



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS



ANALISIS REGIONAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES PARA LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

TESIS

PARA OPTAR POR EL TITULO DE LICENCIADO EN GEOGRAFIA PRESENTA:

ELIOT RAMIREZ HERNANDEZ

ASESOR DE TESIS:

DRA. MARIA ELBA ORTIZ ROMERO VARGAS



FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFIA

MEXICO, D. F.

2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las autoridades ejecutivas, profesionales, técnicos y administrativos del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), por haberme otorgado una beca a través del Programa de Formación y Desarrollo del Factor Humano para la realización de mi tesis de Licenciatura, sin la cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo. En el tiempo de estancia el IMP me brindó la oportunidad de ampliar mi formación, ya que es una institución nacional e internacional con altos niveles de calidad y competitividad.

Gracias a la Dra. Elba Ortiz por su ayuda, comprensión, por su amistad, por dirigir mi tesis, por ser parte esencial de mi formación, muchas gracias. Al M. en C. Jorge Gasca por su asesoría y compañerismo. A la M. en C. Magdalena Nava por ayudarme con la información que en un momento me faltó y por su amistad.

Agradezco al grupo AGA del IMP: M. en C. Ernesto Soto Galera, Dr. Arturo Mejía, M en C Arturo Rodríguez Correa, M. en C. Javier Espinosa, Dr. Salvador Benítez por su apoyo y su amistad.

Expreso un reconocimiento a la Dra. Marta Cervantes Ramírez, Dr. Arturo Mejía Ramírez, Lic. José Manuel Salazar Nava por su ayuda para la revisión crítica, metodológica, teórica y técnica de este estudio. Retribuyo también, la atención, la dedicación y el impulso que me brindó la Mtra Eurosia Carrascal Galindo para concluir la licenciatura. Gracias al Mtro. José Santos Morales Hernández por su apoyo sin el cual no hubiera terminado la titulación en tan corto tiempo, agradezco sus infinitas atenciones.

Agradezco a todas las autoridades tanto académicas como administrativas de la UNAM y a la Facultad de Filosofía y Letras, en especial a la Coordinación de Geografía, así como al personal de la División de Estudios Profesionales quienes atentamente proporcionaron la ayuda necesaria con relación a los trámites escolares y de titulación.

A todos mis compañeros de la carrera de Geografía y amigos que creyeron en mí

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

1

CAPÍTULO I

LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

1.	La Ciudad de México	5
1.1	Ubicación de la zona de estudio	5
1.1.2	Condiciones geográficas de la ZMCM	6
1.2	Población de la Ciudad de México	7
1.3	Contaminación atmosférica en la Zona metropolitana de la Ciudad de México	12
1.3.1	Consumo de combustibles	13
1.3.2	Fuentes de emisiones y su clasificación	14
1.3.3	Tipo de contaminantes emitidos por fuente	15
1.3.4	Calidad del aire y factores que inciden en la dispersión y concentración de las emisiones contaminantes en la ZMCM	16
1.3.5	Efectos sobre la salud causados por los contaminantes	20
1.4	Inventario de Emisiones	29
1.4.1	Estimación de las emisiones	30
1.5	Medidas Institucionales para controlar la contaminación atmosférica	32
1.5.1	Inventario de emisiones para Fuentes Fijas (Industria)	33
1.5.2	Inventario de emisiones para Fuentes de Área (Servicios)	35

CAPÍTULO II

SISTEMATIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES

2.	Validación de la base de datos PREDATAGEN94 para Fuentes Fijas	37
2.1	Validación y construcción de la base de datos para Fuentes Área	41
2.2	Integración de los datos del inventario de emisiones en el sistema de información geográfica ARCA/VIEW	44
2.2.1	Base de datos de entrada al SIG para Fuentes Fijas	44
2.2.2	Base de datos de entrada al SIG para Fuentes de Área	45
2.3	Base de datos adicionales	45

CAPÍTULO III

ANÁLISIS REGIONAL DE LAS FUENTES Y TIPOS DE CONTAMINANTES EMITIDOS A LA ATMÓSFERA

3.	Análisis comparativo de la base DATAIND94 y el IE94 (PROAIRE)	51
3.1	Análisis de los datos de Fuentes Fijas	52
3.2	Análisis comparativo de la base datos PREDATAIND94 según su giro industrial	54
3.3	Análisis comparativo de la base datos PREDATAIND94 según la magnitud de las emisiones	56
3.4	Distribución espacial de las Fuentes Fijas	58
3.4.1	Factores determinantes en la localización de la Industria	59
3.4.2	Localización de las emisiones por delegación, municipio y malla de Simulación	52
3.5	Análisis de los datos de Fuentes de Área	65
3.5.1	Análisis comparativo de los inventarios, 1994, 1996 y el construido por categorías	65
3.5.2	Análisis comparativo por subcategoría del inventario de fuentes de área	69
3.6	Distribución espacial de las Fuentes de Área y factores determinantes en la concentración de servicios	72
3.6.1	Localización de las emisiones por fuentes de área por delegación, municipio y malla de simulación	73

CONCLUSIONES	81
---------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	83
---------------------	----

Índice de tablas	I
Índice de gráficas	II
Índice de mapas	III
Abreviaturas	IV

INTRODUCCIÓN

La relación de los procesos políticos, económicos y sociales que integran la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) ha generado, con el paso del tiempo, un incremento en el número de actividades humanas que se realizan continuamente en esta zona.

La ZMCM cubre una área de 2,396 km² donde se concentran más de 18 millones de habitantes, más de 3.5 millones de vehículos y alrededor de 35,000 industrias y servicios. En conjunto la actividad de esta población consume un volumen superior a los 44 millones de litros de combustibles al día en una zona que se encuentra rodeada por una serie de montañas, a una altitud promedio de 2,240 msnm, en una latitud intertropical, con sistemas de altas y bajas presiones semipermanentes en los océanos del Atlántico y Pacífico que determinan la dirección del viento en sentido este - oeste.

Uno de los problemas producidos por las altas concentraciones de las actividades humanas, como en el caso de la ZMCM, es la contaminación atmosférica debido a que la mayor parte de esta es el resultado de la combustión de energéticos fósiles. La contaminación del aire se puede percibir con gran facilidad a diferencia de otros problemas de carácter ambiental como por ejemplo la contaminación del suelo por sustancias tóxicas; se agrava en ocasiones, ya que algunos elementos químicos incrementan su proporción por reaccionar en función de la intensa radiación solar que se recibe en ciertos periodos del año en latitudes tropicales o algunos otros por la baja eficiencia en la combustión energética, debido a la reducción del 23% del oxígeno a la altitud en la que se encuentra la ciudad de México. No obstante se puede acumular por fenómenos meteorológicos y del relieve ya que las sierras y montañas que rodean la

ciudad funcionan como una barrera que impide la dispersión de los contaminantes. Sin embargo más allá de “ver el aire con *smog*”, es importante identificar dónde se localizan las fuentes de emisión y cuáles son los tipos de contaminantes que se producen con mayor frecuencia en la ZMCM.

En este sentido un instrumento estratégico lo constituye el inventario de emisiones (IE) que publica el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Comisión Ambiental Metropolitana (CAM) y que es una compilación de los gases contaminantes vertidos a la atmósfera generados en las principales ciudades de México por las industrias, los comercios y servicios, los hogares, los vehículos automotores, las aeronaves, los suelos y la vegetación entre otros.

El propósito básico de este estudio consiste en sistematizar la información del IE para las fuentes Fijas y de Área con el fin de crear una base de datos que sirva para realizar análisis cuantitativos sobre la distribución de las fuentes de contaminación y sus emisiones y su relación con el espacio en la ZMCM a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) y que los datos obtenidos sean útiles, por un lado, para generar una serie de mapas que representen cartográficamente el fenómeno en espacio y tiempo y que sirva para otros investigadores, en el desarrollo de modelos de calidad del aire que indiquen cómo se dispersan los contaminantes.

Para alcanzar este objetivo se definieron una serie de técnicas que serán descritas particularmente en la metodología.

- ◆ Establecer los criterios de validación en el tratamiento de la información con base en:
 - Procedimientos de control cartográfico
 - Cálculos matemáticos para estandarizar unidades
 - Parámetros de relación lógica con puntos focales máximos para las variables

- Normalización para la distribución de las emisiones

- ◆ Diseñar las bases de datos que alimenten el SIG:
 - Definir la unidad básica de análisis
 - Adecuar los datos a la unidad

- ◆ Representar los datos en forma cartográfica
 - Determinar el número de niveles de información por mapa
 - Establecer los rangos estadísticos para las clasificaciones
 - Definir el símbolo cartográfico para representar el fenómeno

- ◆ Regionalizar las zonas que generan las mayores emisiones de contaminantes
 - Especificar la relación de los factores más importantes que definen la región crítica en cuanto a la generación de los contaminantes

La información con que se contó para la elaboración de esta investigación fue la base de datos PREDATAIND94, para la industria, las memorias de cálculo del Inventario de emisiones para fuentes de área – percusores de ozono y monóxido de carbono para la ZMCM; datos población y vivienda; y los valores totales de las emisiones de gas LP elaborado por PEMEX-GAS y PETROQUÍMICA BÁSICA.

Este trabajo está constituido por tres capítulos: en el primero de ellos se establece el marco teórico del problema de la contaminación atmosférica y la ubicación de la zona de estudio, mientras se hace una descripción general de la ZMCM. En el capítulo dos se presenta la metodología desarrollada para validar la información de las fuentes Fijas y de Área contenidas en el IE, así como la manera en que se integró esta información al SIG y la forma de representarla cartográficamente. En el capítulo tres se realiza un análisis cuantitativo de los datos, en cuanto a la variación en la distribución de las fuentes y tipos de contaminantes emitidos a la atmósfera a nivel delegación, municipio y malla de

simulación en la ZMCM; así como los factores políticos, económicos o sociales que influyen en tales variaciones.

El tratamiento de la información permitió definir que la región comprendida por las delegaciones del centro y norte del D.F. y sus municipios colindantes del Estado de México concentran la mayor población, el mayor número de las fuentes emisoras, así como el mayor consumo de energía y la mayor cantidad de contaminantes producidos en la ZMCM para el año 1994.

CAPÍTULO I

LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

1 LA CIUDAD DE MÉXICO

El territorio donde se localiza la Ciudad de México y sus municipios conurbados está rodeado por una serie de montañas, en una latitud intertropical, y a una altitud de 2,240 msnm, en esta región predominan los vientos del este. Estas masas de aire procedentes del anticiclón semipermanente del Atlántico llegan al espacio mexicano para penetrar por el lado oriental del país con dirección hacia el oeste, cuando esto ocurre los vientos alisios al entrar en México se ven obligados a subir las barreras orográficas del sur, centro y norte para entrar a la cuenca de México por la parte noreste y replegarse hacia la parte sur de la cuenca sin que puedan salir por la pérdida de fuerza, a menos que los sistemas de la alta y baja presión restablezcan la salida de los vientos.

1.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona geográfica designada como Cuenca del Valle de México se encuentra en la parte central del Sistema Volcánico Transversal y tiene un área aproximada de 9,560 km². La Cuenca está situada en el paralelo 19° a una altitud promedio de 2,250 msnm y se encuentra delimitada por un conjunto de sierras de origen volcánico, algunas de las cuales alcanzan elevaciones superiores a los 5,000 metros (Bassols, 1987; Reyna, 1989). Dentro de la cuenca en la parte suroeste se localiza el área de estudio denominada ZMCM que cubre un área de 2,396 km². En este trabajo se delimita a la ZMCM como se ilustra en el Mapa 1

Debido a los diversos enfoques y criterios utilizados, varían los procedimientos en cómo agregar las unidades territoriales para delimitar los contornos políticos-administrativos de la ZMCM (aún sin considerar que el medio ambiente trasciende los límites de división territorial), y en consecuencia, no hay uniformidad geográfica en la presentación de la información.

En un enfoque funcional, que mediante criterios geoestadísticos reconoce relaciones de interdependencia y funcionalidad entre el área de la ciudad y las áreas adyacentes y periféricas a ésta; según los especialistas asumen que la ZMCM está conformada – con base en la información del Censo de Población y Vivienda de 1995- por las 16 delegaciones del Distrito Federal y 34 municipios conurbados del Estado de México, criterio bajo el cual la población metropolitana llega a 16.8 millones de habitantes. Otro enfoque parte de la contigüidad física de los asentamientos- también a través de datos de población- mediante el cual la ZMCM estaría integrada por las áreas urbanas (las 16 delegaciones) del Distrito Federal y (18 municipios) conurbados del Estado de México, sumando así la metrópoli 16.4 millones de habitantes. Esta delimitación ha sido asumida por la Comisión Ambiental Metropolitana, órgano de gestión creado en 1996 por los gobiernos del Distrito federal y del Estado de México, organismos descentralizados y la mayoría de las secretarías del Gobierno Federal.

Con información de 1994 y 1996 se elaboraron 2 inventarios de emisiones para la ZMCM, que cubrieron las 16 delegaciones del distrito federal y los 18 municipios conurbados del Estado de México. El primero se empleó en el programa para mejorar la calidad del aire 1995-2000 (Proaire); y el segundo representa una actualización de la información de su antecesor publicado en agosto de 1999 con la misma cobertura geográfica.

La integración del inventario de emisiones tiene como propósito contar con la información que indique la situación actual, en cuanto al aporte de los contaminantes de los diferentes giros industriales, de los sectores doméstico, comercial y de servicios, así como de los vehículos automotores, además de considerar las emisiones naturales que se registran en el área.

1.1.2 CONDICIONES GEOGRÁFICAS DE LA ZMCM

La ZMCM está circundada hacia el *norte* por las Sierras de Tezontlalpan, Tepotztlán y Pachuca; la Sierra Nevada se encuentra hacia el *oriente*, con altitud mayor a 4,000 msnm, donde sobresalen los picos del Popocatepetl y del Iztaccihuatl con 5,747 y 5,286 msnm, respectivamente, mientras que el Monte Alto, el Monte Bajo y la Sierras de las Cruces, que alcanza hasta 3,000 msnm, se localizan hacia el poniente.

La Sierra Chichinautzín y Ajusco al *sur* con elevación de hasta 4,000 msnm, forman la cadena más reciente del sistema volcánico transversal, su erupción ocurrió aproximadamente hace 600,000 años, bloqueando lo que antes fue un drenaje hacia el sur y que definitivamente cerró la cuenca.

Existen además en el interior de esta cuenca las Sierras de Guadalupe en el norte con altura de entre 2,500 a 2,700 msnm y la de Santa. Catarina en el oriente con intervalos de 2,500 a 3000 msnm (Reyna, 1989).

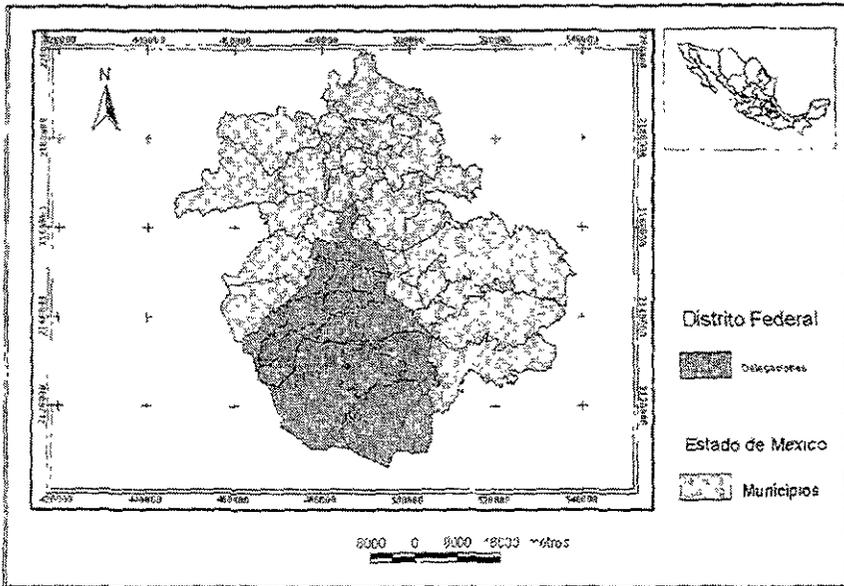
La ZMCM tiene diferentes subgrupos de clima, originados principalmente por su altitud y por la disposición de los sistemas montañosos que la rodean. Hay menores temperaturas y mayores precipitaciones en las partes medias y altas de las sierras del sur y sureste; y llueve menos y hace más calor en el norte y noreste (INEGI, 1998). De este modo existen climas seco semitemplado, templado subhúmedo y semifrío húmedo

De la vegetación natural que existía en el Distrito Federal quedan muy pocas especies, las demás plantas existentes son resultado de las plantaciones realizadas por los habitantes de la ciudad. Sólo las partes medias y altas de las sierras están cubiertas por los bosques de pinos y oyameles, entre los cuales se mezclan encinos, ailes, madroños, arbustos, hierbas, musgos y líquenes. Otras áreas se han reforestado con eucalipto, pirul, álamo, chopo, casuarina y otras especies.

1.2 POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En esta región la Ciudad de México, a través del tiempo, se estructuró como el núcleo urbano jerárquico más importante de los Estados Unidos Mexicanos. El crecimiento de la ciudad como centro de poder, propició desde épocas prehispánicas una concentración importante de población (Negrete y Salazar, 1988). En la época de la conquista española, la ciudad-isla englobaba a la vez a Tenochtitlán y Tlatelolco, el centro de la ciudad presentaba en conjunto la forma de un cuadrado de 3 kilómetros aproximadamente por lado y abarcaba una superficie de 1000 ha. Es posible que los emperadores aztecas no hayan tenido los medios para saber el número de familias que residían, pero aunque el dato no se conoce, el cálculo de los españoles indicó que había entre 60 mil y 120 mil hogares (Soustelle 1977)

Mapa 1. Ubicación del área de estudio: Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

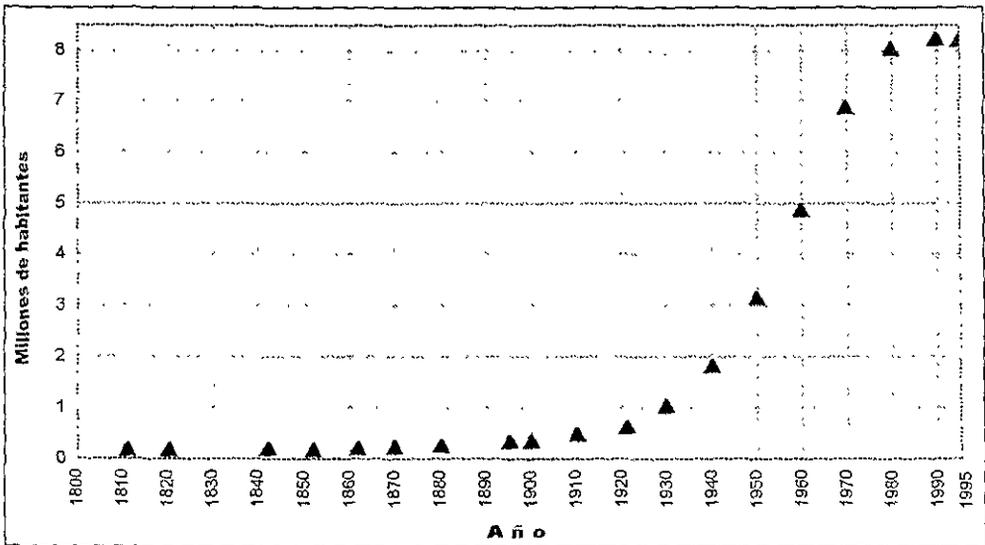


DISTRITO FEDERAL		ESTADO DE MÉXICO			
DELEGACIONES		MUNICIPIOS			
Clave	Nombre	Clave	Nombre	Clave	Nombre
1	AZCAPOTZALCO	17	ACOLMAN	33	NICOLAS ROMERO
2	COYOACÁN	18	ATENCO	34	PAZ LA
3	CUAJIMALPA DE MORELOS	19	ATIZAPAN DE ZARAGOZA	35	TECAMAC
4	GUSTAVO A. MADERO	20	COACALCO	36	TEOLOYUCÁN
5	IZTACALCO	21	CUAUTITLÁN	37	TEPOTZOTLÁN
6	IZTAPALAPA	22	CHALCO	38	TEXCOCO
7	MAGDALENA CONTRERAS	23	CHICOLOAPAN	39	TLALNEPANTLA
8	MILPA ALTA	24	CHIMALHUACÁN	40	TULTEPEC
9	ALVARO OBREGÓN	25	ECATEPEC	41	TULTITLÁN
10	TLAHUAC	26	HUIXQUILICÁN	42	ZUMPANGO
11	TLALPÁN	27	IXTAPALUCA	43	CUAUTITLÁN IZCALLI
12	XOCHIMILCO	28	JALTENCO		
13	BENITO JUÁREZ	29	MELCHOR OCAMPO		
14	CUAUHTEMOC	30	NAUCALPÁN		
15	MIGUEL HIDALGO	31	NETZAHUALCOYOTL		
16	VENUSTIANO CARRANZA	32	NEXTLALPÁN DE JUÁREZ		

En una recopilación reciente de Olmedo (1993) se menciona que los mexicas fundaron la ciudad alrededor de 1325 y que alrededor de 1519 la capital cubría una superficie urbana de 12 a 15 km² con una población aproximada de 235,000 habitantes que representaba, en su tiempo, la ciudad más poblada de América.

Actualmente el espacio que ocupa la población es de 2,396 km², para referirse a esta área hace tiempo que se puede usar el término de megaciudad, que describe la etapa en la que una gran concentración de población integra otros asentamientos próximos y conforma una red interconectada o conurbada. Con base en este criterio la capital mexicana, en 1940 pasa de 1.6 millones de habitantes a 8 millones en 1990 (Gráfica 1). Entre las principales causas que generan esta expansión se hallan las migraciones multitudinarias de otros estados del país y la incorporación, a la ciudad, de los municipios aledaños (Ward 1991).

Gráfica 1. Cantidad de población del D.F.



