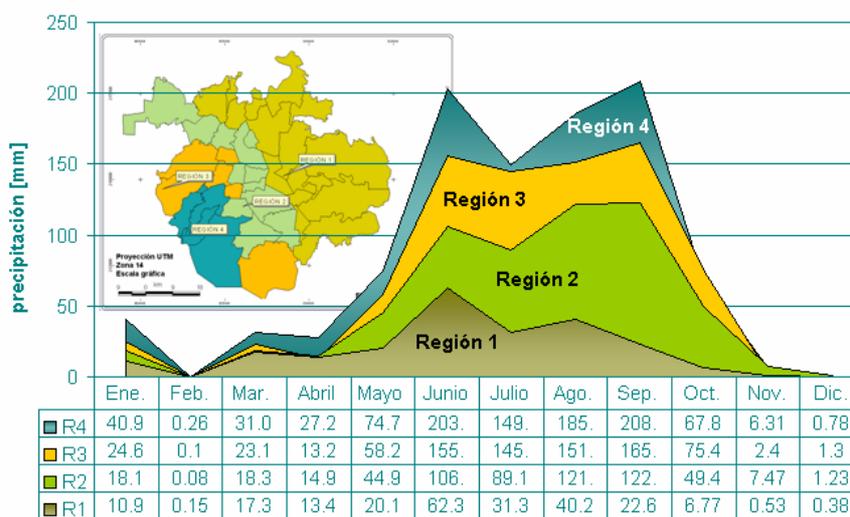
² <http://www.inegi.gob.mx/entidades/espanol/fdf.html>, 1998

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).

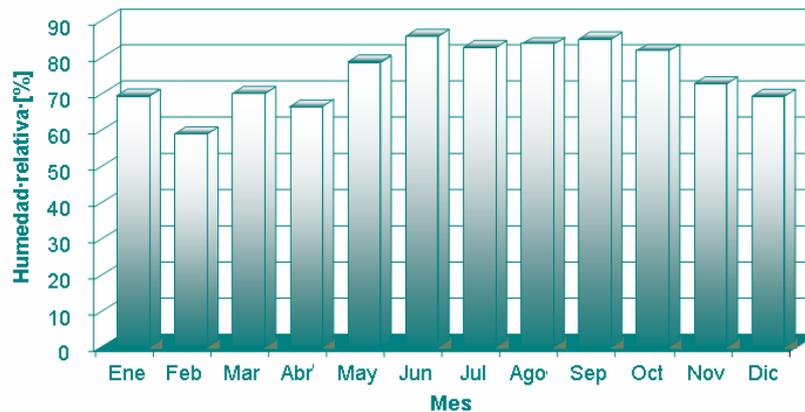
El aumento de la precipitación pluvial propicia una disminución en los índices de calidad del aire de la zona por efecto de “lavado troposférico” y mitiga la emisión de partículas.

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.



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 fundamentalmente 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.

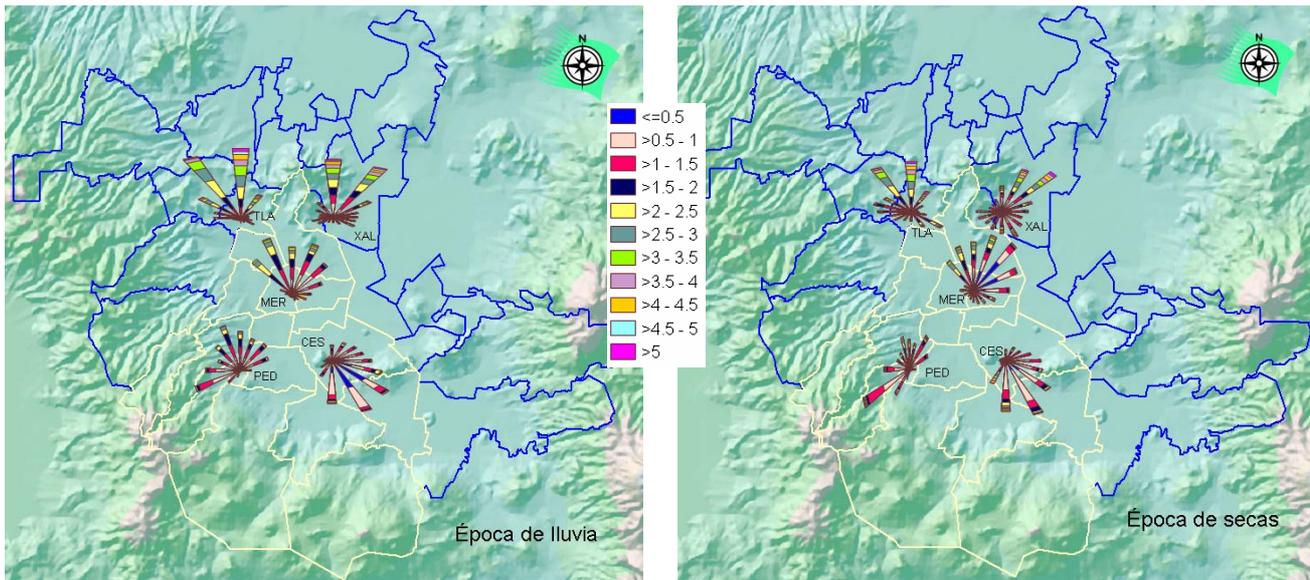


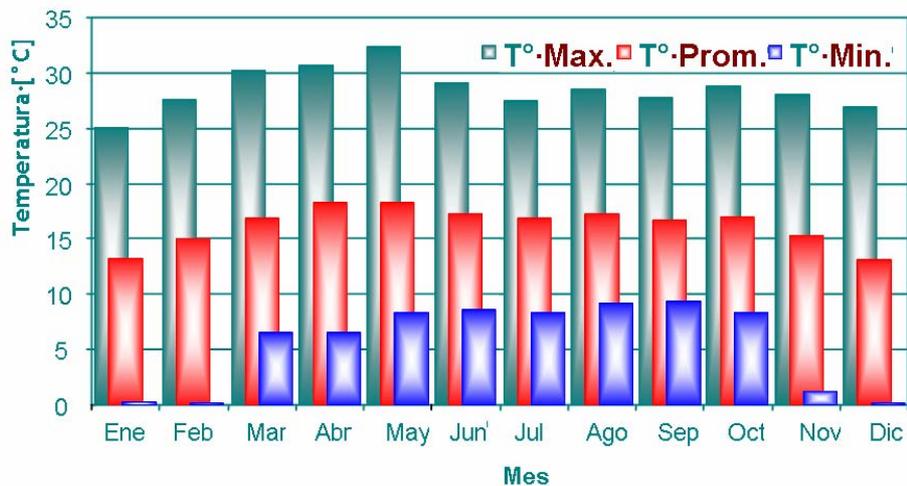
Figura 2.1.4 Rosas de viento promedio anual, 2004

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.

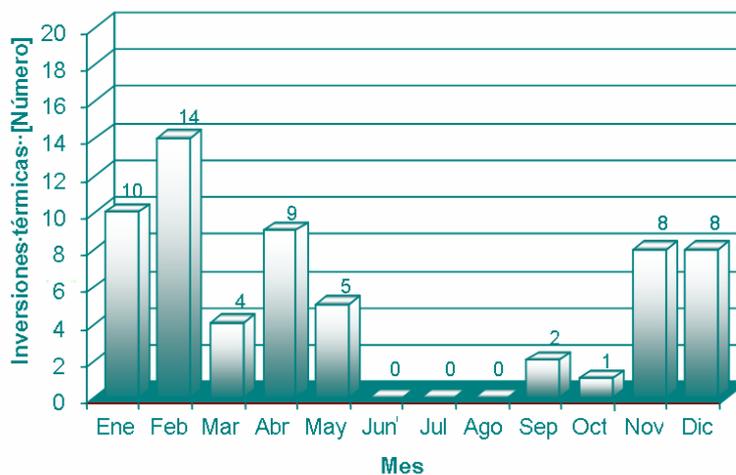
La gráfica que se presenta a continuación, muestra la poca variación estacional de la temperatura máxima y de la temperatura promedio mensual, sin embargo, tal variación es mucho más visible cuando se observan los valores de temperatura mínima mensual, en los que sí se nota claramente un patrón estacional 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 varía durante el día, siendo mínima en la madrugada y máxima después del medio día cuando ya se alcanza la temperatura máxima del día. En la siguiente gráfica, se muestra que desde marzo hasta finales 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 Censo de Población y Vivienda 1995 y del XII Censo de Población y Vivienda 2000, se estimó que en la Zona Metropolitana del Valle de México, 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 industriales⁵. El Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Censos Económicos, 2004⁶) 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.

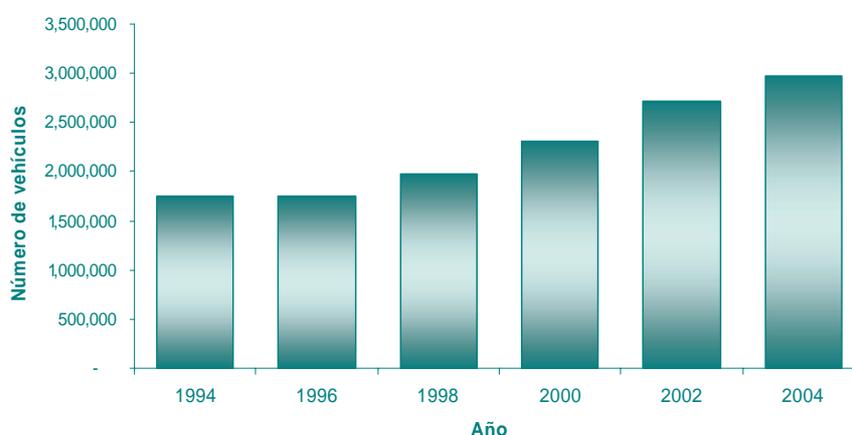
⁵ <http://df.inegi.gob.mx/economia/espanol/municipal.html>

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 continúe 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.

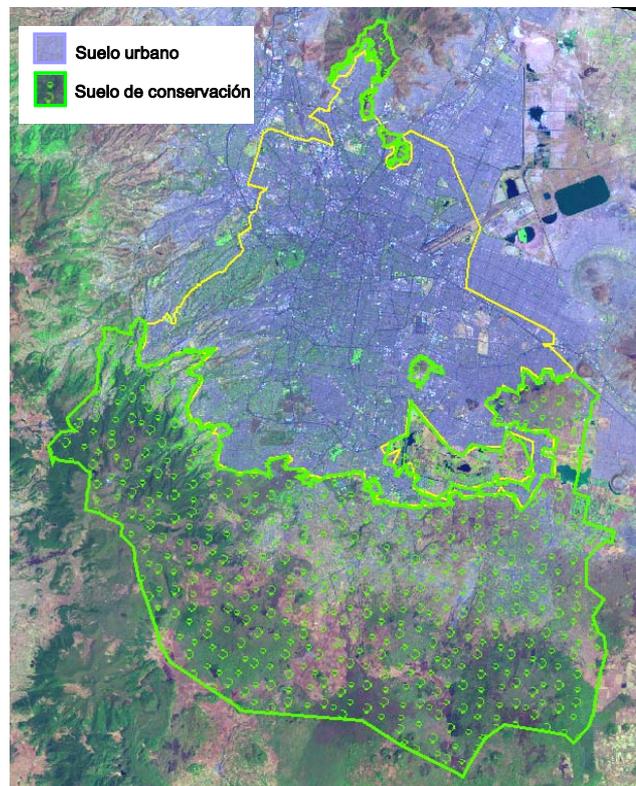


Figura 2.2.1 Uso de Suelo del Distrito Federal

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 1,454⁷ km² de suelo destinado a la agricultura (446 en el D. F. y 1,008 en el Edo. Méx.), generalmente se producen bienes de consumo familiar, no obstante, algunos cultivos representan una fuente significativa de ingresos, como es el caso de Milpa Alta, en donde el volumen de producción de nopal tiene asegurado un mercado amplio y suficiente. En el suelo agrícola se siembran principalmente cultivos de temporal (avena forrajera y el maíz principalmente), así como cultivos permanentes, entre los que destaca el nopal y los frutales.

Población ganadera y producción pecuaria

Los sistemas de producción de los diferentes productos pecuarios se caracterizan por su tendencia hacia la explotación extensiva, así como el predominio de los animales de traspato, 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 5,744⁸ 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.

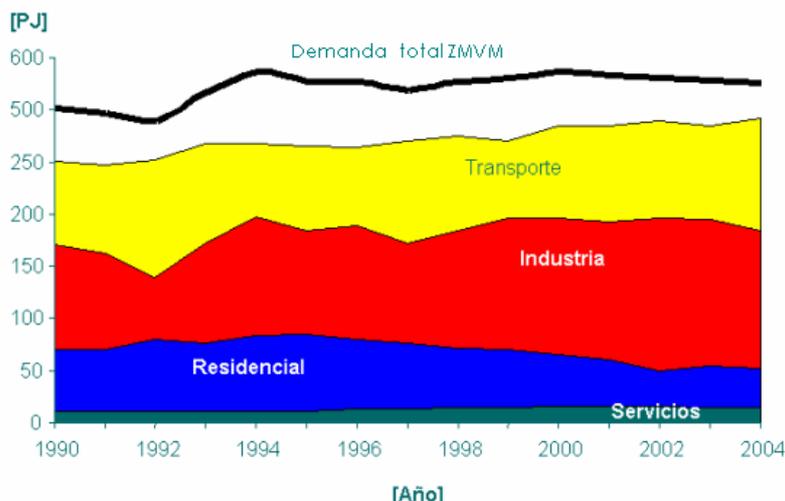
Tabla 2.3.1 Consumo energético histórico de la ZMVM, 1990-2004

| 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%.

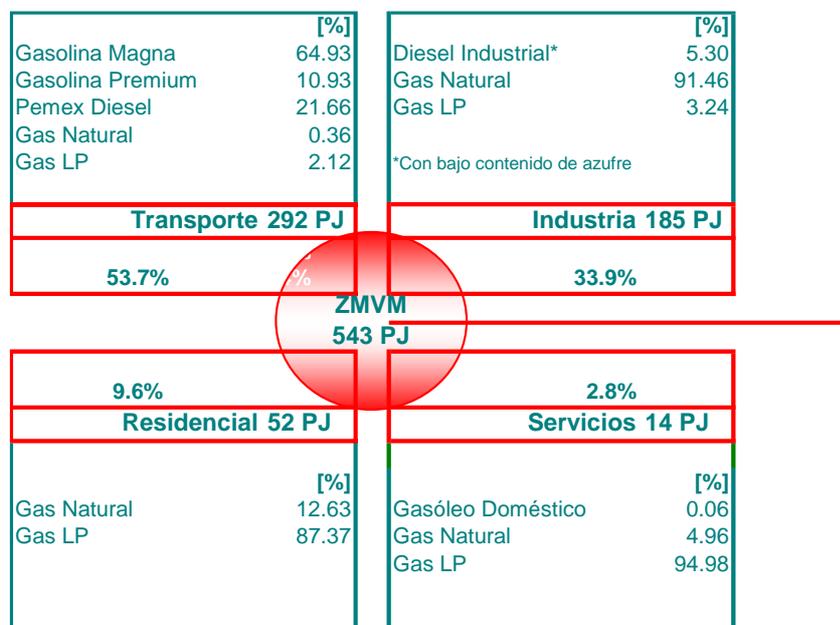
En la Tabla 2.3.2, se presenta el consumo por tipo de combustible, expresado en miles de barriles al año, que muestra que la demanda energética de la ZMVM es cubierta principalmente por gasolina y gas natural que en suma aportan el 73%. Es importante mencionar que aunque el consumo de gas natural es 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 ($\text{PM}_{2.5}$), del bióxido de azufre (SO_2), del monóxido de carbono (CO), de los óxidos de nitrógeno (NOX), de 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 Ambiental¹ y que se encuentra descrita en los manuales del Programa de Inventario de Emisiones para México; para lo anterior, fue necesario determinar y recopilar todos los datos relacionados con las fuentes de emisiones de contaminantes y su actividad.

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

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

Modelos de emisión. (mecanísticos). Se utilizó el modelo TANKS 3.1 para estimar las emisiones de los COV que se liberan al aire durante el almacenamiento masivo de combustibles en tanques; el modelo GloBEIS 3 para calcular las emisiones de COV y NO_x provenientes de la vegetación y del suelo; el modelo MOBILE 5 México y MOBILE 6.2 México, para el cálculo de las emisiones de COT, NO_x , CO, PM_{10} y NH_3 de algunas categorías de fuentes móviles; y el modelo LANDFILL, para estimar las emisiones de CH_4 generadas en los rellenos sanitarios; 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 formatos² para la obtención y actualización de los datos de actividad, utilizados en el cálculo de las emisiones (combustible, materias primas, productos, entre otros), tanto para el sector industrial como para algunas fuentes de área (gasolineras, hoteles, tintorerías, lavanderías, baños públicos, panaderías, hospitales, centros deportivos, por mencionar algunos).

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

Balance de materiales. Para el cálculo de las emisiones de bióxido de azufre de las fuentes móviles, se partió del principio de que todo el azufre contenido en el combustible vehicular menos el que reacciona para formar partículas de sulfato (SO₄), 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.

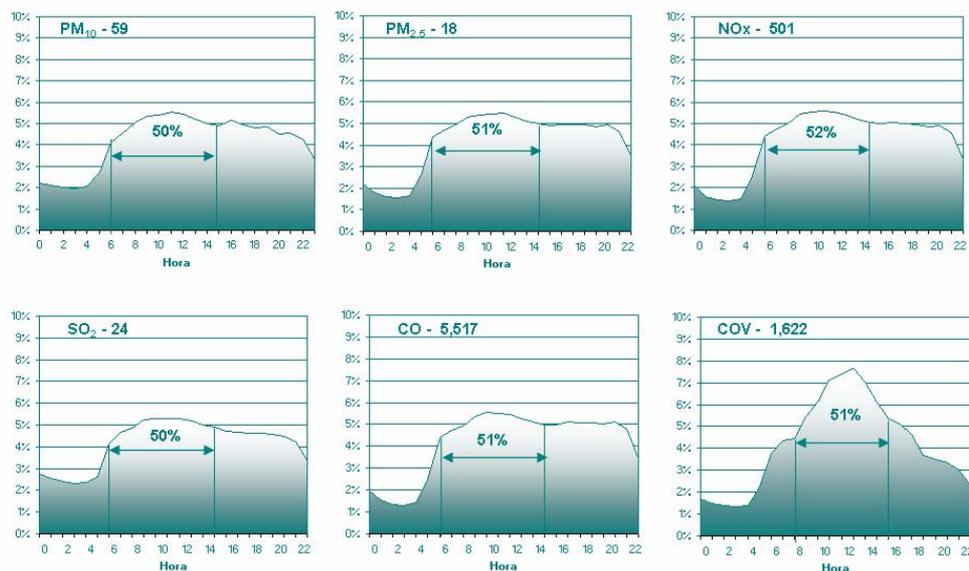
3.2.1 Distribución temporal horaria

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 SO₂, 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 SETRAVI³, 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 AGEBS⁴, 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 digital⁵ sobre de un

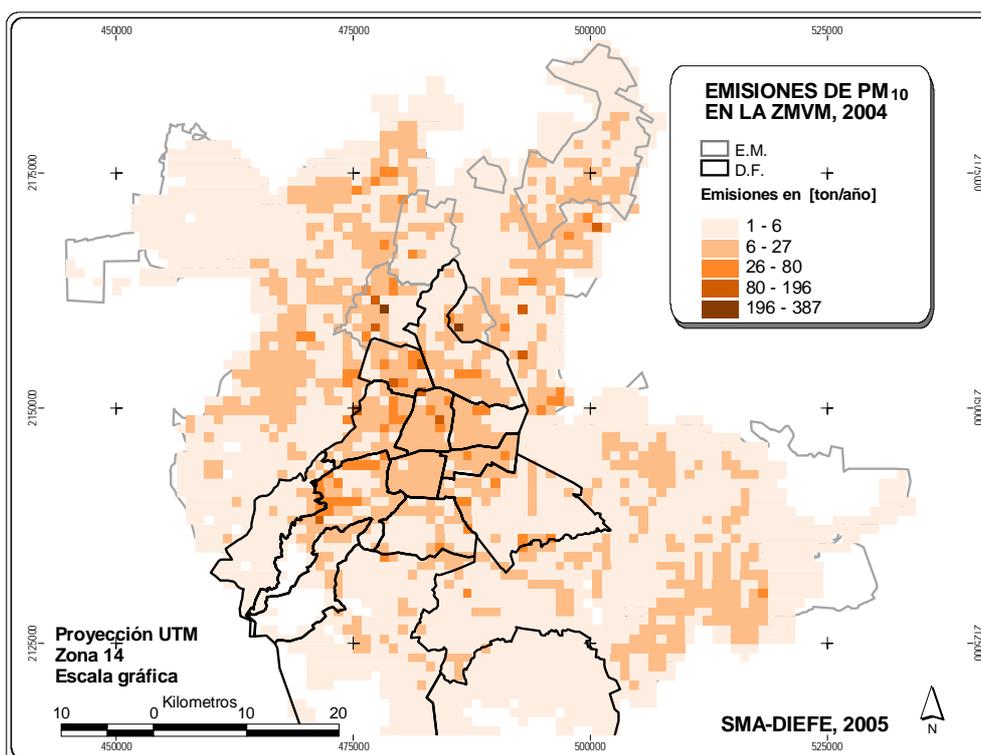
³ Programa Integral de Transporte y Vialidad 2001-2006. Ver distribución horaria de Fuentes Móviles.

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.

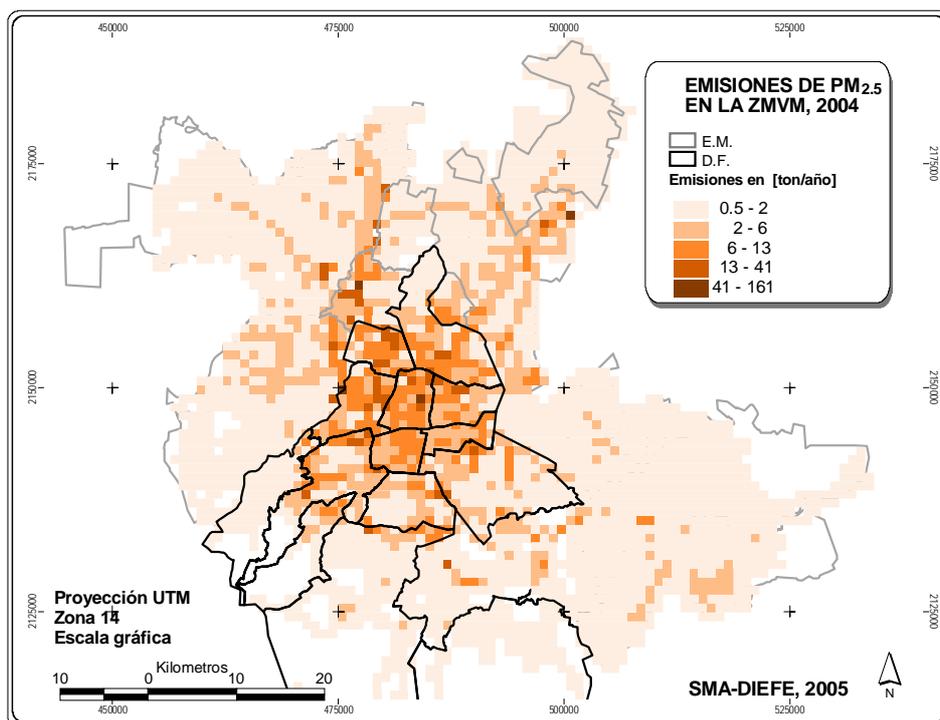
De la distribución espacial de las emisiones de PM_{10} , que se presentan en el mapa 3.2.1, tenemos que en la zona centro, son generadas principalmente por las fuentes móviles y en la periferia siguen una patrón similar al de los caminos no pavimentados, por otro lado, al norte de la ZMVM las emisiones 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}

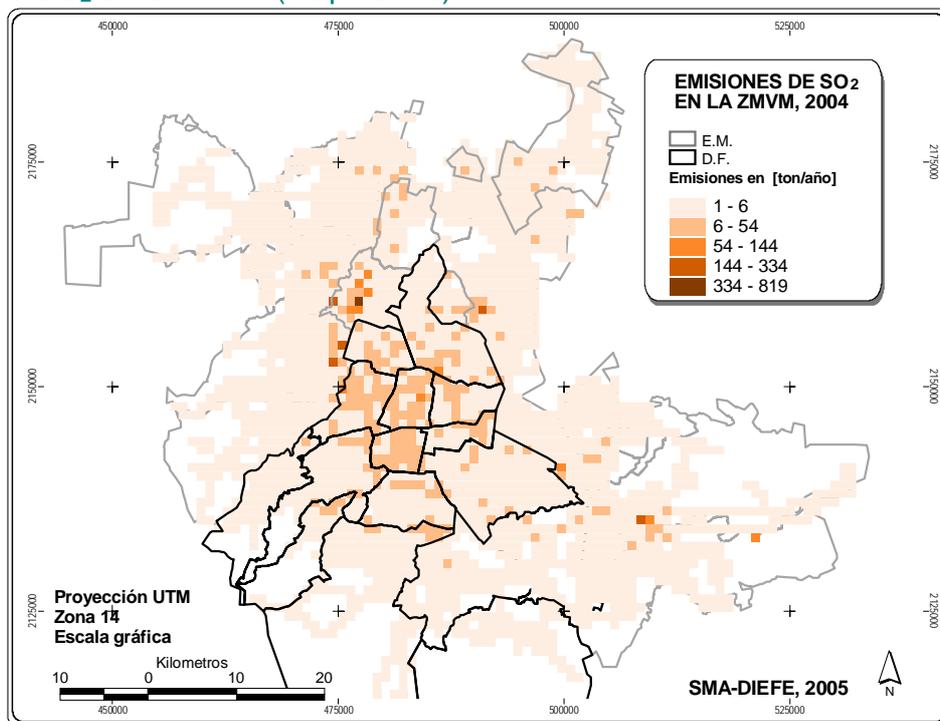
Las delegaciones del centro y norte del D.F., presentan emisiones de PM_{10} que van desde 1 hasta más de 100 toneladas al año, las cuales son ocasionadas principalmente por la intensa actividad vehicular y en algunos casos, se conjunta con la actividad industrial; a diferencia de las delegaciones del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

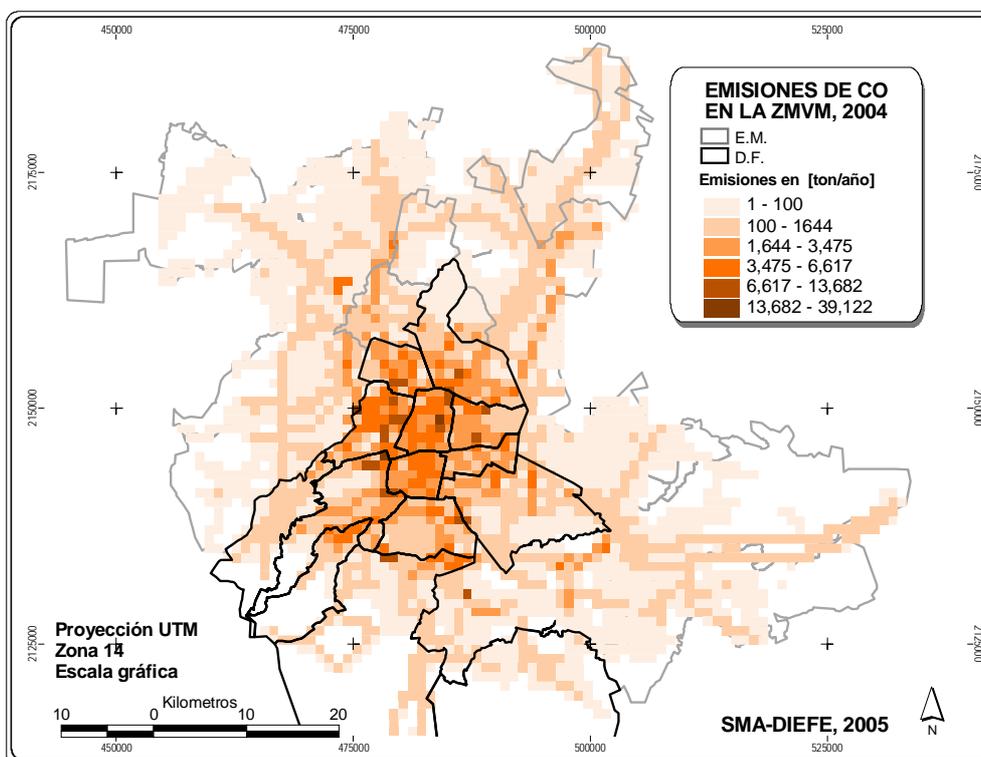
En el Distrito Federal, las fuentes puntuales y las móviles son las que contribuyen en mayor proporción a la generación de SO₂, dado que la zona urbana es la que presenta mayor afluencia vehicular, principalmente en las delegaciones de Benito Juárez, Cuauhtémoc y en menor proporción en la periferia. 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 SO₂ en la ZMVM (Mapa 3.2.3).



