

44  
24



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

COLEGIO DE GEOGRAFIA



EL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFERICO DE LA CIUDAD DE MEXICO Y ZONA METROPOLITANA

"ESTUDIO PARA LA AMPLIACION DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFERICO"

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO EN  
LICENCIADO EN GEOGRAFIA  
P R E S E N T A  
ENRIQUE RAFAEL RAMIREZ FLORES



MEXICO, D. F., FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS ABRIL DE 1998  
COLEGIO DE GEOGRAFIA



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

260404



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.

**Me complace enormemente el dedicar esta tesis a los siguientes personajes:**

- A mis Padres:** Gracias por el apoyo incondicional que me han brindado, por su confianza, por su paciencia, por su comprensión, por su ejemplo de lucha y porque nunca podré retribuirles todo lo que han hecho por mí...
- A mis Hermanos:** Por seguir compartiendo los buenos y los malos momentos de nuestras vidas, por su ayuda y por su motivación.
- A mi Esposa:** Por su comprensión y cariño, por compartir su vida conmigo y porque sin ella difícilmente este trabajo se hubiera terminado.
- A mis Maestros:** A los que sembraron en mí el interés por la geografía, compartiendo su valioso conocimiento y por auxiliarme en los momentos de duda...
- A mis Amigos:** Va por su amistad, camaradería y fraternidad, por los excelentes momentos vividos, por los gratos recuerdos, por el presente y por un mejor futuro.
- A todos Aquellos:** A los que no recuerdo ahora y que por tanto olvidé mencionar, ya que de una u otra forma influyeron en el desarrollo de mi historia personal.

**Un reconocimiento especial al personal de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico; a los que estuvieron, a los que están ahora y a los que ya no estarán nunca más. A ustedes por su compañerismo, por su apoyo y por sus consejos.**

**A todos, mi más sincera gratitud.**

**Enrique Ramírez F.**

**ÍNDICE GENERAL**

	PÁGINA
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>I.- ANTECEDENTES.....</b>	<b>9</b>
I.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ZMCM.....	9
I.1.1.- La expansión de la Ciudad de México.....	10
I.2.- ANTECEDENTES OPERATIVOS DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.....	14
I.2.1.- Evolución del sistema de monitoreo atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.....	14
I.3.- MARCO LEGISLATIVO E INSTITUCIONAL AMBIENTAL.....	15
I.3.1.- Políticas Nacionales.....	16
I.3.2.- Políticas Estatales.....	19
<b>II.- CONFIGURACIÓN ACTUAL DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA ZMCM.....</b>	<b>21</b>
II.1.- RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.....	21
II.2.- RED MANUAL DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.....	22
II.3.- RED METEOROLÓGICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.....	23
II.4.- EQUIPO DE APOYO AL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.....	26
II.5.- ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE.....	26
<b>III.- ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DEL ESPACIO URBANO DE LA ZMCM.....</b>	<b>28</b>
III.1.- CONDICIONES FÍSICO-AMBIENTALES.....	28
III.1.1.- Localización.....	28
III.1.2.- Relieve.....	29
III.1.3.- Vegetación.....	34
III.1.4.- Climatología y Meteorología.....	36
III.2.- MEDIO URBANO.....	48
III.2.1.- Estructura urbana.....	49
III.2.2.- Usos de suelo.....	53
III.2.3.- Aspectos socio-demográficos.....	55
III.3.- TENDENCIAS DE CRECIMIENTO URBANO.....	60
III.4.- DISTRIBUCIÓN DE LA INDUSTRIA Y TENDENCIAS DE CRECIMIENTO INDUSTRIAL.....	63

<b>IV.-</b>	<b>PROBLEMÁTICA ATMOSFÉRICA DE LA ZMCM.....</b>	65
IV.1.-	DESCRIPCIÓN DE FUENTES.....	66
IV.1.1.-	Fuentes fijas puntuales.....	66
IV.1.2.-	Fuentes fijas de área.....	75
IV.1.3.-	Fuentes móviles.....	79
IV.1.4.-	Emisión anual por tipo de fuentes en la ZMCM.....	82
IV.2.-	<b>IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ZONAS DE APORTE DE CONTAMINANTES.....</b>	85
<b>V.-</b>	<b>EL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.....</b>	87
V.1.-	OBJETIVOS DE LOS PROGRAMAS DE CALIDAD DEL AIRE EN ZONAS URBANAS E INDUSTRIALES.....	88
V.2.-	OBJETIVOS DE LOS PROGRAMAS DE CALIDAD DEL AIRE EN ZONAS RURALES O REMOTAS.....	91
V.3.-	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.....	92
V.4.-	INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.....	95
V.5.-	BALANCE NECESIDADES - RECURSOS.....	101
V.6.-	CRITERIOS EMPLEADOS EN LA UBICACIÓN DE ESTACIONES.....	104
<b>VI.-</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	112
VI.1.-	CONFIGURACIÓN TERRITORIAL DE ESTACIONES.....	112
VI.2.-	ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN.....	113
VI.3.-	DESCRIPCIÓN DE ZONAS PROPUESTAS.....	116
VI.4.-	ANÁLISIS LOCALES DE SITIOS PROPUESTOS.....	118
VI.5.-	PROPUESTA PARA EL EQUIPAMIENTO DE ESTACIONES.....	129
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	132
	<b>ÍNDICE DE MAPAS.....</b>	134
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	135