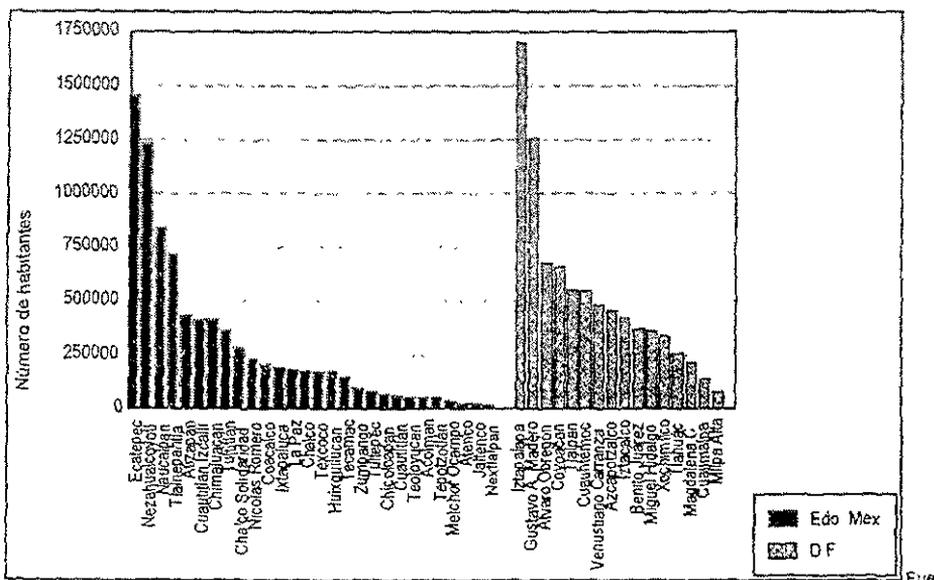
Fuente: Bravo, 1987 1800-1960, INEGI, (1996: 1990-1995)

El área conocida como Ciudad de México estaba tradicionalmente asociada a la parte norte-centro del Distrito Federal, pero con la creciente expansión ocurrida en los últimos decenios, se incluyó en 1980 un área mayor a las 16 delegaciones que la conforman; se

consideró la integración de 17 municipios del Estado de México (INEGI, 1996), como parte de la ZMCM; desde 1995 cuenta ya con un total de 28 municipios conurbados listados en la (Gráfica 2).

En la siguiente gráfica de la distribución de la población por entidad federativa de la ZMCM puede observarse que, Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Alvaro Obregón, Coyoacán, Ecatepec, Nezahualcoyotl, Naucalpan y Tlalnepan integra una región homogénea con la mayor concentración de población (mapa 2).

Gráfica 2. Distribución de la población en la ZMCM.



nte INEGI, 1996

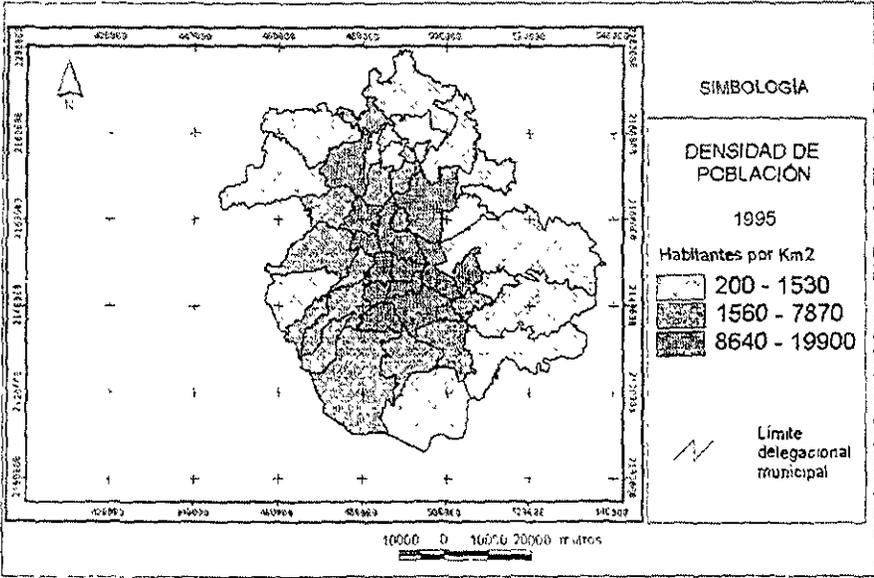
En 1990 los habitantes de la ZMCM fueron poco más de 15 millones de personas (INEGI, 1991) y se le consideró una de las áreas más poblada del mundo (18.5% del total del país), debido en gran parte al sostenido crecimiento social o por las corrientes de migración neta (Partida, 1988); de esa población, en su conjunto, el 55% residía en el Distrito Federal y 45% en el área restante (SEDESOL, 1995).

Para 1995 contó con aproximadamente 16.7 millones de habitantes (INEGI, 1996) que representaron el 18.3% del total del país, de donde el 51% se encontraba en el DF y el

49% en el Estado de México. Al comparar estos datos con los de 1990 se confirma la observación de INEGI (1991), en cuanto a que la etapa de 1980 a 1990 se caracteriza por la disminución en el ritmo de crecimiento poblacional en el Distrito Federal (la más baja el país, 0.5%) y en altas tasas de crecimiento o mayor saldo positivo en los municipios conurbados (entre las de mayor dinámica con 3.2%). Estos cambios han sido descritos por Cohen (1993) como demetropolización y se les considera típicos de ambientes urbanos, sobre todo en Latinoamérica.

El mapa 2 representa la densidad de población 1995. En el cual se puede notar que las delegaciones de la zona centro y norte del D.F. y sus municipios colindantes concentran la mayor densidad de población. En cambio, el menor número de habitantes por Km² está representado por la mayoría de los municipios del Estado de México y por la delegación Milpa Alta.

Mapa 2 Densidad de la población en la ZMCM, 1995.



Otros datos importantes acerca de las características sociales recientes de la ZMCM están dadas por su centralismo, debido a razones históricas y políticas, lo cual ha determinado que en un área que ocupa el 2% de la extensión total de país, habite el 25% de la población económicamente activa y se encuentre el 68% de los automóviles

particulares del país y se consume el 17% de la energía producida en México (PICCA, 1992).

1.3 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En general, en la ZMCM viven más de 18 millones de habitantes, se cuenta con más de 3.5 millones de vehículos y alrededor de 35,000 industrias y servicios. En conjunto esta población consume un volumen superior a los 44 millones de litros de combustibles al día. Ello trae como consecuencia inevitable el deterioro del medio natural.

Una parte del deterioro ambiental lo constituye la contaminación del aire, la cual se refiere a toda materia y energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse a la atmósfera alteran o modifican su composición natural (CEMA, 1996) y se debe a la presencia de sustancias que producen un cambio no deseable en sus características físicas, químicas o biológicas, afectando así al confort o al uso y disfrute de los bienes naturales para los seres vivos (Aguirre, 1996).

La contaminación atmosférica en la ZMCM es un fenómeno relativamente reciente, ya que se ha incrementado en los últimos 50 años por la continua aglomeración de personas, industrias, servicios y vehículos. El problema se agrava aun más debido a la constante y creciente emanación de compuestos químicos (CMPCCA, 1992; Quadri, 1994), que no logran ser dispersados por los vientos del este que normalmente concurren en la cuenca (3 a 5 m/s en promedio) hacia el oeste y que al estar rodeada de sierras de gran altitud impide que la ventilación se realice de forma adecuada reteniendo los contaminantes principalmente en la zona sureste de la cuenca de México (PICCA, 1990).

En este contexto la mayor parte de los contaminantes emitidos a la atmósfera son el resultado del consumo de diferentes tipos de combustibles fósiles provenientes de las actividades urbanas. El hombre genera los contaminantes a través de la tecnología que posee producto de sus actividades urbanas. Sin embargo, existen controles de la fuente que están directamente asociados a estas y que son aparatos o procedimientos que impiden que algunas de las emisiones producidas lleguen a la atmósfera. Como ejemplo de tecnología de control se encuentran los convertidores catalíticos, la sustitución de

combustibles por otros que generan menos emisiones, así como las modificaciones que se le puede hacer al propio proceso generador.

Inclusive con dispositivos anticontaminantes la ZMCM recibe constantemente grandes cantidades de gases contaminantes, en este proceso intervienen factores como: cantidad y calidad de los energéticos consumidos (gasolina, diesel, combustóleo, gas, etc.) tipo, estado y operación de los equipos de combustión; el control de la combustión y de emisiones en vehículos, granulometría de los suelos, infraestructura vial, el tamaño de la ciudad, las condiciones físico-químicas y meteorológicas de la atmósfera, así como el tipo de relieve. No obstante el factor decisivo es la relación entre el número de los habitantes y el consumo de los combustibles fósiles.

En este sentido la calidad del aire es un fenómeno progresivo que se presenta en numerosas ciudades de todo el mundo producto del consumo de los combustibles y que según, Cohen (1993), son los complejos industriales y la elevada actividad vehicular los que arrojan a la atmósfera la mayor cantidad de compuestos químicos.

1.3.1 CONSUMO DE COMBUSTIBLES

Un balance del consumo de combustibles, es de vital importancia, ya que no-solo proporciona información de la actividad económica de la zona, sino también sobre la forma en que se modifican las condiciones del aire urbano. Es además, una herramienta útil para conocer los volúmenes de contaminantes emitidos a la atmósfera por sector de actividad (DDF, 1996).

En la tabla 1 se muestra una comparación entre los consumos reportados en una base de datos histórica sobre consumos de combustible de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Para el periodo 1996-1998 puede observarse un aumento en el consumo de todos los combustibles en contraste con el periodo 1994-1996 en el que se observó la disminución en el consumo de gasolinas y gas licuado. También puede observarse la desaparición del consumo de la gasolina NOVA y la fuerte tendencia a la desaparición del consumo del Diesel Especial. El equivalente energético del consumo total de combustibles fue de 509,414.61 TJ en 1994 y de 494,404.02 TJ en 1996. (Gasca, J. 1998)

Tabla 1. Consumo de combustibles en la ZMCM (millones de m³/año).

Combustible	TOTAL BASE DE DATOS DEL GOBIERNO DEL D.F.			TOTAL BASE DE DATOS DEL GOBIERNO DEL D.F.		
	1994	1996	Aumento	1996	1998	Aumento
Gas natural	3,050.93	3,525.40	15.55	3,525.40	ND	ND
Gas LP	3.61	3.35	-7.25	3.35	3.82	13.98
Gasolina Nova	4.08	3.04	-25.58	3.04	0.00	-100.00
Gasolina Magna	2.61	3.18	21.83	3.18	6.03	89.68
Gasolina Premium	0.00	0.0005	100.00	0.0005	0.40	8,106.13
Total de gasolina	6.69	6.22	-7.02	6.22	6.43	3.41
Diesel de carburación	1.18	1.21	1.95	1.21	1.32	9.25
Diesel especial	0.35	0.28	-18.41	0.28	0.17	-39.05
Gasóleo	0.26	0.31	17.94	0.31	0.38	22.62
Total de Destilados intermedios	1.79	1.79	0.34	1.79	1.86	3.94

N/D: No determinado

Fuente: (GASCA, J. 1998)

1.3.2 FUENTES DE EMISIÓN Y SU CLASIFICACIÓN

Tradicionalmente se consideran como fuentes emisoras de contaminación atmosférica a dos grupos de gran importancia que se establecen, según el INE, de la siguiente forma:

- 1 Fuentes Naturales: Son una serie de fenómenos y procesos que se presentan de manera natural en los ecosistemas. En si, las emisiones son el resultado de la acción de eventos meteorológicos, geológicos y/o procesos metabólicos de la vegetación; por ejemplo: erupciones volcánicas, incendios forestales no provocados por el hombre, tolvaneras, polen, bacteria, partículas orgánicas en descomposición entre otras.
- 2 Fuentes Antropogénicas: Son las fuentes producto de las actividades humanas; que a su vez se pueden dividir en tres grupos

- ❖ Fuentes Fijas o Puntuales: Son instalaciones, plantas o actividades que emiten grandes volúmenes de contaminantes dependiendo de las características de las operaciones y procesos que se realicen en la industria. Se les llama de punto, porque ocupan superficies muy extensas. Las fuentes fijas puntuales se dividen en diferentes giros según su actividad industrial.
- ❖ Fuentes Móviles. Son todos los vehículos automotores que transitan por las vías de circulación como calles, carreteras, caminos y avenidas. Como ejemplo se pueden mencionar a los automóviles, camionetas pick up, vehículos de carga, autobuses, motocicletas, etc.
- ❖ Fuentes de Área: Son todos aquellos establecimientos o lugares donde se desarrollan actividades comerciales y de servicios, incluso habitacionales, de manera que individualmente emiten cantidades pequeñas de contaminantes, pero que en conjunto sus emisiones representan un aporte considerable de contaminantes a la atmósfera. Es por esta razón que no llegan a considerarse como fuentes puntuales.

1.3.3 TIPOS DE CONTAMINANTES EMITIDOS POR FUENTE

Como resultado de los diferentes tipos de combustibles que utilizan en cada una de las fuentes contaminantes se producen ciertos tipos de emisiones asociadas a cada una de estas. En particular los diferentes tipos de contaminantes obedecen a un tipo de combustible en particular, al tipo de máquina o vehículo, al tipo de insumo, a las condiciones de operar la maquinaria y al modo de manejo.

Se sabe que en la ZMCM la mayor parte de las emisiones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) e hidrocarburos (HC) se generan por el consumo de gasolina y diesel en el sector transporte. Las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) se generan, en gran parte, por el consumo de combustibles industriales líquidos como son el combustóleo, diesel y el gasóleo; gaseosos como el gas natural y el gas LP, generalmente utilizados en la industria y en los establecimientos de servicios. Las partículas suspendidas (PST) y las menores a 10 micrómetros (PM₁₀) son generadas por

distintas fuentes, destacándose la circulación de vehículos en caminos no pavimentados, los suelos erosionados y el uso de ciertos combustibles como el diesel.

Otra fuente importante de emisiones a la atmósfera son las áreas con vegetación que rodean a la ciudad y aquellas que se encuentran en los parques y jardines. Estas fuentes naturales emiten grandes cantidades de compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno.

1.3.4 CALIDAD DEL AIRE Y FACTORES QUE INCIDEN EN LA DISPERSIÓN Y CONCENTRACIÓN DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES EN LA ZMCM

La reducción o aumento de concentraciones de especies contaminantes en la atmósfera se le conoce como calidad del aire. Las normas de calidad del aire fijan valores permisibles de concentración de contaminantes, con el propósito de proteger la salud de la población en general y de los grupos de mayor susceptibilidad en particular para lo cual se incluye un margen adecuado de seguridad. En nuestro país no existían los recursos ni la infraestructura para realizar estudios epidemiológicos, toxicológicos y de exposición, ni en animales ni en seres humanos, por lo que las normas se establecieron fundamentalmente tomando en cuenta los criterios y estándares adoptados en otros países del mundo. Las normas vigentes de calidad del aire fueron publicadas por la Secretaría de Salud en el Diario Oficial de la Federación en Diciembre de 1994 (Proaire, 1996).

Los contaminantes generados en la ZMCM se miden a través de procedimientos estandarizados a nivel internacional, los cuales generan valores representativos de la calidad del aire que se respira en la ciudad. Las estaciones fijas de análisis continuo, (Red Automática de Monitoreo Atmosférico; RAMA), están ubicadas de acuerdo los criterios y normas internacionales y se localizan generalmente en sitios representativos de distintas fuentes de contaminantes

La calidad del aire en la ZMCM depende de la relación de varios factores: uno de estos es la cantidad generada de contaminantes a la atmósfera, otro es la estructura fisicoquímica, el tamaño de los compuestos emitidos, la dinámica meteorológica que determinan la

dirección de los vientos, la temperatura, nubosidad, etc., la latitud y la orografía; en conjunto, explican la dispersión, transformación y concentración de los contaminantes.

Ya se dijo el hecho de que la ZMCM se encuentre rodeada por una serie de montañas y a una altitud de 2 240 msnm, agrava aun más el problema de la contaminación, ya que a esta altitud el contenido de oxígeno en el aire es de 23% menor que al nivel del mar. Ello repercute en los procesos de combustión, ya que la eficiencia disminuye, mientras que el volumen de emisión aumenta. Además se localiza en la región central del país, por lo cual está sujeta también a la influencia de sistemas anticiclónicos, generados tanto en el Golfo de México como en el Océano Pacífico. Estos sistemas ocasionan una gran estabilidad atmosférica, inhibiendo el mezclado vertical del aire.

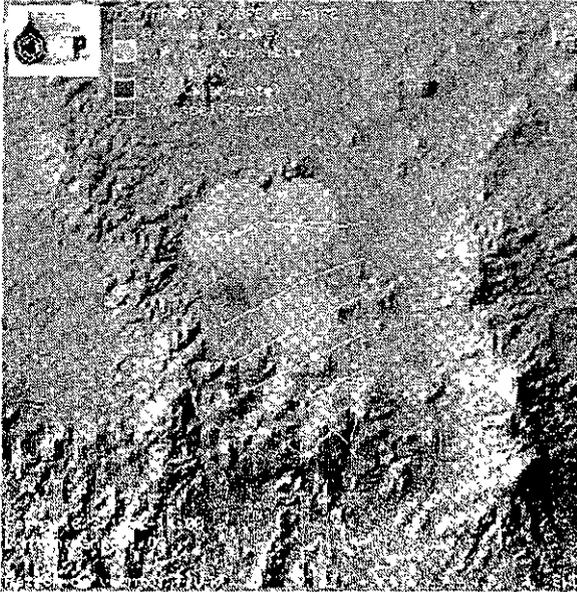
El área de estudio esta rodeada por las montañas de las sierras del Ajusco, Chichinautzin, Nevada, Las Cruces, Guadalupe y Santa Catarina, las que constituyen una barrera física natural para la circulación del viento, impidiendo el desalojo del aire contaminado fuera de la cuenca.

En forma paralela, es preciso considerar que recibe una abundante radiación solar debido a su latitud de 19° N, lo que hace que su atmósfera sea altamente fotorreactiva. En presencia de la luz solar, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan fácilmente para formar ozono y otros oxidantes. Por otra parte, en el área de estudio se presentan con frecuencia inversiones térmicas que provocan el estancamiento de los contaminantes: por las mañanas, la capa de aire que se encuentra en contacto con la superficie del suelo adquiere una temperatura menor que las capas superiores, por lo que se vuelve más densa y pesada. Las capas de aire que se encuentran a mayor altura y que están relativamente más calientes actúan entonces como una cubierta que impide el movimiento ascendente del aire contaminado.

En cuanto a la dispersión de los contaminantes hay que aclarar que existe una gran diferencia entre la región en la que se emiten o producen los contaminantes y la zona en donde se concentran los mayores índices de contaminantes. El término concentración generalmente se refiere a la cantidad de una sustancia contenida en la unidad de peso o volumen en un medio dado, por ejemplo, el aire. A las mediciones realizadas en una estación de monitoreo para una hora y día específico del año se le denomina calidad del

aire y está representado por el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). La siguiente imagen muestra la calidad de aire medida en la ciudad de México en un día altamente contaminado por ozono (el 16 de marzo de 1992) a las 14 horas, se puede observar que el patrón de vientos transportaba a los contaminantes hacia el suroeste de la cuenca.

Imagen 1. Dirección del viento y Calidad del aire por Ozono en la ZMCM

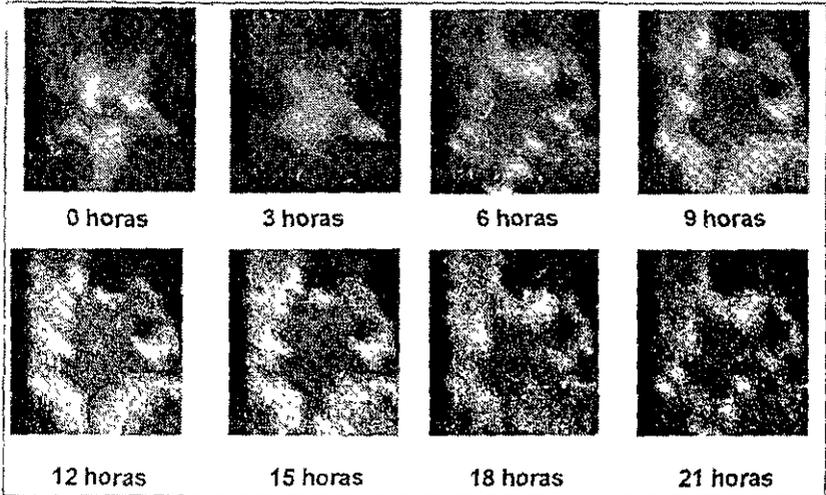


Fuente: (Instituto Mexicano del Petróleo, 1992)

De este modo es conveniente aclarar que la acumulación de la contaminación atmosférica no necesariamente se presenta en los sitios en donde se generan las emisiones. La idea de que aún cuando se habla que en la zona centro y norte de la ZMCM se generan las mayores emisiones de contaminantes sea el área con los mayores riesgos para la salud, es en gran parte errónea. El término concentración esta asociado con dispersión, transporte o movilidad del contaminante a partir de la fuente de donde fue originado. Esto se debe a que los contaminantes liberados en el lugar de origen son transportados por acción del viento y depende del tamaño, del tipo de compuesto y del peso del contaminante la dispersión o concentración horizontal o vertical en las capas de la atmósfera.

La siguiente figura muestra la distribución temporal, en la malla de simulación, de las emisiones totales de hidrocarburos generadas por todas las fuentes del inventario de emisiones 1994. Se nota que, a partir de las cero horas la producción de emisiones es mínima y conforme el tiempo transcurre, estas se incrementan hasta alcanzar los máximos entre las 12 y 15 horas para disminuir en las siguientes horas. Destacan los picos que se generan en la ZMCM de las 6 a las 21 horas y que corresponden a las principales carreteras que comunican esta zona con las ciudades de Cuernavaca al sur, con la de Puebla– Tlaxcala al este, con la de Hidalgo y Guadalajara al norte y con la de Toluca al oeste.

Imagen 2. Distribución temporal de las emisiones totales de HC en la ZMCM, según el inventario de emisiones de 1994.



Fuente (ORTIZ ROMERO, E. INEDITO)

De la variedad de contaminantes que contiene el aire urbano e industrial, los que destacan, entre otros, por su abundancia y los efectos adversos a la salud del ser humano y al ambiente son: El CO, HC, NO_x, PST, SO₂ y O₃. (Tabla 2). Estos contaminantes se analizarán en esta investigación excepto el O₃. La abundancia de los contaminantes depende de su formación, estado físico a temperatura ambiente y de sus principales fuentes de emisión antropogénicas y naturales (Aguirre, 1996).

Tabla 2. Contaminantes atmosféricos más importantes por su abundancia.