Mapa 3.2.3 Distribución espacial de SO₂

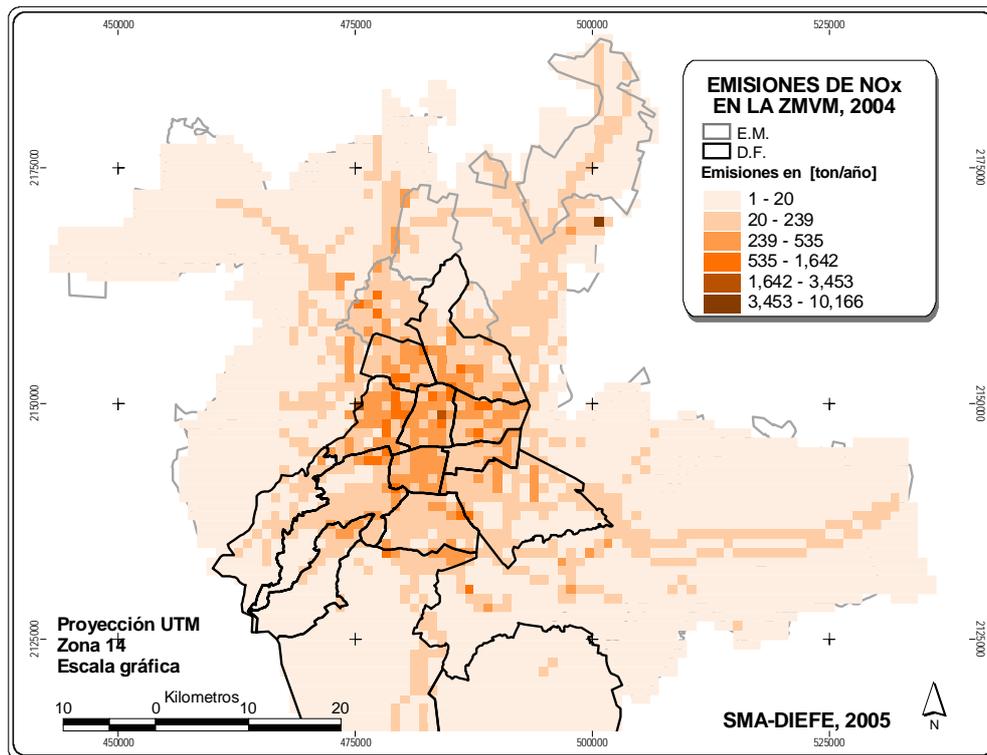
En el Estado de México, las altas emisiones de SO₂, se atribuye a la actividad industrial de algunas zonas; en los municipios de La Paz e Ixtapaluca, el SO₂ es producido por la industria del papel y de la madera principalmente, a diferencia de los municipios del norte, en particular Tlalnepantla y Ecatepec, 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 NO_x, 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.

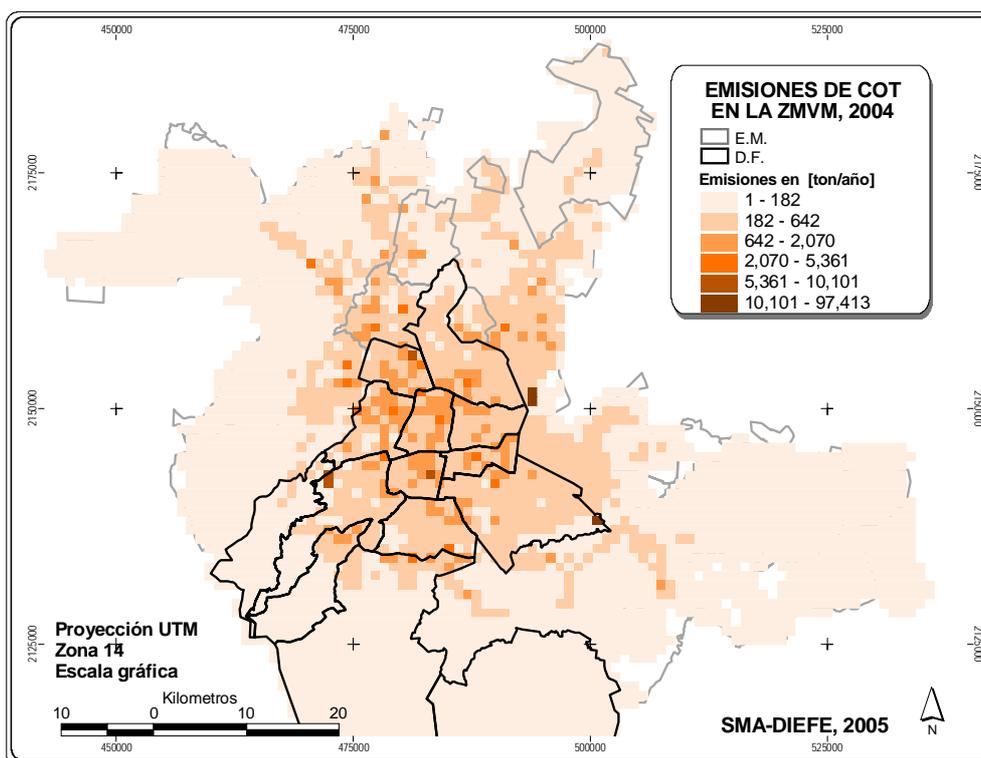


Mapa 3.2.5 Distribución espacial de NO_x

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.

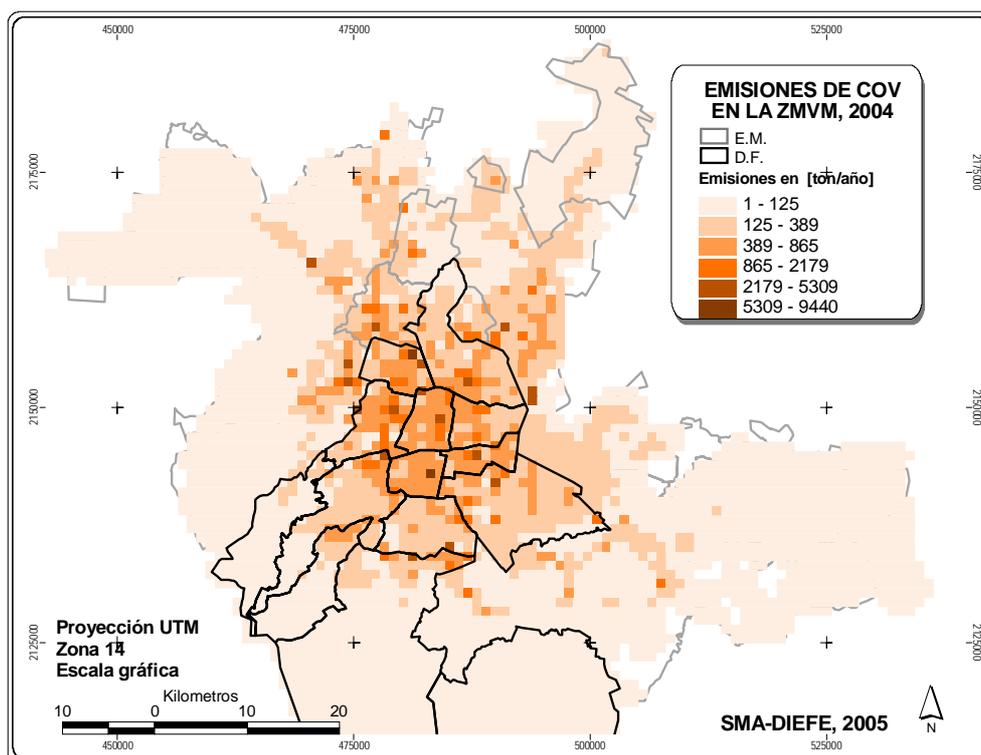


Mapa 3.2.6 Distribución espacial de COT

Los compuestos orgánicos volátiles participan junto con los NO_x en la formación de ozono troposférico, de aquí la importancia de su estimación; en la ZMVM, el patrón de distribución de este contaminante es atribuido 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 la 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.

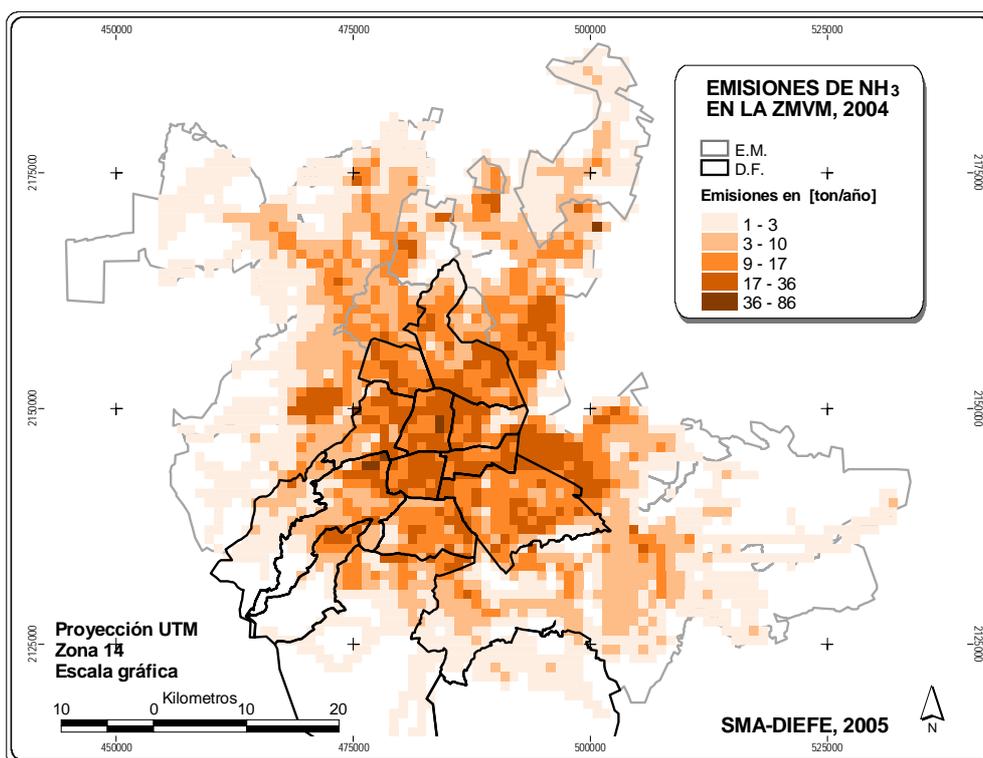


Mapa 3.2.7 Distribución espacial de COV

El amoníaco es parte del ciclo del nitrógeno y es uno de los principales contribuyentes en la formación de aerosoles⁶ en la atmósfera; así mismo, reacciona rápidamente con el ácido sulfúrico y el ácido nítrico para formar partículas. Debido a que la concentración de partículas es uno de los principales problemas de calidad del aire de la ZMVM, se hace importante la cuantificación del amoníaco como precursor de las mismas.

Considerando que el amoníaco estimado proviene fundamentalmente de 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.

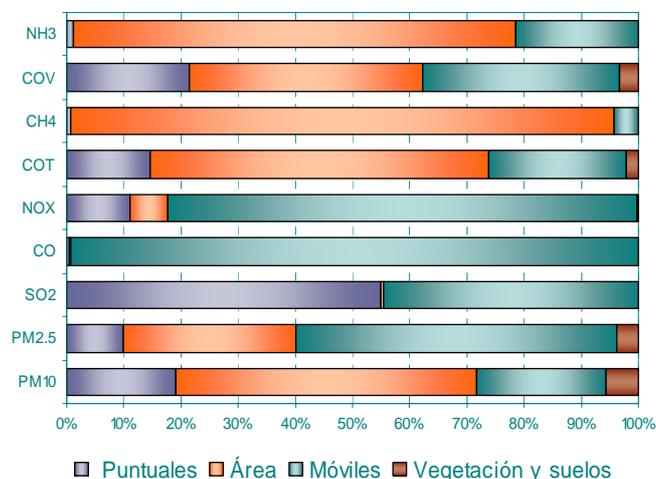
⁶ Dispersión de partículas microscópicas, sólidas o líquidas, en medios gaseosos (Wark y Warner1994)



Mapa 3.2.8 Distribución espacial de NH₃

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 PM₁₀, 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 pavimentadas debido al tránsito vehicular; del total de PM₁₀, aproximadamente el 32% son partículas menores a 2.5 µm (PM_{2.5}); y con respecto al cálculo del amoníaco 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 emisiones totales, los autos particulares generan el 50% del CO, el 32% de los NOx, el 23% de SO₂ 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 SO₂ 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 SO₂ 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 amoníaco con un 77% del total, las PM₁₀ 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 PM₁₀.

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 | NO _x | 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 amoníaco | 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 | NO _x | 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 amoníaco | 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.

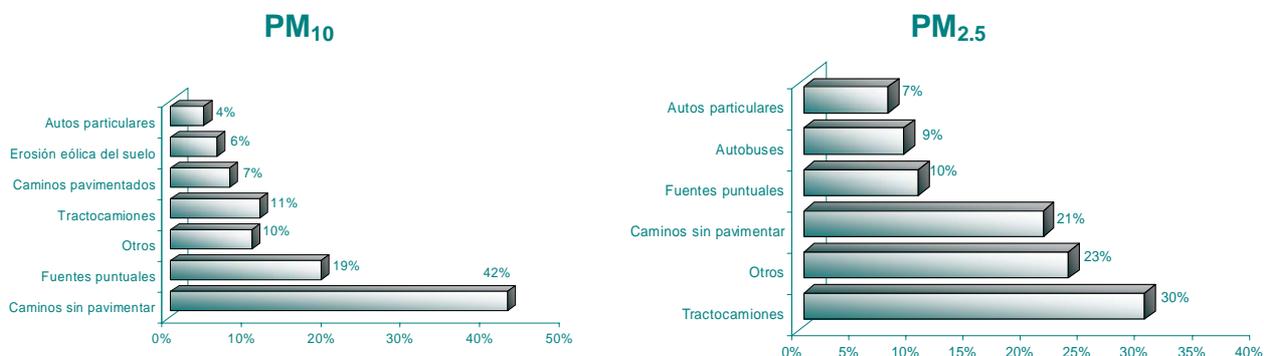
3.4 EMISIONES POR CONTAMINANTE

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 generadores⁷.

Partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM₁₀ 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 PM₁₀, 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 ZMVM⁸, mencionan que aproximadamente del 37% al 50% de las PM₁₀ son de origen geológico, con base en el presente inventario, tenemos el 55% de las PM₁₀ 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 PM₁₀ y PM_{2.5} por sector

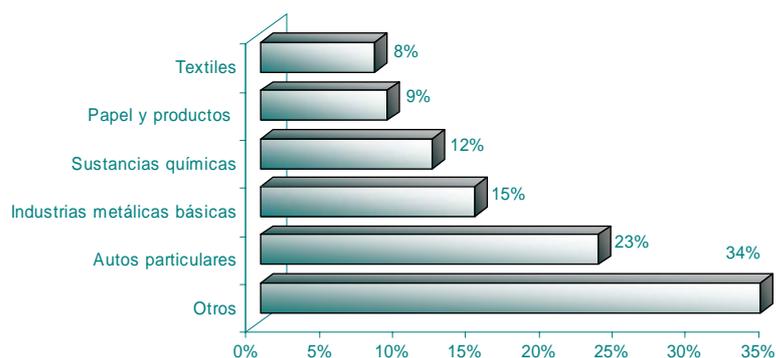
Las PM_{2.5}, se estimaron en 6,622 toneladas anuales, siendo los principales generadores los tractocamiones con un 30% (2,014 ton/año). Le sigue en orden de importancia los caminos sin pavimentar, con una aportación del 21% (1,362 ton/año) y los autobuses con el 9% (600 ton/año), en conjunto las fuentes 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 PM_{2.5} and PM₁₀ in the Atmosphere of México City during 2000-2002 y Chemical Composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in México City during 2000-2002 winter 1997.

Bióxido de azufre (SO₂)

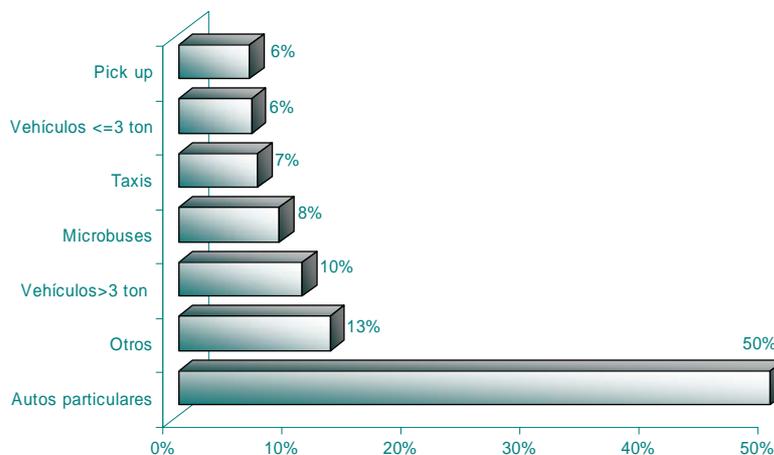
La industria emitió el 55% (4,090 ton/año) de las 7,452 toneladas totales de SO₂ que se generaron en la ZMVM, siendo las ramas más contaminantes, la industria metálica básica y la de sustancias químicas, que aportan en conjunto casi el 27%. Estos giros consumen cantidades importantes de combustible industrial 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 SO₂ por sector

Monóxido de carbono (CO)

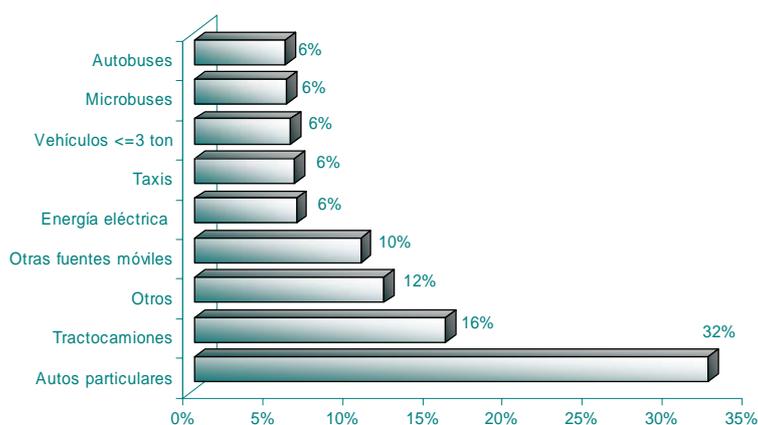
Como se puede apreciar en la Gráfica 3.4.3, el 99% del CO fue emitido por las fuentes móviles. Se tiene que de las 1'792,081 toneladas anuales, los sectores de mayor importancia son los autos particulares con el 50% (890,602 ton/año), los vehículos mayores a 3 toneladas y los microbuses con el 10% y 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)

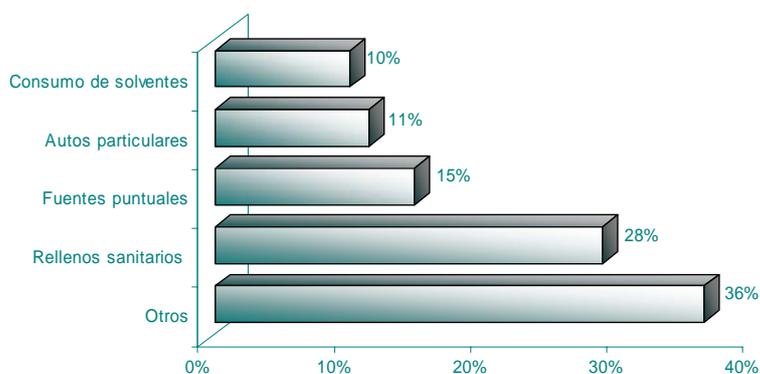
Los óxidos de nitrógeno, al igual que el CO, fueron generados principalmente por las fuentes móviles, contribuyendo con el 82% de las 179,996 toneladas anuales que se emitieron de este contaminante, siendo los autos particulares los que más aportaron con el 32% (57,456 ton/año), le siguen en orden de 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)

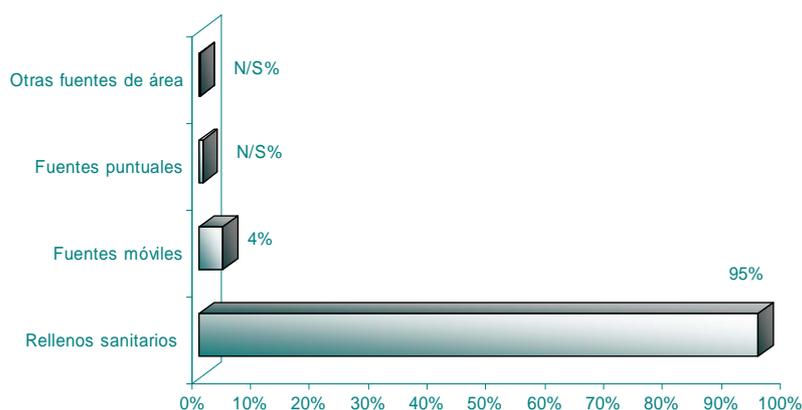
Los COT en la ZMVM, los generan principalmente las fuentes de área; dentro de éstas, los rellenos sanitarios por la descomposición de los residuos sólidos orgánicos (basura) que ahí se depositan, es el sector que más contribuye con 232,947 ton/año (28%); siguiendo en importancia, las fuentes fijas y 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 Principales emisores de COT por sector

Metano (CH₄)

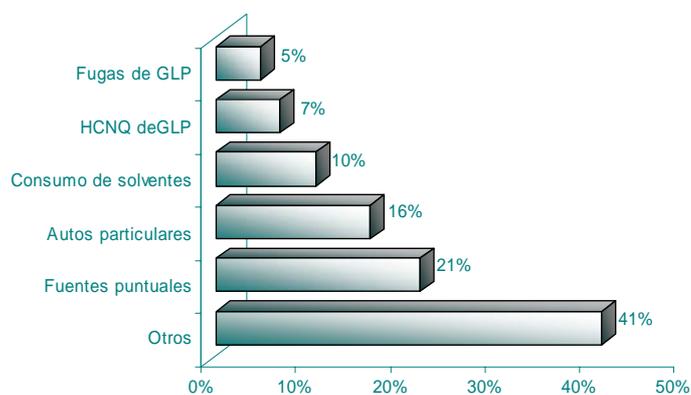
La importancia de conocer la emisión de metano, radica en que es un gas que contribuye al calentamiento global (gas de efecto invernadero) y es más efectivo que el CO₂ para atrapar el calor en la atmósfera. Los rellenos sanitarios ubicados en la ZMVM son la fuente antropogénica que más contribuye a su generación, con 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 CH₄ por sector

Compuestos orgánicos volátiles (COV)

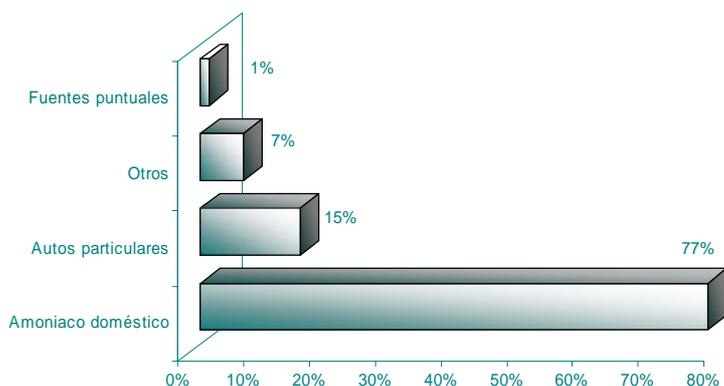
Se estimaron 532,168 toneladas anuales de éstos contaminantes, donde las fuentes de área y móviles son las que generaron las mayores emisiones, con 41% y 35% respectivamente. Entre los sectores más contaminantes se tiene a las fuentes puntuales y a los autos particulares, lo cual representó el 21% y 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 interactuar con los NO_x en presencia de energía solar contribuyen a la formación del ozono.



Gráfica 3.4.9 10 Principales emisores de COV por sector

Amoniaco (NH₃)

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 NH₃ por sector

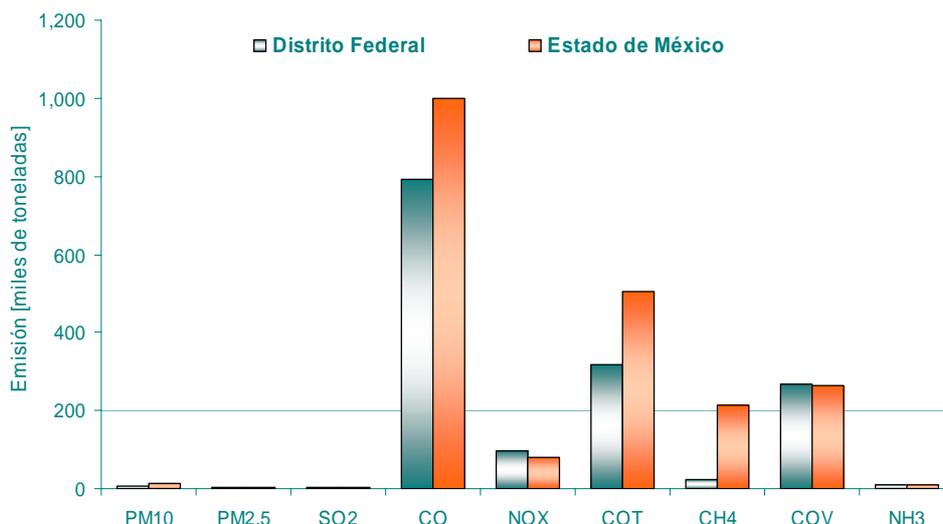
3.5 EMISIONES POR ENTIDAD FEDERATIVA

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

Tabla 3.5.1 Contribución de emisiones por entidad, 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 |
| NO _x | 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 | NO _x | 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 amoníaco | 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 | NO _x | 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 amoníaco | 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 $PM_{2.5}$)

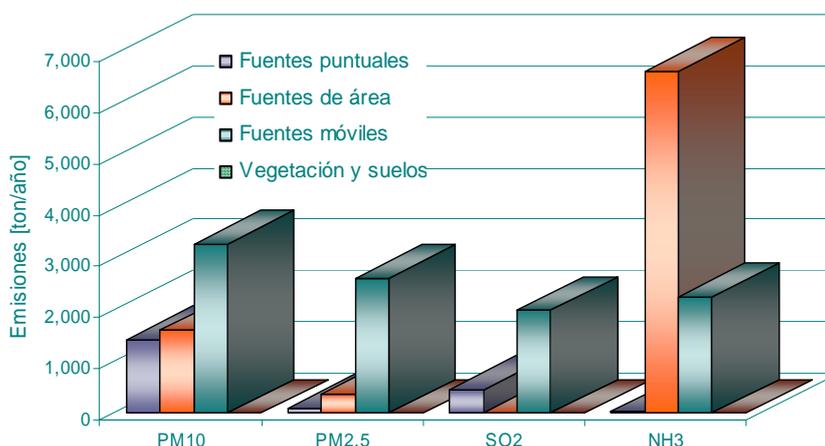
En el Distrito Federal se emitieron 6,472 toneladas anuales de PM_{10} , de las cuales, se tienen como sectores más contaminantes a los tractocamiones con el 28%, a las fuentes puntuales con 22% y a los caminos sin pavimentar con el 13%. En lo que se refiere a las $PM_{2.5}$, los tractocamiones y los 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.