## INTRODUCCIÓN

Actualmente nos enfrentamos a uno de los problemas más serios a nivel mundial: la contaminación del ambiente. Como sabemos, nuestro país y nuestras ciudades no se han mantenido al margen de ésta problemática y hoy día pasan por una etapa que se caracteriza por presentar un fuerte problema de contaminación que abarca los niveles de suelo, agua y aire. Particularmente, la Ciudad de México y su área conurbada se han destacado, desde años atrás, por presentar serios problemas de contaminación derivados de una expansión urbana e industrial sin planeación. Los modelos de desarrollo económicos y las políticas de acelerado crecimiento industrial, fomentadas a partir de la década de los cuarenta, no consideraron los costos sociales que implicaría su ejecución. El crecimiento demográfico y urbano, la concentración industrial y el incremento de vehículos provocaron diversos desequilibrios, entre ellos un deterioro ambiental de considerable magnitud. Todo lo anterior ha generado la actual configuración socioeconómica, política, cultural y ambiental que hoy nos caracteriza y cuya repercusión más evidente se manifiesta en la degradación de la calidad del aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).<sup>1</sup>

Sumado a lo anterior, existe un elemento natural que viene a agravar el actual problema atmosférico: las condiciones geomorfológicas de la ciudad, ya que por estar situada en una cuenca, la dispersión de los contaminantes en la atmósfera es mínima cuando se reduce la intensidad de los vientos. Durante casi 7 meses la zona mantiene un promedio de vientos de baja velocidad (menos de 1.5 m/s), que generalmente circulan de norte a sur y actúan como una "escoba" en la dispersión de contaminantes hacia el centro, sureste y suroeste de la ciudad, donde finalmente se estancan. También influye la altitud pues el bajo contenido de oxígeno atmosférico provoca deficiencias en los procesos de combustión interna de los motores. Aunado a lo anterior, el clima también influye en la contaminación. Las bajas temperaturas producen el fenómeno de inversión térmica que ocurre cuando la superficie de la tierra alcanza sus más bajos valores de enfriamiento, el aire que se encuentra más cerca del suelo está más frío y, por lo tanto, es más pesado para poder ascender, por encima de éste queda una capa de aire caliente que produce un verdadero tapón, así, los contaminantes quedan atrapados en los primeros metros de la superficie. La inversión térmica se rompe cuando los rayos solares comienzan a calentar las capas inferiores de aire, provocando movimientos convectivos y advectivos que provocan la dispersión de los contaminantes.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Para fines de éste estudio, se denominará Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) a las 16 delegaciones del Distrito Federal y a los 27 municipios conurbados del Estado de México.

<sup>2</sup> Jorge Legorreta. Transporte y Contaminación en la Ciudad de México. Centro de Ecología y Desarrollo, 1995. pp 205-206.

Dentro del marco normativo y administrativo para prevenir y controlar la contaminación atmosférica, la toma de acciones se inicia cuando se afecta sensiblemente al ecosistema y por lo tanto a la salud de los habitantes. Es entonces cuando surgen toda una serie de disposiciones, planes y programas tendientes a normar y corregir los desequilibrios ecológicos y de salud que se comienzan a presentar. Cabe mencionar que en la elaboración, aprobación y aplicación de leyes y en el funcionamiento de las distintas instancias administrativas encargadas de prevenir y controlar la contaminación, han influido de manera determinante los cambios sexenales y por lo tanto, las políticas adoptadas en cada gestión. De esta manera nos encontramos con diversos marcos normativos y aplicativos que han definido el estado actual de las políticas y acciones que se toman en torno a la problemática atmosférica. En este sentido, los programas y acciones que han implementado las instancias encargadas de dicha problemática en el corto y mediano plazo están determinadas por las regulaciones antes señaladas.

Debido a que el problema de la contaminación ambiental ha presentado diversas facetas a través del tiempo y el espacio, involucrando factores desde los eminentemente físicos hasta los puramente sociales, se ha tratado en los últimos años de enfrentar el problema partiendo de enfoques integrales, en los cuales se recomienda tomar en cuenta las variables involucradas y sus interrelaciones, contar con los datos necesarios acerca de la problemática en cuestión y apoyarse en el uso de herramientas computacionales que faciliten el procesamiento de datos para finalmente analizar los resultados y poder tomar decisiones al respecto.