COMPUESTO	ORIGEN	ESTADO FÍSICO A TEMPERATURA AMBIENTE.	FUENTES ANTROPOGÉNICAS MÁS IMPORTANTES	FUENTES NATURALES
CO	Primario	Gas	Combustión incompleta	Incendios forestales
HC	Primario	Depende de su peso molecular	Industria del petróleo volatilización de gasolinas	Emisión de HC aromáticos por árboles Procesos biológicos fermentación
NO _x	Primario	Gas	Combustión a alta temperatura	Procesos biológicos Incendios forestales
PST	Primario y Secundario	Sólido	Combustión, industria cementera	Erosión, tolvaneras Deforestación, polen
SO ₂	Primario	Gas	Combustibles fósiles que contienen azufre	Actividad volcánica y erupción
O ₃	Secundario	Gas	Reacciones complejas en la atmósfera**	Reacciones en atmósfera fotoquímica por la luz

Fuente. Aguirre, 1996, Inst. Tecn. Est. Sup. Monterrey (ITESM), Centro de Calidad Ambiental (CCA)

* Se denomina contaminante primario al emitido a la atmósfera y secundario al que se forma en la atmósfera

** Sus precursores son la radiación solar, HC y NO_x.

Algunos de los daños más importantes ocasionados por la contaminación ambiental, son los relacionados con la salud humana. Se ha demostrado que la contaminación del aire incrementa la morbilidad y mortalidad de las personas que se exponen a ella, no sólo por expulsiones esporádicas de contaminantes tóxicos, sino por exposición a largo plazo a contaminantes como el SO₂, el O₃, los NO_x, etc. (Ostro, 1994)

1.3.5 EFECTOS SOBRE LA SALUD CAUSADOS POR LOS CONTAMINANTES

Durante mucho tiempo no hubo ninguna preocupación por los efectos que tendría emitir residuos al aire. Durante este siglo, una serie de fenómenos asociados con baja dispersión de contaminantes llevaron a recapacitar sobre el riesgo potencial que conlleva la contaminación del aire. A continuación se describen los daños que se producen sobre la salud humana de los principales contaminantes.

Monóxido de Carbono (CO)

Este gas forma el 52 % de los contaminantes atmosféricos. Como el monóxido de carbono se combina 210 veces más rápido que el oxígeno con la hemoglobina, el CO reemplaza el oxígeno en el torrente sanguíneo, por lo que la exposición de una persona a este gas durante 60 ó 120 minutos permite que la función de la hemoglobina se inactiva totalmente y se presenten síntomas como el dolor de cabeza, mareos y desmayos, la presencia de monóxido de carbono en el torrente sanguíneo de mujeres embarazadas puede tener como consecuencia que el feto presente deformaciones (Proaire, 1996).

Hidrocarburos (HC)

La mayoría de los hidrocarburos reaccionan en la atmósfera para producir contaminantes fotoquímicos o gases invernadero, como el ozono o el CO₂. Algunos HC reaccionan en la troposfera, otros más ligeros lo hacen en la estratosfera. Normalmente los HC son inofensivos para la salud, con excepción de los compuestos aromáticos, tales como el benceno presente en las gasolinas, los cuales se ha demostrado que pueden ser un factor de riesgo de enfermar de leucemia y cáncer cuando se ingieren o se inhalan (Ortiz, 2000; Flores, 1995).

Además de su función como precursores de la formación de ozono y otros oxidantes, los compuestos orgánicos volátiles (COV) son motivo de especial preocupación debido a su alta toxicidad en los seres humanos. En México, aún no se implanta un programa continuo y de amplia cobertura de análisis atmosférico de COV, ni tampoco se ha establecido una norma de calidad del aire para estos compuestos. En los Estados Unidos, a pesar de que se realizan mediciones de COV en muchas ciudades, no constituyen por sí mismos un parámetro de calidad del aire, debido a la diversidad de sus especies, de sus propiedades tóxicas y de su alta reactividad.

A pesar de las dificultades para el establecimiento de normas para COV, algunos de estos tóxicos como el benceno, el formaldehído, el acetaldehído o el 1,3-butadieno deberían analizarse periódicamente para identificar y prevenir problemas potenciales de salud ambiental (Proaire, 1996)

Oxidos de Nitrógeno (NO_x)

De los seis o siete óxidos de nitrógeno que comúnmente se hallan en la atmósfera, sólo el óxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son importantes contaminantes del aire, aunque ninguno de los dos causa daños directamente a los materiales o vías respiratorias, lo hacen cuando reaccionan con la humedad presente en la atmósfera o en las mucosas, formando ácido nítrico.

El monóxido y el bióxido de nitrógeno son potencialmente dañinos para la salud humana, estimándose que el bióxido es aproximadamente 4 veces más tóxico que el monóxido (Proaire, 1996). La concentración que se encuentra en la atmósfera el monóxido de nitrógeno no es irritante y no se le considera como un peligro para la salud, sin embargo, al oxidarse se convierte en bióxido de nitrógeno que sí 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 constituye un riesgo para las vías respiratorias ya que se ha comprobado que puede alterar la capacidad de respuesta de las células en el proceso inflamatorio, como sucede con las células polimorfonucleares, macrófagos alveolares y los linfocitos, siendo más frecuente en casos de bronquitis crónica.

La mayor parte de la información disponible en cuanto a pruebas con concentraciones reducidas, procede de estudios de laboratorio con personas voluntarias, y con animales cuando se trata de concentraciones elevadas. El aumento de las dosis desemboca en una secuencia de efectos. problemas de percepción olfativa, molestias respiratorias, dolores respiratorios agudos, edema pulmonar (acumulación de fluido) y, finalmente, la muerte.

Partículas Suspensas Totales (PST)

Las partículas suspendidas en el aire, solas o en combinación con otros contaminantes representan un peligro muy grave para la salud. Los daños al aparato respiratorio son directos, ya que un estudio estima que el 50% de las partículas entre 1 y 100 μm que penetran a las cavidades pulmonares se depositarán ahí. (Burchard, 1974)

Las partículas pueden ocasionar daños a las vías respiratorias debido a que sus características químicas y/o físicas pueden aumentar su toxicidad. Por ejemplo, las partículas de hollín de una chimenea donde se quema combustóleo, pueden variar en su toxicidad, dependiendo de la cantidad de azufre en ese combustible, difiriendo en toxicidad respecto a las partículas alcalinas que se emiten en el lecho seco del lago de Texcoco, o las partículas de polen o tierra provenientes de zonas agrícolas y silvestres de las sierras o de erupciones volcánicas.

Las partículas pueden tener un origen natural o bien formarse por reacciones fotoquímicas en la atmósfera. Estas últimas pueden estar constituidas por sulfatos y nitratos (y sus ácidos correspondientes), o por carbón orgánico. Por ejemplo, estudios realizados en la UNAM en 1992, indicaron que durante el día, las muestras de aerosoles de diámetro menor a 2.5 micras, tenían un contenido de 15% de sulfatos, 16% de nitratos, 20% de carbono orgánico y un 49% de otros compuestos. También existen partículas y aerosoles en estado líquido, que contienen compuestos orgánicos. Más adelante, en 1997, en el estudio IMADA (Ortiz, 1997), se identificó que en el área de la Merced y Pedregal la composición de las partículas es aproximadamente 40% de materia orgánica, 10% de nitratos, 15% de sulfatos y el 35% de otros compuestos, mientras que en Ciudad Nezahualcóyotl, la composición de las partículas consiste en un 25% de materia orgánica, 25% de nitratos, 10% de sulfatos y el 50% son otros materiales.

El origen de los aerosoles y partículas puede deberse a la emisión de polvos, gases y vapores provenientes de vehículos automotores y fábricas; asimismo, se pueden formar en la atmósfera a partir de gases y vapores producidos por alguno de los siguientes procesos: Reacciones químicas entre contaminantes gaseosos en la superficie de partículas ya existentes; aglomeración de aerosoles; o reacciones fotoquímicas en las que intervienen compuestos orgánicos. En la ciudad de México se tiene un aporte muy

grande de partículas provenientes de las áreas rurales y agrícolas de temporal, las sierras de Guadalupe y Santa Catarina, además de zonas vecinas al lago de Texcoco, zonas industriales y el aporte vehicular

La exposición a las partículas suspendidas puede causar reducción en las funciones pulmonares, lo cual contribuye a aumentar la frecuencia de las enfermedades respiratorias. En concentraciones muy elevadas, ciertas partículas (como el asbesto) puede provocar cáncer de pulmón y muerte prematura.

Específicamente, las partículas pueden tener cualquiera de los siguientes efectos:

- Consecuencias tóxicas debido a sus inherentes características físicas, químicas o ambas.
- Interferir con uno o más mecanismos del aparato respiratorio.
- Actuar como vehículo de una sustancia tóxica absorbida o adherida a su superficie.

Las partículas en conjunción con el bióxido de azufre provocan respiración agitada, disminución del volumen de las vías respiratorias, dificultad para respirar e irritación en las vías respiratorias, de leve a severa. Adicionalmente, las partículas muestran efectos sobre la visibilidad, sobre todo las menores a 2.5 micras, debido a que interfieren con la luz visible. La disminución de la visibilidad se debe a la dispersión y en algunos casos, por absorción de la luz por los aerosoles o partículas (Ortiz, 1997).

Las partículas suspendidas menores a 10 micras de diámetro pueden ser inhaladas y llegar a los pulmones, causando daños a la salud. Actualmente, se considera que esta clase de partículas representa un mejor indicador de la calidad del aire que las partículas suspendidas totales, que anteriormente se utilizaban como contaminante criterio. Actualmente, la norma de calidad del aire para PM_{10} adoptada en México y en Estados Unidos es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Proaire, 1996). En promedio se miden $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a lo largo del año (RAMA, 1995).

La exposición a PM_{10} ha generado una creciente preocupación en los últimos años, pues día a día aparecen estudios que demuestran una asociación significativa entre la concentración ambiental de partículas de la fracción respirable y la mortalidad y

morbilidad de las poblaciones. En forma sorprendentemente consistente, a través de muchos estudios se ha encontrado un 3% de incremento en la mortalidad normal diaria por cada $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de incremento en PM_{10} a partir del valor de la norma, siendo la asociación más significativa con cánceres cardiopulmonares y de pulmón. Es de especial preocupación el hecho de que no parece existir una concentración mínima en la cual ya no se detecten impactos en la salud.

Tomando en cuenta las concentraciones de PM_{10} que se presentan cotidianamente en la ZMCM se puede concluir que más de la mitad de la población de la ciudad se ve expuesta diariamente a concentraciones superiores a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (norma actual), y que un número considerable de individuos están expuestos a concentraciones mucho mayores. En un mes (marzo de 1997), se excedió siete veces la norma mencionada en la ZMCM (Ortiz, et al, 1997), midiéndose un máximo de $542 \mu\text{g}/\text{m}^3$, contando en dicho mes con lluvias extraordinarias que contribuyeron a disminuir los índices de PST. Normalmente no sucede así. A pesar de que no existen estudios completos realizados en México, los datos arriba mencionados nos sugieren que la contaminación por partículas suspendidas debe contribuir de manera significativa a la incidencia de enfermedades respiratorias así como a un incremento en la mortalidad por encima de los niveles atribuibles a otros factores.

Hasta la fecha ha sido necesario depender de los datos estadísticos, tales como aumento en las admisiones hospitalarias, ausentismo escolar y laboral y la mortalidad para estimar el impacto que tienen diferentes niveles de partículas suspendidas en la salud. (Ostro, 1994; Margulis, 1992)

Diversos estudios (Ostro op cit, Margulis op cit, Romieu op cit, Oskaynak), han demostrado una relación entre los aumentos en la concentración de partículas y el incremento en el número de visitas a hospitales, ausentismo, incremento del número de casos de enfermedades respiratorias, afecciones cardíacas, asma, pulmonía, enfisema y muertes.

Oxidos de Azufre (SO_x)

Estos contaminantes se presentan en los mismos tipos de atmósfera contaminada por partículas y con alta humedad relativa, por lo que pocos estudios epidemiológicos han sido capaces de diferenciar adecuadamente los efectos de dichos contaminantes.

Varias especies de animales, y el hombre, reaccionan con broncoconstricción ante el SO₂, pudiéndose evaluar este efecto como un ligero aumento en la resistencia en el conducto de aire.

El bióxido de azufre, que puede ser oxidado en la atmósfera a trióxido de azufre, se genera tanto en fuentes naturales como en la combustión de materiales, principalmente combustibles fósiles, que contienen azufre. Los óxidos de azufre son solubles en agua y al hidratarse dan lugar a la formación de ácidos sumamente agresivos. Aquéllos se hidratan con la humedad de las mucosas conjuntiva y respiratoria y constituyen un riesgo por producir irritación e inflamación aguda o crónica y suelen adsorberse en las partículas suspendidas, lo que da lugar a un riesgo superior, puesto que su acción conjunta es sinérgica.

La magnitud de la respuesta de un individuo asmático es típicamente la broncoconstricción, misma que es variable y diferente para cada persona; aunque dicha respuesta es inducida por la exposición a cualquier concentración de bióxido de azufre, la realización de una actividad moderada a exposiciones de 0.4 a 0.5 ppm o mayores, implica un riesgo importante para la salud de la persona; puede que sea necesario no sólo detener su actividad, sino recibir atención médica (Proaire, 1996).

La combinación del bióxido de azufre con partículas suspendidas, en condiciones favorables para su acumulación y oxidación (la presencia de metales en las partículas cataliza la oxidación), ha sido la responsable del incremento de la morbilidad y la mortalidad en enfermos crónicos del corazón y vías respiratorias en ciertos episodios.

Los óxidos de azufre penetran en los pulmones y se convierten en un agente irritante del tracto respiratorio inferior, cuando se adsorben en la superficie de las partículas respirables que se inhalan o al disolverse en las gotas de agua que penetran por la misma

vía. Tanto la adsorción como la conversión a sulfato tienen lugar en la atmósfera. Los aerosoles sulfatados son agentes irritantes de tres a cuatro veces más potentes que el bióxido de azufre. Estas pequeñas partículas penetran hasta los pulmones, donde se depositan y, si el bióxido de azufre no está ya en forma de sulfato, el ambiente húmedo de los pulmones proporciona las condiciones apropiadas para su oxidación.

Los sulfatos constituyen un peligro serio para la salud, habiéndose demostrado que concentraciones muy bajas de sulfatos (de 8 a 10 microgramos por metro cúbico) ejercen efectos adversos sobre los asmáticos, los ancianos y otras personas susceptibles con problemas respiratorios crónicos.

Ozono (O₃)

La exposición al ozono produce irritación ocular, irritación de la mucosa nasal y bucofaringea, tos, dificultad para respiración profunda, opresión en el pecho, náusea y cefalea. A concentraciones entre 0.12 y 0.20 ppm la función respiratoria en niños disminuye de manera reversible (Castillejos 1995, Romieu 1995), las crisis de los pacientes asmáticos se exacerban y la respuesta al tratamiento disminuye.

Resultados de numerosos estudios indican que la exposición a ozono puede ocasionar inflamación pulmonar, depresión del sistema inmunológico frente a infecciones pulmonares, cambios agudos en la función, estructura y metabolismo pulmonar, y efectos sistémicos en órganos blancos distantes al pulmón, como por ejemplo el hígado. Las investigaciones toxicológicas con animales son sumamente útiles pues permiten conocer el espectro completo de los efectos y condiciones de exposición que no pueden investigarse en seres humanos. La mayoría de los expertos acepta una extrapolación cualitativa entre animales y humanos, o sea que los efectos que causa el ozono en animales pueden presentarse en humanos bajo ciertas condiciones de exposición (dependiendo de la concentración, duración y actividad física realizada). Sin embargo, hay mucho menos consenso con relación a las extrapolaciones cuantitativas (e.g., los niveles de exposición en los que los efectos observados en animales también aparecen en humanos).

Los estudios de exposición en seres humanos se realizan utilizando concentraciones fijas de ozono bajo condiciones cuidadosamente controladas. El propósito fundamental de este tipo de estudios es obtener datos sobre la respuesta a cierto nivel de exposición. Los efectos pulmonares observados en seres humanos saludables expuestos a concentraciones urbanas típicas de ozono consisten en un decremento de la capacidad inspiratoria, una broncoconstricción moderada y síntomas subjetivos de tos y dolor al inspirar prolongadamente.

La reducción de la capacidad inspiratoria da como resultado una reducción en la capacidad vital forzada (CVF) y en la capacidad pulmonar total (CPT), y en combinación con la broncoconstricción contribuye a una reducción en el volumen expiratorio forzado en un segundo (VEF1) (Castillejos op cit, Romieu op cit).

En los últimos ocho años se ha publicado un considerable número de artículos que informa sobre los efectos en la salud causados por ozono y otros oxidantes fotoquímicos a niveles muy cercanos a la norma actual de calidad del aire (0.11 ppm en 1 hora de exposición cada tres años). Algunos de los estudios recientes en los que se expone a individuos por períodos de 1 a 2 horas indican que pueden presentarse decrementos en la función pulmonar de niños y adultos jóvenes cuando se exponen a concentraciones de 0.12 a 0.16 ppm, mientras llevan a cabo diferentes niveles de ejercicio (Meneses 1995, Romieu op cit).

Otros estudios sobre exposición prolongada (de hasta 7 horas) a concentraciones bajas de ozono en el intervalo de 0.08 a 0.12 ppm, indican que existe un decremento progresivo de la función pulmonar, así como un incremento en los síntomas respiratorios en situaciones de ejercicio moderado.

Desde una perspectiva de análisis de riesgo, el hecho de que en la ZMCM se rebasa prácticamente todos los días del año la norma de ozono y que estas excedencias a la norma ocurren en toda la zona urbana, nos permite afirmar que el 100% de la población de la ciudad se ve expuesta con frecuencia y por períodos de una o más horas, a concentraciones de ozono superiores a 0.11 ppm (norma actual). Adicionalmente, un porcentaje importante de la población (aquellos que trabajan o se ejercitan al aire libre, y quienes viven en la zona suroeste de la ciudad) se ven expuestos con frecuencia a

concentraciones de por lo menos dos veces la norma actual. Con estos niveles de exposición, aun los individuos adultos sanos experimentan efectos como irritación severa de las mucosas, resequedad y cefaleas. En individuos asmáticos y con otros padecimientos respiratorios se puede presentar una disminución significativa de la capacidad pulmonar.

1.4 INVENTARIO DE EMISIONES

En la ZMCM se emiten grandes cantidades de contaminantes debido a los grandes volúmenes de combustibles fósiles que se consumen. Resulta de vital importancia la identificación de las fuentes que generan las emisiones en áreas urbanas que concentran millones de personas.

En este sentido un instrumento importante lo constituye el Inventario de Emisiones (IE) a la atmósfera que es una compilación de datos sistematizados que permiten identificar o caracterizar a las fuentes emisoras por proceso y tecnología, el cual evalúa el peso específico de cada uno de los agentes productores en el aporte de contaminantes a la atmósfera. Está integrado por las estimaciones de todas las emisiones de contaminantes que se generan en un área determinada; tales emisiones pueden provenir de las industrias, los comercios y servicios, los hogares, los vehículos automotores, las aeronaves, los suelos y la vegetación, entre otros. Las partes que integra el IE son los bloques fundamentales para la construcción de un plan de calidad del aire mientras que los reglamentos surgidos permiten regular y controlar las emisiones emitidas a la atmósfera.

A partir del IE se establecen una serie de reglamentaciones y licencias de funcionamiento, además se especifican los equipos de control que deberán ser utilizados por las fuentes emisoras y se otorgan créditos de emisiones a industrias que así lo requieran.

El inventario de emisiones es un instrumento útil para:

- a) La toma de decisiones encaminadas a la aplicación de planes y programas de prevención y control de la contaminación del aire
- b) La evaluación del cumplimiento de la normatividad ambiental establecida
- c) El análisis de tecnologías disponibles.

d) El seguimiento de la evolución del aumento o disminución en los volúmenes de emisión de contaminantes a la atmósfera.

En los inventarios de 1994 (Proaire) y 1996 (IE) se agruparon las fuentes de emisión en cuatro clases:

- Fuentes puntuales: sector industrial;
- Fuentes móviles: sector transporte;
- Fuentes de área: sector doméstico, comercial y de servicio;
- Fuentes naturales: suelos y vegetación.

Esta clasificación esta de acuerdo con la propuesta por SEMARNAP Y RADIAN, 1997. En el inventario de emisiones 1996 se incorporaron muchas de las técnicas de estimación que el INE señala en el Programa de Inventario de Emisiones para México (SEMARNAP Y RADIAN, 1995), ya que el inventario de emisiones de 1996 especifica "el inicio del proceso de homogeneización en los métodos de estimación de las emisiones que se emplearan en adelante para la ZMCM" (CAM, 1999). Con base en lo anterior algunas de las subcategorías de emisión por fuente cambiaron de clasificación con respecto al inventario de 1994. La subcategoría que cambio fue el giro de artes gráficas al pasar del grupo de industria en el Proaire 94 al grupo de fuentes de área en el IE 96.

De manera general los contaminantes criterio que se identifican en el Inventario de Emisiones del Proaire 94 son los compuestos generados por proceso y combustión como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC), bióxido de azufre (SO₂), partículas suspendidas totales (PST). No obstante, en el Inventario de Emisiones 1996 se hace un desglose de las PST en partículas totales (PT) y en partículas de diámetro aerodinámico inferior a 10 micrómetros (PM₁₀).

1.4.1 ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES

La mayor parte de las emisiones estimadas en los inventarios son el resultado del producto matemático de un factor de emisión por su dato de actividad. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$E = F_i \times N_i \times F_c$$

En donde:

E = Volumen de emisión (unidad de masa/unidad de tiempo).

F_i = Factor de emisión.

N_i = Nivel de actividad.

F_c = Factores de corrección.

Factor de emisión. Es una razón que relaciona la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera por unidad de actividad. Por ejemplo, puede ser: factores per cápita, por empleado, de producción, masa/combustible. En general, los factores de emisión se obtienen de la compilación AP-42 de la EPA (EPA, 1995). Sin embargo, en algunas subcategorías para fuentes de área se han desarrollado factores de emisión propios de la ZMCM. La ecuación para el factor de emisión es la siguiente:

$$F_i = \frac{E_i \left(\frac{\text{unidad de masa}}{\text{unidad de tiempo}} \right)}{\text{Nivel de actividad} \left(\frac{\text{unidad}}{\text{unidad de tiempo}} \right)}$$

El factor de emisión F_i se expresa normalmente en unidad de masa independientemente del tamaño o actividad (Producción) de la fuente.

Como ejemplos de factores de emisión se citan los siguientes.

- En la industria se pueden tener kilogramos de contaminantes emitidos por cantidad de producto fabricado, kilogramos de contaminantes por unidad de tiempo, kilogramos de contaminantes por número de obreros, kilogramos de contaminantes por cantidad de combustible utilizado.
- En las fuentes de área se presentan kilogramos de contaminantes por cantidad de materia prima utilizada, kilogramos de contaminantes por habitante, kilogramos de

contaminante por unidad de tiempo, kilogramos de contaminante por cantidad de combustible utilizado.

- Para las fuentes móviles se tienen gramos de contaminante por kilómetro recorrido, gramos de contaminante por pasajero o carga transportada, kilogramos de contaminantes por cantidad de combustible quemado.
- Para las fuentes naturales, se pueden mencionar kilogramos de contaminantes por hectárea sembrada o de bosque, kilogramos de contaminantes por cantidad de animales en una región.