Amoníaco (NH_3)

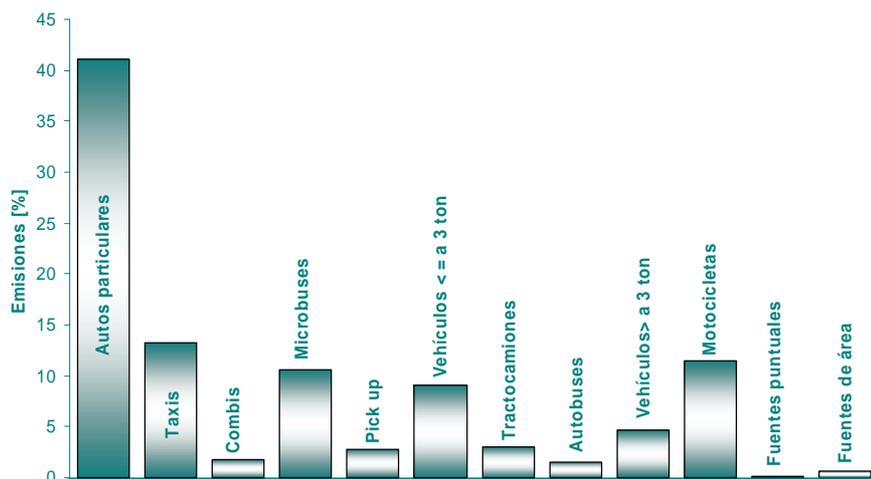
Las emisiones de amoníaco que se generaron en el Distrito Federal por las actividades domésticas contribuyeron con el 74% de las 8,982 toneladas anuales. Cabe mencionar que dichas emisiones se estimaron en forma *per cápita* por lo tanto su generación dependió de la población de las delegaciones y municipios. 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.



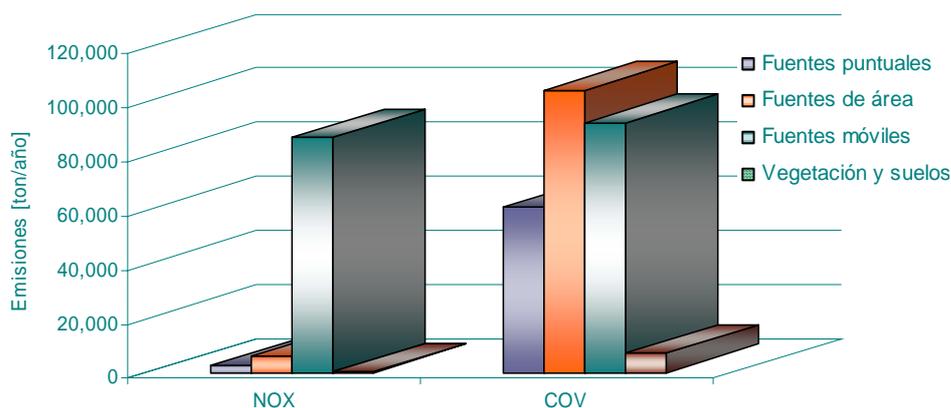
Gráfica 3.5.3 Contribución porcentual de las emisiones de CO

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.



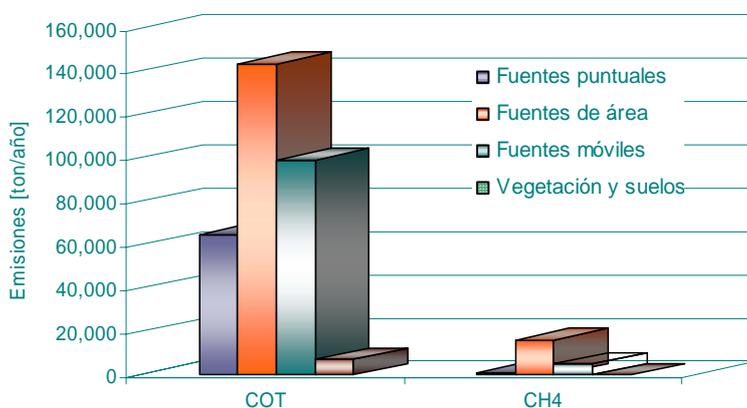
Gráfica 3.5.4 Emisiones de COV y NO_x por tipo de fuente

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 (CH₄)

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 CH₄ por tipo de fuente

3.5.3 Emisiones del Estado de México

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

Tabla 3.5.5 Inventario de emisiones de los municipios conurbados, Estado de México 2004

| Sector | Emisiones | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------|------------|-------------------|------------|-----------------|------------|----------------|------------|-----------------|------------|----------------|------------|-----------------|------------|----------------|------------|-----------------|------------|
| | PM ₁₀ | | PM _{2.5} | | SO ₂ | | CO | | NO _x | | COT | | CH ₄ | | COV | | NH ₃ | |
| | [ton/año] | [%] | [ton/año] | [%] | [ton/año] | [%] | [ton/año] | [%] | [ton/año] | [%] | [ton/año] | [%] | [ton/año] | [%] | [ton/año] | [%] | [ton/año] | [%] |
| Fuentes puntuales | 2,475 | 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 | NO _x | 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 amoníaco | 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 | NO _x | 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 amoníaco | 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.

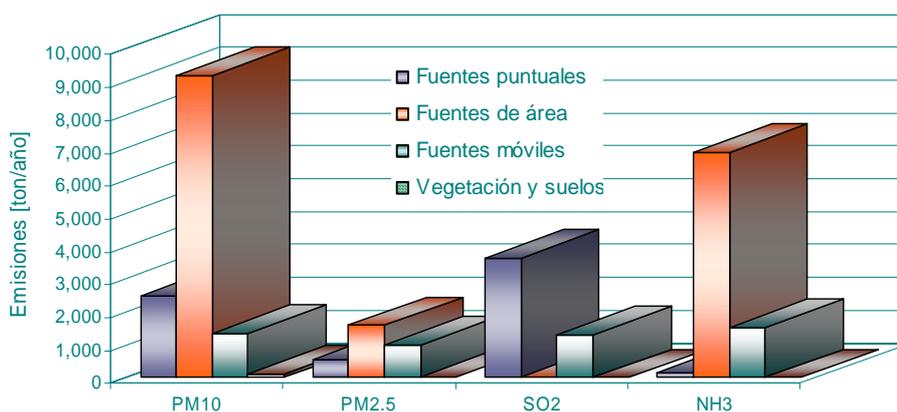
En lo que se refiere a las $PM_{2.5}$, siguen siendo los caminos sin pavimentar los principales responsables de las emisiones con el 36% de las 3,425 ton/año que se emitieron durante el 2004; las fuentes puntuales emiten el 16%, y los tractocamiones el 13%.

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)

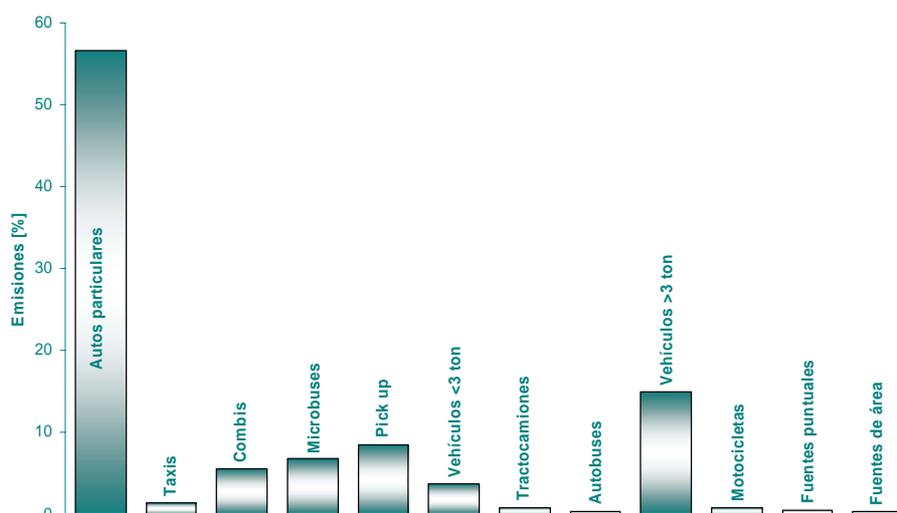
De un total de 8,532 ton/año de amoniaco, el 80% fue generado por las emisiones domésticas y un 14% por los autos particulares, siendo éstas dos categorías las de mayor contribución en la generación de amoniaco.



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.



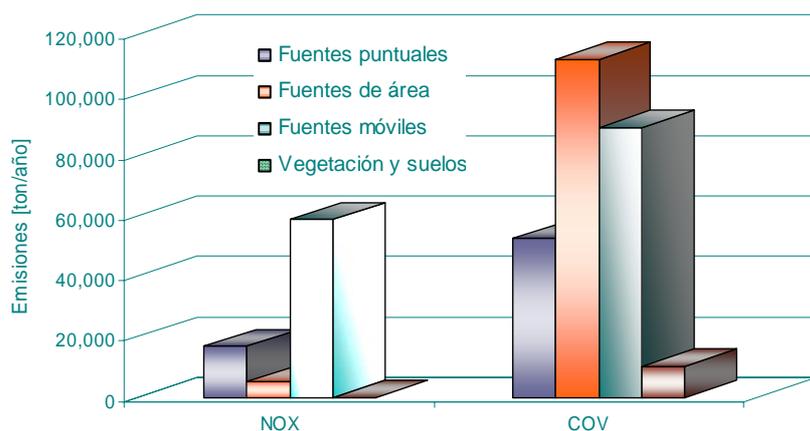
Gráfica 3.5.7 Contribución porcentual de las emisiones de CO

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.



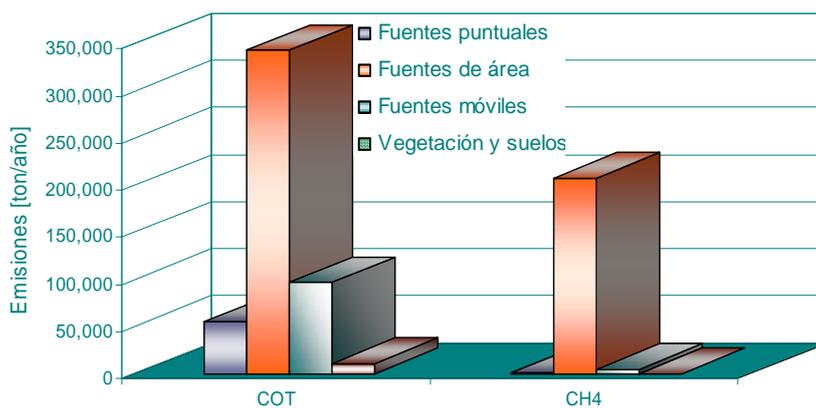
Gráfica 3.5.8 Emisiones de COV y NO_x por tipo de fuente

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 (CH₄)

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.



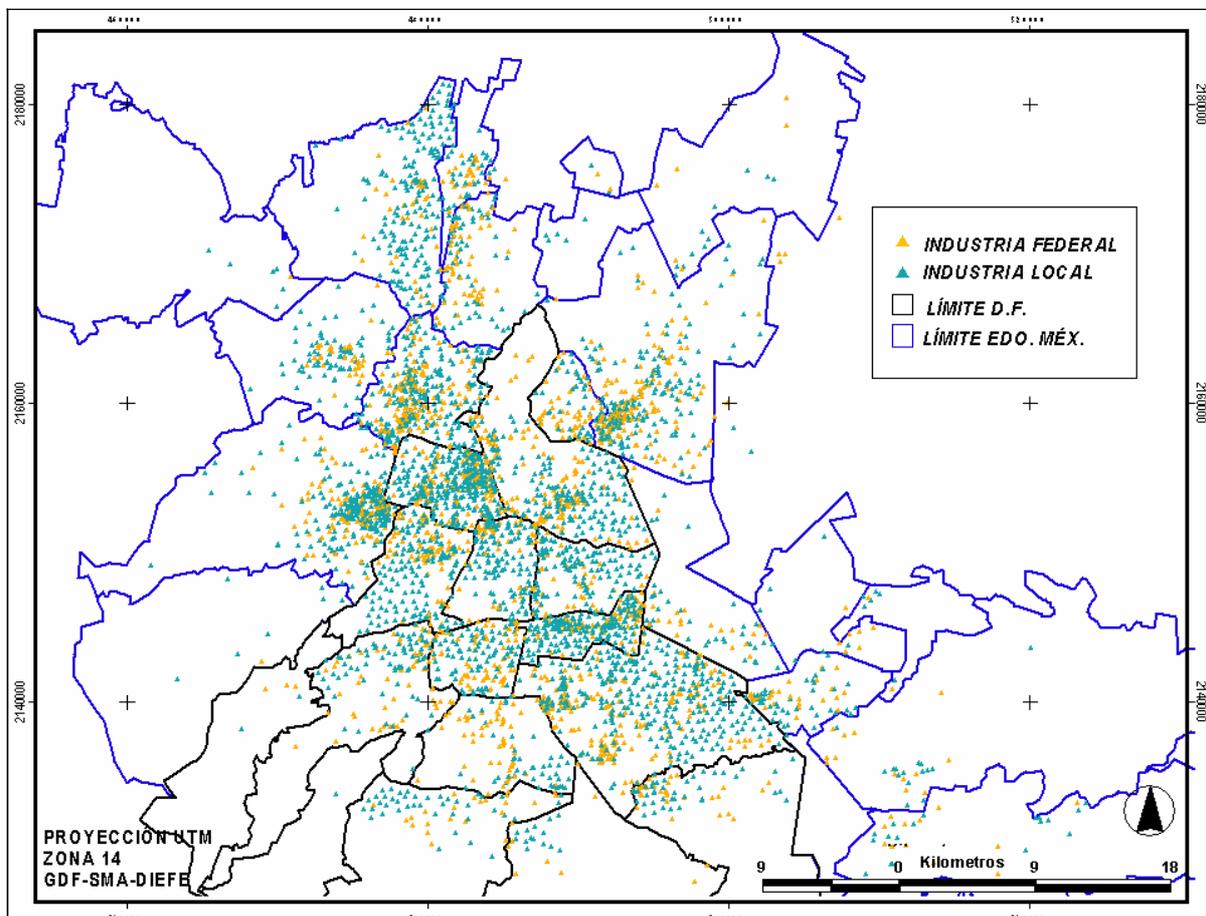
Gráfica 3.5.9 Emisiones de COT y CH₄ por tipo de fuente

4. EMISIONES POR TIPO DE FUENTE

4.1 FUENTES PUNTUALES

Las fuentes puntuales o industriales consumen el 37% de la energía generada por la quema de combustibles fósiles en la ZMVM, principalmente 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 establecimientos¹, los cuales se distribuyen dentro de la ZMVM, como lo muestra el Mapa 4.1.1.



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 informatico |
| | 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 clasificadco como municipio conurbado, sin embargo, debido a que en el se ubican dos grandes industrias del sector

energético² que generan grandes cantidades de emisiones, se consideró necesario incluir dichas emisiones en el inventario de fuentes puntuales.

4.1.1 Metodología de las fuentes puntuales

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

La fuente de información básica para calcular las emisiones de éste inventario 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 | NO _x | COT | COV | NH ₃ |
| 31 | Productos alimenticios, bebidas y tabaco | FE, MD | FE | FE, BM | FE | FE, CI | FE | FE, MD | FE |
| 32 | Textiles, prendas de vestir e industria del cuero | FE, MD | FE | FE, BM | FE | FE, CI | FE | FE, MD | FE |
| 33 | Industria de la madera y productos de madera, Incluye muebles. | FE, MD | FE | FE, BM | FE | FE, CI | FE | FE, MD | FE |
| 34 | Papel y productos de papel, imprentas y editoriales | MD | FE | FE | FE | FE | FE | FE, MD | FE |
| 35 | Sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, de hule y de plástico | FE, MD | FE | FE, BM | FE, MD | FE, CI | FE | FE, MD | FE |
| 36 | Productos minerales no metálicos. Excluye los derivados del petróleo y del carbón | FE, MD | FE | FE | FE | FE | FE | FE | FE |
| 37 | Industrias metálicas básicas | FE | FE | FE | FE | FE | FE | FE | FE |
| 38 | Productos metálicos, maquinaria y equipo. Incluye instrumentos quirúrgicos y de precisión | FE, MD | FE | FE | FE | FE, CI | FE | FE, MD | FE |
| 39 | Otras industrias manufactureras | FE, MD | FE, MD | FE | FE | FE | FE | FE, MD | FE |
| 41 | Generación de energía eléctrica | FE | FE | FE, BM | FE | FE | FE | FE | FE |

FE: Factores de emisión; MD: Medición directa o monitoreo; CI: Calculo de ingeniería; BM: Balance de materiales.

El CH₄ se estima como una fracción de los COV

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 Secretaría 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.

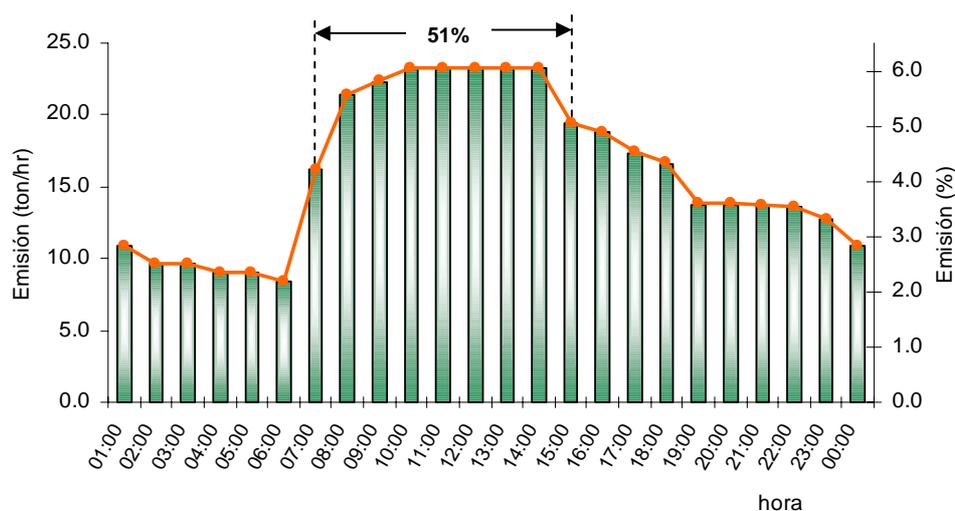
4.1.2 Emisiones de las fuentes puntuales

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.

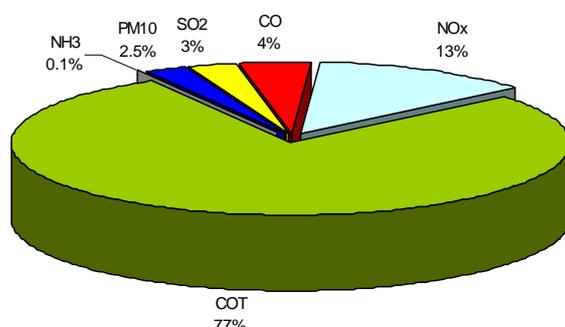
Emisiones anuales de las fuentes puntuales

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 SO₂, 2.5% de PM₁₀ y el 0.1% corresponde al NH₃, 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 | NO _x | 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 SO₂. Lo anterior es debido a que la mayoría de los equipos de combustión en esta rama industrial, utilizan combustibles líquidos, los cuales contienen mayor cantidad de azufre que los gaseosos.

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

| Rama | Número de Empresas | Emisiones [ton/año] | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------|---------------------|-------------------|-----------------|------------|-----------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|--|
| | | PM ₁₀ | PM _{2.5} | SO ₂ | CO | NO _x | 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 | NO _x | 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 NO_x, 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 | NO _x | 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 NO_x, 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 | NO _x | 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 SO₂ 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 | NO _x | 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 | NO _x | 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 NO_x 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 | NO _x | 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 |

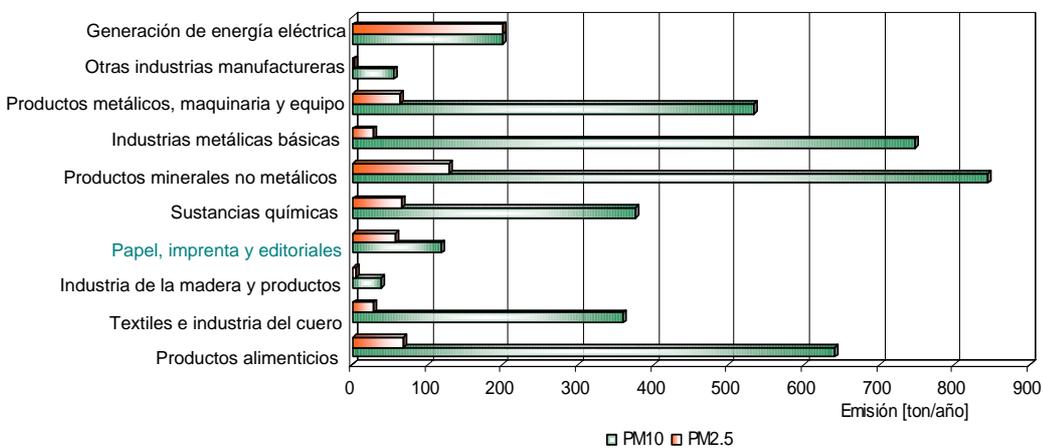
Emisiones de las fuentes puntuales por tipo de contaminante

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 PM₁₀ y PM_{2.5}

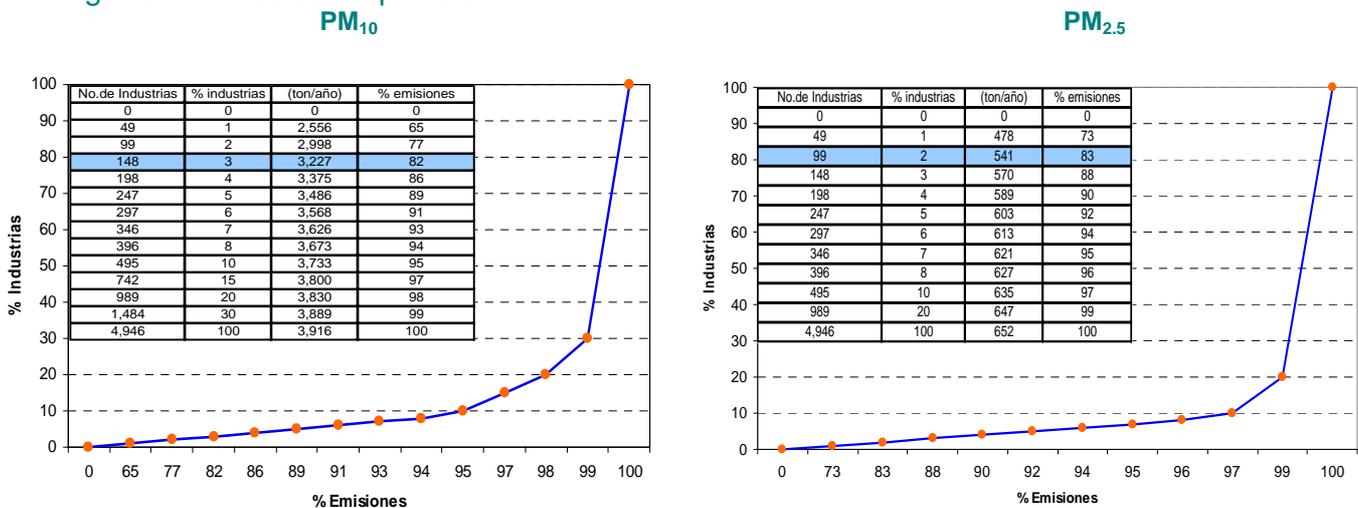
La contribución a las emisiones de PM₁₀ por las fuentes puntuales se concentra principalmente en 4 subsectores: Productos minerales no metálicos, Industria metálica básica, Productos alimenticios, bebidas y tabaco, Productos metálicos, maquinaria y equipo; estos giros aportan 2,766 ton/año (71% del total 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 PM₁₀, 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.

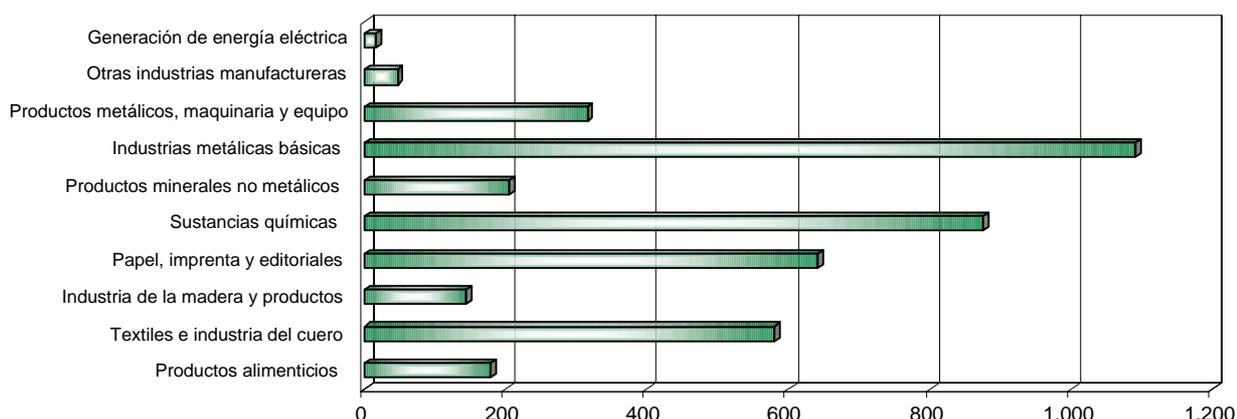
La Gráfica 4.1.4 muestra que el 3% del sector industrial (148 industrias), contribuyen con cerca del 82% de las emisiones de PM₁₀, sin embargo se observa que el 2% del sector industrial, es decir, 99 industrias, contribuyen con el 83% de las emisiones de PM_{2.5}, lo cual indica que los esfuerzos para controlar la emisión de éste contaminante, deben estar dirigidos hacia éstas empresas.



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

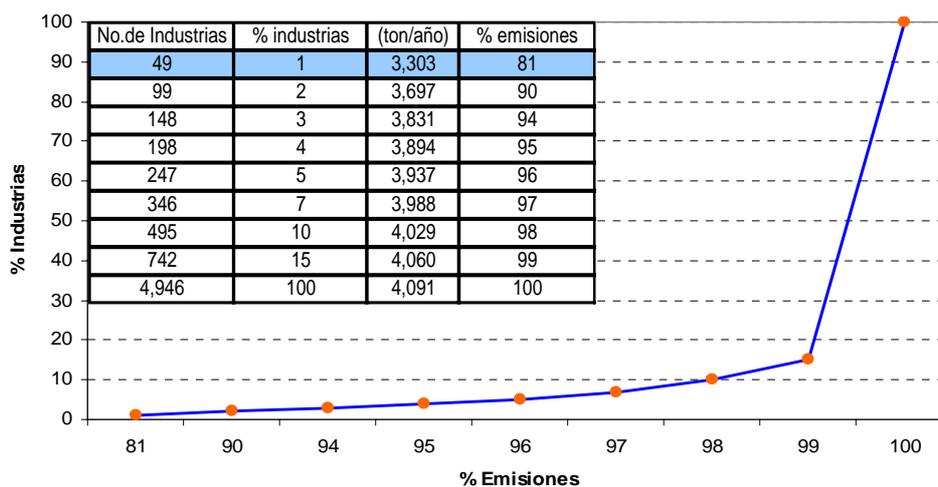
Bióxido de azufre

En la grafica 4.1.5 se puede observar que los giros más emisores de bióxido de azufre en la ZMVM son: la Industria 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 SO₂ 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 SO₂

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., Gasoleo 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 | <ul style="list-style-type: none"> • 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 |
| | | Esterilización en hospitales | Uso de solventes |
| | | Asados al carbón | Cocción de carne de Res y Pollo |
| Fuentes de área miscelánea | | 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 | <ul style="list-style-type: none"> • 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) | <ul style="list-style-type: none"> • 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 | <ul style="list-style-type: none"> • Descarga de semirremolques • Almacenamiento • Carga de auto-tanques • Carga de tanque portátil |
| | | Distribución | <ul style="list-style-type: none"> • 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 | | <ul style="list-style-type: none"> • 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 amoníaco y las emisiones de PM₁₀ 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 Landfill¹, Tanks² y Faeed³, 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 Petróleo⁴ y el TÜV Rheinland de México⁵.

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.

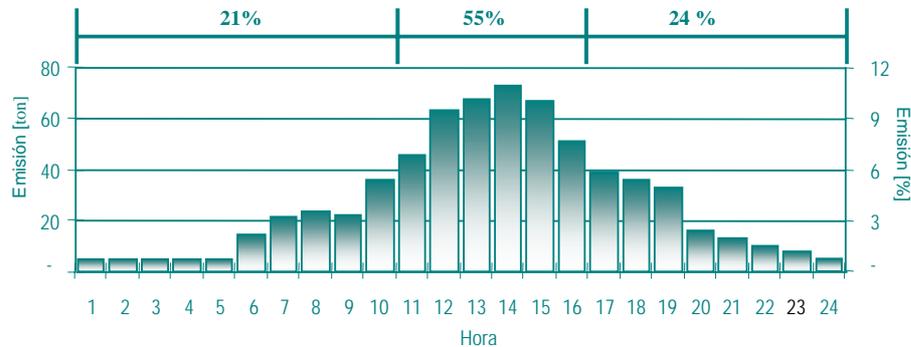
2 U.S. EPA, 1998. User Manual Landfill Gas Emissions Model V.2.01. <http://www.epa.gov/ttn/atw/landfill/landflpg.html>

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.