Nivel de actividad. Es una medida de una acción o actividad realizada. Sirve como indicador directo o indirecto de la emisión. Ésta medición puede ser directa de la producción, como la cantidad de combustible o disolventes utilizados y ventas de gasolina y los indicadores indirectos se basan en censos nacionales tales como el número de empleados, datos de población o datos de producción (materias primas, disolventes, etc.).

1.5 MEDIDAS INSTITUCIONALES PARA CONTROLAR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN LA ZMCM

A escala nacional y a raíz del incremento de las emisiones de contaminantes atmosféricos, las autoridades de la ZMCM han habilitado diversas acciones tendientes a disminuir este problema. Entre las principales acciones que se han desarrollado están: el monitoreo atmosférico, los inventarios de emisiones, la adecuación de las normas mexicanas y la elaboración de los programas para el mejoramiento de la calidad del aire (Proaire), entre otras.

En 1976 se inició la operación de un sistema de mediciones atmosféricas, continuas y de tiempo real cuya confiabilidad ha sido superior al 90%. Actualmente la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) se compone de 37 estaciones. Esta red de monitoreo verifica la concentración de óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas totales, monóxido de carbono y ozono. Además de los descritos anteriormente, se monitorean el bióxido de azufre, el plomo, la radiación ultravioleta y otros componentes atmosféricos

Entre 1978 y 1986 se realizaron algunas medidas que no tuvieron el impacto deseado en el abatimiento de la contaminación. Tal vez las únicas medidas que ayudaron a reducir los niveles de contaminación fueron la realización de ejes viales y la ampliación del Sistema de Transporte Colectivo Metro. Hasta 1986 se plantean 55 acciones ambientales entre las que destacaron la verificación de las emisiones de los vehículos en circulación, la disminución del azufre en el diesel y del plomo en la gasolina, la protección de las áreas forestales y el mejoramiento del transporte público de pasajeros.

En la década de los noventa surgen dos programas integrales contra la contaminación: El Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA) y el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México, 1995 – 2000 (Proaire). Ambos tiene en común la propuesta de medidas tecnológicas aplicables a cuatro grandes áreas: transporte, industria, combustibles y establecimientos de servicios; además incluyen medidas sobre la reforestación, la educación ambiental y la participación ciudadana como elemento fundamental en la recuperación ambiental de la ciudad.

1.5.1 INVENTARIO DE EMISIONES PARA FUENTES FIJAS (INDUSTRIA)

Se mencionó que el balance energético mantiene una estrecha relación con el inventario de emisiones, lo cual indica una asociación directa de dependencia entre las emisiones respecto del uso de la energía. El desarrollo de un inventario de emisiones desagregado, preciso y actualizado es una tarea compleja que demanda la integración sistemática de información en un marco de concurrencia institucional entre el gobierno local y la autoridad federal en la materia (DDF, 1996).

En 1989 se elaboró un inventario de emisiones (PICCA) para la ZMCM, según el cual las fuentes industriales y de servicios participaban con sus emisiones en un 8.4% del total y los vehículos con un 77%. En particular, las emisiones de precursores de ozono se distribuyen de la siguiente manera; 24% de los óxidos de nitrógeno correspondió a fuentes industriales y de servicios, y 75% a vehículos; 13% de los hidrocarburos a fuentes industriales y de servicios, y 53% a vehículos (DDF, op. cit).

En 1995 se elaboró otro inventario de emisiones con información disponible hasta 1994 para la ZMCM que se empleó en el Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle

de México 1995 – 2000 (Tabla 3). Cabe hacer notar que no pueden ser comparados en términos absolutos los dos inventarios por no aplicar los mismos supuestos y metodología de cálculo (CAM, 1999). En este segundo inventario el total de emisiones fue de 4'009,629 ton/año, de las cuales el 3% correspondió a la industria, 10% a los servicios, 75% al sector transporte y 12% a los suelos y vegetación (Gráfica 3).

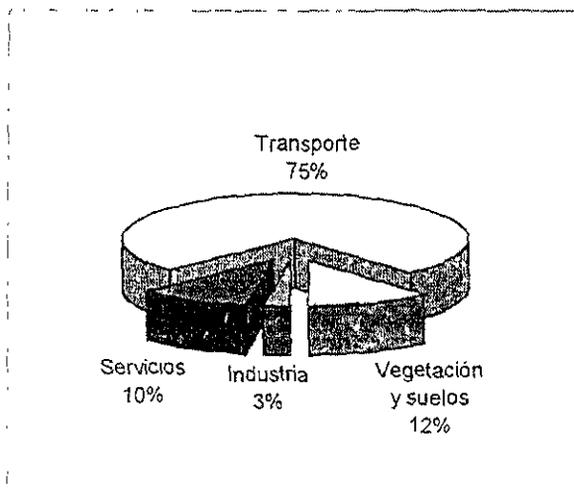
Tabla 3. Inventario de emisiones por sector 1994 (Proaire).

SECTOR	TON/AÑO						
	PST	SO2	CO	NOX	HC	TOTAL	%
Industria (1)	6358	26054	8696	34526	33099	105724	3
Servicios (2)	1077	7217	948	5339	398438	418014	10
Transportes (3)	18842	12200	2348497	91787	555319	3026645	75
Vegetación y suelos (4)	425337				38909	464246	12
Total	451614	45468	2358141	128646	1025760	4009629	100

Fuente: INE PROAIRE, México 1996

- (1) Fuente: Instituto Nacional de Ecología, Sistema Nacional de Información de Fuentes Fijas, 1994
- (2) Fuente: Departamento del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Ecología, Subdirección de Inventario de Emisiones y Atención a Contingencias, 1994
- (3) Fuente: Departamento del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Proyectos Ambientales, Dirección de Estudios y Proyectos Ambientales, 1994
- (4) Fuente: UNAM, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Reporte final de Cálculos y Mediciones de Hidrocarburos Naturales en el Valle de México 1994 y Estudio de Emisión de Partículas Generadas por Fuentes Naturales 1990

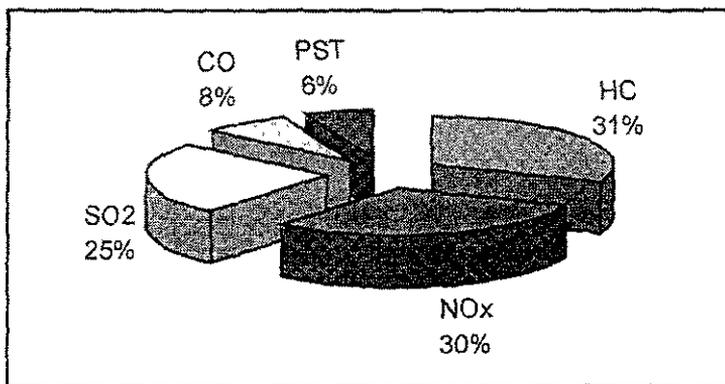
Gráfica 3. Contribución de las emisiones totales del inventario 1994 (Proaire).



Fuente: CAM, (1999)

El inventario de emisiones de 1994 incluye 4,623 empresas, que en su conjunto emiten 105,721 toneladas anuales. De las cuales el 25% son SO₂, el 30% son NO_x, el 31% son HC, el 6% son PST y el 8% es CO (Gráfica 4). El documento del Proaire menciona que del total de las industrias registradas que basta incluir a 94 empresas que abarcan el 83% de las emisiones totales de estos compuestos producidos por la industria en su conjunto y el 17 % esta concentrado por los 4175 establecimientos.

Gráfica 4. Contribución porcentual de las emisiones totales, según el tipo de contaminante para la industria en 1994 (Proaire).



Fuente: (CAM,1999)

1.5.2 INVENTARIO DE EMISIONES PARA FUENTES DE ÁREA (SERVICIOS)

En la zona metropolitana, las fuentes o procesos que generan contaminación atmosférica incluyen los denominados giros menores o de servicios, que se definen como "los lugares donde un establecimiento o comercio es dedicado a la prestación o venta de un servicio"; con base en esta definición, los giros menores se clasifican en: baños públicos, hoteles, centros deportivos, hospitales, lavanderías, tintorerías, restaurantes, panificadoras y tortillerías (CAM, 1999).

Estudios realizados por la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal señalan que en el año de 1994, existieron 13,269 establecimientos de servicios, de los cuales el 79% (10,434 establecimientos) se encontraban en el Distrito Federal y el restante 21% (2,835 establecimientos) en el Estado de México.

En su mayor parte la emisión de los contaminantes en los establecimientos de servicio tiene su origen en los procesos de combustión empleados para brindar bienestar a la población. Cabe destacar que la ZMCM es el mercado más grande del mundo en gas LP y que su consumo, de 70,000 barriles diarios, se aproxima al de la gasolina. Como resultado de la quema de los distintos combustibles, tales como gas LP, diesel, gasóleo, gas natural y petróleo diáfano, se estima que estos giros menores emiten diariamente 467,786 kilogramos de contaminantes a la atmósfera (D.D.F. 1996)

La atmósfera de la Zona Metropolitana registra una concentración relativamente elevada de hidrocarburos, en lo cual el sector de servicios tiene una responsabilidad importante. Los hidrocarburos atmosféricos provienen de las emisiones evaporativas de la gasolina, así como de emisiones vehiculares en forma de hidrocarburos sin quemar, pero existe otra fuente considerable de hidrocarburos detectada recientemente tanto por el Instituto Mexicano del Petróleo como por investigadores de la Universidad de California, la cual se atribuye a fugas de gas licuado de petróleo.

La contribución porcentual de las emisiones generadas por las fuentes de área 1994, en cada una de las categorías que constituyen el inventario, queda de la siguiente manera: el 1% corresponde a las fuentes móviles no carreteras, el 4 y 5% se retribuye a las fuentes de combustión y a las pérdidas por transporte y almacenamiento de combustibles respectivamente, el 33% a la evaporación de disolventes de fuentes de área y el 57% a las fuentes evaporativas de COV.

CAPÍTULO II

SISTEMATIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES

INTEGRACIÓN DE LOS DATOS DEL INVENTARIO DE EMISIONES EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. ARC/INFO Y ARC/VIEW

2 VALIDACIÓN DE LA BASE DE DATOS PREDATAIND94 PARA FUENTES FIJAS

La construcción del inventario de emisiones 1994 y 1996 para fuentes puntuales se basó en información proporcionada por el Instituto Nacional de Ecología (INE) a través de la cédula de operación. Dicha cédula es un cuestionario integrado por una serie de formas diseñadas para recopilar datos sobre los tipos de contaminantes emitidos a la atmósfera, así como de la ubicación y operación de los establecimientos industriales.

La información descrita anteriormente conforma la base de datos DATAIND, la cual se utilizó para la realización de este trabajo, en una versión preliminar, que de aquí en adelante se le denominará PREDATAIND94. Esta base contiene un total de 5019 registros y se agrupó, de acuerdo con el inventario de emisiones, en 15 giros (tabla 4).

Tabla 4. Giros industriales contenidos en los Inventarios de emisiones 1994 y 1996.

Giro		Giro	
1	Generadoras de energía eléctrica	9	Industria del vestido
2	Petroquímica	10	Productos de vida media
3	Industria química	11	Productos de impresión
4	Industria mineral metálica	12	Productos metálicos
5	Industria mineral no metálica	13	Productos de consumo vanos
6	Productos vegetales y animales	14	Productos de vida larga
7	Madera y derivados	15	Otros
8	Industria del consumo alimenticio		

Fuente (CAM, 1999)

A continuación se presenta la metodología para el control de calidad y validación del total de los 5019 registros y el desglose de los mismos para la base de datos PREDATAIND94.

La validación se obtuvo mediante el análisis de algunos parámetros contenidos en la base de datos PREDATAIND94 a partir de cuatro procedimientos de control. Algunos de los parámetros contenidos en esta base son:

- **Datos de la Planta**
 - Estado, país, dirección, localización geográfica
- **Datos del Proceso**
 - Código de clasificación de fuente
 - Capacidad diseñada
 - Combustibles empleados (contenido de azufre, nitrógeno, cenizas)
- **Datos de la industria**
 - Código de identificación de la industria
 - Código de clasificación de la industria (SIC)
 - Coordenadas UTM
 - Datos por Chimenea (altura, diámetro, temperatura de salida de los gases, gasto)
 - Plantas con chimeneas comunes
 - Capacidad de las calderas (por diseño)
 - Equipo de control (tipo de equipo y eficiencia de control por contaminante)
 - programa de operación (estación hr/día, días/semana, semanas/año)

De manera general se realizó una relación entre los parámetros para cada uno de los registros; es decir, se buscó que el domicilio de cada una de las empresas correspondiera con sus coordenadas geográficas y su municipio, que la industria, agrupada en giros, consumiera el tipo de combustible adecuado y que la cantidad de combustible utilizado estuviera en proporción con el volumen de las emisiones generadas. De este modo se agrupó la validación en cuatro procedimientos de control: localización, emisiones, consumo de combustibles y obreros (tabla 5).

**Tabla 5. Total de registros válidos y no válidos en la base de datos
PREDATAIND94 en ton/año.**

	NUMERO DE REGISTROS	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	TOTAL	%*
Registros válidos	4135	5726	24864	5892	30560	23714	90755	94
Registros no válidos	884	624	770	2765	1003	568	5731	6
TOTAL	5019	6350	25634	8657	31563	24282	96486	100

*Por ciento con respecto al total

A continuación se detallan los cuatro procedimientos de control que se siguieron para la validación de la base de datos PREDATAIND94.

1. **Localización:** Se utilizaron procedimientos tradicionales de control cartográfico y en algunos casos, al no contar con información confiable, se depuró la información contenida en la base de datos a través de la relación de los registros de la calle, código postal, municipio o delegación, coordenadas geográficas, razón social y clave de identificación de la industria creada por el INE. Se localizó cada una de 5019 empresas por sus coordenadas en UTM y geográficas. Para lograr la localización se recurrió al empleo de cartas topográficas de INEGI escala 1:50,000 y para la ubicación de los domicilios se emplearon datos y planos de la Guía Roji. Por este procedimiento se obtuvo un total de 150 industrias con errores múltiples en sus registros, por lo que no fue posible determinar su localización exacta.
2. **Emissiones:** Se realizaron cálculos matemáticos, para establecer una relación entre emisiones y el consumo de combustibles. Los parámetros numéricos auxiliares utilizados para las operaciones fueron los factores de emisión incluidos en el Inventario de Emisiones de 1996. Asimismo, para los contaminantes de PST, SO₂, CO, NO_x, y HC, se verificó que los registros de las emisiones totales de cada una de las industrias no rebasaran a las empresas en contingencia 1, es decir, industrias que emiten más de 50 toneladas de contaminantes al mes. Por este procedimiento se obtuvo un total de 502 empresas con errores en este rubro

3. Consumos de energéticos: Se establecieron parámetros de relación lógica indicando la cantidad de combustible utilizado por tipo de industria de acuerdo al giro al que pertenecen. Se estableció dentro de la escala de los parámetros como punto focal máximo a las Termoeléctricas y mínimo a las empresas del giro Artes Gráficas. Además se comprobó que existiera una relación entre los registros de las emisiones totales, tipo de combustible, consumo mensual y unidades del consumo. Por este procedimiento hay 163 industrias con errores en este registro; para las industrias que cumplieron con el requisito de validez se estandarizó el consumo de los combustibles a unidades de energía internacionales expresados en Kilo-Joules, (KJ) con el fin de comparar los diferentes tipos de combustibles utilizados. El proceso para realizar esta transferencia fue pasar a metros cúbicos el volumen del combustible y multiplicarlo por el poder calorífico de cada uno de los combustibles para obtener los valores energéticos.
4. Obreros: De las 5019 empresas, 69 no contaron con la información requerida para llevar a cabo el análisis comparativo en este registro. La exclusión de estas empresas no afecta el volumen de las emisiones.

En la validación de la base de datos PREDATAIND94 por los cuatro procedimientos de control se obtuvo un margen de error del 17% en los registros. No obstante, este error acumula un 5.9% del total de emisiones con respecto al publicado por las autoridades en el documento del Proaire, por lo cual este porcentaje no afecta en el análisis del trabajo.

El resumen de los datos no válidos se muestra en la tabla 6. Se puede notar que la mayor incongruencia se encuentra en el rubro de las emisiones; mientras los registros de localización y consumo de combustible que son los menos, concentran los mayores errores en cuanto al total de las emisiones generadas.

Los tipos de contaminantes que se analizan en este trabajo para las fuentes fijas son los denominados como criterio contenidos en la base de datos PREDATAIND94: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de azufre (SO₂), Partículas suspendidas totales (PST), Óxidos de Nitrógeno (NOX) e Hidrocarburos (HC).

Tabla 6. Número de industrias y total de emisiones con registros no válidos desagregados en ton/año.

	No. de Industrias	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC
Industrias sin obreros	69	66	7	46	67	33
Error en la localización	150	362	185	1052	524	451
Error en el consumo	163	196	576	1599	410	83
Error en las emisiones	502	0.2	1	68	1	1
TOTAL	884	624.24	769.8	2765.2	1002.96	568.44

2.1 VALIDACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS PARA LAS FUENTES ÁREA

La metodología que se utilizó para el levantamiento del inventario de emisiones a la atmósfera por fuentes de área se encuentra descrita en el inventario de "Precursores de Ozono y Monóxido de Carbono para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1995", preparado por la Dirección General de Ecología DDF. Sin embargo, debido a que existe la necesidad de incorporar esta información a los modelos de calidad de aire se procedió a hacer el desglose espacial de cada una de las fuentes a nivel delegacional y municipal y en términos de la malla de simulación.

Se generó una base de datos para cada subgrupo de las cinco categorías reportadas en el inventario de área descritas en la tabla 7.

La base de datos se construyó a partir de los totales de las emisiones reportados en el inventario de emisiones para las fuentes de área. Esta base contiene las 16 delegaciones del DF y 27 municipios conurbados del Estado de México que en su conjunto representan la ZMCM. Para realizar el cálculo aproximado de las emisiones se utilizó la información complementaria para cada entidad y factores de emisiones.

Algunos de los factores de emisión se tomaron del Inventario de fuentes de área precursores de ozono y CO para la ZMCM 1995 y otros se calcularon. Por ejemplo: la emisión total de cada subgrupo se dividió entre el total de fuentes de emisiones para ese mismo grupo, de este modo se obtuvo el factor de emisión que a su vez fue multiplicado por el número de fuentes contenidos en cada entidad, dando así el valor de las emisiones

para cada entidad. No obstante, la distribución de las emisiones principalmente de compuestos orgánicos volátiles también se realizó a partir de una malla que cubre la ZMCM. Esta malla contiene 14 X 16 celdas y se definió que el formato de las celdas fuera de 5 Km por lado. El origen de la malla se ubica en las coordenadas 2110 km. N y 450 km. E, en el sistema de coordenadas UTM.

Para generar la malla se tomó una serie de mapas topográficos escala 1:50000 que cubren un área superior a la Ciudad de México, cuyos trazos de los límites intermunicipales e interdelegacionales se remarcaron con el fin de facilitar el cálculo de las áreas de la división política del Estado de México y del DF involucradas dentro de cada celda de la malla, ya que la superficie de una celda contiene áreas de una varias fracciones de delegaciones o municipios.

Estos factores fueron cotejados con datos de superficie de cada delegación o municipio proporcionada por el INEGI y se encontró que las diferencias en extensión, sobre todo en el Estado de México eran del orden del 8%. Se calcularon las emisiones para el año 1994 con información del Inventario de Emisiones para Fuentes de Área y Precursores de Ozono 1995.

El proceso de validación para la base de datos no fue significativo aunque sí relevante; ya que al hacer la distribución de las emisiones hubo un margen de error de +/- 5%. El margen de error se eliminó con un factor de corrección. De este modo se obtuvieron los valores reales contenidos en el inventario de fuentes de área.

Los tipos de contaminantes que se analizan en este trabajo para las fuentes de área son los denominados como criterio representados fundamentalmente por los Hidrocarburos (HC) y en menor proporción para una subcategoría de estas fuentes son el Monóxido de Carbono (CO), Bióxido de azufre (SO₂), Partículas suspendidas totales (PST) y Oxidos de Nitrógeno (NO_x).

Tabla 7. Categorías reportadas en el inventario de emisiones para fuentes de área

EVAPORACIÓN DE DISOLVENTES POR FUENTES DE ÁREA	FUENTES DE COMBUSTIÓN.	FUENTES MÓVILES NO CARRETERAS.	PÉRDIDAS EVAPORATIVAS POR TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE.	FUENTES EVAPORATIVAS DE HIDROCARBUROS.
Lavado en seco	Combustión habitacional	Locomotoras foráneas	Distribución y almacenamiento de gasolina	Rellenos sanitarios
Limpieza y desengrase	Combustión comercial-institucional	Locomotoras de patio	Carga en aeronaves	Tiraderos a cielo abierto
Artes gráficas	Incineración de residuos hospitalarios	Aeropuerto (operaciones de aeronaves)	Almacenamiento de combustibles	Distribución de gas LP
Consumo comercial de disolventes				Uso de asfalto
Recubrimientos industriales				Panaderías
Superficies arquitectónicas				Plantas de tratamiento de agua residual
Pintura automotriz				
Pintura de tránsito				
Esterilización en hospitales				

Fuente (CAM,1999)

2.2 INTEGRACIÓN DE LOS DATOS DEL INVENTARIO DE EMISIONES EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA ARC/VIEW

Para la integración de los datos del IE al SIG se utilizó el programa ARC-VIEW v.3.1 (ESRI, 1998). Actualmente los SIG tienen una gran importancia para la solución de problemas espaciales, ya que son: "Un sistema de hardware, software que mediante procedimientos elaborados facilita la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión" (SENDRA, 1991). La cualidad de este sistema constituye, en el presente trabajo, una herramienta poderosa en el manejo de los datos para las fuentes fijas y de área, sin la cual difícilmente se habría realizado la investigación en tan corto tiempo. En contra parte la información integrada al SIG no nada más sirve para presentar la distribución de las fuentes de contaminación y sus emisiones, sino para realizar consultas rápidas a la base de datos de algún dato en específico.

Para el diseño de las bases de datos se utilizó el modelo entidad-relación en el que las delegaciones y municipios de la ZMCM conforman la entidad y los datos de la base industrial y de área corresponden a los atributos de la entidad. La liga entre la entidad y los datos se representa mediante un identificador único que generalmente se expresa en número y formato Dbase (DBF) o texto (TXT).

2.2.1 BASE DE DATOS DE ENTRADA PARA EL SIG PARA FUENTES FIJAS

El análisis espacial del sector industrial se realizó a partir de los 4,135 registros válidos, sin embargo, en algunos casos se utilizaron los totales de los registros no válidos para poder definir las emisiones totales con respecto a las que se presentan en el documento del Proaire.

Con base en los 4,135 registros se procedió a generar otra base de datos para integrarla al sistema de información ARC/VIEW. Para diseñar la nueva base se determinó que la unidad de información mínima fueran la Delegación y Municipio de la ZMCM. De modo que los datos contenidos en la base de datos fueron ajustados y transformados al nivel delegacional y municipal.

A cada entidad de la ZMCM se le asignó un identificador único el cual contiene los datos de número de industrias, número de obreros, emisiones generadas de PST, NO_x, CO, HC y SO₂ y consumo de energía. La tabla 8 es la base de datos que alimenta al sistema de información geográfica ARC/VIEW.

Los mapas se obtuvieron a través de la sobreposición de una serie de capas o niveles temáticos que relacionan múltiples variables. Los mapas generados en graduación de color están ajustados en su clasificación en 3 cuartiles con respecto a cada una de las variables utilizadas. Mientras los que utilizan cartodiagramas fueron normalizados al área o al consumo de energía. En la tabla 8 se presenta el archivo de entrada al sistema para las fuentes fijas.

2.2.2 BASE DE DATOS DE ENTRADA AL SIG PARA FUENTES DE ÁREA

El análisis espacial de las fuentes de área se realizó a partir del inventario construido de estas fuentes a nivel delegación y municipio. Se diseñó otra base de datos que se emplea como entrada para el SIG, pero a nivel malla de simulación. Los mapas generados a nivel delegación y municipio están ajustados en su clasificación en 3 cuartiles con respecto a cada una de las variables utilizadas y sus datos representan valores anuales. El software para el análisis espacial en este tipo de fuentes fue el mismo que se utilizó para las fuentes fijas. En la tabla 9 se presenta el archivo de entrada al sistema para fuentes de área.

2.3.3 BASE DE DATOS ADICIONALES

Con el fin de complementar la información en las dos partes del inventario de emisiones a la atmósfera estudiadas, se construyeron los archivos de población y densidad de población; además la del número de servicios en la ZMCM para integrarlos al sistema de información geográfica (Tabla 10). Los mapas generados siguen la misma metodología que los generados en las fuentes fijas y de área. La capa de las vías de comunicación más importantes en la ZMCM, utilizada para explicar la localización industrial y de servicios, fue proporcionada por el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).

Tabla 8. Base de datos de entrada para el sistema de información ARC/VIEW (Industria).

Entidad	No. de Industrias	PST*	SO ₂ *	CO*	NO _x *	HC*
1	410	183,84	479,76	236,64	439,32	2387,16
2	91	42	85,08	10,08	30,96	35,88
3	8	7,68	105,12	1,44	22,08	3,48
4	287	283,08	391,08	151,2	199,32	1195,2
5	235	252,6	761,16	34,8	291	2389,92
6	424	154,8	873,36	245,76	236,76	2142,84
7	1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,24
9	104	52,32	199,08	26,28	69,36	96,84
10	45	22,8	19,32	6,24	12,96	142,44
11	42	117,24	875,64	18,6	342,24	2359,32
12	20	20,52	169,92	8,64	64,68	14,04
13	142	23,4	86,88	27,6	41,04	729,6
14	179	59,16	158,28	43,44	78,24	460,2
15	225	83,64	111,12	111,48	905,04	1467,36
16	140	665,64	347,04	48,96	149,76	725,52
17	8	107,28	106,2	838,2	11514,36	183,96
18	2	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
19	109	159,48	156,96	105,48	108,72	326,16
20	8	11,28	0,6	0,48	0,48	0,72
22	14	21,96	19,2	119,04	11,52	2,4
23	12	24,36	19,44	71,04	3,24	2,4
24	4	3,36	0,84	0,6	5,76	0,48
25	308	487,44	2599,8	783,84	1864,68	1813,08
26	5	8,16	12,72	0,96	3,6	9,24
27	23	234,72	399,72	101,04	651,48	8,64
29	1	0,24	2,04	5,52	1,92	5,28
30	363	288,36	959,16	423,84	474,72	1396,56
31	51	13,32	9,12	8,52	12,6	23,4
32	1	0,12	0,12	0,12	0,24	9,6
33	3	3,84	30,84	0,72	11,76	0,24
34	55	79,2	496,08	242,04	145,56	62,88
35	9	2,64	11,16	3,96	9,84	201,6
37	6	14,64	126,48	201,36	71,16	8,28
38	8	15,72	122,16	3,6	48,12	1,56
39	515	1706,04	13782	930,36	5769,96	4349,52
41	108	447,96	632,88	517,08	6585,72	548,28
42	2	29,16	336,12	7,92	101,04	1,08
43	167	97,56	377,16	554,64	279,84	607,8
Total General	4135	5726,04	24864,12	5892	30559,56	23713,56

*Las emisiones se expresan en ton/año

Tabla 9. Base de datos de entrada para el sistema de información ARC/VIEW (servicios).

ID	Fuentes Evaporativas		No. de Servicios	Distribución		Combustión										TOTAL GLP
	94	96		Gasolina	Gasolina	Residencial					Servicios					
						94					94					
						94	96	HC	NO _x	SO _x	CO	PM	HC	NO _x	SO _x	
1	4451	3898	554	1949	1949	174	10	51	1	7	4	243	250	9	30	17449
2	6697	5439	555	847	847	234	14	69	1	9	4	249	255	9	31	23345
3	1470	1021	91	158	158	44	3	13	0	2	1	39	40	2	6	4364
4	11894	10743	1219	1683	1684	463	28	137	3	18	8	543	557	19	68	46385
5	3251	2937	541	699	700	164	10	49	1	6	4	238	244	8	30	16353
6	13150	8879	1266	1983	1983	544	33	162	3	21	8	564	578	20	70	54496
7	1487	1228	173	260	260	72	4	21	0	3	1	74	76	3	9	7114
8	5122	5260	75	273	273	24	5	22	0	3	0	28	29	1	4	2322
9	6333	5469	607	1210	1210	235	14	70	1	9	4	266	273	9	33	23443
10	2075	1762	191	273	273	76	5	22	0	3	1	81	83	3	10	7606
11	4508	4118	284	647	647	177	11	53	1	7	2	120	124	4	15	17682
12	1989	1845	254	289	289	99	5	24	0	3	2	109	111	4	14	9872
13	3549	3245	660	539	539	149	9	44	1	6	4	289	297	10	36	14945
14	5306	4835	1427	788	789	218	13	64	1	8	9	630	647	22	79	21747
15	3726	3416	657	539	539	149	9	44	1	6	4	289	296	10	36	14843
16	5275	4428	791	689	689	190	11	56	1	7	5	346	355	12	43	18956
17	430	362		0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1578
18	211	177		0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	774

ID	Fuentes		No de Servicios	Distribución		Combustión										TOTAL GLP
	Evaporativas			Gasolina	Gasolina	Residencial					Servicios					
	94	96				94					94					
19	3223	2687	184	418	213	115	7	34	1	4	1	74	76	3	9	11493
20	1555	1297	110	20	10	56	3	16	0	2	0	40	41	2	5	5546
21						18										1766
22	2847	2406	39	60	31	39	6	31	1	4	0	6	6	0	1	4139
23	578	488	33	75	38	21	1	6	0	1	0	3	3	0	0	2090
24	2444	2066	32	0	0	89	5	26	1	3	0	3	3	0	0	8902
25	12183	10310	867	1617	825	445	27	132	3	17	4	379	389	13	47	45024
26	1349	1125	115	175	89	48	3	14	1	2	0	41	44	2	5	4878
27	1385	1171	43	182	93	43	3	15	0	2	0	6	6	0	1	4306
29	263	218	29	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	954
30	8201	6639	690	1039	530	288	17	85	2	11	3	296	304	10	37	28884
31	12668	10709	916	1669	851	459	28	136	3	18	4	398	408	14	50	45806
32	131	95	32	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	492
33	1856	1542	46	244	125	67	4	20	0	3	0	6	5	0	1	6781
34	1318	1117	64	179	91	48	3	15	0	2	0	12	12	0	1	4836
35	1243	1051	41	164	83	45	3	13	0	2	0	3	3	0	0	4560
36	422	351		0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1530
37	369	306		0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1646
38	1414	1174		0	0	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5185
39	7149	5963	375	884	451	257	15	76	2	10	2	151	155	5	19	25963
41	2520	2101	140	327	167	90	6	27	0	4	0	45	46	2	6	9054
42	719	597	42	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2604
43	3336	2784	220	433	221	119	7	35	1	5	1	79	81	3	10	11982

Tabla 10. Número de servicios en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1995, (DF).

Delegaciones	Restaurantes	Baños públicos	Centros deportivos	Hospitales	Hoteles	Panaderías	Lavanderías o tintorerías	Molinos o tortillerías	Total
ALVARO	18	4	5	8	1	29	104	429	598
AZCAPOTZALCO	9	15	1	8	10	44	102	364	553
BENITO JUAREZ	48	21	23	8	20	88	212	227	647
COYOACÁN	34	1	18	5	2	40	127	326	553
CUAJIMALPA	1	0	1	2	0	5	16	63	88
CUAUHTEMOC	97	54	3	22	346	105	276	510	1413
G A MADERO	13	42	4	15	22	111	289	719	1215
IZTACALCO	25	19	1	3	2	46	113	327	536
IZTAPALAPA	61	17	1	10	4	118	215	834	1260
MAGDALENA	8	3	1	2	0	6	28	118	166
MIGUEL HIDALGO	40	28	11	8	26	65	139	325	642
MILPA ALTA	1	0	0	1	0	6	5	54	67
TLAHUAC	6	0	0	1	0	14	21	139	181
TLALPAN	21	3	4	7	1	27	63	147	273
VENUSTIANO	32	36	0	6	22	84	148	447	775
XOCHIMILCO	11	2	2	1	0	14	30	182	242
TOTAL	425	245	75	107	456	802	1888	5211	9209

Tabla 10. Continuación (Estado de México).

Municipios	Restaurantes	Baños públicos	Centros deportivos	Hospitales	Hoteles	Panaderías	Lavanderías o tintorerías	Molinos o tortillerías	Total
ACOLMAN									
ATENCO									
ATIZAPÁN DE ZARAGOZA	5	3	1	2	0	10	20	124	165
COACALCO	3	0	1	0	2	6	28	50	90
CHALCO	3	0	0	4	0	6	4	0	17
CHICOLOAPAN	1	0	0	1	3	3	2	0	10
CHIMALHUACAN	3	0	0	2	0	1	2	0	8
ECATEPEC	34	1	2	3	9	60	119	614	842
HUIXQUILUCAN	6	0	1	0	0	2	7	73	89
XITAPALUCA	1	0	0	2	1	9	3	0	16
JALTENCO									
MELCHOR OCAMPO									
NAUCALPAN	22	13	4	7	3	77	95	439	660
NEZAHUALCOYOTL	52	29	3	4	6	86	171	534	885
NEXTLALPAN									
NICOLAS ROMERO	4	0	0	0	0	4	5	0	13
LA PAZ	5	0	0	4	2	6	13	0	30
TEMACAC	1	0	0	0	0	4	1	0	6
TEOLOYUCAN									
TEPOTZOTLAN									
TEXCOCO									0
TLALNEPANTLA	22	7	3	7	7	72	105	113	336
TULTITLAN	4	0	1	1	1	10	22	60	99
ZUMPANGO									
CUAUTITLAN IZCALLI	4	0	0	2	0	10	27	134	177
TOTAL	170	53	16	39	34	366	624	2141	3443

CAPÍTULO III

ANÁLISIS REGIONAL DE LAS FUENTES Y TIPOS DE CONTAMINANTES EMITIDOS A LA ATMÓSFERA.

3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BASE DATAIND94 Y EL IE94 (PROAIRE)

En 1994, en la ZMCM, el Instituto Nacional de Ecología (INE) como autoridad ambiental registró 4,623 industrias de jurisdicción federal que conformaron la base de datos DATAIND. Con la información contenida en esta base fue compilado el inventario de emisiones para fuentes fijas, reportado en el Programa para mejorar la calidad del aire 1995-2000 (Proaire) (Tabla 11).

Tabla 11. Inventario de emisiones para fuentes fijas en ton/año 1994 (Proaire).

	GIRO	No. de Industrias	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC
1	Generadoras de energía eléctrica	4	163	19	1291	17855	97
2	Petroquímica	20	7	85	5	28	158
3	Industria química	984	974	3443	2601	2477	7198
4	Industria mineral metálica	227	550	622	1458	553	461
5	Industria mineral no metálica	240	1675	11711	323	4934	3167
6	Productos vegetales y animales	55	111	842	40	260	239
7	Madera y derivados	227	384	3912	463	1822	1442
8	Industria del consumo alimenticio	324	799	2111	406	1069	397
9	Industria del vestido	432	460	2405	734	1091	605
10	Productos de vida media	291	99	38	101	70	599
11	Productos de impresión	406	776	19	15	14	5015
12	Productos metálicos	769	197	559	653	468	1548
13	Productos de consumo varios	225	67	109	74	678	304
14	Productos de vida larga	282	93	172	524	196	2959
15	Otros	137	3	5	8	4	121
	Total general	4623	6358	26052	8696	31519	24310

Fuente: DDF-SEMARNAP-GEM-SS Programa para mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (Proaire) 1995-2000. México, D.F. 1996

El análisis de los datos se realizó a partir de la base PREDATAIND94. Ésta contiene un total de 4135 industrias de jurisdicción federal que se encuentran agrupadas en 15 giros de acuerdo con la clasificación establecida por el INE (Tabla 12)

Tabla 12. Base de datos PREDATAIND94, según giro, en ton/año.

	GIRO	No. de Industrias	No de Obreros	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	KJ*
1	Generadoras de energía eléctrica	4	784	163	19	1291	17855	97	51872
2	Petroquímica	34	1230	7	9	9	28	163	427
3	Industria química	837	60734	782	3208	630	1935	6943	10805
4	Industria mineral metálica	201	14767	496	528	934	85	347	4537
5	Industria mineral no metálica	192	12380	1731	11669	249	4917	3171	7580
6	Productos vegetales y animales	53	2269	104	846	65	186	240	553
7	Madera y derivados	217	18347	571	3601	443	2304	1441	10053
8	Industria del consumo alimenticio	323	42213	861	2016	433	1461	365	13510
9	Industria del vestido	411	36958	419	2271	702	1012	408	1148
10	Productos de vida media	159	11807	98	33	15	30	342	124
11	Productos de impresión	348	14662	41	19	15	11	4505	0.8
12	Productos metálicos	708	41360	236	333	466	387	1641	2361
13	Productos de consumo varios	286	21325	69	112	79	140	383	550
14	Productos de vida larga	287	42237	65	163	477	150	3252	1928
15	Otros	75	4265	83	36	83	57	416	77
	Total general	4135	325338	5726	24864	5892	30560	23714	105525

* Consumo anual de Energía (equivalente en Kilojoules)

En la tabla 13 se muestra la diferencia porcentual entre la base de datos PREDATAIND94 y la que conforma el Proaire. En esta se puede apreciar que las diferencias más grandes se encuentran en el número y cantidad de emisiones generadas por el giro de la Industria Química, Petroquímica y Otros. El giro que no experimentó cambios significativos fue el de Generaciones de Energía Eléctrica.

3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BASE DATAIND94 POR ENTIDAD FEDERATIVA

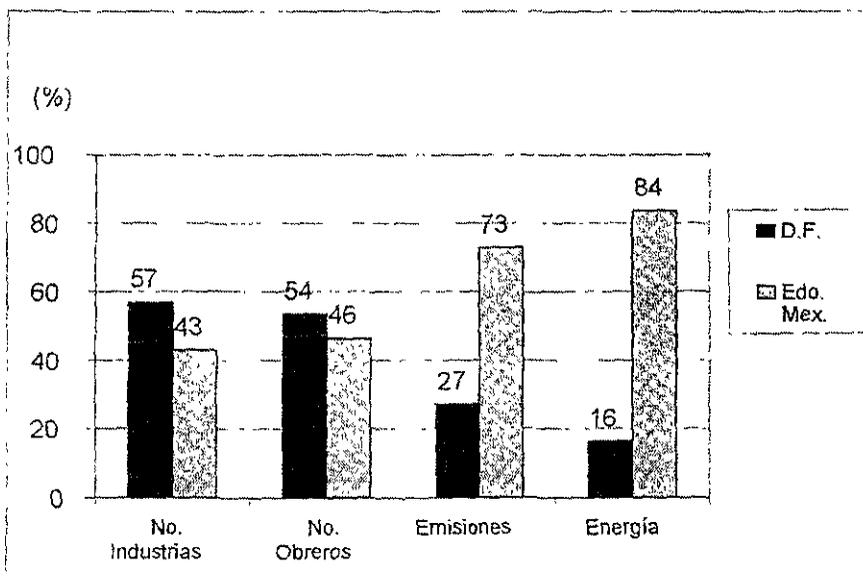
El análisis comparativo de la base de datos, PREDATAIND94, por Entidad Federativa arroja los siguientes resultados: De las 4135 empresas contenidas en esta base el 57% se localiza en el D.F. y el 43% en el Estado de México. Las dos entidades generan 90,755 toneladas al año de contaminantes que junto con los 884 registros no válidos suman un total de 96,486 toneladas anuales.

Las industrias localizadas en el D.F. y en el Estado de México generan el 27% y el 73% de las emisiones totales respectivamente. Asimismo, este último consume el 84% de la energía mientras que el 16% restante se consume en el D.F. En cuanto a la planta de trabajadores, el 57% de ubica en el D.F. y el 43% en el Estado de México (Gráfica 5).

Tabla 13. Diferencia porcentual entre PREDATAIND94 y el Proaire.

	GIRO	No. de industrias	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC
1	Generadoras de energía eléctrica	0.00	0.17	-2.32	-0.01	0.00	-0.33
2	Petroquímica	-70.00	2.29	89.41	-75.20	0.57	-3.22
3	Industria química	14.94	19.70	6.83	75.78	21.89	3.55
4	Industria mineral metálica	11.45	9.76	15.13	35.93	84.55	24.69
5	Industria mineral no metálica	20.00	-3.35	0.36	22.87	0.34	-0.13
6	Productos vegetales y animales	3.64	6.38	-0.50	-63.20	28.32	-0.42
7	Madera y derivados	4.41	-48.59	7.95	4.31	-26.48	0.10
8	Industria del consumo alimenticio	0.31	-7.70	4.49	-6.70	-36.71	7.99
9	Industria del vestido	4.86	8.90	5.58	4.34	7.24	32.54
10	Productos de vida media	45.36	0.73	13.47	84.91	57.66	42.96
11	Productos de impresión	14.29	94.66	0.84	0.00	23.71	10.16
12	Productos metálicos	7.93	-19.88	40.41	28.62	17.31	-5.98
13	Productos de consumo vanos	-27.11	-3.52	-2.39	-6.54	79.33	-25.96
14	Productos de vida larga	-1.77	30.32	5.19	8.95	23.41	-9.90
15	Otros	45.26	-2660.00	-629.60	-936.50	-1334.00	-243.54
	Total general	10.56	9.94	4.56	32.24	3.04	2.45

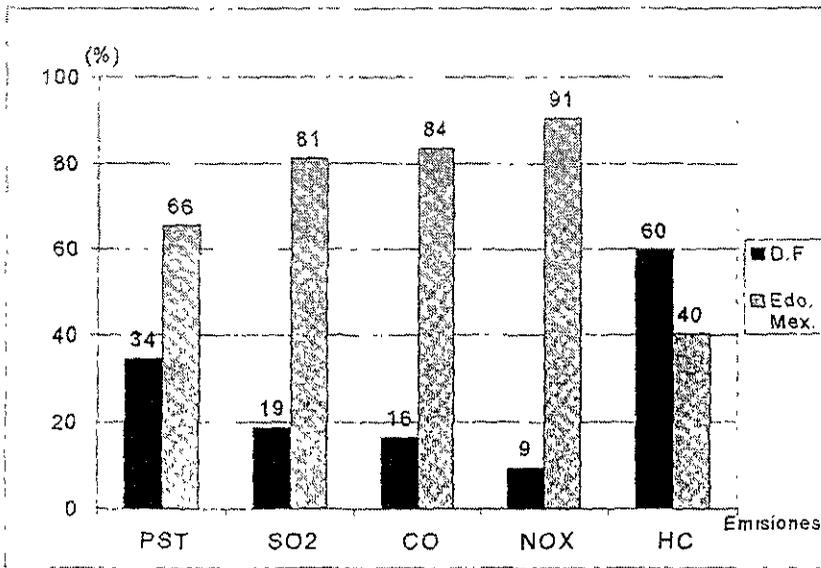
Gráfica 5. Base de datos PREDATAIND94 por entidad federativa.



De este modo se observa que el DF concentra el mayor número de industrias y de obreros; sin embargo genera menos de la mitad de las emisiones totales y consume muy poca cantidad de energía. Para el Estado de México es todo lo contrario. Es notable que a mayor consumo de energía, mayor producción de las emisiones contaminantes.

Al desagregar el total de las emisiones que genera la industria en la ZMCM se aprecia que el Estado de México se distingue por contribuir con las mayores emisiones de los contaminantes de PST, SO₂, CO, y NO_x, mientras que en el D.F. las emisiones por HC son superiores que las del Estado de México (Gráfica 6).

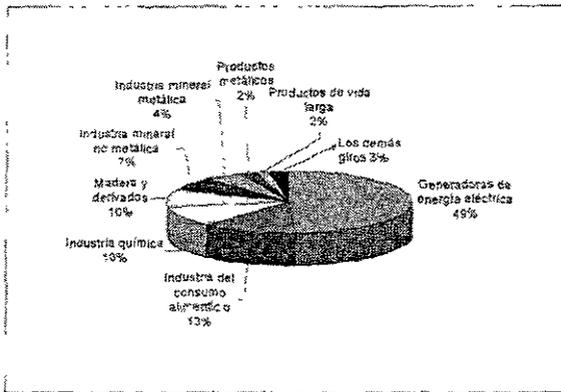
Gráfica 6. Emisiones generadas por entidad federativa PREDATAIND94.



3.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BASE DATOS PREDATAIND94 SEGÚN SU GIRO INDUSTRIAL

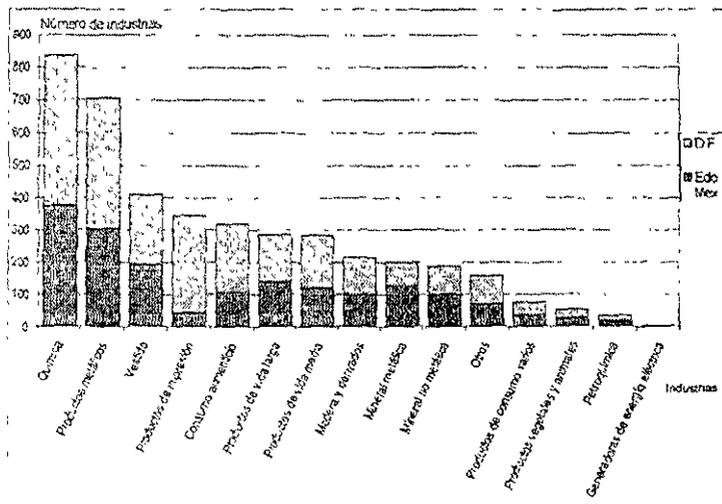
En la gráfica 7 se representa la contribución por giro en por ciento del consumo de energía. En ésta se puede observar que el grupo de generación de energía eléctrica es el que consume el 49% del total de la energía y que junto con el de la industria del consumo alimenticio, la industria química y la de madera y derivados suman un total de más del 80%.