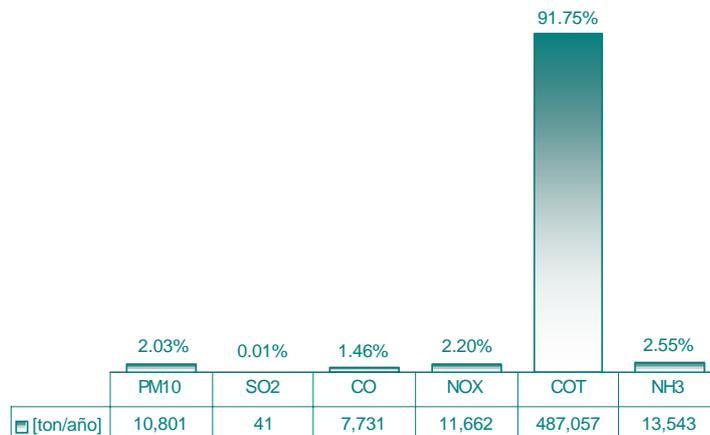
Con el análisis anterior se construyó la Gráfica 4.2.1, donde se observa que a partir de la 1:00 y hasta las 10:00 horas, se emiten el 21% de las emisiones de COV, de las 11:00 a las 16:00 horas el 55% y de las 17:00 a las 24:00 horas el 24% restante.



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 NH₃, 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 (PM₁₀) 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 amoníaco | 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

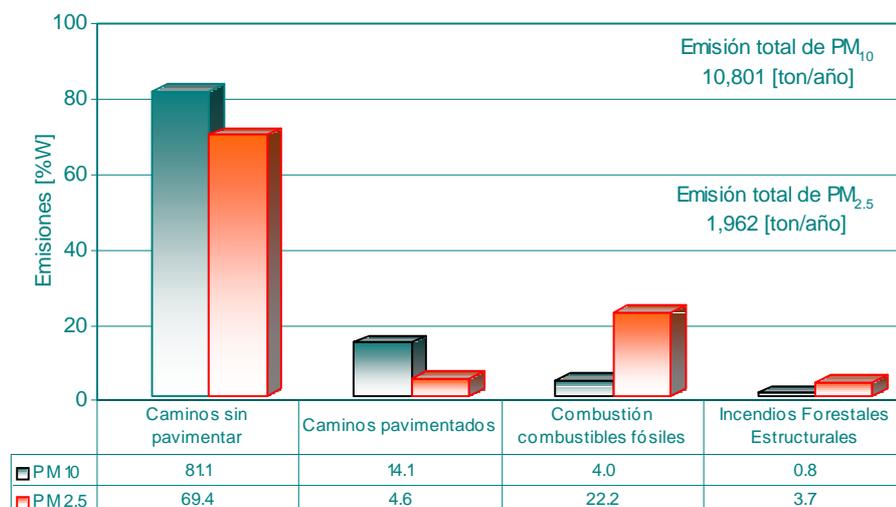
4.2.4 Emisiones de las fuentes de área por contaminante

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.

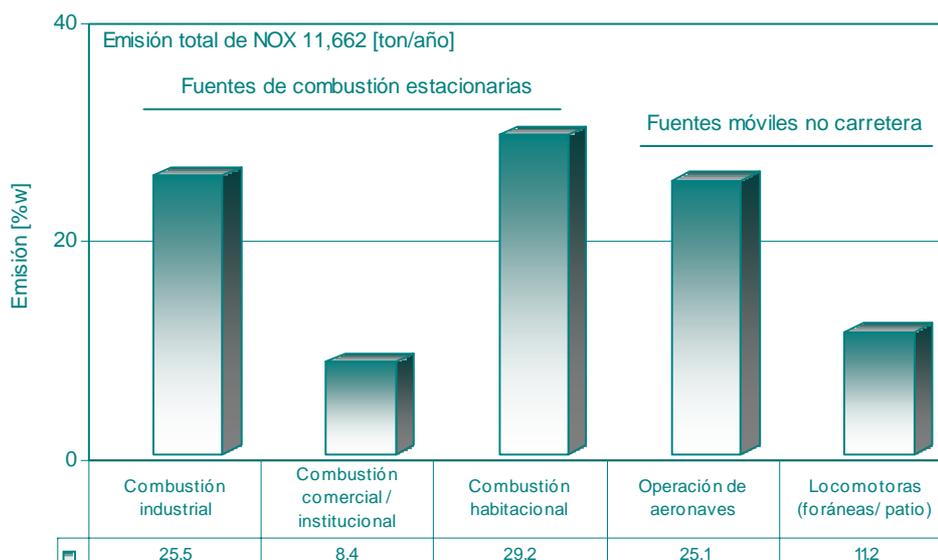
Por otro parte, en las emisiones generadas por combustión (se incluye al diesel, gas L.P. y gas natural), sólo son relevantes las emisiones de $PM_{2.5}$ con el 22%, y en el caso del material que se consume en los incendios estructurales y forestales, aporta el 1% y 4% de las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$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



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

Óxidos de nitrógeno

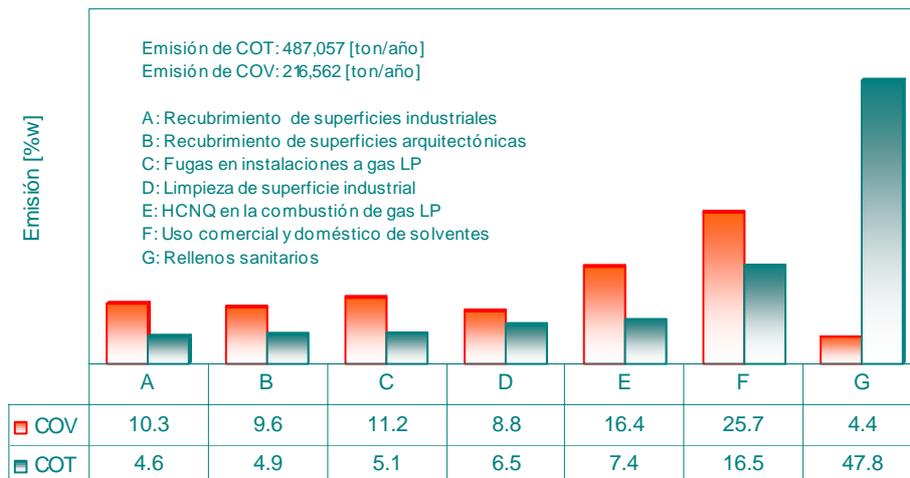
De aproximadamente 12 mil toneladas de NO_x que se emiten en las fuentes de área, el 63% se generan durante el proceso de combustión en fuentes estacionarias, donde se consume principalmente gas L.P., gas natural y gasóleo doméstico. Las fuentes móviles no carreteras emiten el 37% (operación de locomotoras 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 NO_x 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 CH₄ (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).



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.

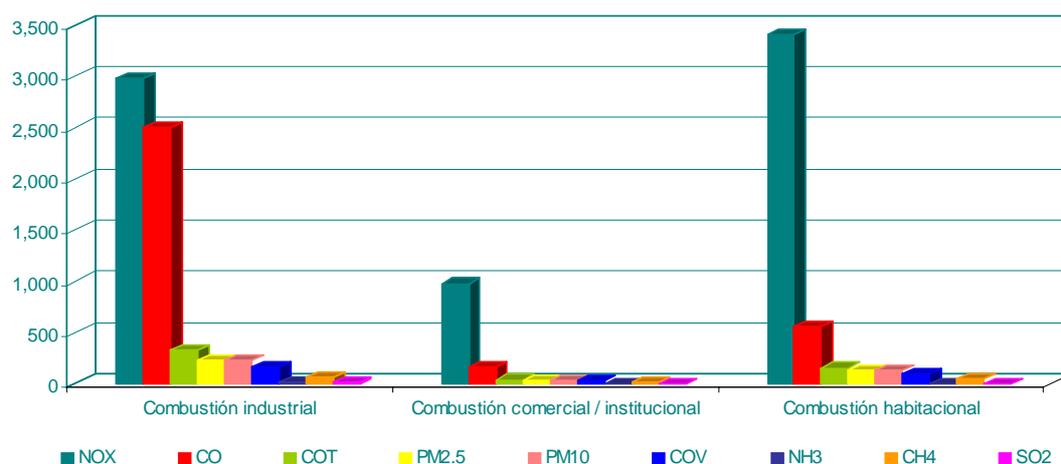
Emisiones por combustión de fuentes estacionarias

En esta categoría se incluye las emisiones generadas por la combustión de 1.8 millones de m³ de gas L.P. y 196 millones de m³ 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 m³ de gas L.P., poco más de 21 millones de m³ de gas natural y 103 mil m³ 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 información⁶ no fueron incluidas en el inventario de fuentes puntuales, éstas representan un consumo de 1,858 millones de m³ de gas natural.

Los consumos de combustibles mencionados, fueron obtenidos a partir del balance y distribución de energía en la ZMVM⁷. 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.



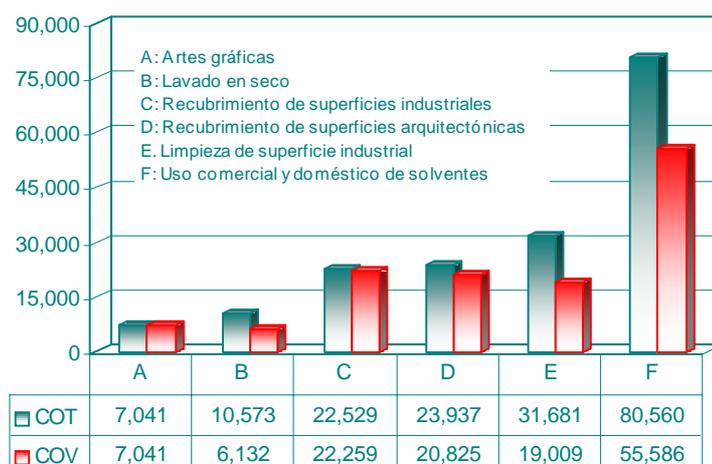
Gráfica 4.2.6 Emisiones por combustión de fuentes estacionarias [ton/año]

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 se presenta la tabla de emisiones y su respectiva gráfica:



Gráfica 4.2.7 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 pesos⁸

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 precios 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 |
| <i>Descarga carro-tanque en estaciones de servicio</i> | 821 | 346 | 1,167 | 808 | 340 | 1,148 |
| <i>Descarga en tanques estacionarios</i> | 285 | 278 | 563 | 280 | 273 | 553 |
| <i>Distribución en tanque portátil</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Almacenamiento | 156 | 1,039 | 1,195 | 153 | 1,023 | 1,176 |
| <i>Descarga de semirremolques en planta</i> | 37 | 250 | 287 | 37 | 246 | 283 |
| <i>Almacenamiento en planta</i> | 1 | 4 | 5 | 0 | 3 | 3 |
| <i>Carga de auto-tanques en planta</i> | 73 | 486 | 559 | 72 | 479 | 551 |
| <i>Carga de tanque portátiles en planta</i> | 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 |
| <i>Portátiles</i> | 9,029 | 8,646 | 17,675 | 8,884 | 8,507 | 17,391 |
| <i>Estacionarios</i> | 902 | 864 | 1,766 | 888 | 850 | 1,738 |
| <i>Estufas</i> | 2,414 | 2,311 | 4,725 | 2,375 | 2,275 | 4,650 |
| <i>Calentadores</i> | 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 | 1,990 |
| 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 |
| <i>Estufas</i> | 11,748 | 11,249 | 22,997 | 11,560 | 11,069 | 22,629 |
| <i>Calentadores</i> | 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 CH₄ 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.

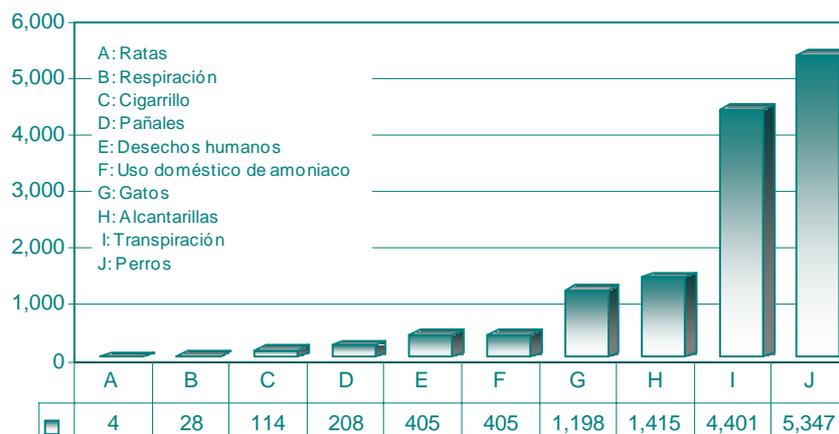
Fuentes de área misceláneas

El amoniaco (NH₃), como parte del ciclo del nitrógeno, es uno de los principales contribuyentes de la formación de aerosoles en la atmósfera; por ejemplo, el ión amonio reacciona rápidamente con nitratos, sulfatos o con otros aniones para formar partículas.

La estimación de éste compuesto es importante debido a que en la ZMVM se tienen problemas de concentración de partículas (CENR, 2000⁹). 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 |



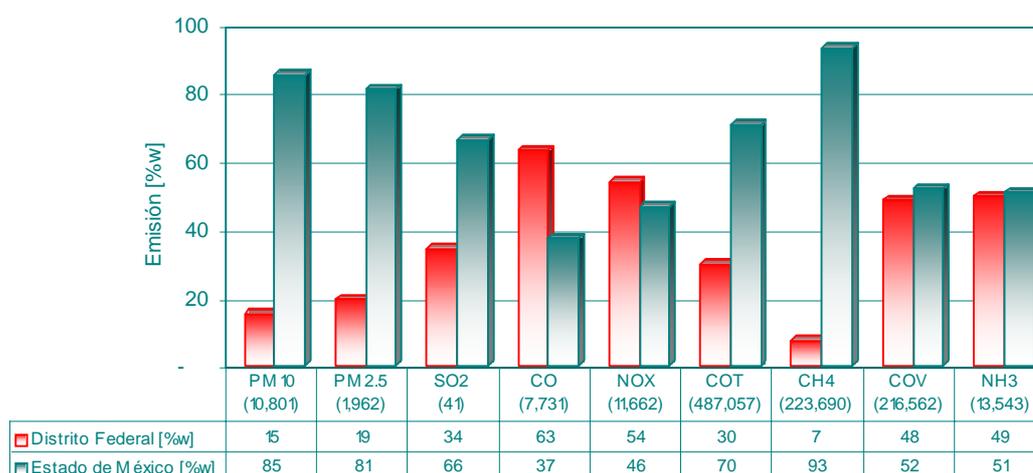
Gráfica 4.2.8 Emisiones domésticas de amoniaco ZMVM [ton/año]

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 2002¹⁰, para conocer la composición química de la atmósfera en la ZMVM, se ha encontrado que aproximadamente el 50% de PM₁₀ 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 cuenta 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.

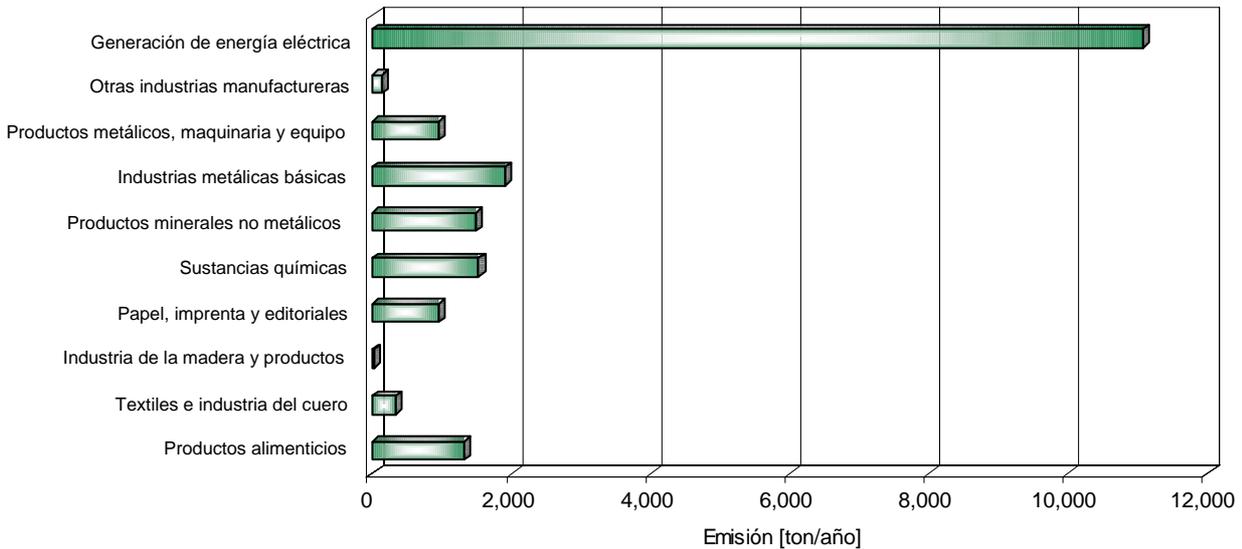


Gráfica 4.2.9 Emisión de contaminantes por entidad federativa (ton/año)

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.

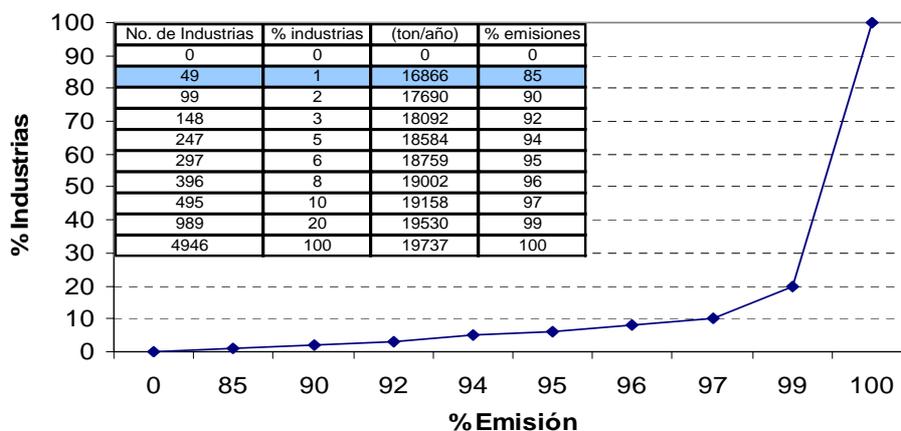
Óxidos de Nitrógeno

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

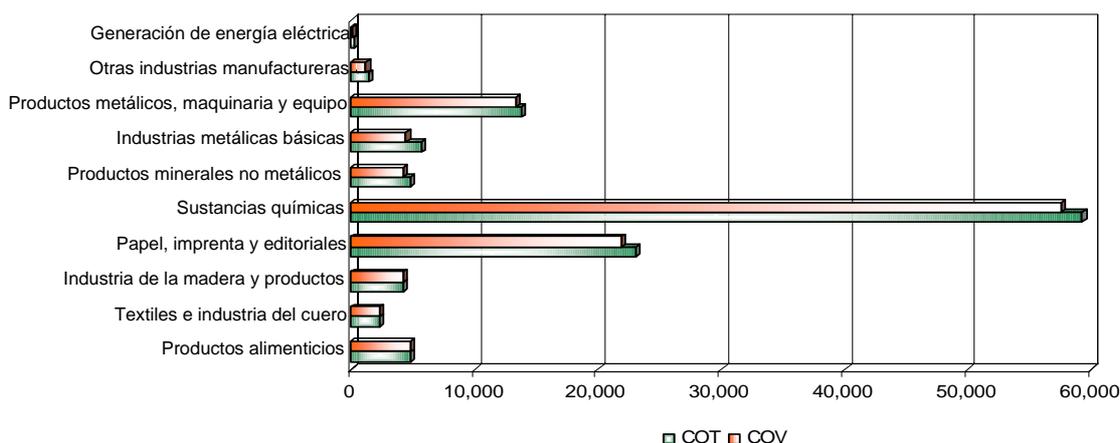
En la gráfica 4.1.8, se observa que el 1% de la industria contribuye con el 85% de las emisiones de NOx. Esto nos indica que tan sólo 49 industrias consumen la mayor parte del combustible que se distribuye en la ZMVM, considerándose a las plantas generadoras de energía eléctrica como las más contaminantes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



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

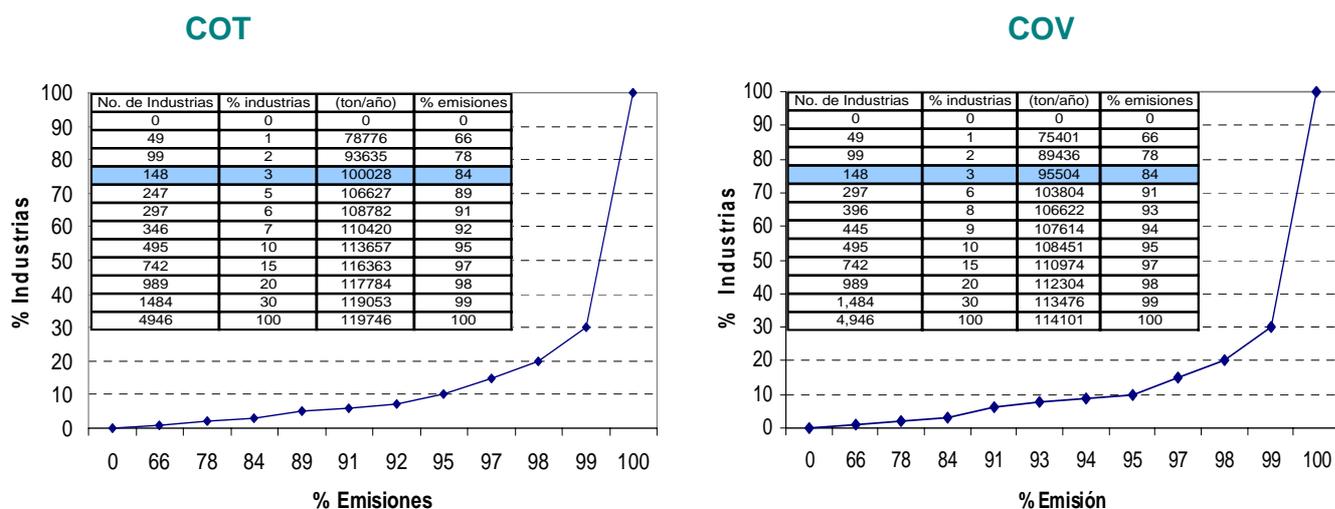
Compuestos Orgánicos Totales y Volátiles

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)).



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 | *NO _x | *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

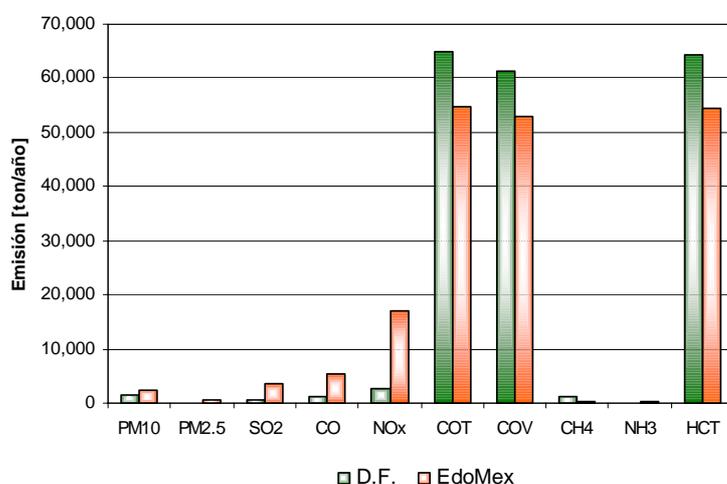
**En el presente documento se utiliza Estado de México (Edo.Mex.), para referirnos a los 18 municipios conurbados al Distrito Federal del Estado de México.

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 SO₂, CO, NO_x, COT y CH₄, en el caso de las industrias locales, éstas emiten principalmente PM₁₀.

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 | NO _x | 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 PM₁₀.

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 | NO _x | 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 ZMVM¹. Dichas unidades se caracterizan por ir de un lugar a otro y por lo tanto contaminan a lo largo de su recorrido. De los diversos contaminantes generados durante este proceso, en el presente inventario se evaluaron los siguientes: PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, CO, NO_x, COT, CH₄, COV y NH₃.

Tabla 4.3.1 Consumo energético de las fuentes móviles por tipo de combustible ZMVM, 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 México². 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, PM₁₀, PM_{2.5} y NH₃, se obtuvieron de diversas fuentes tales como:

- Factores de emisión proporcionados por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).
- Modelos MOBILE5-México y MOBILE6-México, desarrollados por la US-EPA.
- 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 SO₂ 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 Auto transporte Federal 2004, SCT.

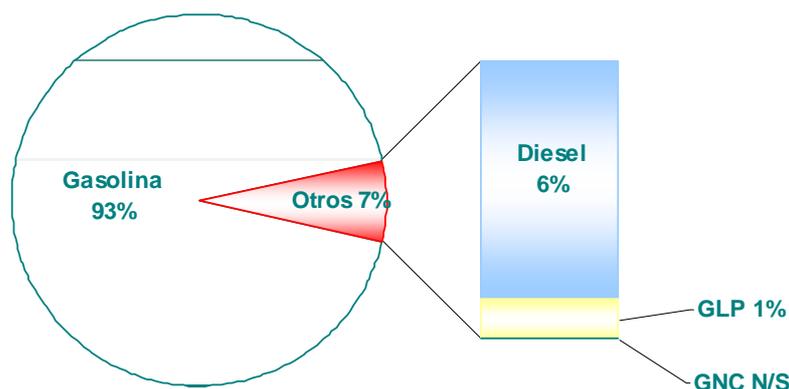
⁸ SMA/DGGAA/DIP/SPFM/JUD Políticas de Fuentes Móviles, 2005.

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

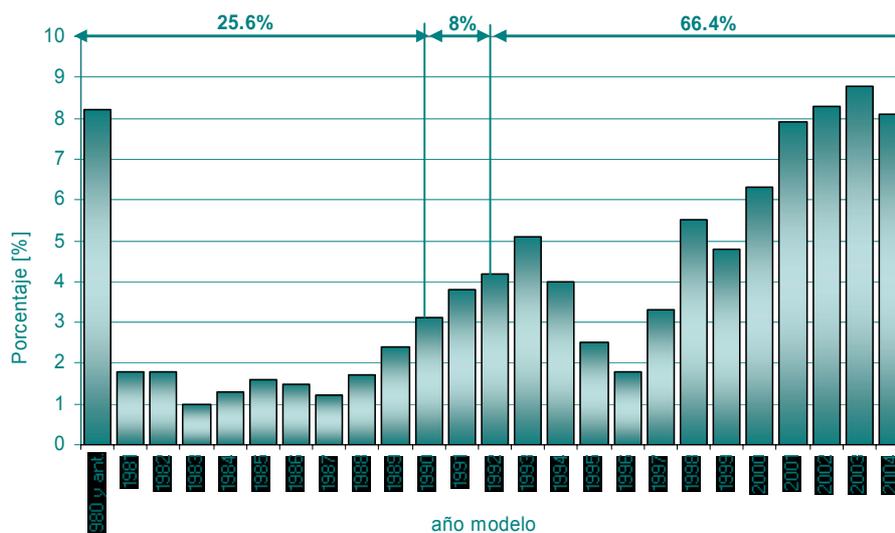
En el cálculo de las emisiones es de gran importancia considerar el año modelo de los vehículos, ya que esto nos permite conocer mejor el volumen de emisiones generadas por estrato vehicular y con ello proponer acciones para reducir las emisiones en forma específica. A continuación se tiene la distribución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

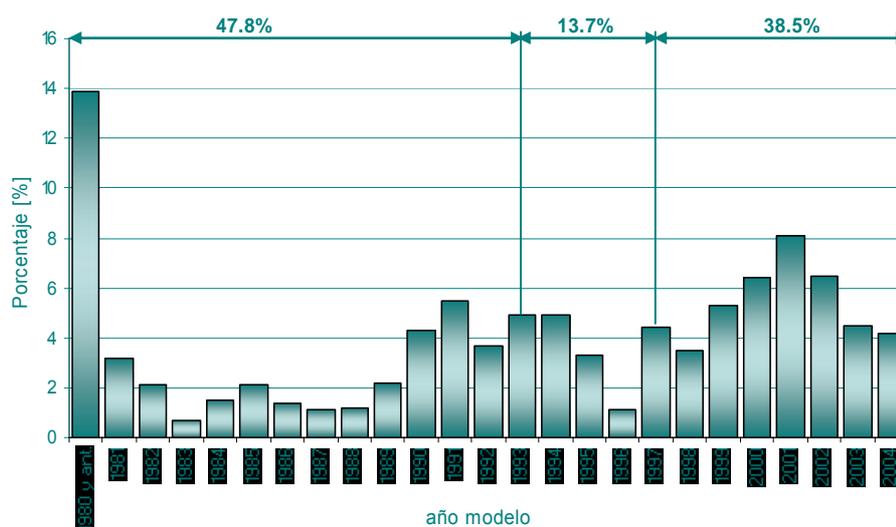
Por lo que respecta a las unidades que utilizan diesel como combustible, haciendo una separación por estratos tecnológicos tenemos que poco más el 46% de las unidades corresponden a unidades año modelo 1993 y anteriores, casi el 16% son vehículos modelo 1994 a 1997 que cuentan con la tecnología EPA 94; 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 | 13.7 | |
| 1994 | 4.0 | | 4.9 | | |
| 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



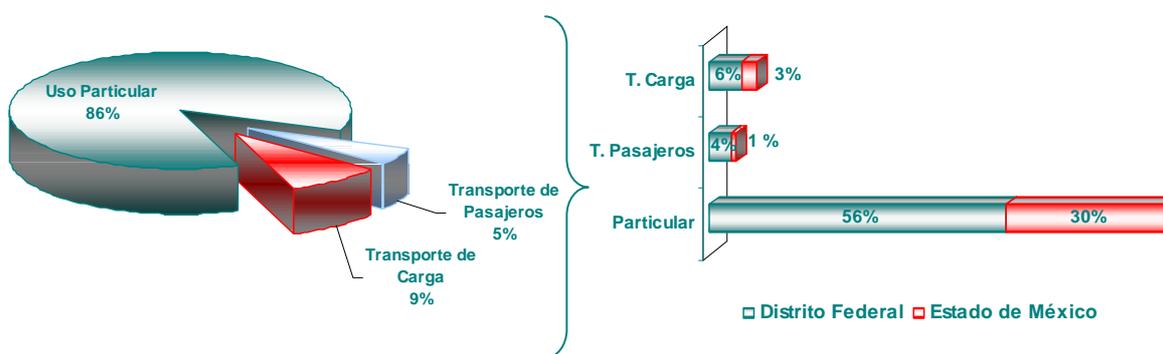
Gráfica 4.3.3 Porcentaje de vehículos a diesel por año modelo y tecnología

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 |

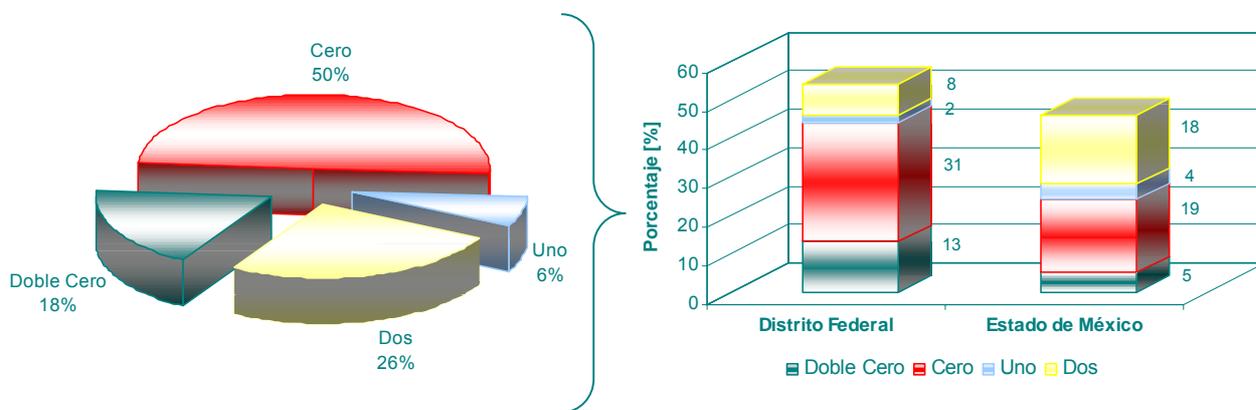
Fuentes: COMETRAVI, 1997. Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos.
Programa de Verificación Vehicular Obligatorio.
N/A.- No Aplica

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 |

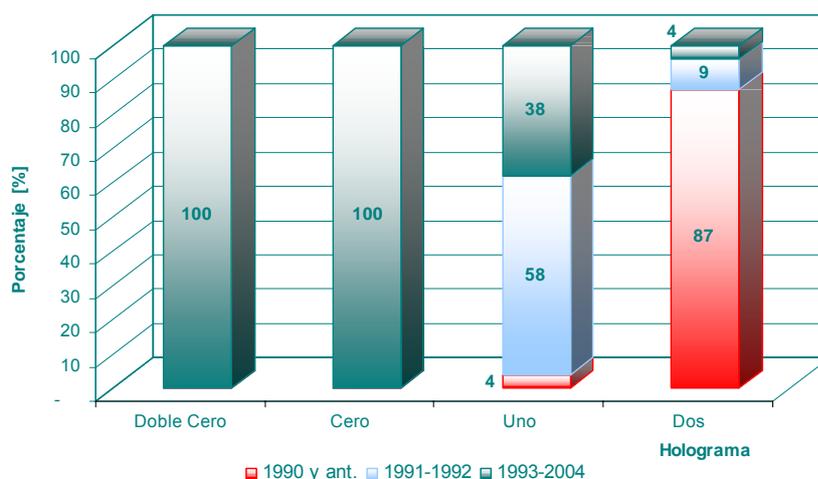
Fuentes: COMETRAVI, 1997. Definición de políticas de modernización, inspección, sustitución, eliminación definitiva, adaptación de vehículos y combustibles alternos. Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México 2000, SETRAVI 2001. Dirección General del Autotransporte Federal, SCT, 2002. Red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



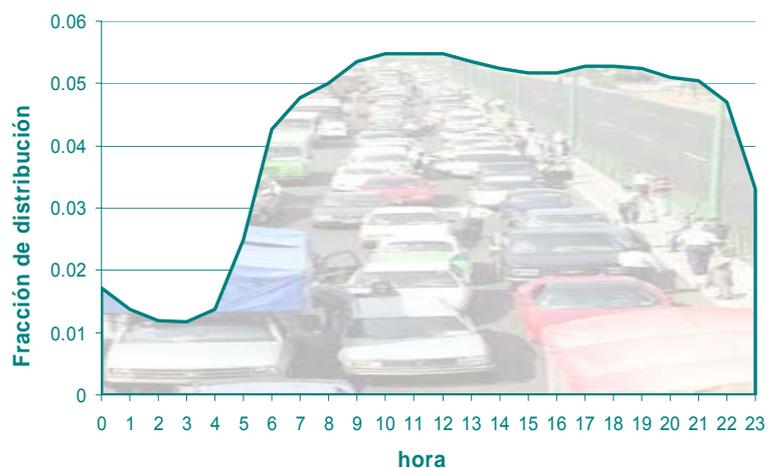
Gráfica 4.3.6 Distribución de KRV por estrato tecnológico para los autos particulares de acuerdo al holograma

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 | NO _x | 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.

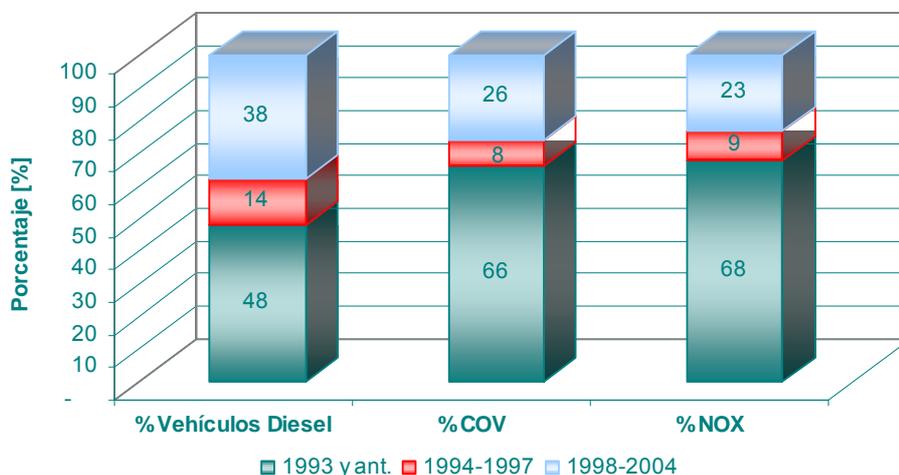
Tabla 4.3.10 Emisiones de las fuentes móviles en la ZMVM, 2004

| Tipo de Vehículo | Emisiones [ton/año] | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | PM ₁₀ | PM _{2.5} | SO ₂ | CO | NO _x | 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 | NO _x | 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 PM₁₀ 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

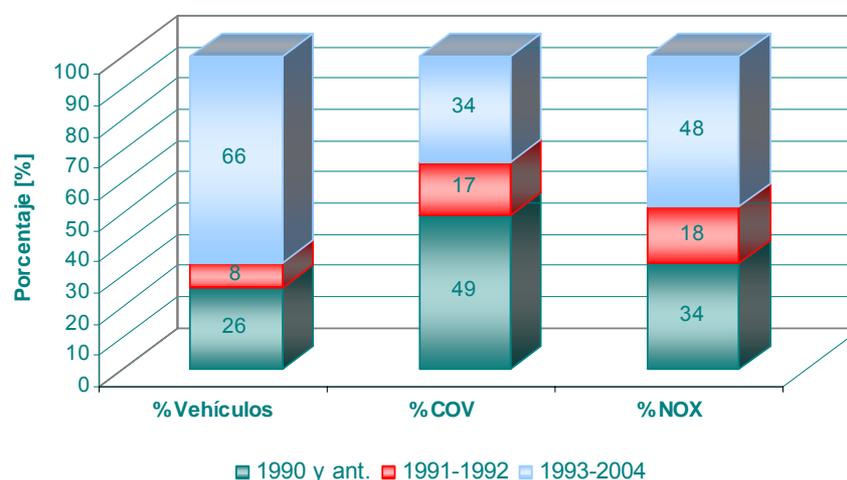
En la Gráfica 4.3.8, se tiene la comparación porcentual entre la emisión de los precursores de ozono (compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno) así como el porcentaje de vehículos a diesel, que se encuentran en circulación en la ZMVM en el año 2004, de acuerdo al año modelo. Se observa que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

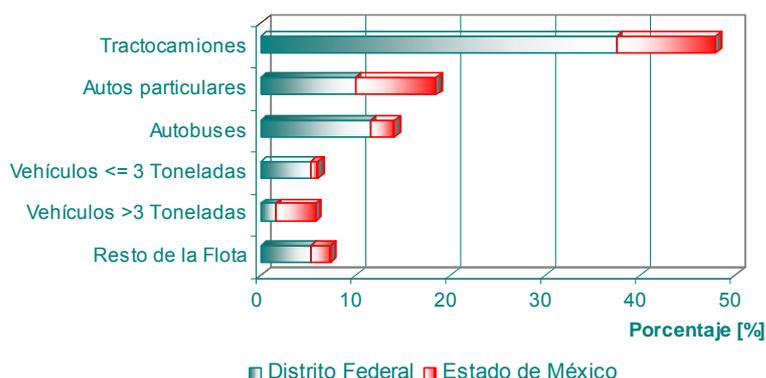
Tabla 4.3.13 Emisiones por las fuentes móviles para el Estado de México

| 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.

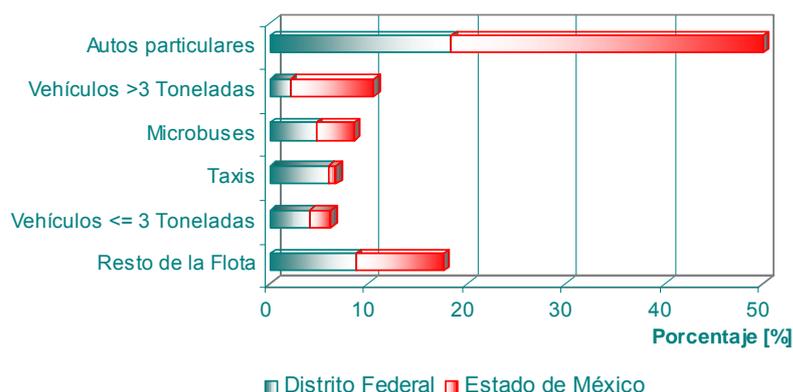
Es importante aclarar que en estas gráficas la categoría correspondiente al resto de la flota representa un porcentaje mayor que alguna de la cinco más contaminantes; esto es el resultado de agrupar en una sola categoría los tipos de vehículo restantes, y por ello la suma de los menos contaminantes puede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

En la Gráfica 4.3.10, se tienen los porcentajes de las emisiones de PM₁₀, 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.



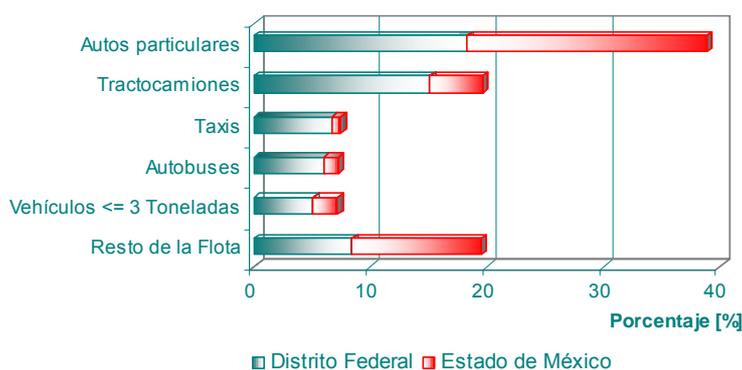
Gráfica 4.3.10 Porcentajes de las emisiones de PM₁₀, de acuerdo al tipo de vehículo

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.



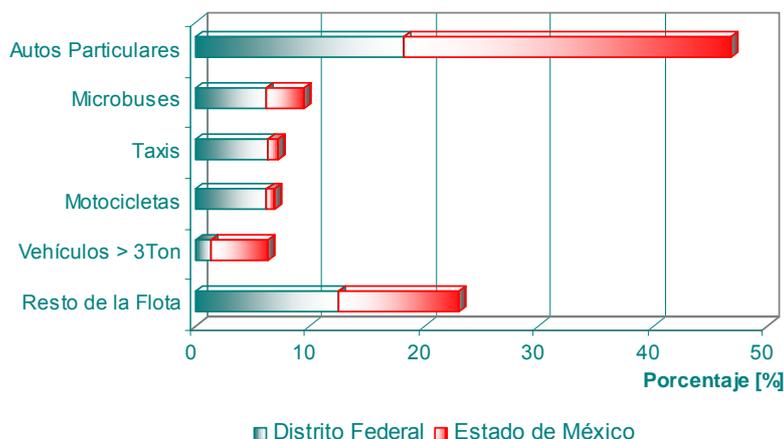
Gráfica 4.3.11 Porcentajes de las emisiones de CO, de acuerdo al tipo de vehículo

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.



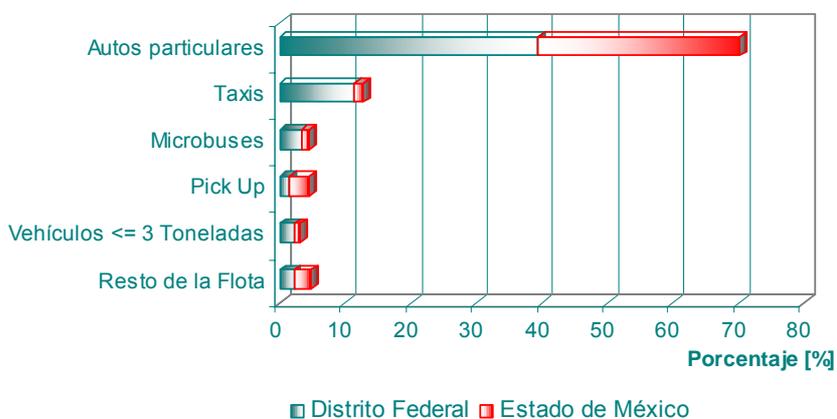
Gráfica 4.3.12 Porcentajes de las emisiones de NOx, de acuerdo al tipo de vehículo

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 NH₃, de acuerdo al tipo de vehículo

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

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 PM₁₀, SO₂, 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 | 1,776 | 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 PM₁₀, 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 | NO _x | 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 | NO _x | 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 |
| Nezahualtcoyotl | 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 oxígeno² 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 km² 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

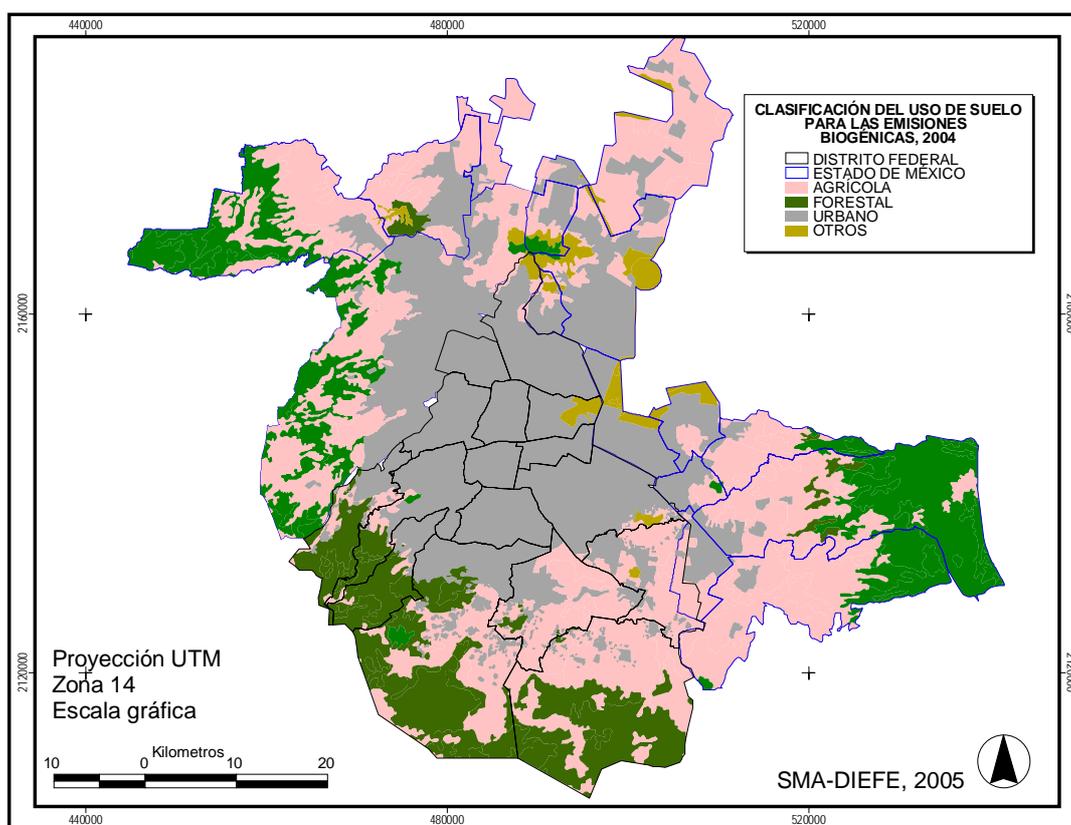
| Uso de suelo | Distrito Federal | | Estado de México* | | ZMVM | |
|--------------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|------------|
| | [Km ²] | % | [Km ²] | % | [Km ²] | % |
| Agrícola | 446 | 13 | 1,008 | 28 | 1454 | 41 |
| Forestal | 392 | 11 | 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, 2002³), utilizando el modelo GloBEIS⁴, 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:

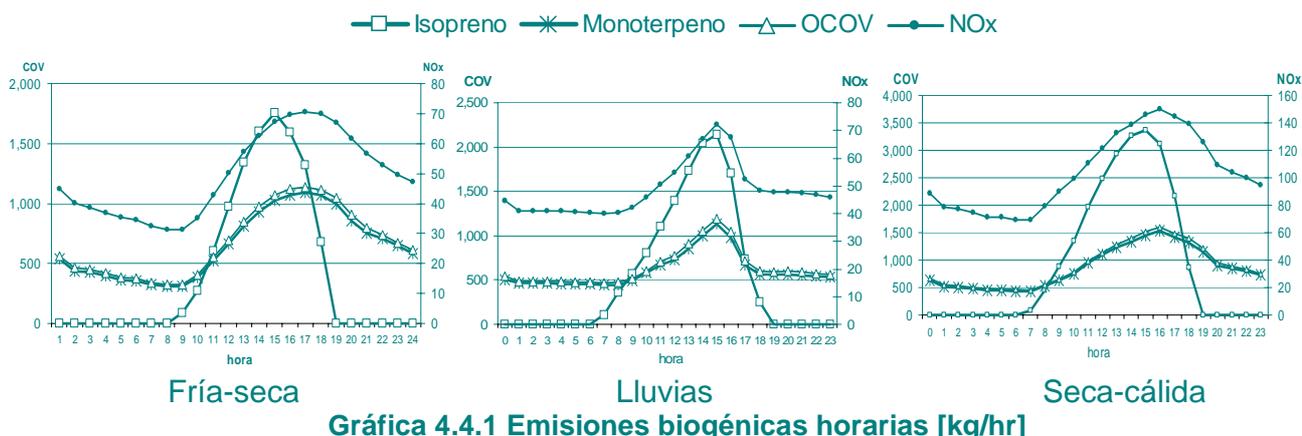
1.- Uso de suelo. Se definió el área de estudio o dominio en Km² y se clasificó el uso del suelo en: *forestal, urbano, agrícola y otros*. Así mismo, se distribuyeron las superficies de cada uso de suelo por especie vegetal dominante, de acuerdo a la clasificación que incluye el GloBEIS.

2.- Meteorología. Se utilizaron datos horarios de temperatura y radiación, "PAR" por sus siglas en inglés (Photosynthetically Activated Radiation⁵) 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 temporada⁶.

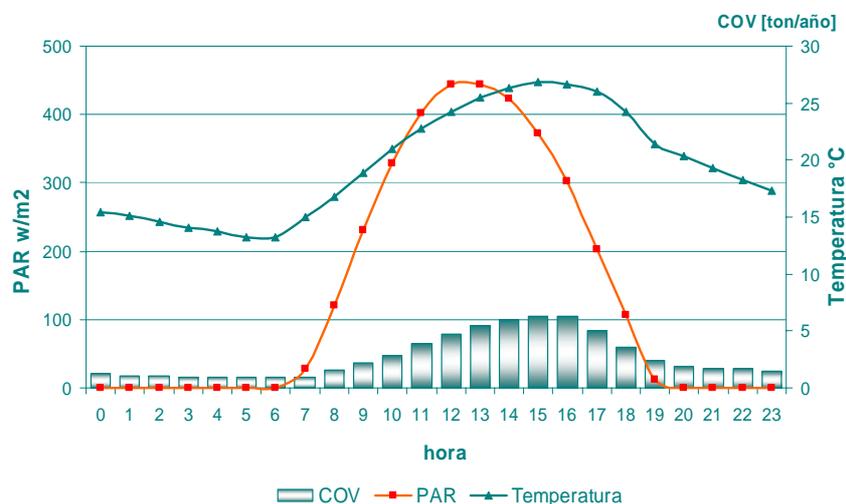


En forma general, las emisiones de COV y NOx siguen un comportamiento similar al de la temperatura a través del día. Las emisiones de isopreno están más relacionadas al incremento de la radiación, sin embargo, los picos de las emisiones no siempre coinciden con los valores más altos de esta variable. 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 Singaas, 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

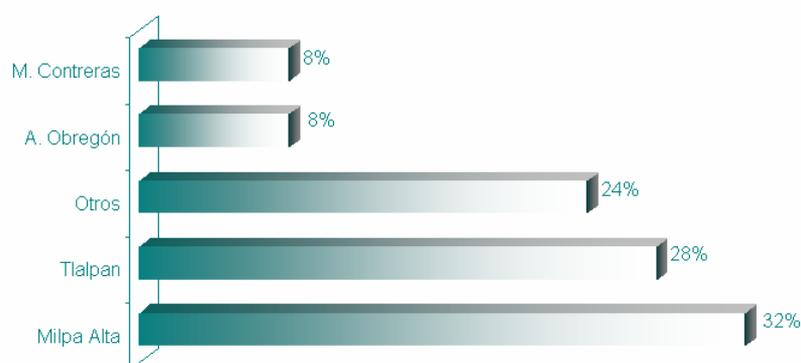
De las 7,158 toneladas anuales de COV biogénicos que se emiten en el Distrito Federal, el principal contaminante es el monoterpeno con 3,126 toneladas anuales, lo cual representa el 44% de las emisiones de hidrocarburos en esta entidad, siguen en orden de importancia, los otros compuestos orgánicos volátiles (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

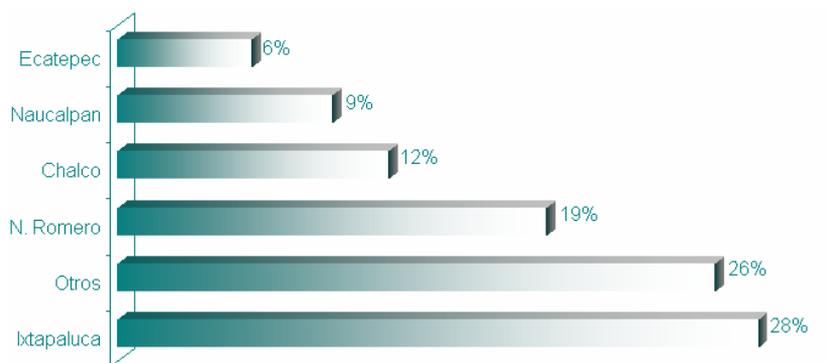
Las emisiones de COV generadas en el Estado de México ascienden a 10,448 toneladas anuales, las principales emisiones corresponden al isopreno con 4,281 ton/año y los OCOV con 3,299 ton/año, éstos representan el 41% y el 32% del total de COV respectivamente.

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% de 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

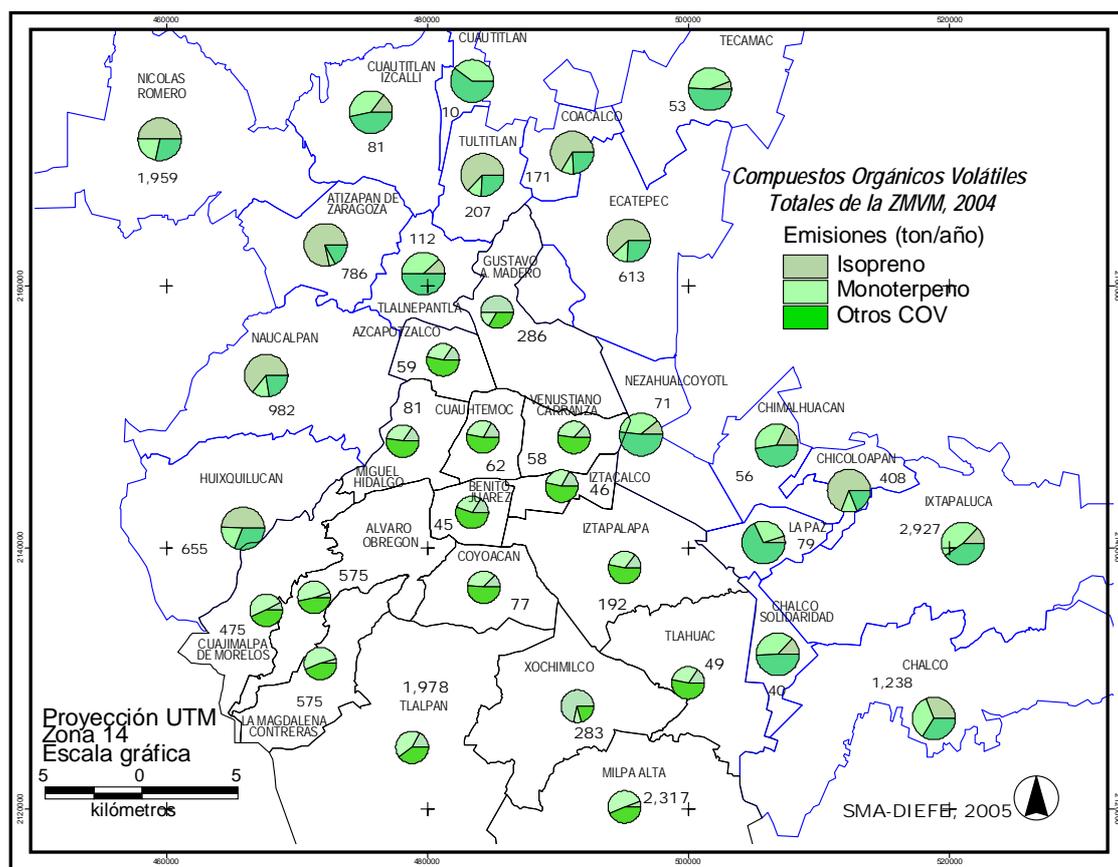
Las emisiones anuales de COV generados por la vegetación en la ZMVM, ascienden a 17,606 toneladas, de los cuales el monoterpeno y los OCOV son los que más se emiten, representando el 34% y 36% respectivamente, el 30% restante es isopreno. Por otra parte, las emisiones de NOx que se liberan por los procesos 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 son⁸:

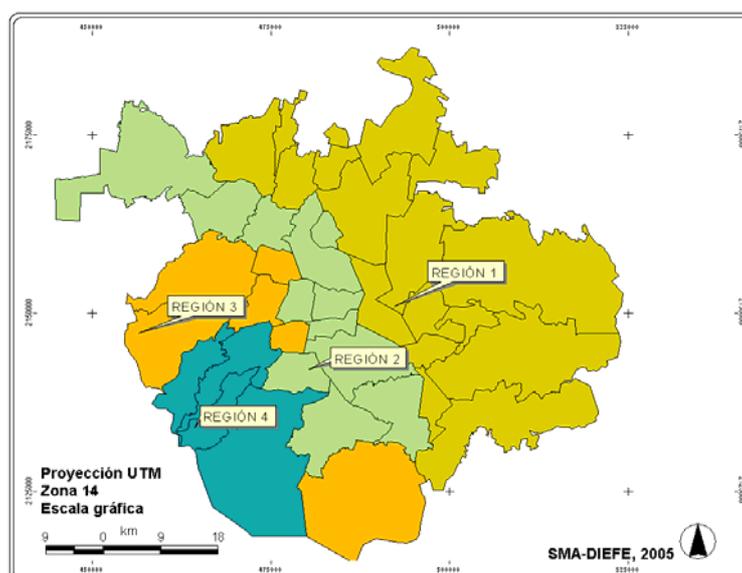
- Los factores climáticos: Precipitación, temperatura, humedad atmosférica y vientos. A mayores precipitaciones y contenidos de humedad, el suelo es más resistente.
- Características del suelo: La erosionabilidad del suelo por causa de los vientos está relacionada con la textura y estabilidad estructural. 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 región⁹.

| 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 CEIDARS¹⁰, 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).