Gráfica 7. Consumo de energía del sector industrial, según su giro.



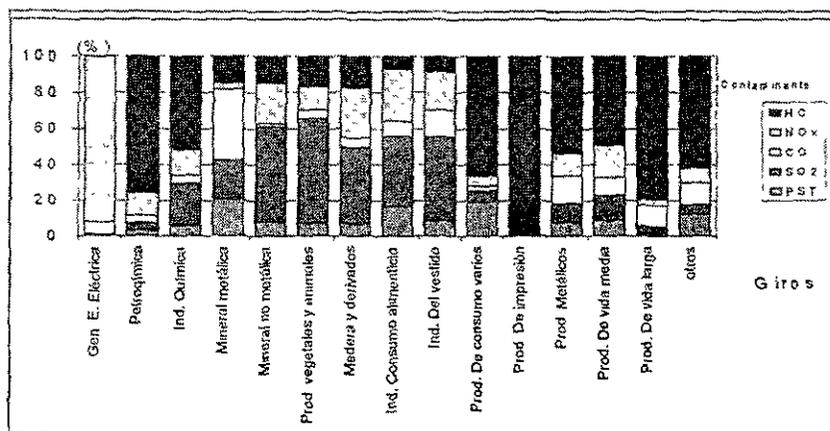
La relación en cuanto a la cantidad de industrias por los giros anteriores se muestra en la (Gráfica 8). Se observa, en esta gráfica, que la industria química y la de productos metálicos concentra el mayor número de industrias. Por el contrario las generadoras de energía eléctrica representan el menor número. No obstante, la mayoría de las empresas de todos los giros se localizan en el DF, excepto las de energía que se encuentran en el Estado de México.

Gráfica 8. Número de industrias por giro del sector industria, 1994.



En la gráfica 9 se aprecia que en relación con los NO_x , la industria Generadora de Energía es la que contribuye más con este contaminante. El mayor aporte de los HC está representado por el grupo de productos de impresión. El CO en todos los giros, excepto en el de la industria mineral metálica, es relativamente bajo, al igual que en las emisiones de PST. El contaminante de SO_2 está concentrado en la industria mineral metálica, la del consumo alimenticio, la de madera y derivados, la de productos vegetales y animales y la del vestido.

Gráfica 9. Por ciento de las emisiones industriales con respecto al total, por giro.



3.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA BASE DATOS PREDATAIND94 SEGÚN LA MAGNITUD DE LAS EMISIONES.

La base de datos contiene 133 industrias que son de gran magnitud, es decir, son empresas que generan más de 50 toneladas de contaminantes al mes. Estas empresas representan el 3 % del total y producen el 80% de las emisiones generadas en la ZMCM. Por el contrario 4,002 empresas abarcan el 97% del total y generan el 20% de las emisiones restantes. Cabe destacar que el 3% de las industrias generan más del 50% en los contaminantes de PST, SO_2 , CO, NO_x y HC y consumen, además, la mayor cantidad de energía (Tabla 14).

La comparación de los resultados de esta base de datos con el inventario de emisión de 1994 contenido en el documento del Proaire 1995-2000 y el inventario de emisiones a la

atmósfera en la ZMCM 1996 publicado en Agosto de 1999 permite apreciar "que basta con incluir a las 94 empresas más contaminantes para abarcar el 83% de las emisiones totales de estos compuestos producidos por la industria en su conjunto" (DDF, 1996).

Tabla. 14 Número de industrias según la magnitud de las emisiones en la base de datos PREDATAIND94 (%).

Tipo de Industria	Número. de Industrias	%	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	Emisiones	KJ*
Gran Magnitud	133	3	60	82	49	91	78	80	77
Mediana Y Micro Industria	4002	97	40	18	51	9	22	20	23
Total	4135	100	100	100	100	100	100	100	100

*El consumo de energía esta expresado en kilojoules

En el inventario de Emisiones 1996 se señala "que basta incluir a las 122 empresas más contaminantes para abarcar cerca del 65% de las emisiones totales de NO_x e HC y PST producidos por la industria en su conjunto". Con base en ello, cabe aclarar que los inventarios no son completamente comparables debido a que en ambos inventarios publicados, se contó con información de diferente grado, detalle, desagregación y se aplicaron metodologías un tanto diferentes (GDF1999).

La comparación entre los datos de la base PREDATAIND94 y los inventarios muestra que existe un cierto grado de correlación entre las emisiones totales. Sin embargo, el número de industrias contenidas en la base de datos y las registradas en los inventarios es considerablemente diferente. En cuanto a la evolución temporal de las emisiones se advierte un descenso en el volumen total generado entre la base de datos el inventario de 1994 y 1996 (Tabla 15).

Tabla 15. Base de datos PREDATAIND94 e inventarios del sector industria en ton/año.

Inventarios	No. de Industrias	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC	Total
PREDATAIND94	4135	5726	24864	5892	30560	23714	90755
IE94*	4623	6358	26052	8696	31519	24310	96935
IE96**	5255	6693	15632	9503	28667	16280	76775

*Inventario contenido en el documento del Proaire.

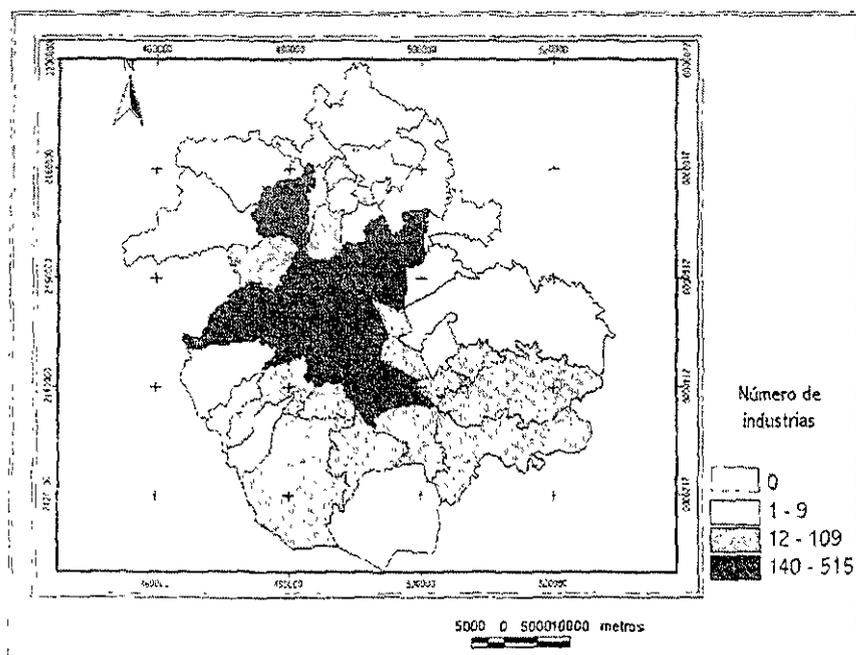
**CAM, 1999.

3.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FUENTES FIJAS

Debido a que la mayor parte de la contaminación atmosférica es el resultado del consumo y combustión de los energéticos fósiles, es de vital importancia localizar cuáles son las delegaciones y municipios en las que se concentra el mayor número de industrias y se genera la mayor cantidad de emisiones a la atmósfera con el fin de establecer la región que más contaminantes genera.

El mapa 3 fue creado a partir de los 4,135 registros contenidos en la base de datos PREDATAIND94 y en él se representa la distribución espacial de la industria en la ZMCM.

Mapa 3. Distribución de la industria en la ZMCM, 1994.



En el mapa de la distribución de la industria se observa que la mayor concentración industrial se encuentra en la parte centro y norte de la ZMCM la cual agrupa en cada una de las delegaciones y municipios entre 140 y 515 empresas. Una segunda zona con un nivel medio de entre 12 y 109 industrias, se localizan en las porciones sur y sureste y en

La variación en el número de industrias instaladas en la ZMCM a lo largo del tiempo, está determinado por una serie de factores. Los más determinantes son: la económica de libre mercado y la estructura política, en materia ambiental, forman parte de estos factores y están representadas por dos modelos.

El modelo económico repercute en la ubicación de una empresa de la siguiente manera: "Según Weber la localización de una industria depende de tres factores decisivos: Los costos de transporte, los costos de mano de obra, y las fuerzas de aglomeración o desaglomeración; para este autor el factor económico es determinante e indica que sólo cuando el ahorro de mano de obra o el ahorro derivado de las economías de aglomeración, sea superior a los costos de transporte adicionales por esa desviación, podrá existir una localización en un punto distinto al que minimiza los costos de transporte". (Smith, 1991).

En otra teoría locacional para Losch el objetivo no es determinar la localización de una empresa en forma aislada sino comprobar cómo se ordena toda la actividad económica en el espacio. A partir de este principio supone un espacio inicialmente homogéneo, unos agentes optimizadores con conocimiento perfecto y la existencia de economías de escala, determina unas áreas de tipo mercado hexagonal, que suponen finalmente la existencia de un paisaje diferenciado por un proceso de concentración de la producción. Finalmente Christaller indica que los núcleos de población no aparecen de forma desordenada sobre el espacio sino que su distribución esta más o menos regulada por las economías de escala y aglomeración. En ausencia de ambas no se encontrarían incentivos para concentrar la producción y esta sería dispersa; pero cuando las economías de escala sobrepasan a los costos de transporte originados por la distribución de la producción y que son repercutidos sobre el consumidor, esta concentración se produce y se extiende en forma de mercado provocando la aparición de lugares centrales. La aparición de estos supone que es posible efectuar una ordenación de centros según su tamaño y las funciones en las que están especializados, lo que se traduce en una jerarquía urbana, particularmente adecuada en actividades de servicios, fundamentalmente vinculadas en las del sector público. No obstante existen otra serie de factores que inciden sobre la localización como son: la percepción subjetiva que tenga el empresario y el espacio adecuado para instalarse.

En el modelo político ambiental, característico de los grandes núcleos urbanos, como es el caso de México, particularmente en la ZMCM los niveles de contaminación deterioran sustancialmente el medio ambiente; el crecimiento demográfico, las concentraciones industriales, el incremento en el parque vehicular, el elevado consumo de los combustibles y los patrones inadecuados de movilidad urbana han traído consigo el incremento en este problema.

Por lo anterior, en México, se creó una serie de instituciones y programas para combatir la contaminación. En diciembre de 1994 nació la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP); y en el Instituto Nacional de Ecología se formó la Dirección General de Gestión e Información Ambiental (DGGIA).

Con la finalidad de dar cumplimiento al problema de la contaminación se habilitaron acciones como: el monitoreo atmosférico, los inventarios de emisiones, la adecuación de las normas oficiales mexicanas y la elaboración de los planes y programas para el mejoramiento de la calidad del aire (Proaire). Todas estas acciones tienen una repercusión directa sobre la configuración de los establecimientos industriales, por ejemplo, la SEMARNAP en coordinación con otras dependencias del gobierno federal es la responsable de implementar los programas para disminuir las emisiones de las industrias de jurisdicción federal; el cierre de la refinería 18 marzo ubicada en Azcapotzalco es parte de esta acción, que en su época fue ejecutada por la SEDUE.

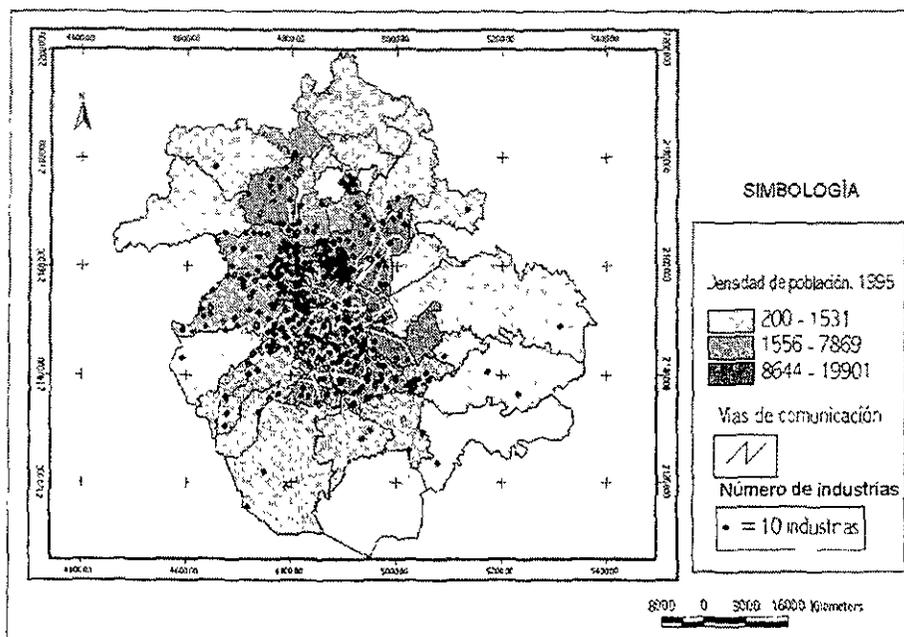
La relación que existe entre los dos modelos determina la distribución de las industrias, ya que la cantidad de personas que viven en la ZMCM funciona como un polo de atracción económico en el incremento de las industrias, pero las políticas ambientales influyen para que las grandes empresas se instalen en la periferia de la ciudad.

En la Ciudad de México se tuvo una acelerada industriaización a partir de los años cuarenta. En una primera etapa (1940-1970), las industrias se asentaron principalmente en el Distrito Federal en su zona norte y una minoría se encontraba en los municipios aledaños, mientras que en la segunda etapa (1970-1994), el número de industrias en los municipios conurbados de la ZMCM creció en forma elevada, por el contrario el número

de industrias en el Distrito Federal de 1970 a 1989, decrece, para ascender a partir de 1990. (Scheingart, 1991; INEGI, 1994).

En el mapa 4 se presenta una distribución puntual de cada una de las 4135 industrias por municipio y se puede ver cómo siguen un patrón de concentración en función de las vías de comunicación. Pero según las teorías económicas, más aceptadas, sobre localización industrial no se incluye el factor espacial por que altera las pautas de actuación de las empresas.

Mapa 4. Distribución espacial de la industria en la ZMCM, 1994.



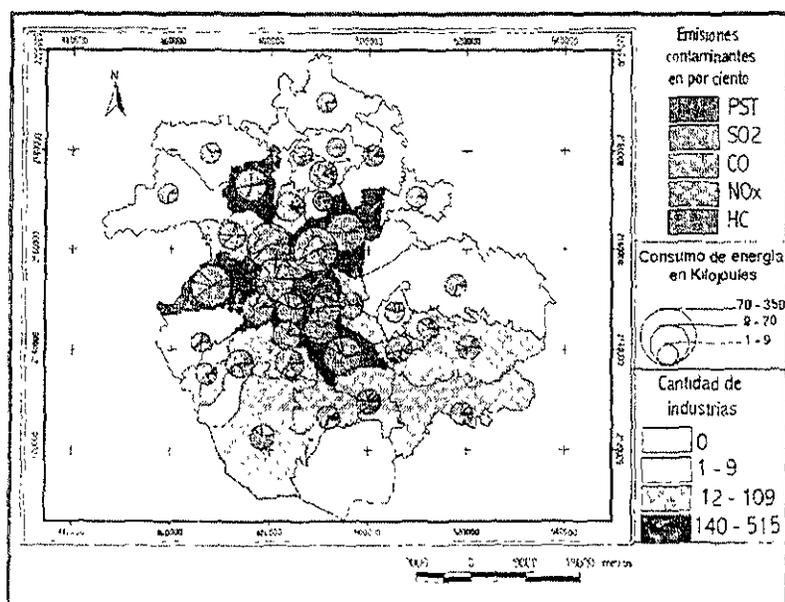
3.4.2 LOCALIZACIÓN DE LAS EMISIONES POR DELEGACIÓN, MUNICIPIO Y MALLA DE SIMULACIÓN

En el mapa 5 se representa la relación entre el consumo de energía, producción de emisiones generada y número de industrias en la ZMCM. En este mapa se distinguen dos niveles o capas de información. En el primer nivel se encuentra, expresado en una graduación de color, el número de industrias, y en el segundo nivel una serie de cartodiagramas circulares que indican en por ciento la cantidad y tipo de contaminantes

generados en toneladas año. El diámetro del círculo indica el consumo de energía en kilojoule.

De este modo se observa que las industrias asentadas en los municipios de Tlalnepantla, Naucalpan, Ecatepec y Cuautitlan Izcalli en el Estado de México consumen el mayor volumen de energía. En este sentido destacan las delegaciones Iztapalapa, Azcapotzalco, Iztacaico, Venustiano Carranza, Cuauhtémoc, Benito Juárez y Gustavo A. Madero en el DF. En las delegaciones y municipios mencionados se concentra el mayor número de industrias. En cuanto a las emisiones se aprecia que los HC son el principal compuesto contaminante, seguido por el SO₂ en el Distrito Federal. En cambio en el Estado de México los principales contaminantes que se generan son el SO₂ y los NO_x. No obstante, destacan los municipios de Acolman y Tultitlán donde casi la totalidad de los contaminantes generados son NO_x, mientras que en Nextlalpan de Juárez y Tecamac dominan los HC. Como conclusión se observa que existe una relación entre las zonas de concentración industrial y el consumo de energía.

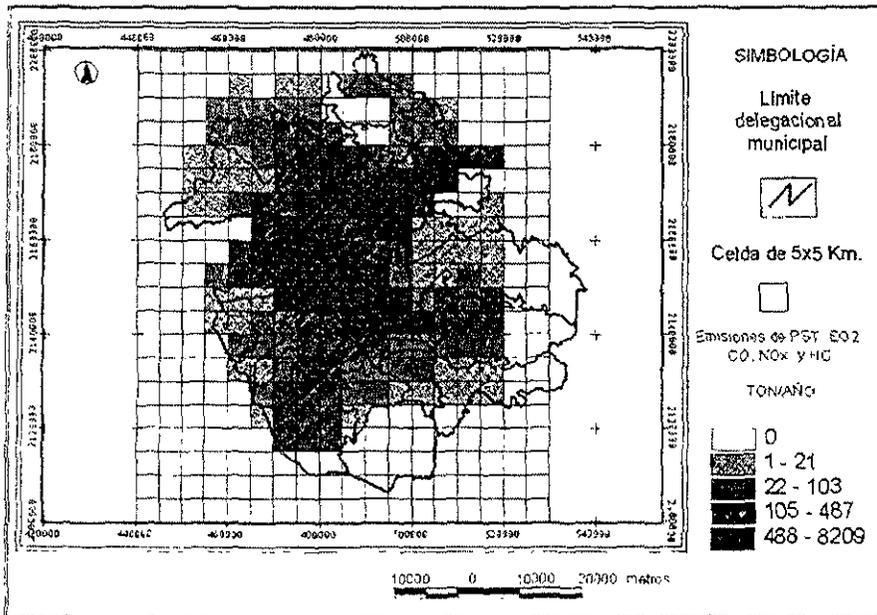
Mapa 5. Inventario de emisiones del sector industria. 1994



En el mapa 6 se presenta una distribución de las emisiones totales, por malla de simulación, generadas por el sector industria. En el mapa se puede observar que la intensidad de la industria en la producción de los contaminantes es parcialmente homogénea. Sin embargo, se puede observar que la zona que concentra las mayores emisiones de PST, SO₂, CO, NO_x y HC se encuentra en una franja, desde la parte oriente en Nezahualcoyotl que pasa por las delegaciones Iztapalapa, Iztacalco, Venustiano Carranza, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Iztapalapa, con rumbo hacia el norte por los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla, Atizapan de Zaragoza, Tlaxitlan, Coacalco, Ecatepec y Tecamac.

La superficie que abarcan estos municipios y delegaciones, en la malla de simulación, es de aproximadamente 1600 km² que representan el 29 % de los 5600 km² que cubre toda la malla y en ella se generan el 90% de las emisiones totales generadas por la industria.

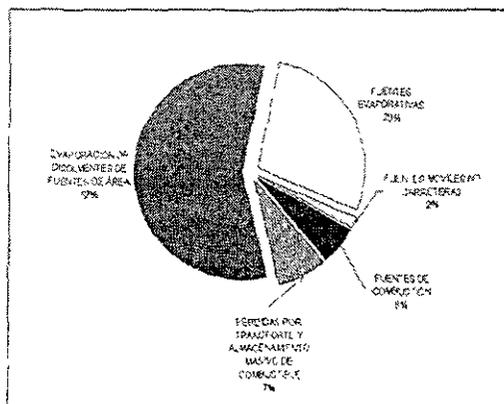
Mapa 6. Distribución de las emisiones totales de la industria por malla en 1994.



3.5 ANÁLISIS DE LOS DATOS DE FUENTES DE ÁREA

La construcción del inventario de emisiones por medio de la malla de simulación arroja los siguientes resultados: En la gráfica 11 se presenta la contribución porcentual de las emisiones generadas por las Fuentes de área. Destaca la categoría de evaporación de disolventes y las fuentes evaporativas por contribuir con las mayores emisiones de hidrocarburos.

Gráfica 11. Contribución porcentual de emisiones generadas por las fuentes de área 1994.



3.5.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS INVENTARIOS, 1994, 1996 Y EL CONSTRUIDO POR CATEGORÍAS

En la tabla 16 se presenta en tonelada año y en por ciento el volumen de las emisiones generadas por las 5 categorías que constituyen el inventario construido, el reportado en el Proaire de 1994 y el inventario de 1996. En el inventario construido la categoría de evaporación de disolventes de fuentes de área (57%) y las fuentes evaporativas (28%) contribuyen con el 85% de las emisiones. Mientras que los resultados publicados, por las autoridades oficiales, en el Proaire indican que para ese mismo año el 90 % de las emisiones provino de las fuentes evaporativas de COV y de la evaporación de disolventes de fuentes de área con el 57 y 33%, respectivamente.

Se aprecia, en esta misma tabla, que aun cuando no hay una gran diferencia en el total de las emisiones generadas en los inventarios, sí la hay entre los aportes de las categorías, es decir, los valores para estas categorías en el inventario construido y el Proaire están invertidos. Esto se debe a que en la categoría de Fuentes evaporativas, para el inventario construido, no se utilizó el total de las emisiones reportado en el Proaire que fue de 242,272 ton/año de hidrocarburos sino el generado por PEMEX- GAS (PEMEX, 1995). Se hizo de esta manera porque no hay información que permita calcular la procedencia de casi un cuarto de millón de hidrocarburos de toneladas al año en este rubro.