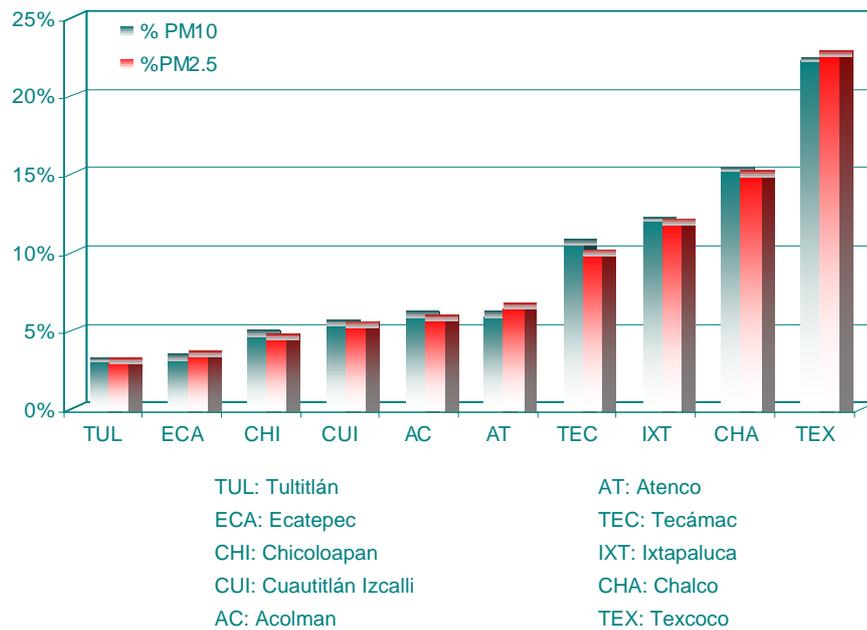
La superficie considerada como susceptible de erosión eólica en la Zona Metropolitana del Valle de México, es de 193,609 hectáreas (ha), 48,938 ha corresponden al Distrito Federal y 144,671 ha al Estado de México.

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.



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 (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) 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 CO₂; por lo tanto, se expresa en Tg de CO₂ 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 CO₂ Eq.]

| Gas | Potencial de calentamiento [Tg CO ₂ 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 CO₂ 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 (CH₄), 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 realizó utilizando la metodología del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)³ y la siguiente ecuación representa el sistema de cálculo.

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

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 CO₂ por tipo de combustible y sector

| Tipo de combustible por sector | Energía consumida ¹ [TJ/año] | Factor de emisión ² [kg/TJ] | Emisiones de CO ₂ [ton/año] |
|----------------------------------|--|---|---|
| Transporte | 291,932 | | 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 CO₂ estimada con el modelo Landfill US-EPA, correspondiente a la degradación de los residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios ubicados dentro del área de estudio.

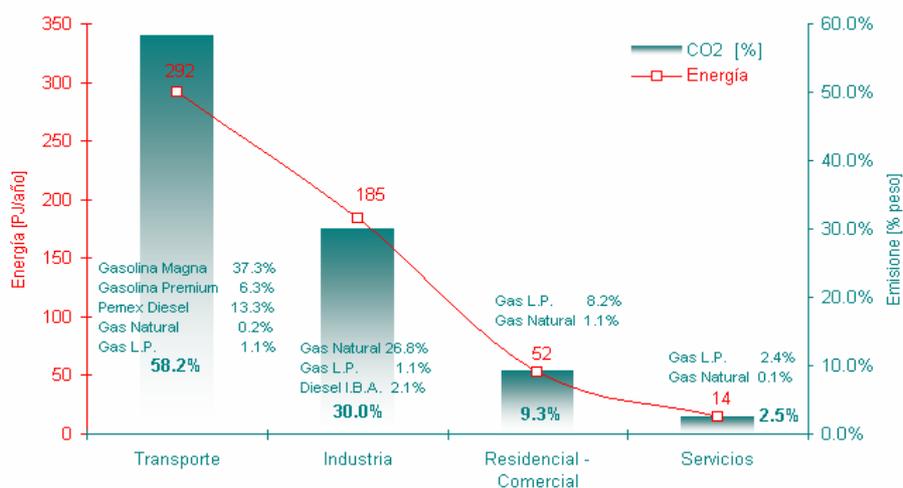
³ UNAM-Comisión Ambiental Metropolitana, 2000. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Asociados a la Producción y Uso de la Energía en la Zona Metropolitana del Valle de México. Reporte del Grupo de Energía y Ambiente del Instituto de Ingeniería.

Tabla 4.5.3 Emisiones de CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂, son directamente proporcionales al consumo de combustible, en la gráfica 4.5.1 se muestra el consumo energético por cada uno de los sectores estimados, así como su emisión de CO₂.

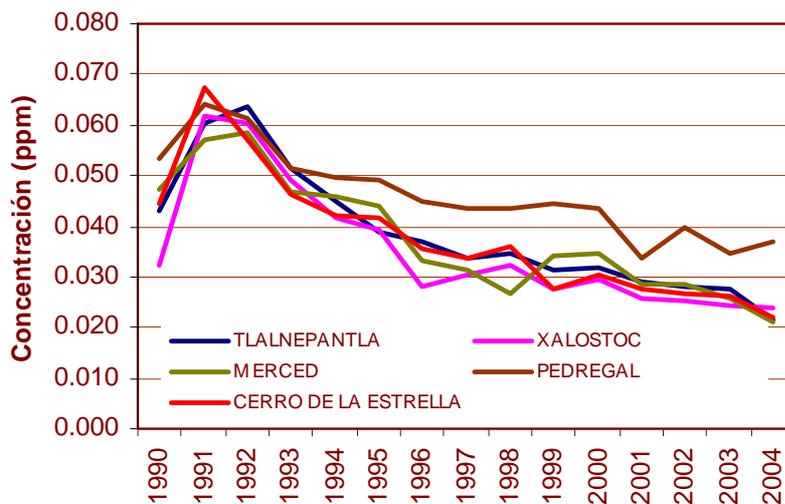
El sector transporte es el mayor emisor contribuyendo con el 58% del CO₂, teniendo la combustión de gasolina como la que genera la mayor emisión, el sector industrial representa el 30 % de las emisiones destacando por la combustión de gas natural y por último se tiene que el sector residencial-comercial y de servicios emite el 12% restante.

Gráfica 4.5.1 Consumo energético y emisiones de CO₂ 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 PM₁₀ 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 planteó, 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 Secretaría del Medio Ambiente, ha desarrollado inventarios que han mejorado en su calidad y actualmente estos presentan, además de la cuantificación desagregada de las emisiones por tipo de fuente, categoría o subsector, la variación temporal y espacial de las emisiones contaminantes 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 (PM₁₀), de bióxido de azufre (SO₂), de monóxido de carbono (CO), de óxidos de nitrógeno (NO_x), de compuestos orgánicos totales (COT) y de compuestos orgánicos volátiles (COV).

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 | NO _x | 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 |

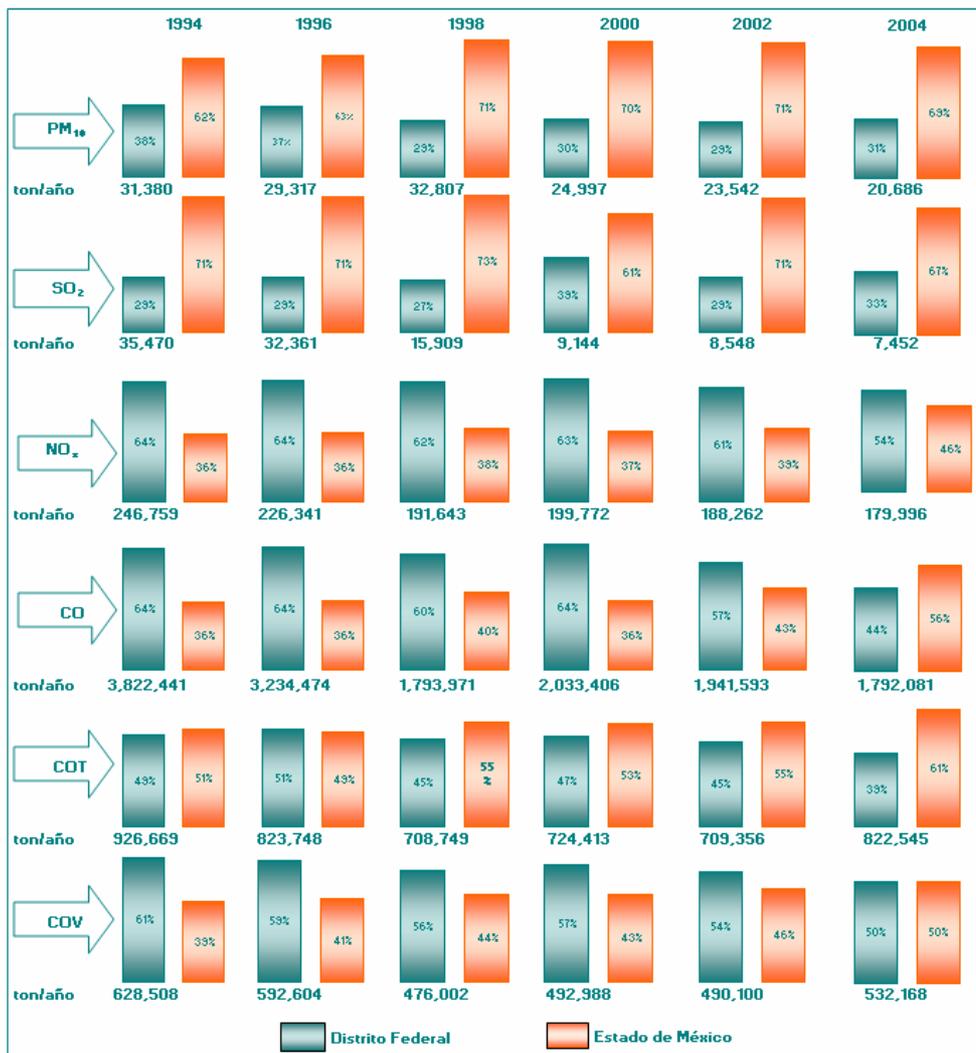


Figura 5.1.1 Análisis comparativo de las emisiones 1994-2004

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 SO₂ disminuye 79% debido principalmente a la reducción del contenido de azufre en los combustibles; las partículas PM₁₀ 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 PM₁₀ y el SO₂ 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.

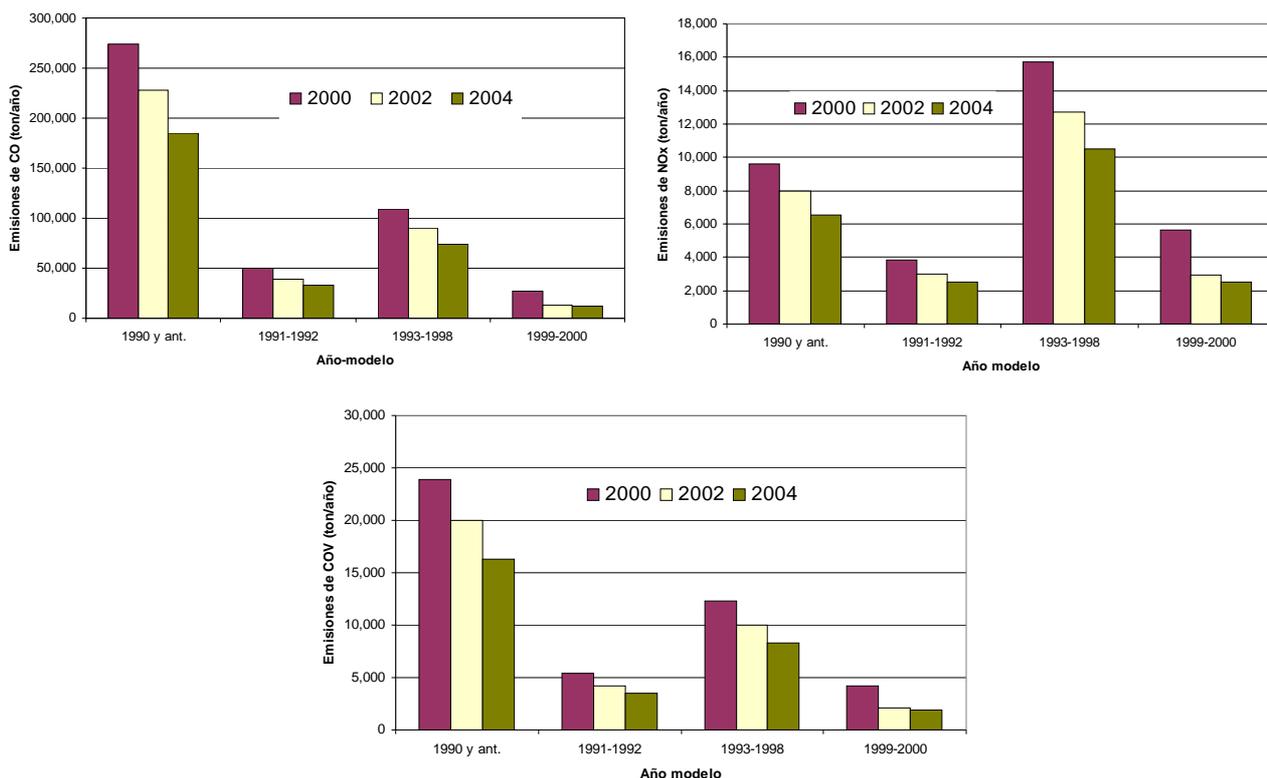
Tabla 5.2.1 Evolución 2000-2004 de los autos particulares, D.F.

| 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, durante 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 geológico¹

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.

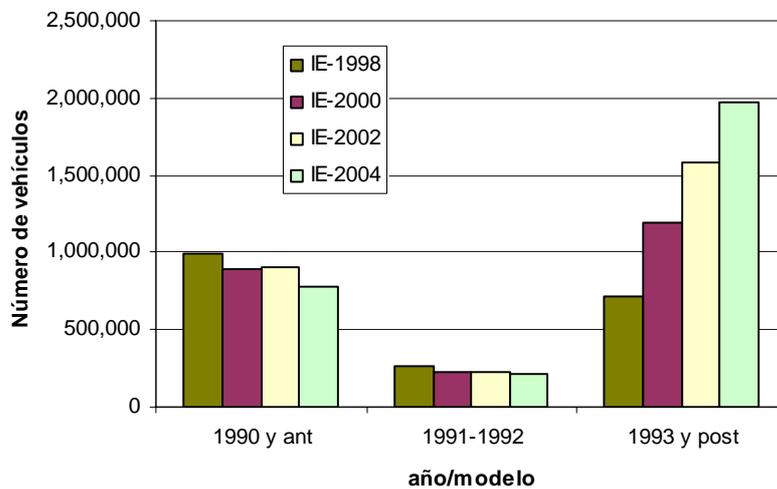
La reducción de CO, COV y NO_x se debe principalmente a la renovación del parque vehicular, donde el seguimiento y actualización del Programa Hoy No Circula y el Programa de Contingencias Ambientales Atmosférica contribuyeron al impulso de esta medida.

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

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 amoníaco 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 -emitting urban forest: a taxonomic methodology for assigning isoprene and monoterpene emission rates. Atmospheric Environment vol. 30 No. 9.1437-1452 pp. Great Britain.

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

California Emission Inventory and Reporting System (CEIDARS), 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 PM₁₀ 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. Emissions of volatile organic compounds from vegetation and the applications for atmospheric chemistry. *Global Biogeochemical Cycles*. 6, 4, 389-430 pp.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- IMP; 1998. Investigación sobre material particulado y deterioro atmosférico-Inventario de amoniaco para la ZMCM. Subdirección de Protección ambiental, Gerencia de Ciencias del Ambiente. 24 p.
- INEGI, 1997. Cultivos anuales de México. VII Censo Agropecuario. 429 p. México, DF.
- INEGI, 1998. Cultivos perennes de México. VII Censo Agropecuario (octubre, 1991). 393 p. México, DF.
- INEGI, 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 PM_{2.5} and Pm₁₀ in Mexico City during winter 1997. *The Science of the Total Environment* 287 (2002) 177-201.
- Kirk Baker, 2001. Evaluation of PAR Estimation Methods. Lake Michigan Air Directors Consortium. DRAFT – 6/15/01.
- 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, <http://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 PM₁₀ en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, México. 129 p. p.

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

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

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

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

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

PEMEX Refinación, julio 2003. 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.

Ruiz 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-venta de GLP por planta de almacenamiento. Dirección de Enlace, Estadística y Asuntos Especiales de la Dirección General de Gas LP.
- Secretaría de Salud, 2002. Anuario Estadístico Año 2000, Boletín N°20 Información Estadística 2000 – Volumen 1. Recursos Físicos, Materiales y Humanos y Tipo de Recursos por Institución Distrito Federal 2002. Consulta por Internet, <http://ssa.gob.mx>.
- Secretaría de Transportes y Vialidad, 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 Database (FAEED 3.1). Consulta en internet, <http://www.epa.gov/otaq/aviation.htm>

U.S. Environmental Protection Agency, 2000. Copilación 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 Sources. 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 Quality 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 Landfill Gas Emissions Model V.2.01. Washington, DC 20460. Consulta por Internet, <http://www.epa.gov/ttn/atw/landfill/landflpg.html>.

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

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 Standards/Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development: A Beginner's Guide for Point and Area Sources. Consulta por internet, <http://www.epa.gov/ttn/chief>.

U.S. Environmental Protection Agency, septiembre 1999. 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 Ingeniería y Gestión Ambiental. Universidad Pontificia Boliviana. Vol. 17, No. 32-33. 2001.

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

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

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

ANEXO

A. MEMORIAS DE CÁLCULO

A.1 FUENTES PUNTUALES

El inventario de emisiones para fuentes puntuales en la ZMVM del año 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 |
| NO _x | Sin control | 3760 | 1600 | 1504 |
| | QBN* | 2240 | 800 | |
| | RG** | 1600 | 512 | |
| COT | Sin control | 176 | 176 | 180 |
| COTNM | Sin control | 139.2 | 139.2 | 118.8 |
| NH ₃ | Sin control | 51 | 7.8 | 7.8 |
| CH ₄ | Sin control | 36.8 | 36.8 | |
| COV | Sin control | 88 | 88 | |

*Quemador bajo NO_x

** Recirculación de gases

Tabla A.1.2 Factores de emisión para combustión de 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 |
| NO _x | 2.52 | 2.28 | 1.8 | 1.68 |
| COT | 0.72 | 0.06 | 0.072 | 0.06 |
| CH ₄ | 0.0240 | 0.0240 | 0.0240 | 0.0240 |

^aS = 0.009 g/m³

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

Fuente: PEMEX Gas y Petroquímica Básica.

Tabla A.1.3 Factores de emisión para combustión de diesel

| Contaminante | Control | Caldera >3,000 C.C. [kg/m ³] | Caldera <3000 C.C.[kg/m ³] |
|-----------------|-------------|--|--|
| PM ₀ | 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 |
| NO _x | 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

| Contaminante | Caldera > 3000 C.C. | | Caldera < 3000 C.C. | |
|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | COP [kg/m ³] | COL [kg/m ³] | COP [kg/m ³] | COL [kg/m ³] |
| PM ₁₀ | 0.7929(S)+0.2919 | 0.8496 | 0.96365(S)+0.31835 | 1.03248 |
| SO ₂ | 18.84S* | 18.84S* | 18.84S* | 18.84S* |
| CO | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| 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 (SCC¹) 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 Classification Code 2000

- Se seleccionó de la base de datos *FIRE 6.23* los procesos que fueron reportados en la LAU-DF.
- Se Localizó el código SCC que representa el proceso o actividad productiva.
- Se identificaron las unidades de los factores en el *FIRE 6.23* para hacer las conversiones del sistema ingles al sistema métrico^b.

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

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

| SCC | Nombre del proceso | kg/unidad | | | | Unidad |
|---------------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|
| | | PM ₁₀ | SO ₂ | NO _x | COV | |
| Tostado de café | | | | | | |
| 3-02-002-01 | Tostador de flama directa | 0.55 | 0.20 | 0.05 | 1.30 | Toneladas de granos verdes |
| 3-02-002-02 | Tostador de flama indirecta | 0.30 | 0.20 | 0.05 | 1.30 | Toneladas de granos verdes |
| 3-02-002-03 | Enfriador de grano | 0.10 | - | - | - | Toneladas de granos verdes |
| Molido de trigo | | | | | | |
| | | PM ₁₀ | | | | |
| 3-01-007-31 | Recibo de grano | 0.03 | | | | Toneladas de grano recibido |
| 3-01-007-32 | Prelimpieza de manejo | 0.02 | | | | Toneladas de grano recibido |
| 3-01-007-34 | Molino | 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 Appendix A miscellaneous data and conversions factor 9/85 (reformatted 1/95) appendix A-1

Continúa...

| SCC | Nombre del proceso | kg/unidad | | | | | Unidad |
|--|---|------------------|------------------|-----------------|------|-----|------------------------------------|
| | | PM ₁₀ | SO ₂ | NO _x | COV | CO | |
| Carne ahumada | | | | | | | |
| 3-02-013-01 | Operaciones combinadas | 0.14 | 0.05 | 0.35 | 0.04 | 0.3 | Toneladas de carne ahumada |
| Procesamiento de cacahuates | | | | | | | |
| | | | NO _x | | | | |
| 3-02-017-99 | Otros no clasificados | | | 0.03 | | | Toneladas procesadas |
| Procesamiento de aceite vegetal | | | | | | | |
| | | | COV | | | | |
| 3-02-019-06 | General: Aceite de maíz | | | 8.49 | | | Toneladas alimentadas al extractor |
| 3-02-019-07 | General: Aceite de semilla de algodón | | | 7.95 | | | Toneladas alimentadas al extractor |
| 3-02-019-09 | General: Aceite de cacahuete | | | 9.40 | | | Toneladas alimentadas al extractor |
| 3-02-019-16 | Extracción de aceite | | | 7.61 | | | Toneladas alimentadas al extractor |
| 3-02-019-17 | Preparación de harina | | | 0.50 | | | Toneladas alimentadas al extractor |
| 3-02-019-18 | Refinación de aceite | | | 0.21 | | | Toneladas alimentadas al extractor |
| 3-02-019-19 | Pérdidas fugitivas | | | 0.85 | | | Toneladas alimentadas al extractor |
| 3-02-019-20 | Almacenamiento de solventes | | | 0.08 | | | Toneladas de semilla procesada |
| Panaderías | | | | | | | |
| | | | COV | | | | |
| 3-02-032-01 | Cocido de pan: proceso de esponjamiento | | | 6.51 | | | Toneladas de pan horneadas |
| 3-02-032-02 | Cocido de pan: proceso de amasado | | | 0.50 | | | Toneladas de pan horneadas |
| Proceso de tabaco | | | | | | | |
| | | | 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 |
|--|---|------------------------|-----------------|-----------------|-------|---|
| | | PM ₁₀ | SO ₂ | NO _x | COV | |
| Operaciones de triplay/aglomerados | | | | | | |
| 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 | | | | | | |
| | | PM₁₀ | | | | |
| 3-07-030-01 | Venteo de tolva de almacenamiento de desecho de madera | 0.26 | | | | Toneladas de desecho de madera |
| 3-07-030-02 | Llenado externo de tolva de almacenamiento de desecho de madera | 0.54 | | | | Toneladas de desecho de madera |
| Operaciones de recubrimiento de superficies | | | | | | |
| SCC | Nombre del proceso | kg/unidad | | | | Unidad |
| Recubrimiento de superficies de muebles de madera | | | | | | |
| | | COV | | | | |
| 4-02-019-01 | Operación de recubrimiento (c, COV) | 726.40 | | | | Toneladas de solvente en el recubrimiento |
| 4-02-019-03 | Mezcla de recubrimiento | 90.80 | | | | Toneladas de solvente en el recubrimiento |
| 4-02-019-99 | Otros no clasificados | 908.00 | | | | Toneladas de solvente en el recubrimiento |

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

| Operaciones de recubrimientos superficiales | | | | | | |
|---|---|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------------------------|--|
| SCC | Nombre del proceso | kg/Unidad | | | Unidad | |
| Impresión/publicidad. Proceso de impresión | | | | | | |
| Secadores | | SO₂ | NO_x | COV | | |
| 4-05-001-01 | Secador: General | 75.07 | 16.02 | 908.00 | Toneladas de solvente en la tinta | |
| Impresión | | COV | | | | |
| 4-05-002-01 | Impresión Tipográfica 2751 | 108.05 | | | Toneladas de tinta | |
| 4-05-002-11 | Impresión Tipográfica 2751 | 544.80 | | | Toneladas de solvente en tinta | |
| 4-05-002-12 | Impresión Tipográfica 2751 | 0.18 | | | Litros de tinta | |
| 4-05-003-01 | Flexográfica 2751 | 322.79 | | | Toneladas de tinta | |
| 4-05-003-11 | Flexográfica 2751 | 867.14 | | | Toneladas de solvente en tinta | |
| 4-05-003-12 | Flexográfica 2751 | 0.53 | | | Litros de tinta | |
| 4-05-003-14 | Flexográfica Limpieza con Alcohol Propílico | 908.00 | | | Toneladas de solvente consumido | |
| 4-05-004-01 | Litográfica 2752 | 89.89 | | | Toneladas de tinta | |
| 4-05-004-11 | Litográfica 2752 | 454.00 | | | Toneladas de solvente en tinta | |
| 4-05-004-12 | Litográfica 2752 | 0.15 | | | Litros de tinta | |
| 4-05-005-01 | Fotgrabado 2754 | 322.79 | | | Toneladas de tinta | |

Continúa tabla anterior

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

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

| SCC | Nombre del proceso | kg/Unidad | | Unidad |
|--|---|------------------------|------------|---------------------------------|
| Manufactura química | | | | |
| Limpiadores químicos | | PM₁₀ | COV | |
| 3-01-009-01 | Secado por aspersión: Jabones y detergentes | 30.03 | 0.03 | Toneladas producidas |
| 3-01-009-02 | Limpiadores especiales | - | 750.74 | Toneladas producidas |
| Fabricación de pinturas | | PM₁₀ | COV | |
| 3-01-014-01 | Mezcla y manejo general | 2.35 | 15.01 | Toneladas de pintura producida |
| 3-01-014-02 | Manejo de pigmentos | 8.51 | - | Toneladas de pigmento procesado |
| Fabricación de barnices | | COV | | |
| 3-01-015-01 | Adecuación de aceite | 20.02 | | Toneladas producidas |
| 3-01-015-02 | 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 | | PM₁₀ | COV | |
| 3-01-020-01 | Vehículo de cocimiento: General | - | 60.06 | Toneladas de material producido |
| 3-01-020-02 | Vehículo de cocimiento: Aceites | - | 20.02 | Toneladas de material producido |
| 3-01-020-03 | Vehículo de cocimiento: Olefinas | - | 75.07 | Toneladas de material producido |
| 3-01-020-04 | Vehículo de cocimiento: 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 | Por ciento peso del solvente |
| Anhídrido Acético | | | 1 | Por ciento peso del solvente |
| Acetona | | | 14 | Por ciento peso del solvente |
| Acetonitrilo | | | 83 | Por ciento peso del solvente |
| Amil Acetato | | | 42 | Por ciento peso del solvente |
| Amil Alcohol | | | 99 | Por ciento peso del solvente |
| Benceno | | | 29 | Por ciento peso del solvente |
| Butanol | | | 24 | Por ciento peso del solvente |
| Tetracloruro de Carbono | | | 11 | Por ciento peso del solvente |
| Cloroformo | | | 57 | Por ciento peso del solvente |
| O-Diclorobenceno | | | 2 | Por ciento peso del solvente |
| Dietilamina | | | 94 | Por ciento peso del solvente |
| Dietilcarbonato | | | 4 | Por ciento peso del solvente |
| Dimetil Acetamida | | | 7 | Por ciento peso del solvente |
| Dimetil Formamida | | | 1 | Por ciento peso del solvente |
| Dimetil Sulfoxido | | | 1 | Por ciento peso del solvente |
| 1,4-Dioxano | | | 5 | Por ciento peso del solvente |

Continúa tabla anterior

| | | | |
|---|--|------------|---|
| Etanol | | 10 | Por ciento peso del solvente |
| Acetato de Etilo | | 30 | Por ciento peso del solvente |
| Etil Eter | | 85 | Por ciento peso del solvente |
| Formaldehído | | 19 | Por ciento peso del solvente |
| Freon | | 0.1 | Por ciento peso del solvente |
| Hexano | | 17 | Por ciento peso del solvente |
| Isobutiraldehído | | 50 | Por ciento peso del solvente |
| Isopropanol | | 14 | Por ciento peso del solvente |
| Isopropil Acetato | | 28 | Por ciento peso del solvente |
| Isopropil Eter | | 50 | Por ciento peso del solvente |
| Metanol | | 31 | Por ciento peso del solvente |
| Metil Cellosolve | | 47 | Por ciento peso del solvente |
| Cloruro de Metileno | | 53 | Por ciento peso del solvente |
| Metil Etil Cetona | | 65 | Por ciento peso del solvente |
| Metil Isobutil Cetona | | 80 | Por ciento peso del solvente |
| Solvente Skelly B (Hexanos) | | 29 | Por ciento peso del solvente |
| Tolueno | | 31 | Por ciento peso del solvente |
| Tricloroetano | | 100 | Por ciento 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, extrusión / cortado, etc. | 5.902 | Toneladas de material procesadas |
| 3-08-007-03 | Consumo de solvente | 294.65 | Toneladas de solvente usado |
| 3-08-007-04 | Consumo de adhesivo | 294.65 | Toneladas de adhesivo aplicado |
| Productos de fibra de vidrio con resina | | COV | |
| 3-08-007-21 | Gel coat por rodillo | 470.47 | Toneladas de recubrimiento aplicado |
| 3-08-007-22 | 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 |
| 4-02-008-10 | General | 0.12 | 1.56 |
| Solventes adelgazantes | | COV | |
| 4-02-009-01 | General: Especifico en comentarios | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-02 | Acetona | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-03 | Acetato de Butilo | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-04 | Alcohol Butílico | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-05 | Carbitol | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-06 | Celosolve | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-07 | Acetato de Celosolve | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-08 | Dimetil formamida | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-09 | Acetato Etilico | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-10 | Alcohol Etilico | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-11 | Gasolina | 908.00 | Toneladas de solvente usado |
| 4-02-009-12 | Alcohol 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:

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

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

Donde

E: Emisión de contaminante

A: Tasa de actividad

FE: Factor de emisiones, [kg de contaminante emitido por m³ de combustible quemado]

EC: Eficiencia del sistema de control [%]

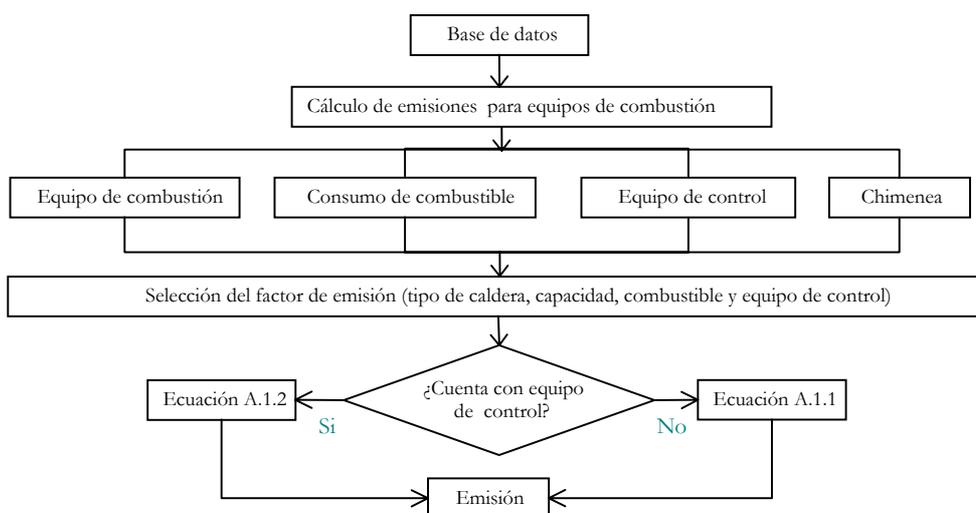


Figura A.1.1 Etapas para el cálculo de emisiones en equipos de combustión

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

1. Los contaminantes por combustión evaluados para este inventario de emisiones, son PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, NO_X, CO, HCT, HCNM, CH₄, COV y NH₃.
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 | Boyer |
| Paylas | Intercambiadores de calor |
| Quemadores | Calentadores de aceite |
| Hornillas | Otros |
| Tómbolas de secado | |
| Tostadores | |
| Freidoras | |
| Otros | |

Consumo de combustibles en la ZMVM

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

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:

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

Cálculo de emisiones totales

| | | | | |
|------------------|---|---|---|--------------|
| PM ₁₀ | = | 4,000,000 m ³ /año * 121.6 kg/10 ⁶ m ³ | = | 486 kg/año |
| SO ₂ | = | 4,000,000 m ³ /año * 9.6 kg/10 ⁶ m ³ | = | 38.4 kg/año |
| CO | = | 4,000,000 m ³ /año * 1,344 kg/10 ⁶ m ³ | = | 5376 kg/año |
| 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:

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

$$\text{NOx}_{\text{sin control}} = 6,400 \text{ kg/año} * (1 - 0.40) = 3,840 \text{ kg/año}$$

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

A.1.4 Consideraciones para el cálculo de emisiones por proceso

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

El cálculo de las emisiones por proceso en la industria, consiste en revisar la información proporcionada en la 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.

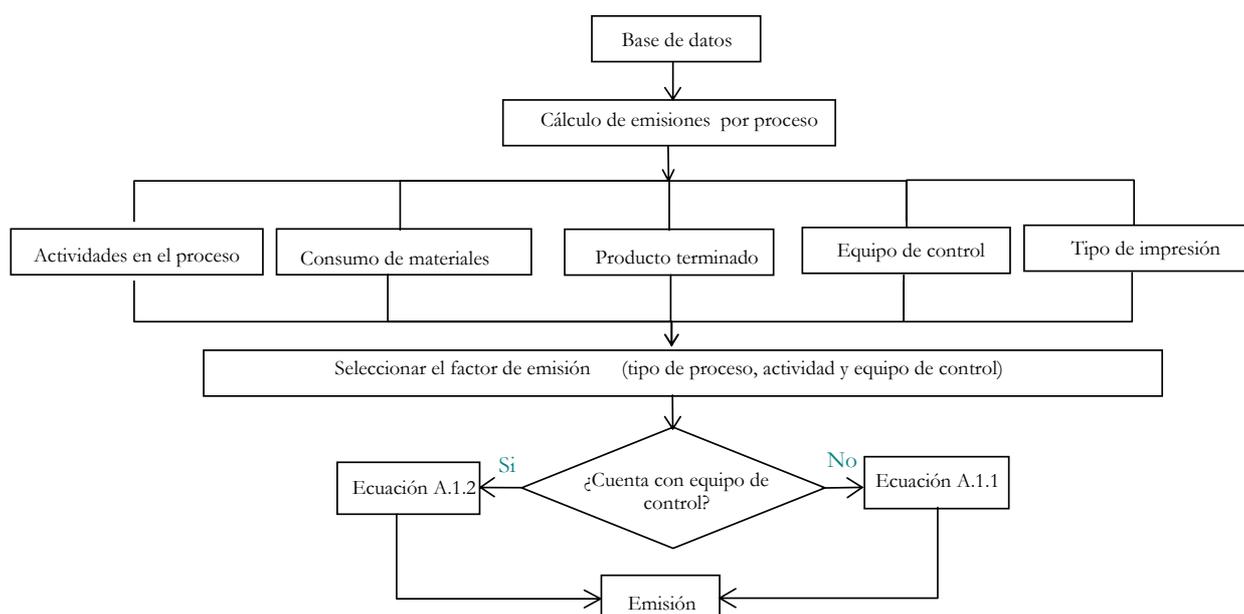


Figura A.1.2 Etapas para el cálculo de emisiones por proceso.

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 SCC² 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 específico" para el caso de recubrimiento y en "otros no clasificados" para impresión.

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

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

- Horno de Curado, incluye el proceso de recubrimiento y secado.
- Horno de recubrimiento, solamente el recubrimiento.
- Horno de polimerizado, incluye el proceso de polimerización por electricidad o temperatura.
- Horno de secado, proceso de secado.

Además de los hornos, en los procesos productivos, también se cuentan con actividades como el Pintado manual o por pistola y recubrimiento de spray o rociado en casetas de pinturas.

- G.* Cuando alguna de las actividades desarrolladas en el proceso no se encuentre en el SCC, se verifica si dicha actividad, materia prima y/o productos se puede englobar en algún factor como actividad general, o en otros no clasificados o en una actividad y/o materia prima similar, para así realizar el cálculo 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 arábica | 592 | kg/año |
| Goma para encuadernado | 20,826 | kg/año |

Cálculo de emisiones por impresión tipográfica

Se identifica la actividad principal, materias primas y productos, se relaciona la actividad con el SCC.

El SCC correspondiente a esta actividad es el 4-05-002-01 y el factor de emisión a utilizar es 108.052 kg de COV por tonelada de tinta utilizada, entonces:

Si se tienen 54,267 kg de tintas la emisión será:

$$E_{COV} = (54.267 \text{ ton tinta/año} * 108.052 \text{ kg COV/ton tinta}) * (1\text{ton}/1000\text{kg}) = 5.86 \text{ ton de COV/año}$$

Para el caso de libros y revistas se estima la emisión de COV por el uso de pegamentos, el cual corresponde al SCC 4-02-007-01 (Aplicación de adhesivo), y el factor de emisión es de 576.58 kg de COV, por tonelada de pegamento aplicado.

Si se tienen: 21,418 kg de pegamento, equivalente a 21.418 toneladas.

$$E_{COV} = (576.58 \text{ kg COV/ton peg.} * 21.418 \text{ ton peg./año}) * (1\text{ton}/1,000\text{kg}) = 12.35 \text{ ton de COV/año}$$

$$\text{Emisión total de COV} = 12.35 + 5.86 = 18.21 \text{ ton de COV/año}$$

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 | NO _x | COV | |
| Tostador de flama indirecta | 0.30 | 0.20 | 0.05 | 1.30 | Toneladas. de granos verdes |

Si se tienen 12,000 kg de café la emisión equivalente a 12 toneladas

$$E_{PM_{10}} = (0.3 \text{ kg/ton de grano} * 12 \text{ ton/año}) * (1\text{ton}/1,000 \text{ kg}) = 0.0036 \text{ ton/año de } PM_{10}$$

$$E_{SO_2} = (0.2 \text{ kg/ton de grano} * 12 \text{ ton/año}) * (1\text{ton}/1,000 \text{ kg}) = 0.0024 \text{ ton/año de } SO_2$$

$$E_{NO_x} = (0.05 \text{ kg/ton de grano} * 12 \text{ ton/año}) * (1\text{ton}/1,000 \text{ kg}) = 0.0006 \text{ ton/año de } NO_x$$

$$E_{COV} = (1.3 \text{ kg/ton de grano} * 12 \text{ ton/año}) * (1\text{ton}/1,000 \text{ kg}) = 0.0156 \text{ ton/año de } COV$$

A.1.5 Emisiones por hora

Una vez determinadas las emisiones generadas por los equipos de combustión y las emisiones generadas por proceso productivo, se realizó la suma de las emisiones con la finalidad de obtener la emisión total de cada una de las industrias ubicadas en la ZMVM.

Con la emisión total de cada una de las industrias, y las horas anuales laboradas, se obtiene la emisión por hora para los diferentes contaminantes.

El total de horas laboradas por cada una de las industrias, se determina de acuerdo al número de horas y los días que labora durante el año.

Esta emisión horaria se distribuye de acuerdo con la hora de inicio de operación de la industria y las horas laboradas durante un día.

Ejemplo 4.

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

$$\text{Emisión total} = 20 \text{ ton/año de } NO_x$$

$$\text{Horas anuales} = 9 \text{ hr/día} * 313 \text{ día/año} = 2,817 \text{ hr/año}$$

$$\text{Emisión horaria} = 20 \text{ ton/año} / 2,817 \text{ hr año} = 0.0071 \text{ ton/hr} = 7.1 \text{ kg/hr}$$

Considerando que esta empresa inicia sus labores a partir de las 7:00 hrs, se tiene el siguiente perfil:

| Hora | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|
| NO _x (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.

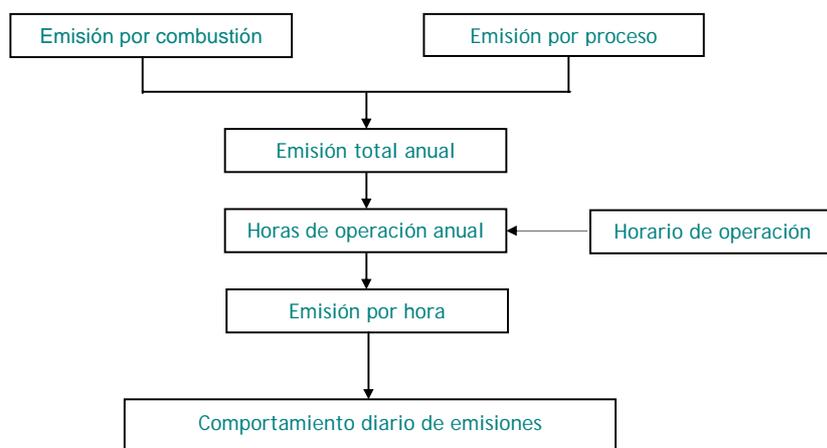


Figura A.1.3 Etapas para el cálculo de emisiones por hora

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 CH₄) con relación a los COT generados por combustión, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones

$$\text{COT} = \text{HCT} + \text{ALDEHIDOS}$$

$$\text{HCT} = \text{COT} - \text{ALDEHIDOS}$$

$$\text{HCNM} = \text{HCT} - \text{CH}_4$$

La determinación de aldehídos presentes en los COT generados por la combustión, se realizó de acuerdo con los porcentajes según el tipo de combustible, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla A.1.15 Porcentaje de aldehídos presentes en la formación de COT por combustión

| % Peso | Nombre químico | Actividad |
|---------|----------------|--|
| 7.67756 | Formaldehído | Equipos de combustión externa - gas natural |
| 7.01649 | Formaldehído | Equipos de combustión externa - gas LP |
| 0.08823 | Formaldehído | Equipos de combustión externa – destilado o residual |

Fuente: Especiate versión 3.1 del Air chief 8.0 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.

$$\text{COT} = \text{HC} + \text{Aldehídos}$$

$$\text{HCT} = \text{COT} - \text{Aldehídos}$$

$$\text{HCNM} = \text{HC} - \text{Metano}$$

En la siguiente tabla se observan los porcentajes de los hidrocarburos que conforman los COT generados por las actividades productivas, de acuerdo al subsector y la rama de industrial.

Tabla A.1.17 Porcentajes de COV, CH₄, Aldehídos e Hidrocarburos respecto del total de COT generados por proceso

| Giro | % COV* | % CH ₄ | % 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 emisión¹ 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-42¹, se ajustó considerando el contenido de propano y butano en el gas³ L.P. con la siguiente ecuación:

$$FE_{SO_2} = [X(0.10S) + Y(0.09S)]0.12 = 4.53E-5$$

Donde:

FE_{SO_2} = Factor de emisión de SO₂ [kg/m³]

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 ft³]

0.12 = Factor de conversión de [lb/1,000 gal] a [kg/m³]

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:

$$FE_{SO_2} = 150(S) * 0.12 = 0.72 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Donde

FE_{SO_2} = Factor de emisión de SO_2 [kg/m³]

S = Contenido de azufre [0.04 %w]⁴

0.12 = Factor de conversión de [lb/1,000 gal] a [kg/m³]

La emisión de HCT y HCNM, se calculó con el siguiente sistema de ecuaciones⁵:

$$E_{HCT} = E_{COT} - E_{Aldehídos}$$

$$E_{HCNM} = E_{HCT} - E_{CH_4}$$

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_{CH_4} = 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 | NO _x | 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 ZMVM⁶, aplicando la siguiente ecuación:

6 PEMEX Refinación, Subdirección de distribución 2004.

$$FE_{SO_2} = [(\delta_{[kg/l]} * (C [\%w]/100) * 2_{[kg SO_2/Kg S]}) / 1,000] = 0.581 [g/l]$$

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] | | | | | | | | |
|------------------|--------------------|------------------------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|---------|-------|-------|
| | | Distrito Federal | | | Estado de México | | | ZMVM | | |
| Entidad | 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 |
| | HCMN | 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 3.1⁸, 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 operación⁹ distribuidos en 46 tipos de aeronaves). Para realizar los ajustes correspondientes al tiempo en modo de aproximación (APP_TIME) y ascenso (CLI_TIME) se utilizó 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 Aeroportuario de la Ciudad de México <http://aicom.com.mx/Principal/Corporativo/aicmcifras/Operaciones.htm>.

¹⁰ Servicio Meteorológico Nacional, 2004.

Tabla A.2.9 Datos de entrada y salida del modelo FAED 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 COV¹¹ representan el 18.46%, el 9.6% y 96% de COT respectivamente. Las PM₁₀, 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% PM₁₀¹³. La emisión de HCNM se obtuvo por diferencia entre la emisión de HCT y la emisión de CH₄.

Tabla A.2.10 Emisión por la operación de aeronaves

| Emisiones [ton/año] | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|-----------------|-----------|
| PM ₁₀ | PM _{2.5} | SO ₂ * | CO* | NO _x * | 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 ecuación¹⁴ es única para el cálculo de CO, CO₂, NO_x y HCT:

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

Donde:

E_{ij} = Emisión del contaminante (i) [ton/año] del vehículo año modelo (j) en la terminal (I)

NC_j = Número de corridas de vehículos año modelo (j) en la terminal (I), 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 cálculo de emisiones de PM₁₀, PM_{2.5} y NH₃, se empleo la siguiente ecuación modificada, debido a que el factor de emisión no considera la velocidad.

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

Donde:

E_{ij} = Emisión del contaminante (i) [ton/año] del vehículo año modelo (j) en la terminal (I)

NC_j = Número de corridas de vehículos año modelo (j) en la terminal (I), 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_{CH_4} = 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 ecuaciones¹⁷:

$$E_{HCT} = E_{COT} - A_{Aldehídos}$$

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

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 cálculo 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:

$$E_{HCT} = E_{COT} - A_{\text{aldehídos}}$$

Donde:

E_{HCT} = Emisión de Hidrocarburos Totales

E_{COT} = Emisión de Compuestos Orgánicos Totales

$E_{\text{Aldehídos}}$ = 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 |

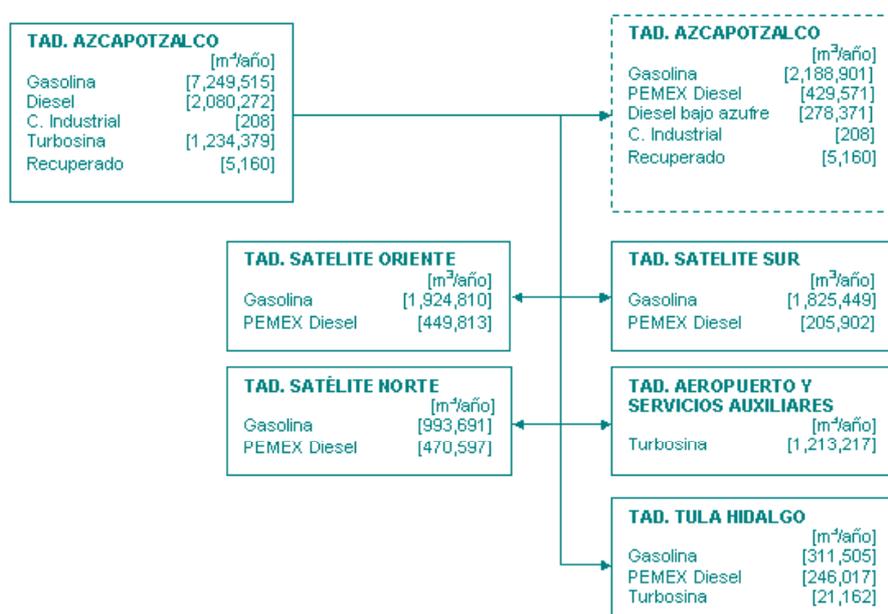
A.2.3 Almacenamiento y transporte de derivados del petróleo

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 estimó con la metodología del AP-42¹⁹, implica la utilización del software TANKS V.4.0²⁰. La tabla A.2.28 muestra las características físicas y de operaciones básicas del tanque de almacenamiento²¹ 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 | DT | ATT | AOT | COP | NRA | DCA |
|-----|------|---------|-----|-----|-----|------|----------|-----|----|-----------|------|------|------|-----------|-----|------------|
| | | | | | | | | | | [gal] | [ft] | [ft] | [ft] | [gal] | | [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 diseñó la base de datos²² correspondiente como lo muestra la figura A.2.2.

| Month | Daily Maximum Ambient Temp. (F) | Daily Minimum Ambient Temp. (F) | Solar Insulation Factor (Btu / (ft ² *day)) | Average Wind Speed (mph) |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|--|--------------------------|
| JAN | 80.2 | 36.5 | 1884.132 | 2.1 |
| FEB | 89.7 | 65 | 1884.132 | 2.4 |
| MAR | 95.1 | 62.4 | 1574.844 | 1.7 |
| APR | 97.8 | 69.3 | 1574.844 | 2.2 |
| MAY | 101 | 68.3 | 1574.844 | 1.5 |
| JUN | 91.6 | 62.8 | 1899.912 | 1.6 |
| JUL | 86.1 | 63.3 | 1899.912 | 1.4 |
| AUG | 89.7 | 67.8 | 1899.912 | 1.4 |
| SEP | 87.7 | 65.6 | 1899.912 | 1.5 |
| OCT | 91.5 | 60.3 | 1899.912 | 1.6 |
| NOV | 87.8 | 66.4 | 1884.132 | 1.5 |
| DEC | 83.9 | 46.3 | 1884.132 | 1.6 |
| ANN | 100.7 | 35.6 | 1786.296 | 1.7 |

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 menos 18 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 específico 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 pérdidas en tránsito 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/m³]

$FE_{tv,i,c}$ = Factor de emisión de pérdida en tránsito sin producto a la estación de servicio (i) en condiciones de tránsito (c) [6.5E-8 ton/m³]

C_{vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/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 Vapores²³. "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 estaciones 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/m³]

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/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 incrementa la tasa de evaporación. La emisión de COT se calculó con la siguiente ecuación:

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

Donde:

E_{E3} = Emisión de COT en la etapa E3 [ton/año]

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año], tabla A.2.31

FE_r = Factor de emisión de pérdida por respiración del tanque [1.2E-4 ton/m³]

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 gasolina²⁶ y de la cantidad de gasolina vendida. La emisión de COT se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_{E4} = \sum_{i=1}^n C_{Vi} * FE_{cg} * (1 - (F_C/100))$$

Donde:

E_{E4} = Emisión de COT en la etapa E4 [ton/año]

C_{Vi} = Cantidad de gasolina suministrada a la estación de servicio (i) [m³/año], tabla A.2.31

FE_{cg} = Factor de emisión de pérdida por recarga en vehículos [1.079E-3 ton/m³]

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 varía en función al sistema o tecnología instalada, la eficiencia máxima es del 97%, la mínima es del 95% y la promedio es del 94.5%. Con datos de pruebas de eficiencia y tasa volumétrica por tecnología.

25 DGGAA. La eficiencia de los SRV varía en función al sistema o tecnología instalada, la eficiencia máxima es del 97%, la mínima es del 95% y la promedio es del 94.5%. 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:

$$E_{E5} = \sum_{i=1}^n C_{Vi} * FE_d * (1 - (F_c/100))$$

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 | $FE_{tc,i,c} = 5E-8$ |
| | Auto-tanque vacío | $FE_{tv,i,c} = 6.5E-8$ |
| 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 tránsito 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 modificada²⁷:

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

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 8²⁹

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 modificada³¹:

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 cálculo 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.

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

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) $\Delta T = (77-73.6) = 3.24$ °F.)

T_s = 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 realizó 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 | Cuauhtémoc | 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 | Atizapán 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 pérdidas en tránsito, E2: Emisiones por descarga de pipas a estaciones de servicio, E3: Emisiones por respiración de tanques subterráneos, E4: Emisiones por recarga de gasolina en vehículos, E5: Emisiones por derrames de combustible en la recarga, Et: Emisiones totales del sistema de distribución, NES: Número de estaciones de servicio evaluadas.

Debido a que el contenido de metano y 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:

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

Donde:

$E_{\text{COT},i}$ = Emisión de COT por recarga del combustible (i)

$FE_{\text{COT},i}$ = 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 ajustó a las características del combustible con la siguiente expresión:

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

Donde:

$FE_{\text{COT},i}$ = 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 (l) | 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 cálculo 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 COV.

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 butano³³ 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

FA_j = 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 México³³ 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 CH₄ se calculó por balance de materiales con la siguiente información:

Volumen de GLP=1 [l]

$\delta_{GLP} = 0.555$ [ton/m³]

$\delta_{CH_4} = 0.554$ [ton/m³]

$V_{CH_4} = 0.01$ [%v]

Contenido de metano en 1 litro de GLP = $(1) * (0.01/100) = [1 * 10^{-5} \text{ l CH}_4 / \text{l GLP}]$
 $= (1 * 10^{-5} / 1,000) * 0.554 = [5.54 * 10^{-8} \text{ ton CH}_4 / \text{l GLP}]$

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

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 CH₄.

$$\frac{5.54 * 10^{-8} \text{ [ton CH}_4 / \text{l GLP]}}{5.55 * 10^{-4} \text{ [ton GLP} / \text{l GLP]}} = [9.98 * 10^{-5} \text{ ton CH}_4 / \text{ton GLP (referido a COT)]}$$

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 CH₄ 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 consideraciones³⁵.