Al hacer una comparación por categoría de los resultados obtenidos en el inventario construido y el inventario de 1996 se nota que no hay gran diferencia entre el volumen de las emisiones, ya que las pérdidas por transporte y almacenamiento masivo de gasolina contribuyen con 7 y 5%; la evaporación de disolventes con 57 y 56%; las fuentes evaporativas con 28 y 30 %; las fuentes móviles no carreteras con 2 y 3% y las fuentes de combustión con 6 y 5%, respectivamente. Sin embargo, destaca la diferencia entre el total de las emisiones del inventario construido y el de 1996: -0.06%, mientras que la diferencia entre el inventario construido y el Proaire fue de -41%.

Tabla 16. Diferencia porcentual de los inventarios, 1994, 1996 y el construido por categorías.

CATEGORÍAS	CONSTRUIDO TON/AÑO	%	PROAIRE TON/AÑO	%	IE1996 TON/AÑO	%
Pérdidas por transporte y almacenamiento masivo de combustible	18 683	7	20 701	5	16 468	5
Evaporación de disolventes de fuentes de área	142 773	57	144.467	33	135 900	56
Fuentes evaporativas	71.415	28	242.272	57	79 239	30
Fuentes móviles no carreteras	4.208	2	4 322	2	7 759	4
Fuentes de combustión	14 890	6	14 934	3	13 243	5
TOTAL	251.969	100	426.697	100	252.609	100

A continuación se presenta en la tabla 17 el inventario de emisiones para las fuentes de área, por categoría y subcategorías, que se construyó a partir de los cálculos hechos en la malla de simulación. En la tabla 18 se cita el reportado por las autoridades en el documento del Proaire con el de que se puede comparar los dos inventarios

Tabla 17. Inventario de emisiones construido para las fuentes de área 1994 (Ton/año).

TIPO DE FUENTE	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC
PERDIDAS POR TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO MASIVO DE COMBUSTIBLE					
Almacenamiento y Distribución de gasolina	0	0	0	0	18109
Carga de aeronaves					31
Almacenamiento Masivo de Gasolina*					543
EVAPORACIÓN DE DISOLVENTES DE FUENTES DE ÁREA					
Lavado en seco (Tintorerías)	0	0	0	0	12195
Limpieza y Desengrase	0	0	0	0	28993
Artes Gráficas**	0	0	0	0	8742
Consumo de Disolventes	0	0	0	0	42650
Superficies Arquitectónicas	0	0	0	0	23104
Panaderías	0	0	0	0	2211
Pintura Automotriz	0	0	0	0	5964
Pintura de Tránsito	0	0	0	0	3397
Esterilización en Hospitales	0	0	0	0	20
Incineración en Hospitales	0	0	0	0	0
Asfalto	0	0	0	0	19095
Plantas de Tratamiento de Agua Residual	0	0	0	0	52
FUENTES EVAPORATIVAS					
Rellenos Sanitarios*					
Comercialización y Distribución de Gas LP					71415
Tiraderos a cielo abierto*					
FUENTES DE COMBUSTION					
Combustión Residencial	377	1585	739	3860	12
Querosina	203	1584	25	275	9
Gas natural	1	0,3	9	45	3
Gas LP	172	0	705	3540	31849
Combustión Comercial/Institucional	707	5793	200	1458	39
Querosina	24	173	3	31	1
Gasóleo	651	5069	80	880	26
Diesel	15	550	39	155	5
Gas natural	3	1	17	85	7
Gas LP	15	0	61	306	2229
Combustión en Hospitales	8	21	17	71	3
FUENTES MÓVILES NO CARRETERAS					
Locomotoras foráneas***				414	17
Locomotoras de patio***			52	294	30
Aeropuerto (Número de operaciones de vuelo)***		0	1583	1295	523
TOTAL GENERAL	1085	7378	2574	7321	236.551

*Estas categorías no se incluyeron en el inventario de emisiones de 1994 publicado en el (Proaire)

**Esta subcategoría fue considerada como fuente puntual en el inventario de 1994

***Estas categorías fueron consideradas como fuente móviles en el inventario de emisiones de 1994

Tabla 18. Inventario de emisiones para las fuentes de área Proaire 1994 (Ton/año).

TIPO DE FUENTE	PST	SO ₂	CO	NO _x	HC
PÉRDIDAS POR TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO MASIVO DE COMBUSTIBLE					
Almacenamiento y Distribución de gasolina	0	0	0	0	20127
Carga de aeronaves					31
Almacenamiento Masivo de Gasolina*					543
EVAPORACION DE DISOLVENTES DE FUENTES DE AREA					
Lavado en seco (Tintorerías)	0	0	0	0	12213
Limpieza y Desengrase	0	0	0	0	29044
Artes Gráficas**	0	0	0	0	8788
Consumo de Disolventes	0	0	0	0	42005
Superficies Arquitectónicas	0	0	0	0	21598
Panaderías	0	0	0	0	2291
Pintura Automotriz	0	0	0	0	5976
Pintura de Tránsito	0	0	0	0	3381
Esterilización en Hospitales	0	0	0	0	20
Incineración en Hospitales	0	0	0	0	0
Asfalto	0	0	0	0	19095
Plantas de Tratamiento de Agua Residual	0	0	0	0	56
FUENTES EVAPORATIVAS					
Reellenos Sanitarios*					
Comercialización y Distribución de Gas LP					242272
Tiraderos a cielo abierto*					
FUENTES DE COMBUSTION					
Combustión Residencial	372	1483	730	3808	290
Combustión Comercial/Institucional	697	5713	200	1457	61
Combustión en Hospitales	8	20	18	74	3
FUENTES MÓVILES NO CARRETERAS					
Locomotoras foráneas***	39	26	51	414	17
Locomotoras de patio***	25	37	52	294	30
Aeropuerto (Número de operaciones de vuelo)***	0	0,00	1583	1295	523
TOTAL GENERAL	1077	7279	2634	7342	407.794

*Estas categorías no se incluyeron en el inventario de emisiones de 1994 publicado en el (Proaire)

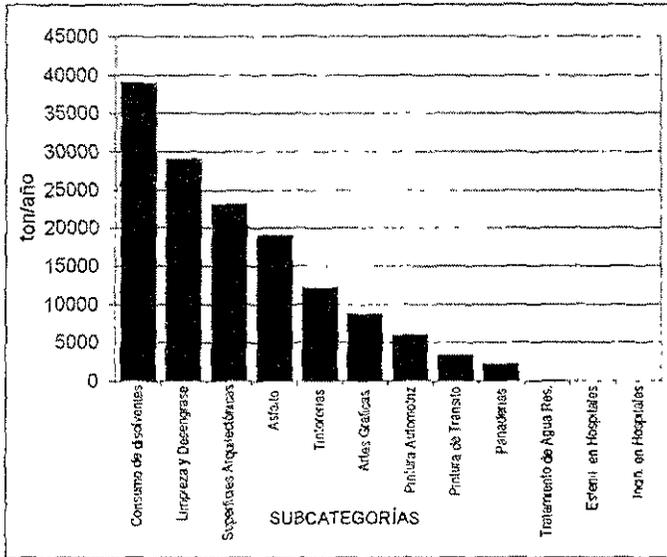
**Esta subcategoría fue considerada como fuente puntual en el inventario de 1994

***Estas categorías fueron consideradas como fuente móviles en el inventario de emisiones de 1994

3.5.2 ANÁLISIS COMPARATIVO POR SUBCATEGORÍA DEL INVENTARIO DE FUENTES DE ÁREA

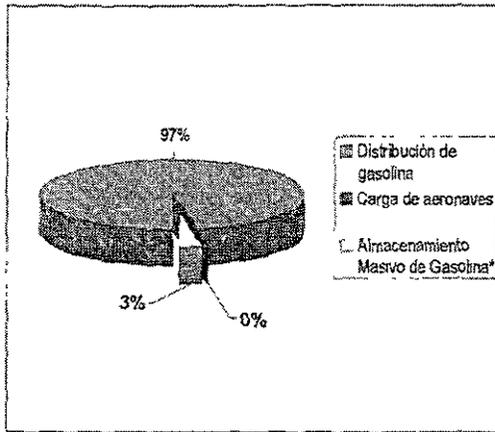
En relación con el análisis del inventario construido por categoría puede decirse que las fuentes de evaporación de disolventes generan 142,773 toneladas anuales de hidrocarburos (Gráfica 12). Al desagregar este total de emisiones en subcategorías se puede apreciar que el consumo de disolventes genera la mayor emisión con 39,000 toneladas al año. No obstante, son importantes las emisiones generadas por la categoría de limpieza y desengrase, superficies arquitectónicas y uso de asfalto.

Gráfica 12. Subcategorías de las fuentes evaporativas en 1994.



En el gráfica 13 el rubro que contribuye con el 97% de las emisiones fue el de distribución de gasolina. En cambio la carga de aeronaves genera 31 toneladas al año que a diferencia de las emitidas por el almacenamiento y distribución de gasolina representa el cero por ciento.

Gráfica 13. Contribución de las pérdidas por transporte y almacenamiento masivo de combustible.



Dentro de la categoría de fuentes de evaporación el único rubro que se encuentra es el de distribución y comercialización de gas LP. El total calculado para la distribución de esta subcategoría ascendió a 71,415 toneladas al año de HC (Tabla 19). La diferencia entre el volumen estimado y el utilizado en el inventario de 1996 (76,414 ton/año PEMEX, 1995) fue de 4979 toneladas, que corresponden al 7% de las clases que no se estimaron.

La distribución del total de las emisiones estimadas fue que el 75% son generadas por la categoría de consumo doméstico; este rubro está representado por las casas que tienen cocina, calentador de agua y que cuentan con tanques de gas de 20, 30 o 45 kilos o estacionarios. El 11% se genera por la distribución de recipientes portátiles. Estas dos ramas aportan el 86% de las emisiones totales; destacan del 14% restante las fugas en instalaciones domésticas y comerciales con 4% cada una. Las fugas son las emisiones de gas que no se queman, producto de instalaciones viejas, dañadas o tuberías que se utilizan para el agua y no para gas, además de los pilotos que están apagados en cocinas y calentadores. De este modo el 94% de las emisiones son generadas por el consumo y fugas en las casas habitación, por los camiones de repartición de tanques y por las fugas en instalaciones comerciales

Tabla 19. Contribución porcentual de las fuentes evaporativas en 1994.

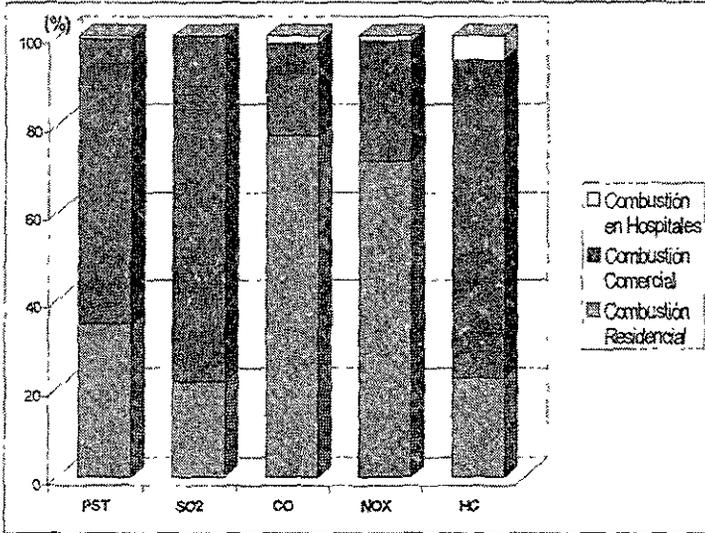
(Distribución y comercialización de gas LP).

SUBCATEGORÍAS	Emisiones	
	Ton/año	%
Distribución de recipientes portátiles	7683	11
Descarga de semirremolques	292	0.4
Almacenamiento en planta	228	0.3
Carga autotánques	489	0.7
Llenado carburación	559	0.8
Llenado de recipientes portátiles	554	0.8
Suministro a tanques estacionarios	489	0.7
Fugas en instalaciones industriales	19	0.0
Fugas en instalaciones comerciales	135	0.2
Fugas en instalaciones domésticas	3104	4
Consumo comercial	2915	4
Consumo industrial	1046	1.5
Consumo doméstico	53922	75
No estimadas	4979	7
TOTAL	71435	100.0

La categoría de fuentes de combustión se subdivide en combustión habitacional, comercial/institucional y en hospitales. En el gráfica 14 se presenta una comparación entre las fuentes de combustión y el aporte de las emisiones generadas con respecto al total en por ciento. Cabe aclarar que las emisiones de hidrocarburos generadas por el uso de gas LP, en la combustión habitacional y comercial/institucional, están incluidas en la distribución y comercialización de gas LP; se hizo de este modo para no sobrestimar las emisiones generadas por el consumo de gas LP.

En la misma gráfica se aprecia que las mayores emisiones de PST, HC y de SO₂, corresponden a la combustión comercial/institucional, mientras que la combustión habitacional contribuye con la mayoría de emisiones de CO y NO_x. Esta distribución de las emisiones se debe, en parte por la exclusión de las emisiones de gas LP y por el tipo de combustible (Gasóleo, Gas Natural) utilizado en los comercios, instituciones y hospitales.

Gráfica 14. Comparación porcentual respecto al total de las emisiones por fuente de combustión 1994.



3.6 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS FUENTES DE ÁREA Y FACTORES DETERMINANTES EN LA CONCENTRACIÓN DE SERVICIOS

Como resultado del análisis de las categorías que conforman el inventario de emisiones para fuentes de área, es necesario ubicar por zonas los contaminantes generados con el fin de identificar la región que genera las mayores emisiones y que esta misma identificación sirva en un trabajo futuro para elaborar los modelos de calidad del aire.

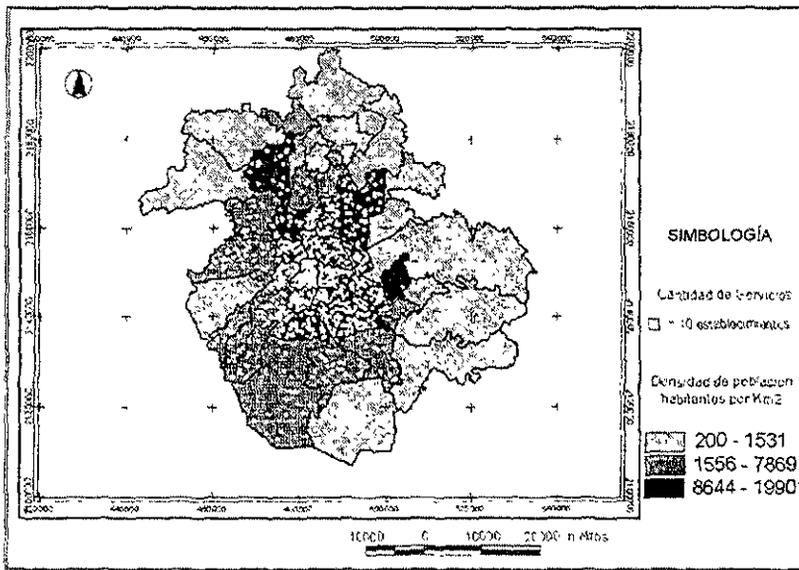
El mapa 7 explica la distribución de los servicios en la ZMCM y la relación de estos con la densidad de población. Se puede ver que las delegaciones del centro y norte del D.F. y sus municipios colindantes concentran la mayor cantidad de establecimientos. Asimismo estas entidades concentran el mayor número de habitantes por kilómetro cuadrado.

Las entidades que comparten estas características son: Iztapalapa, Iztacalco, Coyoacán, Benito Juárez, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Gustavo A. Madero, Tlalnepantla, Ecatepec, Nezahualcoyotl, Chimalhuacan y Cuautitlán Izcalli. La intensidad de estos procesos es menor, pero en ascenso, en el resto de las delegaciones del D.F. con excepción de Milpa Alta. Esta misma tendencia se observa en los municipios localizados

al noreste del D.F. Sin embargo en los de la porción Este la actividad es mínima. Al igual que en la industria existen una serie de factores para explicar la distribución de los comercios y servicios. Los factores son los mismos que se aplican en la industria, pero a una menor escala. Uno de ellos es la cantidad de población por kilómetro cuadrado.

El número de establecimientos esta determinado en función de la cantidad de población. Sin embargo, el incremento de los pequeños negocios se rigen por la ley de la oferta y la demanda en donde la cercanía a los consumidores es fundamental (Goerge, 1976). Otro factor que juega un papel importante es el modelo de economía de escala, ya que del crecimiento macroeconómico depende en gran cantidad de establecimientos (SMITH, 1994).

Mapa 7. Distribución espacial de los comercios y servicios en la ZMCM, 1994.



3.6.1 LOCALIZACIÓN DE LAS EMISIONES POR DELEGACIÓN, MUNICIPIO Y MALLA DE SIMULACIÓN

Los mapas 8, 9, 10 Y 11, generados a nivel delegación y municipio para cada una de las categorías que conforman el inventario presentan rasgos comunes en cuanto a la

distribución de las emisiones contaminantes. Por eso se hizo una descripción general de cada uno de los mapas en forma integral, se destacarán las delegaciones y municipios que cambien en la intensidad de los contaminantes producidos.

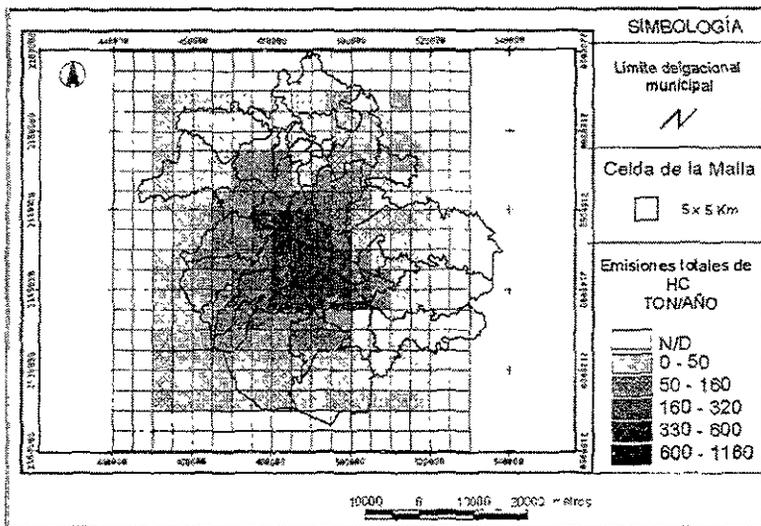
Las delegaciones y municipios en los que se generan las mayores emisiones de contaminantes y que se encuentran presentes todas las categorías del inventario son: Gustavo A Madero, Iztapalapa, Ecatepec, Nezahualcoyotl. Además se encuentran: En las Pérdidas por transporte y almacenamiento de combustible, Azcapotzalco; en las fuentes evaporativas: Cuauhtémoc y en las Fuentes de combustión, vuelve a estar Cuauhtémoc. La región queda definida por ubicarse en la zona centro del D.F. y los municipios colindantes con rumbo noreste, este y sur.

Una segunda zona con intensidad intermedia, pero importante, en la generación de las emisiones está constituida en su mayoría por delegaciones de D.F y algunos municipios del Estado de México. Las entidades de esta área son: Alvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán, Tlalpan, Cuauhtémoc, Iztacalco, Venustiano Carranza, Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, Tlalnepanitla, Naucalpan, Atizapán de Zaragoza y Cuautitlan Izcalli. Esta región se localiza al oeste, noroeste y suroeste junto a la zona centro. Para los municipios extremos que conforman el norte, noreste y este de la ZMCM no hay información disponible.

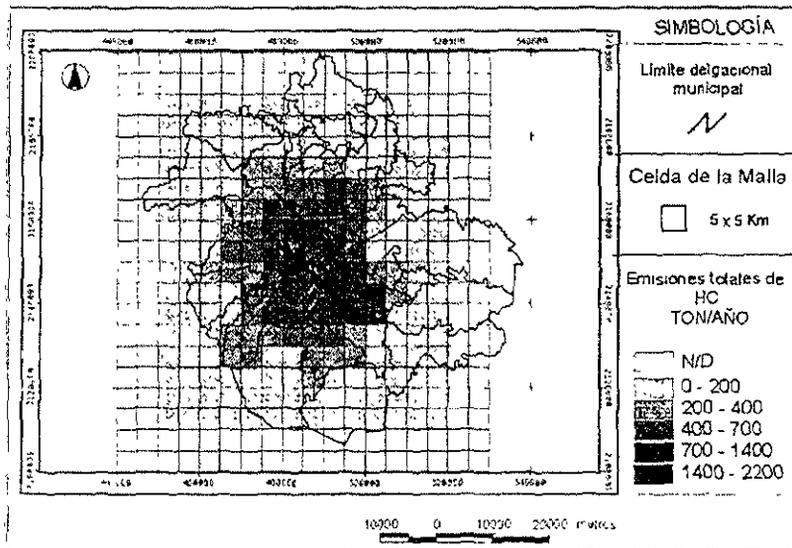
A continuación se presentan los mapas para cada una de las categorías del inventario de fuentes de área, acompañados de una gráfica, por entidad Federativa, que indica la contribución exacta de las emisiones contaminantes en cada una de las delegaciones y municipios que conforman la ZMCM y enseguida otra serie de mapas que indican la localización de las emisiones contaminantes en celdas de 25 Km².

Para los mapas 12, 13, 14 y 15 se hace una descripción general de la distribución de las emisiones. En un área que oscila entre los 400 a 800 Km² se producen más del 80% de las emisiones totales para las fuentes de área. Esta zona abarca las delegaciones de Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Miguel Hidalgo, Iztacalco, Benito Juárez, Iztapalapa, Tlalnepanitla, Nezahualcoyotl, Ecatepec y Naucalpan.

Mapa 12. Pérdidas por transporte y almacenamiento masivo de combustible por malla de simulación, 1994.

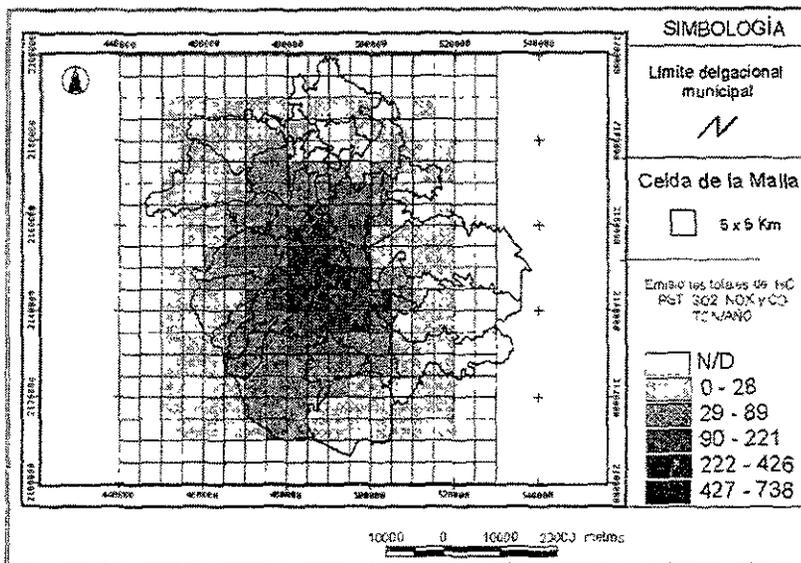


Mapa 13. Fuentes evaporativas gas LP por malla de simulación, 1994.

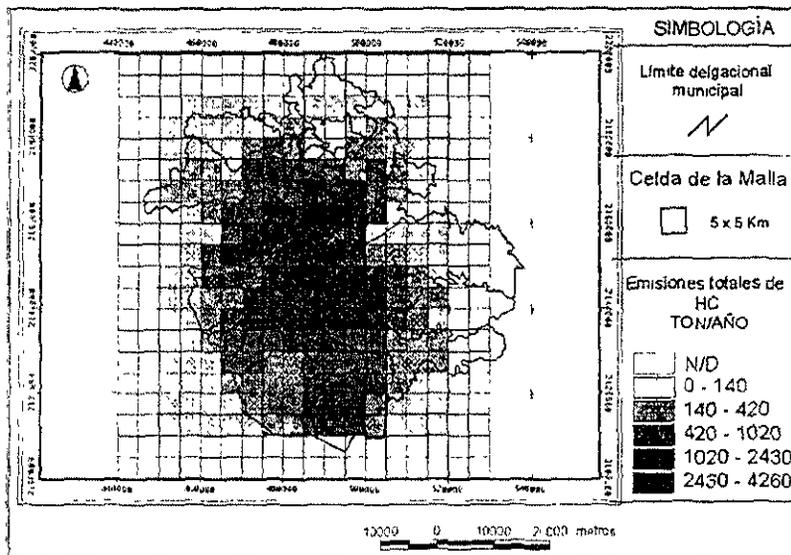


ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

Mapa 14. Fuentes de combustión por malla de simulación, 1994.



Mapa 15. Evaporación de disolventes de fuentes de área por malla de simulación, 1994.



CONCLUSIONES

El problema, en el momento actual, no consiste en acabar con la contaminación sino en reducir la emisión hasta un punto tal en que los efectos representados por los riesgos de exposición, generalmente involuntario, a los contaminantes en el aire, sean eliminados.

La caracterización de una región, representada cartográficamente, que comparta propiedades comunes en cuanto a la densidad de población, al número de fuentes, al consumo de energía y a la generación de emisiones, proporcionará al igual que el inventario de emisiones, el poder de influir sobre la planificación de las acciones que conduzcan a una reducción de las emisiones, con la diferencia de que el mapa revelará el comportamiento de la contaminación atmosférica a partir de las relaciones que existen entre los procesos económicos, políticos y sociales que se desarrollan de diferente manera en la ZMCM.

Con la sistematización del inventario de emisiones para las fuentes fijas se logró, por un lado, integrar la información de 4,135 industrias que representan el 3% de las emisiones totales generadas en 1994. El margen de error por estas empresas fue del 6% con respecto al publicado en el documento del Proaire (tabla 5). Se advirtió que 133 industrias generaron el 80% del total de las emisiones mientras que 4002 concentraron el 20 % restante. Para las fuentes de área la sistematización consistió en distribuir las emisiones de cada una de las categorías y subcategorías del IE a nivel delegacional y municipal y malla de simulación. La distribución de las emisiones contaminantes mediante este proceso permitió reducir las incertidumbres hasta un +/- 5%. No obstante, existe una gran diferencia entre el IE construido y los inventarios de 1994 y 1996. Esta diferencia se debe a la información utilizada en la categoría de fuentes evaporativas (tabla 16).

A partir de la organización de la información y del diseño del SIG se generaron dos bases de datos para cada una de las fuentes que alimentaron al sistema. La integración de estas bases permitió generar mapas sobre la distribución de la industria comercio y servicios, así como de sus emisiones en la ZMCM.

La región que destaca en la ZMCM en cuanto a la mayor producción de contaminantes, al mayor número de fuentes emisoras, al mayor consumo de energía y a la mayor densidad de población se localiza en las delegaciones del centro y norte del D.F. y en los municipios colindantes del Estado de México. Las entidades que constituyen esta región y en las que se genera el 90% y 80% de los contaminantes de las fuentes fijas y de área, respectivamente son: Gustavo A Madero, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Venustiano Carranza, Iztapalapa, Iztacalco, Tlanepantla, Naucalpan, Ecatepec, Nezahualcoyotl, Atizapán de Zaragoza y Cuatitlan Izcalli. Dentro de las que menos problemas tienen en el D.F. son Milpa Alta, Xochimilco, Magdalena Contreras y Cuajimalpa; en el Estado de México son la mayor parte de los municipios ubicados al oriente, poniente y en algunos al norte de la ciudad.

Sería recomendable seguir en el futuro con este tipo de trabajo que incluya la distribución de las fuentes móviles y naturales en la ZMCM.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE R., A, WELLENS. G, PONCIANO., y R.I TORRES. *Control de la contaminación del aire*. Diplomado de Tecnología y Administración Ambiental: Módulo VI. ITESM Campus Edo. De México. Centro de Calidad Ambiental, México, 1996.

BASSOLS, A. *La ciudad de México y su región económica*. Simposio sobre el Valle y la Ciudad de México, Unión geográfica internacional, México 1966.

BOULDING, STAHR, FABRICANT Y GAINSBURGH. *Costos de la contaminación*. Editorial Pax. Mexico, 1995.

BOSQUE SENDRA, J. *Sistemas de Información Geográfica*. Ed. RialP. Madrid, 1992.

BURCHARD, J.K. *The Significance of particle emissions*. J. Air Pollution Control Assoc. No. 12. 1974.

CASTILLEJOS, M. *Acute effects of ozone the pulmonary funtion of exercising schoolchildren from Mexico city*. Am. J. Respir. Crit. Care. Vol. 152. 1995.

Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en la Ciudad de México (CMPCCA). *Programa integral contra la contaminación atmosférica (PICCA)*. Un compromiso común. México, D.F., octubre de 1990.

Comisión de Ecología y Medio Ambiente (CEMA). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)*. Cámara de Diputados. México, 1996.

Comisión Ambiental Metropolitana (CAM). *Proyecto para el diseño de una estrategia integral en la gestión de la calidad del aire en el valle de México 2001 – 2010*. Preparado por. Instituto Tecnológico de Massachussts (MIT) Integrated Program on Urban, Reginal, and Global Air Pollution. USA 2000

Comisión Ambiental Metropolitana (CAM). *Inventario de emisiones a la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México 1996*. México 1999

CÉSARMAN, Fernando. *Crónicas ecológicas*. Fondo de cultura económica. México, 1998.

COHEN M. *Megacities and the environment*. The Finance & Development, june 1993

DOUGLAS, J. *Environmental GIS, aplicación to industrial facilities*. 1994

Departamento del Distrito Federal (DDF), Gobierno del Estado de México (GEM), Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), Secretaría de Salud (SS). *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México (PROAIRE) 1995 – 2000*. México, 1996.

Departamento del Distrito Federal (DDF). *Inventario de Fuentes de Área: Precuzores de Ozono y Monóxido de Carbono para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. 1995.

Departamento del Distrito Federal (DDF). *Estructura territorial de la Ciudad de México. Colección Desarrollo Urbano*. Ed. Plaza y Valdes. México, 1998.

Environmental Protection Agency (EPA). *Compilation of Air Pollutants Emissions Factors*. AP-42 Vol. I, II. USA, 1995.

EZCURRA, Ezequiel. *De las chinampas a la megalópolis*. SEP, FCE, CONACYT. México, 1990.

FLORES, J. *La contaminación y sus efectos en salud y en el ambiente* Centro de Ecología y Desarrollo. SEDESOL. 1995

FERRER, Manual. *Sistemas urbanos*. Ed. Síntesis, España, Madrid, 1992

GARCÍA, Julio; SCHJETNAM, Mario. *México Urbano*. Fondo de Cultura Económica Mexico 1992

GEOCRÍTICA. "Las fronteras de la investigación geográfica". Barcelona, Mayo de 1976

GUTIÉRREZ ROA, Jesús. *Distrito Federal: la ciudad de los Palacios*. Ed. Noriega. México, 1993

GARZA, G. y A. DAMIAN. *Ciudad de México. Espacio y vivienda de la Ciudad de México: Etapas de Crecimiento, Infraestructura y Equipamiento*. El Colegio de México y la Asamblea de Representantes del Distrito Federal.

GASCA, J. *Análisis y Diagnóstico del Inventario de Emisiones 1998 de la Zona Metropolitana del valle de México*. Instituto Mexicano del Petróleo, México 2000.

Instituto Nacional de Ecología (INE), SEMARNAP, GDF. *Notas del Curso corto de Inventario de Emisiones*. México, 1998.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). *Ciudad de México. Perfil Sociodemográfico, XI Censo General de Población y Vivienda*. México, 1990.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). *Censos Económicos. Resultados Oportunos*. México, 1994.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). Estados Unidos Mexicanos. *Tabulados básicos. Conteo de población y vivienda 1995*. México.

Instituto Nacional de Ecología (INE); SEMARNAP *Gestión de la calidad del aire en México: Logros y retos para el desarrollo sustentable 1995-2000*. México, 2000.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI); GDF. *Estadísticas del medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 1999*. México, 1999

Instituto Nacional de Ecología (INE). *Prototipo del Cuestionario e Instrucciones para Fuentes Puntuales en México*. Instituto Nacional de Ecología (INE). México. 1997.

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP). *Sistemas de Información geográfica aplicados a la información cartográfica del proyecto IMADA*, Instituto Mexicano del Petróleo, GCA-097085, México 1997.

ITESM. "La visibilidad y el consumo de combustibles en la ciudad de México". *Calidad Ambiental*. Vol. III. Número 10 de Julio de 1998.

ORTIZ, Elba *Inventario de emisiones con fines de modelación*, Instituto Mexicano del Petróleo. IMP. GCA-096030, México 1996.

KENNETH, W. *Contaminación del aire, origen y control*. Ed. Noriega. México, 1990.

LOSCH, August. *The economics of location*. New Harver: Yale university, 1969.

MARGULIS, Sergio. *Back-of-the-Envelope Estimates of environmental damage costs in Mexico*. World Bank Working Papers. WPS 824, 1992.

MARSHALL, N. *Servicies and space: Key aspects of urban on regional development*. Harlow, Essex, Englad, 1995.

MENESES F., I. ROMIEU y J. SIERNA-MONGE. Et al. *Effects of Urban Air Pollutants on Emergency Visits for Chilhood Asthma in Mexico City*. *American Journal of Epidemiology*, vol. 141, 6, 1995.

NEGRETE M.A. y H SALAZAR. *Dinámica del crecimiento de la Ciudad de México (1900-1980)*. *Atlas de la Ciudad de México*. El Colegio de México – DDF. Ed Plaza y Valdés, Fasc. 5 cap 4, 1988.

OCDE. *Análisis del desempeño ambiental en México*. 1998

OLIVERA LOZANO *Desconcentración industrial hacia ciudades medias en México: El papel de la micro y pequeña industria en el desarrollo urbano regional*. Tesis de Maestría. UNAM México, 1995.

OLMEDO V. B. "Tenochtitlan en números". Arqueología Mexicana. Vol 1:4 oct-nov., 1993.

ORTIZ, E. *Campaña de monitoreo de partículas y algunos precursores de ozono como indicadores de base para estudios en la salud en la ZMCM*. CONSERVA Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental Editado por el Gobierno del Distrito Federal, México 2000 Aire y Agua. Volumen 1.

ORTIZ, E.; et al. *Modelación del efecto en la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Informe GCA 98-002. Instituto Mexicano del Petróleo. México 1998

OSTRO, Bart. *Estimating the Health Effects of Air Pollutants*. A methos with an application to Jakarta. World Bank Working Papers. WPS 1301. 1994.

ORIGEL GUTIERREZ. *Contribución de procesamiento digital de imágenes de satélite para evaluar la contaminación de hidrocarburos bajo la perspectiva del riesgo-desastre*. Tesis de Maestría. UNAM. México, 1997.

OZKAYNAK, K.P. *Associations of Daily Mortality and Air Pollution in Los Angeles County*. Enviromental Research, Vol. 54. 1991.

PEMEX-GAS Y PETROQUÍMICA BÁSICA. *Efecto de los Componentes del Gas Licuado de Petróleo en la Acumulación de Ozono en la Atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Memória técnica del estudio. México, 1997.

PÉREZ VILLEGAS. *Algunos aspectos de distribución de fuentes emisoras de contaminantes a la atmósfera por regiones en México*. Tesis de Maestría. UNAM. México, 1984.

RIVERO, Octavio. *La situación ambiental en México*. UNAM. México 1996

RODARTE GARCÍA. *Dinámica de la actividad industrial en la ciudad de México y su Zona Metropolitana, ante los nuevos procesos industriales*. Tesis de Doctorado UNAM. México, 1998.

QUADRI-SANCHEZ. *La Ciudad de México y la Contaminación*. Ed. Limusa. México, 1993.

SCHEINGART, M. *Espacio y vivienda en la Ciudad de México*. Colegio de México y I Asamblea de Representantes del Distrito Federal. México, 1991.

Secretaría de Energía (SE). *Balance Nacional de Energía 1996*. México 1997.

Secretaría de Educación Pública (SEP). Distrito Federal, *monografía estatal*. México, 1993

Secretaría de Educación Pública (SEP), SEDUE y SSA. *Introducción a la Educación Ambiental*. México, 1985.

Secretaría del Medio Ambiente (SMA), Comisión ambiental Metropolitana (CAM). *Inventario de Emisiones a la Atmósfera en la ZMCM 1996*. México, 1999.

Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). *Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente. 1993-1994*. Capítulo Aire. INE. México, D.F. 1995.

Secretaría del Medio Ambiente (SMA), CAM. *Hacia un programa de calidad del aire 2000 – 2010*. Comisión ambiental metropolitana (CAM). Mexico, 2000.

SOCLOW, R. *Industrial ecology and global change*. Cambridge. 1995

SCRIPTA NOVA. "El trabajo de campo y los métodos cualitativos". Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Número 51 1 de Febrero de 2000.

SCRIPTA NOVA. "Acerca de los SIG, los modelos geométricos y la geografía humana". Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Número 22. 1 de Junio de 1998.

SORIANO JIMÉNEZ. *Comportamiento espacial de la industria alimentaria en los años ochentas*. Tesis de Licenciatura. UNAM México, 1989.

SEINFELD J.H. *Contaminación Atmosférica: Fundamentos físicos y químicos*. Instituto de Estudios de Administración Local, Mc Graw Hill, Madrid, España, 1978.

SEMARNAP Y RADIAN (1997). *Mexico Emissions Inventory Program Manuals*. Vol. V. Area source inventory development. Vol. VI Mobile source inventory development

SEMARNAP Y RADIAN (1995). *Methods evaluation and proposal for Mexico Emissions Inventory Program*.

SMITH, D. *Industrial location: And economic geographical analysis*. Scripta Nova. New York. 1981.

SOUSTELLE J. *La vida cotidiana de los Aztecas*, Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1977

University of California (UC); Departamento del Distrito Federal (DDF), Instituto Nacional de Ecología (INE). *Development of Integrated Air Pollutant Emission Inventory, Demographic and Air Quality Data Base for Mexico City Using GIS*. Los Angeles, 1996.

VALENCIA, O. "Localización industrial: planteamientos teóricos y empíricos". Universidad de Burgos, España. 2001.

VIZCAÍNO, Fco. *La contaminación en México*. Fondo de Cultura Económica. México, 1988.

WARD R. D. P. *México: una megaciudad*. Ed. Alianza/CNCA, México 1991



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

Índice de tablas

Tabla 1. Consumo de combustibles en la ZMCM (millones de m ³ /año).	14
Tabla 2. Contaminantes atmosféricos más importantes por su abundancia.	20
Tabla 3. Inventario de emisiones por sector 1994 Proaire.	34
Tabla 4. Giros industriales contenidos en los inventarios de emisiones 1994 y 1996.	37
Tabla 5. Total de registros válidos y no válidos en la base de datos PREDATAIND94 en ton/año.	39
Tabla 6. Número de industrias y total de emisiones con registros no válidos desagregado en ton/año.	41
Tabla 7. Categorías reportadas en el inventario de emisiones para fuentes de área.	43
Tabla 8. Base de datos de entrada para el sistema de información ARC/VIEW (Industria).	46
Tabla 9. Base de datos de entrada para el sistema de información ARC/VIEW (Servicios).	47
Tabla 10. Número de servicios en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México 1995.	49
Tabla 11. Inventario de emisiones para fuentes fijas en ton/año 1994 (Proaire).	51
Tabla 12. Base de datos PREDATAIND94, según giro, en ton/año.	52
Tabla 13. Diferencia porcentual entre PREDATAIND94 y el Proaire.	53
Tabla 14. Número de industrias según la magnitud de las emisiones en la base de datos PREDATAIND94 (%).	57
Tabla 15. Base de datos PREDATAIND94 e inventarios del sector industria en ton/año.	57
Tabla 16. Diferencia porcentual de los inventarios 1994, 1996 y el construido por categorías.	66
Tabla 17. Inventario de emisiones construido para las fuentes de área 1994 (Ton/año)	67
Tabla 18. Inventario de emisiones para las fuentes de área Proaire 1994 (Ton/año).	68
Tabla 19. Contribución porcentual de las fuentes evaporativas en 1994. (Distribución y comercialización de gas LP)	71

Índice de gráficas

Gráfica 1. Cantidad de población del D.F.	9
Gráfica 2. Distribución de la población en la ZMCM.	10
Gráfica 3. Contribución de las emisiones totales, según el tipo de contaminante para la industria en 1994 (Proaire).	34
Gráfica 4. Contribución porcentual de las emisiones totales, según el tipo de contaminante para la industria en 1994 (Proaire).	35
Gráfica 5. Base de datos PREDATAIND94 por entidad federativa.	53
Gráfica 6. Emisiones generadas por entidad federativa PREDATAIND94.	54
Gráfica 7. Consumo de energía del sector industrial, según su giro.	55
Gráfica 8. Número de industrias por giro del sector industria, 1994.	55
Gráfica 9. Por ciento de las emisiones industriales con respecto al total, por giro	56
Gráfica 10. Número de industrias en la PREDATAIND94, según entidad federativa.	59
Gráfica 11. Contribución porcentual de emisiones generadas por las fuentes de área, 1994.	65
Gráfica 12. Subcategorías de las fuentes evaporativas en 1994.	69
Gráfica 13. Contribución de las pérdidas por transporte y almacenamiento masivo de combustible.	70
Gráfica 14. Comparación porcentual respecto al total de las emisiones por fuente de combustión 1994.	72
Gráfica 15. Contribución de las fuentes de evaporación de disolventes por entidad federativa en ton/año 1994.	75
Gráfica 16. Contribución de las pérdidas por transporte y almacenamiento de combustible por entidad federativa en ton/año 1994.	76
Gráfica 17. Contribución de las fuentes evaporativas por entidad federativa en ton/año 1994.	77
Gráfica 18. Contribución de las fuentes de combustión por entidad federativa en ton/año 1994.	78

Índice de mapas e imágenes

Mapa 1. Ubicación del área de estudio: Zona Metropolitana de la Ciudad de México.	8
Mapa 2. Densidad de la población en la ZMCM 1995.	11
Mapa 3. Distribución de la industria en la ZMCM, 1994.	58
Mapa 4. Distribución espacial de la industria en la ZMCM, 1994.	62
Mapa 5. Inventario de emisiones del sector industria 1994.	63
Mapa 6. Distribución de las emisiones totales de la industria por malla de simulación en 1994.	64
Mapa 7. Distribución espacial de los comercios y servicios en la ZMCM, 1994.	73
Mapa 8. Fuentes de evaporación de disolventes 1994.	75
Mapa 9. Pérdidas por transporte y almacenamiento masivo de combustible 1994	76
Mapa 10. Fuentes evaporativas (gas LP) 1994.	77
Mapa 11. Fuentes de combustión 1994.	78
Mapa 12. Pérdidas por transporte y almacenamiento masivo de combustible por malla de simulación, 1994.	79
Mapa 13. Fuentes evaporativas gas LP por malla de simulación, 1994	79
Mapa 14. Fuentes de combustión por malla de simulación, 1994.	80
Mapa 15 Evaporación de disolventes de fuentes de área por malla de simulación, 1994	80

Imágenes

Imagen 1. Dirección del viento y Calidad del aire por Ozono en la ZMCM.	18
Imagen 2. Distribución temporal de las emisiones totales de HC en la ZMCM, según el inventario de emisiones de 1994 (<i>Proaire</i>).	19

Abreviaturas

CAM	Comisión Ambiental Metropolitana
CEMA	Comisión de Ecología y Medio Ambiente
CMPCCA	Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación en la Ciudad de México
CO	Monóxido de Carbono
CONSERVA	Consejo de Estudios para la Restauración y Valoración Ambiental
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
DDF	Departamento del Distrito Federal
EPA	Agencia de protección ambiental de EEUU (Environmental Protection Agency)
GEM	Gobierno del Estado de México
GDF	Gobierno del Distrito Federal
HC	Hidrocarburos
IE	Inventario de Emisiones
INE	Instituto Nacional de Ecología
INEGI	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
IMADA	Investigación sobre Materia Particulada y Deterioro Atmosférico
IMECA	Índice Metropolitano de la Calidad del Aire
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo
KJ	Kilojoules
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
NO	Óxido de Nitroso
NO ₂	Dióxido de Nitrógeno
NO _x	Óxidos de Nitrógeno
O ₃	Ozono
PREDATAIND	Base de Datos Industrial
PROAIRE	Programa para mejorar la Calidad del Aire en la Ciudad de México
PICCA	Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica
PM _{2.5}	Materia particulada de diámetro menor a 2.5 micrómetros
PM ₁₀	Materia particulada de diámetro menor a 10 micrómetros
PST	Partículas Suspensas Totales
RAMA	Red Automática de Monitoreo Ambiental
SE	Secretaría de Energía
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEMARNAP	Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SEP	Secretaría de Educación Pública
SIG	Sistema de Información Geográfica
SMA	Secretaría del Medio Ambiente
SO _x	Óxidos de azufre
SO ₂	Dióxido de azufre
SS	Secretaría de Salud
UTM	Sistema de coordenadas de Mercator
ZMCM	Zona Metropolitana de la Ciudad de México