- *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 Secretaría 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 | | |
| | | 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

FA = Factor de actividad (j)

Los factores de emisión reportados en la tabla A.2.37, fueron obtenidos de PEMEX³⁶ y del TÜV 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 | ton/#TE |
| | | Tanque estacionario "TE" | 1.05E-03 | |
| | | Válvulas de paso en TE | 2.42E-05 | |
| | | Reguladores en TE | 1.09E-03 | |
| | | Estufas | 1.21E-04 | ton/#EF |
| | | Calentadores | 1.21E-04 | ton/#CAL |
| | *Servicios | | 0.271 | kg/ton GLP |
| | *Industria | | 0.695 | |
| Apagado y encendido de pilotos | **Residencial | Pilotos apagados en estufas | 1.02E-03 | ton/#Efc |
| | | Pilotos apagados en calentadores | 1.57E-07 | ton/#CAL |
| | | Pilotos encendido de estufas | 2.24E-04 | ton/#Efc |
| | | Pilotos encendido de calentadores | 1.57E-07 | ton/#CAL |
| HNQC | **Residencial | Estufas | 5.42E-03 | ton/#Efc |
| | | Calentadores | 2.33E-03 | ton/#CAL |
| | *Servicios | | 15 | kg/ton GLP |
| *Industria | | 15 | | |

Fuente: * PEMEX Gas y Petroquímica Básica 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 CH₄, se utiliza el factor (9.98*10⁻⁵ ton CH₄/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.

$$E_{HCNM} = E_{COT} - E_{CH_4} - E_{Aldehidos}$$

$$E_{HCT} = E_{COT} - E_{Aldehidos}$$

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_{CH_4} = Emisión de CH_4

$E_{\text{Aldehídos}}$ = 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 demográficos³⁸

| 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:

$$\# \text{ Viviendas} = \# \text{ Estufas} = 2'232,548$$

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

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

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:

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

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

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

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

$$\# \text{ Calentadores} = \# \text{ Viviendas} * 0.644 = 1'438,545 \text{ calentadores}$$

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:

$$\# \text{Estufas con piloto a gas L.P.} = \# \text{Estufas} * 0.798 = 1'729,691 \text{ estufas con piloto}$$

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 |
| Apagado y encendido de pilotos | Calentadores | 175 | 171 | 167 | 164 | 342 | 335 |
| | 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 |
| HNQC | Encendido de calentadores | 0.23 | 0.22 | 0.22 | 0.21 | 0.45 | 0.43 |
| | 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 cálculo de emisiones se realiza con la siguiente ecuación:

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

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 emisión⁴⁰ en función al número de camas, con la siguiente ecuación:

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

Donde:

$E_{\text{COT},j}$ = Emisión de COT asociada a la unidad medica (j) [ton/año]

$FE_{\text{COT},j}$ = 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 Secretaría de Salud⁴¹. La base de datos presenta información sobre el número de camas del sector público y privado para el año 2002, el cálculo 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 realizó por unidad médica

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 día⁴²; 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 (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) 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 LANDFILL⁴³ 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 CH₄ 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:

$$E_{\text{COT}} = (\text{VART} \cdot \text{FE}_{\text{COT}}) / 1,000$$

Donde:

E_{COT} : Emisión de COT [ton/año]

VART: Volumen de agua residual tratada [l/año]

FE_{COT} : Factor de emisión COT [1.3×10^{-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 m³, 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.

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

Donde:

E_i = Emisión del contaminante (i) [kg/año]

F_{Ei} = 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 pérdida 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 incendios⁴⁴ 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 Pública, 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 pública | 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 pérdida 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 pérdida estructural se ha estimado en 7.3% este dato puede ser utilizado como default, siendo deseable una estimación específica 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 cálculo 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 | $961 - (\eta * 984)$ |
| CH ₄ | $42.7 - (\eta * 43.2)$ |
| HCNM | $0.76 + (FE_{CH_4} * 0.616)$ |
| HCT | $FE_{[CH_4]} + FE_{NMHC}$ |
| PM ₁₀ | $1.18 * FE_{PM_{2.5}}$ |
| NO _x | 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 CORENADER⁴⁷ (Distrito Federal) y por la CONAFOR⁴⁸ (EDOMEX), obteniendo una cobertura digital de incendios forestales sobre el mapa de vegetación (SEMARNAT, 2000⁴⁹) 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 amoníaco

el amoníaco como parte del ciclo del nitrógeno es uno de los principales contribuyentes de la formación de aerosoles en la atmósfera, como ión amonio reacciona rápidamente con nitratos y sulfatos o con otros aniones para formar material particulado, siendo este uno de los principales problemas ambientales de la ZMVM⁵⁰.

Las actividades a inventariar en esta categoría son:

- Respiración y transpiración humana
- Desechos de perros y gatos
- Uso doméstico de amoníaco
- 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 cálculo de amoniaco por fuentes domésticas

| Tipo de fuente | Factor de Emisión [FE] | Fórmula de cálculo | Información requerida |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Perros * | 2.49 kg/cabeza/año | $E = P \cdot PM \cdot FE$ | PM= 122 perros/1,000 habitantes |
| Gatos* | 0.82 kg/cabeza/año | $E = P \cdot PM \cdot FE$ | PM= 83 gatos/1,000 habitantes |
| Ratas | 130 mg/cabeza/año | $E = P \cdot PM \cdot FE$ | PM= 1.4 ratas/ habitante |
| Transpiración humana | 0.25 kg/persona/año | $E = P \cdot FE$ | P= población |
| Respiración humana | 1.6E-3 kg/persona/año | $E = P \cdot FE$ | P= población |
| Desechos humano | 2.3E-2 kg/persona/año | $E = P \cdot FE$ | P= población |
| Uso doméstico de amoniaco | 2.3E-2 kg/persona/año | $E = P \cdot FE$ | P= población |
| Pañales (desechables) | 0.16 kg/infante/año | $E = PI \cdot FE$ | PI= infantes menores de 3 años |
| Cigarrillos | 5.2 mg/cigarrillo | $E = C \cdot FE$ | C= número de cigarrillos |
| Alcantarillas** | 80.4 g/persona/año | $E = FE \cdot P$ | 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 2004⁵², para el cálculo de emisiones de perros y gatos, se utilizó el factor per cápita de mascotas, recomendado para áreas urbanas de USA; la estimación de amoniaco por consumo de cigarrillos, se realizó considerando a la población de fumadores y el número de cigarrillos consumidos por edad y sexo⁵³. 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 ecuación⁵⁴:

$$E = FE_i * VKT$$

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 Air 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 tránsito 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/Calculación_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 |
| Coyoacán | 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 |
| Chimalhuacán | 5 | 1 | 8 |
| Coacalco | 8 | 112 | 33 |
| Cuautitlán | 0 | 1 | 5 |
| Cuautitlán 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 |
| Nicolás Romero | 0 | 1 | 13 |
| Tecamác | 5 | 0 | 4 |
| Tlalnepantla | 8 | 112 | 33 |
| Tultitlán | 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 secundaria (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 número 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 PM₁₀ 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 ecuación⁶³:

$$E = FE_i * VKT$$

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.

64 U.S. EPA. Unpaved Road Area Source Category Calculation Methodology Sheet

http://www.marama.org/visibility/Calculación_Sheets/UnpavedRoads_newAP42.pdf

65 U.S. EPA, AP-42: Particle Size Multipliers for Paved Road Equation

http://www.marama.org/visibility/Calculación_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 caminos 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 |
| Cuautitlán 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 digital⁶⁹ 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 municipios⁷⁰ en un camino sin pavimentar. La tabla A.2.64, muestra las emisiones estimadas en caminos no-pavimentados.

Tabla A.2.68 Emisiones de PM₁₀ 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 emisiones¹.

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 | | | | | | | | | | Total |
|--------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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 | | | | | | | | | | Total |
|--------------|---------------------|----------------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|------------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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 | | | | | | | | | | Total |
|--------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|------------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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 de 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

| Autos Particulares | Tipo de Holograma | Km/día | Días/año |
|--------------------|-------------------|--------|----------|
| | 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 1980 y 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] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|--|--------------|------------|--------------|------------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|---------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V < 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|--|------------|--------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V < 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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 NO_x

Los factores de emisión para hidrocarburos totales (HCT), monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x), se obtuvieron de tres fuentes de información:

- Instituto Mexicano del Petróleo. Mediciones realizadas para algunos tipos de vehículo a gasolina².
- Mobile5-México. Modelo computacional desarrollado por la US-EPA y modificado para diversas zonas de la República Mexicana, con el cual se calcularon factores de emisión para el resto de los vehículos a gasolina, los vehículos a diesel y las motocicletas.
- Greenhouse Gas Inventory Reference Manual Vol.3. Desarrollado por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Reporte del que se tomaron factores de emisión para los vehículos que utilizan gas licuado de petróleo (GLP) y gas natural comprimido (GNC).

Es importante mencionar algunas características de los factores de emisión reportados por el IMP:

- Estos factores de emisión fueron medidos en el año 1999. Por lo que los valores correspondientes a los años 2000, 2001, 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 (CH₄), 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 MYMFRG - 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 CORRECCION
1 ATPFLG - SE APLICAN LOS PROGRAMAS DE ANTIMODIFICACION CONTENIDOS EN EL MODELO
5 RLFLAG - NO SE CONTABILIZAN PERDIDAS POR RECARGA
1 LOCLG - 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 PRFLG - 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 (CH₄).

Tabla A.3.15 Factores de emisión para combustibles gaseosos

| Combustible | Tipo de Vehículo | Año Modelo | Factores de Emisión [g/km] | | | |
|-------------|------------------------------|-------------|----------------------------|-----------------|------|------|
| | | | HCNM | CH ₄ | CO | NOx |
| GLP | AP/TAX/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).

PM₁₀, PM_{2.5} y NH₃.

Los factores de emisión para estos dos contaminantes también proceden de diversas fuentes:

- Mobile6-México. Modelo computacional desarrollado por la US-EPA y modificado para diversas zonas de la República Mexicana. Con el cual se obtuvieron los factores de emisión de Amoniac (NH₃), Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀) y Partículas Menores a 2.5 micras (PM_{2.5}) para todos los tipos de vehículo, excepto PM₁₀ 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 PM₁₀ para los vehículos pesados a diesel (HDDV).
- Investigation of Emission Rates of Ammonia and Other Toxic and Low-Level Compounds. Estudio realizado por el Centro para la Investigación Ambiental y Tecnológica de la Universidad de California en Septiembre de 2001, del cual se obtuvieron los factores de emisión de NH₃, para los vehículos que utilizan GLP y GNC.

En la tabla siguiente se muestra la información requerida por el modelo Mobile6-México para el cálculo de los factores de emisión mencionados anteriormente.

Tabla A.3.16 Información proporcionada al Mobile6-México

| Parámetro | Datos Proporcionados |
|--------------------------|---|
| Región | Ciudad a una altitud igual o mayor a 5,500 ft (1,677 mts) |
| Año Calendario a evaluar | Julio 1, 2004 |
| Velocidad Promedio** | 24.1 km/hr |
| RVP de Gasolina+ | 7.5 Psi |
| Temperatura Máxima* | 30.0 °C |
| Temperatura Mínima* | 12.3 °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 Amoniac (NH₃) y Partículas Menores a 10 micras (PM₁₀). 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 PM₁₀

| 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 Amoniac

| 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 PM₁₀

| 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

$$E_{AUTG\ 1980\ y\ ant.\ HCT} = (908'881,575) (6.255) / (1'000,000) = 5,685\ \text{ton/año}$$

Estado de México

$$E_{AUTG\ 1980\ y\ ant.\ HCT} = (624,122,000) (6.255) / (1'000,000) = 3,904\ \text{ton/año}$$

Zona Metropolitana del Valle de México

$$E_{AUTG\ 1980\ y\ ant.\ HCT} = (5,685) + (3,904) = 9,589\ \text{ton/año}$$

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] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|----------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|---------------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|----------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|----------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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 PM₁₀ por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

| Año Modelo | Emisiones de PM ₁₀ [ton/año] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|---|------------|-----------|-----------|-----------|------------|--------------|------------|------------|-----------|--------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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 NH₃ por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

| Año Modelo | Emisiones de NH ₃ [ton/año] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|--|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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 (CH₄), 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 CH₄, 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 CH₄ por tipo de vehículo y año modelo en la ZMVM

| Año Modelo | Emisiones de CH ₄ [ton/año] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|--|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|--------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|----------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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] | | | | | | | | | | Total |
|--------------|----------------------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| | AP | TAX | CO | MIC | PICK | V ≤ 3 | TRA | AUT | V > 3 | MC | |
| 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 SO₂.

Las emisiones de Bióxido de Azufre (SO₂) se calcularon mediante un balance de masa, tomando en cuenta el consumo total de combustibles y el contenido de azufre de cada combustible.

Tabla A.3.34 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 |

¹PEMEX Refinación, Oficio TADA-1447/03-H02.

²Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994; tabla 12, Gaceta Ecológica, mayo de 1995.

³Norma Oficial Mexicana NOM-086-ECOL-1994; tabla 11, Gaceta Ecológica, mayo de 1995.

⁴PEMEX Gas y Petroquímica Básica, hoja de datos de seguridad para sustancias químicas "Gas Licuado de Petróleo".

⁵PEMEX 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 PM₁₀ contienen una porción de azufre como SO₄. Por lo tanto, el azufre que se convierte en SO₂ es el restante de la diferencia entre el azufre contenido en los combustibles y el que está presente como sulfato en las PM₁₀.

Tabla A.3.35 Emisiones de SO₂ 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 SO₂ del Mobile6 por tipo de combustible y con respecto a la fracción de kilómetros que recorre cada categoría.

Tabla A.3.36 Emisiones de SO₂ 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.4 FUENTES 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, GloBEIS¹ 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 PAR², 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 RAMA⁴, 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/m²), esta radiación de onda corta es atenuada por la cobertura de nubes en el modelo y debe ser multiplicada por un factor de conversión que representa la fracción de luz visible, el 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.

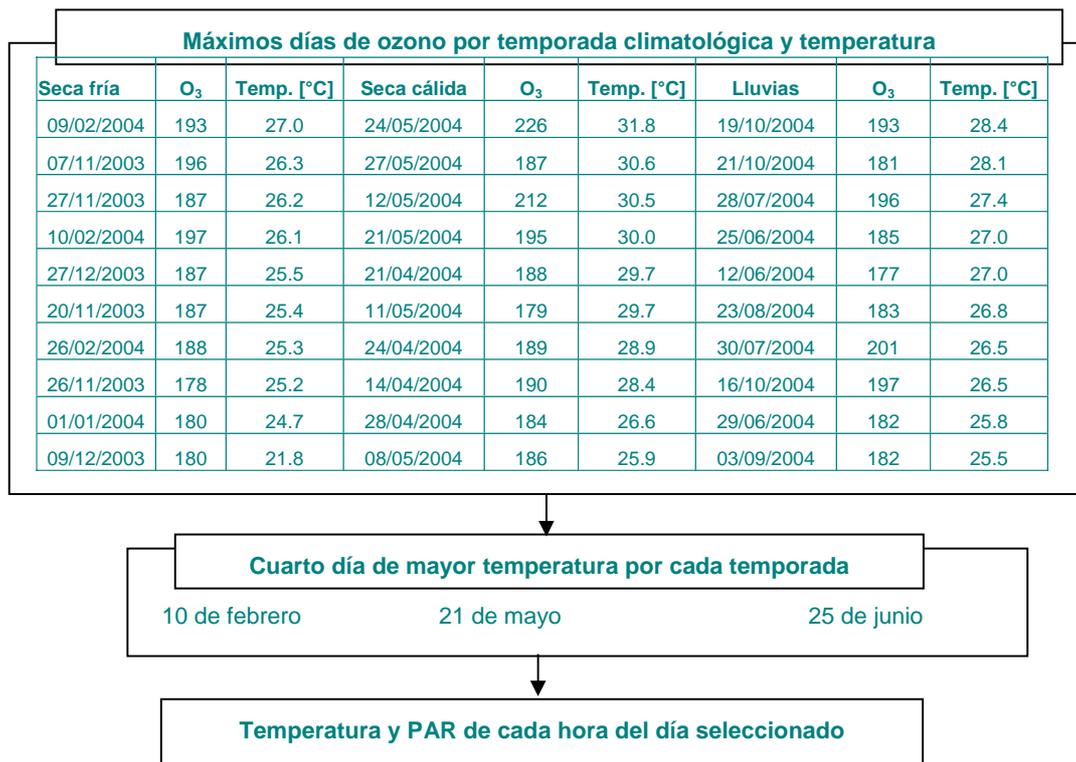


Figura A.4.1 Selección de días a modelar para el cálculo de las emisiones

Uso de suelo

El área de la ZMVM se estimó en 3,565 Km², 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, 2000⁵) y con el Inventario de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal (CORENADER, 2003⁶), 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.

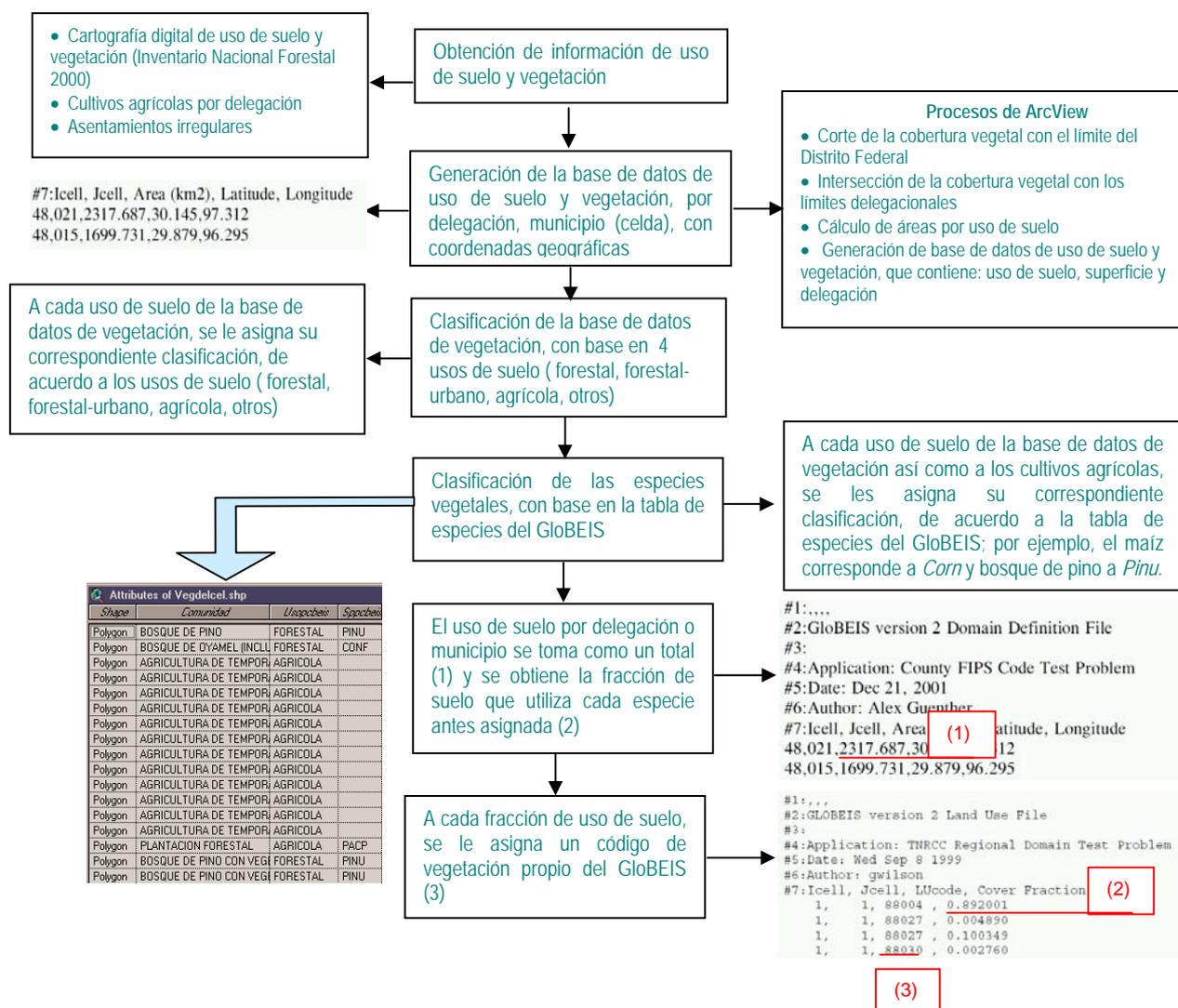


Figura A.4.2. Obtención del archivo de uso de suelo para el GloBEIS

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 aplicó al uso forestal del área urbana y se obtuvo la respectiva superficie por tipo de árbol, asumiendo que tienen la misma proporción.
- El área de cada tipo de árbol en el uso urbano obtenida en el punto anterior, se agregó a su respectiva especie en el uso forestal.
- En los casos donde no se tenía uso forestal, el respectivo 20% de árboles de la zona urbana se agregó a la categoría de “*otros*” (*Othe* en el GloBEIS).
- Una vez realizadas las actividades anteriores, el uso urbano queda reducido aproximadamente al 60% de la superficie original, cabe mencionar que el uso de suelo no se cambia, simplemente se distribuyen las superficies en las categorías del GloBEIS.
- Ya que para el Distrito Federal se contó con el inventario de áreas verdes urbanas, el uso urbano simplemente se 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 módulo “*Utilities*”).

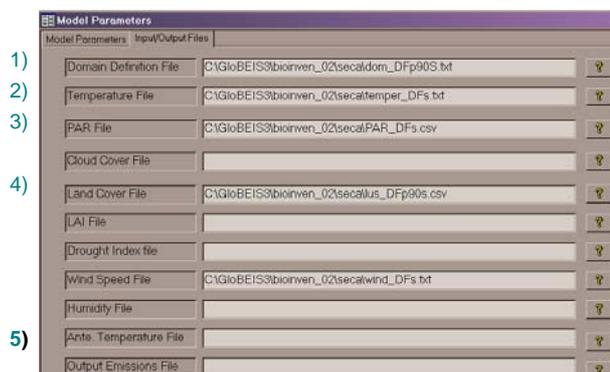


Figura A.4.3 Archivos de entrada del GloBEIS

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).

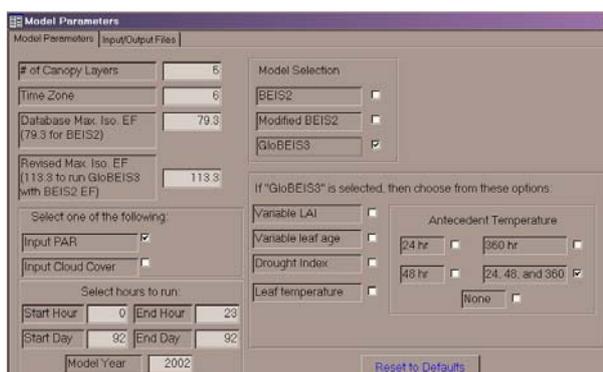


Figura A.4.4 Pantalla de parámetros del GloBEIS

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.

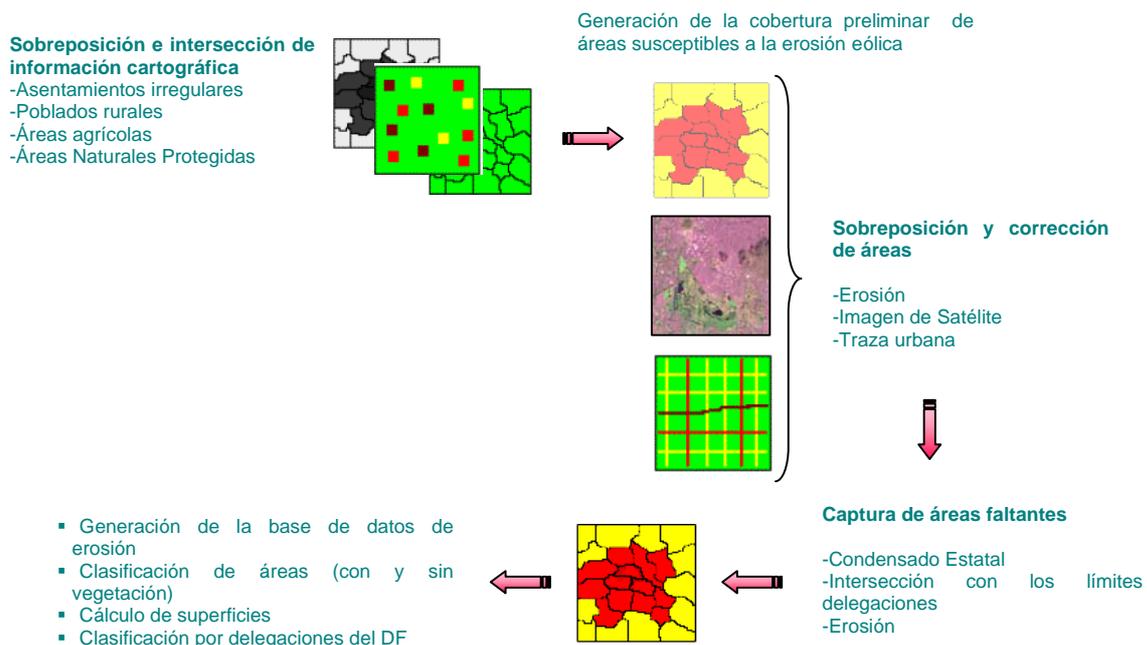


Figura A.4.5 Procedimiento de elaboración de la cobertura de erosión

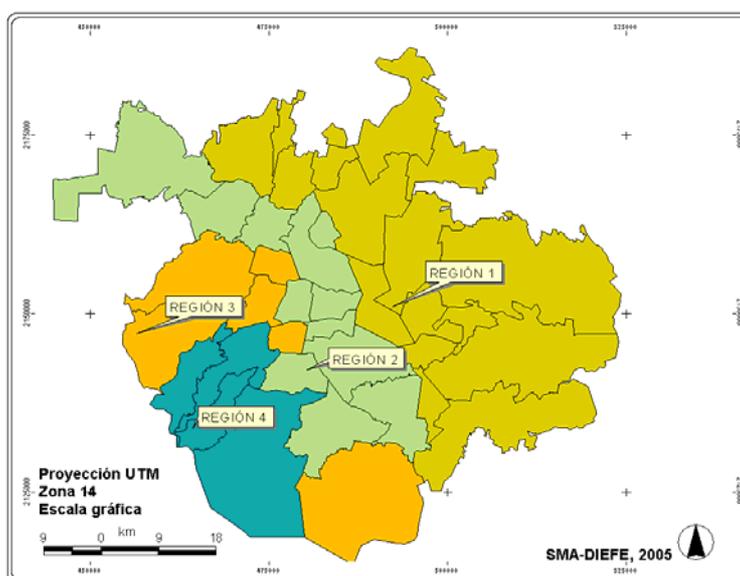
Finalmente se llevó a cabo la sobreposición de la cobertura preliminar de erosión, con una imagen de satélite LANDSAT TM, de 5 bandas del año 2000, con resolución de 30 m, la cual fue proporcionada por SEMARNAT y la traza urbana⁸, lo anterior con la finalidad de realizar correcciones a las áreas de erosión, 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 cuatro 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 CEIDARS⁹, 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 CORENADER¹¹ 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:

$$C = \frac{(0.345) V^3}{[115 \sum_1^{12} (Pm_i/Tm_i - 10)^{10/9}]^2}$$

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 1997¹³).

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 vegetal¹⁴.

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 (SO₂). El SO₂ 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 SO₂ con altas concentraciones de partículas incrementa la mortalidad, morbilidad y las deficiencias en las funciones pulmonares.

Bióxido de carbono (CO₂). El CO₂ 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 oxígeno acarreado en la sangre. Es emitido principalmente por las Fuentes Móviles producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles.

Bióxido de nitrógeno (NO₂). 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 la atmósfera el óxido nítrico no es irritante, sin embargo al oxidarse se convierte en bióxido de nitrógeno que representa un riesgo 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 sustancia,

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, aviones, ferrocarriles diesel y algunas industrias son productores de estos contaminantes (SO₂ y SO₃, hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno).

Contaminante secundario. Sustancia 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:

$\text{NO}_2 + \text{luz} \Rightarrow \text{NO} + \text{O}$. Los átomos reaccionan $\text{O} + \text{O}_2 \Rightarrow \text{O}_3$ (contaminante secundario).

El ciclo se complementa cuando ocurre la reacción $\text{O}_3 + \text{HNO}_3 \Rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 + 2\text{OH}^-$.

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 (SO_x) Material particulado Óxidos de nitrógeno (NO_x) 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 (CO₂ y CH₄ 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 NO_x 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 CH₄ (metano). La gasolina C₈H₁₈ 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 (CH₄). Hidrocarburo gaseoso, CH₄, 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, . CH₃OH. Punto de ebullición a 64°C, líquido incoloro, tóxico, miscible en agua. Se obtiene por destilación de la madera e industrialmente del carbono e hidrógeno a 380°C 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 tránsito 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 cardíacas.

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 PM₁₀.

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 |
| CO₂ | Bióxido de carbono |
| CONAPO | Consejo Nacional de Población |
| COT | Compuestos orgánicos totales |
| COT | compuestos orgánicos totales |
| COV | Compuestos orgánicos volátiles |
| CH₄ | Metano |
| ENIGH | Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares |

| | |
|-------------------------|---|
| ft³ | 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 |
| m³ | Metro cúbico |
| mbl | Miles de barriles |
| mg | Miligramos |
| Mg | Mega gramo |
| mm | Milímetros |
| NH₃ | Amoniaco |
| NO_x | Oxido de nitrógeno |
| PAR | Radiación de Actividad Fotosintética |
| PEMEX | Petróleos Mexicanos |
| PHNC | Programa Hoy No Circula |
| PM₁₀ | 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 |
| SO₂ | 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 |