En el caso de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A.), su tarea fundamental es proporcionar información sobre la calidad de aire en forma sistemática y permanente, que en relación con los factores meteorológicos y urbanos permita detectar la presencia y tendencia de contaminantes en el aire y determinar de manera global la calidad del aire de la ZMCM. Si se compara el número de estaciones que actualmente conforman la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (32 estaciones) con otras ciudades que también cuentan con una red, y que algunas tienen mayor extensión territorial, por ejemplo, con la Ciudad de Tokio, Japón cuya red se integra con 30 estaciones; Amsterdam, Holanda con 10 estaciones; Los Ángeles, California con 25 estaciones; Houston, Texas con 8 estaciones y Sao Paulo, Brasil con 25 estaciones, podríamos afirmar que el número de estaciones de la R.A.M.A. es suficiente para proporcionar una cobertura adecuada, sin embargo el caso de la ZMCM es único, ya que la tasa de crecimiento poblacional, el ritmo de expansión de la zona urbana observado en las últimas décadas y el grave problema atmosférico en algunos casos no es comparable con las ciudades anteriormente mencionadas. Así, se ha llegado a la constitución de una megalópolis con 16.38 millones de habitantes<sup>3</sup> y una amplia extensión

---

<sup>3</sup> Cifras presentadas por el INEGI en el Censo de Población y Vivienda 1995.

territorial, cuyos procesos consumen una gran cantidad de energía y cuyas actividades emiten grandes cantidades de gases y partículas a la atmósfera, con procesos de producción y usos de suelo muy diversificados, que reclama una mayor y mejor cobertura territorial en cuestión de calidad del aire y por la tanto un crecimiento de la actual red de monitoreo atmosférico a sitios críticos, instalando estaciones en zonas cuyo entorno y problemática así lo requiera, así como la introducción de tecnologías más selectivas para la medición de compuestos orgánicos volátiles, gases orgánicos reactivos y compuestos tóxicos gaseosos.

A manera de comparación, la tabla siguiente muestra algunos promedios anuales de contaminantes para 1995 en microgramos por metro cúbico, dichos valores están referidos a la zona central de esas ciudades.<sup>4</sup>

	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	CO	PST	PM-10	Pb
Los Angeles	2.86	92.3	38.5	2312.5	n/d	42.7	0.05
Tokio	15.7	62	58.8	912	n/d	52	n/d
Sao Paulo	34	n/d	n/d	5900	116	89	n/d
Lima	121	143	n/d	n/d	273	n/d	0.4
Santiago	34	75	28	2300	n/d	95	n/d
Cd. de México	52.4	80	68.7	3206	180	60.6	0.2

Como puede observarse sólo en Ozono (O<sub>3</sub>) la Ciudad de México supera los valores registrados por las otras ciudades, sin embargo todos estos valores están por debajo de la norma para ozono que que señala la Organización Mundial de la Salud (120 microgramos por méro cúbico). Cabe aclarar que el hecho de que existan niveles de contaminación más altos en otras ciudades, no puede tomarse como indicador de que los índices de contaminación atmosférica en la Ciudad de México sean satisfactorios, ya que como sabemos para ozono, partículas suspendidas totales (PST) y partículas menores a 10 micras (PM-10), la norma de calidad de aire es rebasada continuamente, aunque por otro lado, para bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y plomo (Pb) normalmente se encuentran abajo de la norma y en los últimos años algunos de ellos han presentado tendencia decrecientes.

Así y derivado de lo anterior, se propone que el presente estudio sea guiado bajo las siguientes directrices, constituidas por los objetivos a cumplir y por la definición del problema planteado en cuestión.

<sup>4</sup> Información obtenida del estudio "Healthy Cities Air Management". Information System AMIS, 1997, WHO, Geneva.

## **OBJETIVOS**

### **GENERALES**

- \* Proponer el crecimiento de la actual Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México en términos de número de estaciones y cobertura territorial.
- \* Promover y fundamentar el desarrollo de políticas, estrategias y acciones tendientes a lograr una óptima cobertura espacial y operativa de la R.A.M.A.
- \* Proporcionar elementos de juicio que sirvan como base al desarrollo e implementación de planes y programas de acción en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica para la adecuada preservación de la salud y bienestar de la población.

### **PARTICULARES**

- \* Identificar los factores ambientales que condicionan el comportamiento atmosférico en la Cuenca del Valle de México.
- \* Identificar y analizar, desde una perspectiva de contaminación atmosférica, los factores urbanos que caracterizan la estructura y dinámica urbana de la ZMCM.
- \* Clasificar y definir las relaciones entre procesos sociales y ambientales en la ZMCM.
- \* Identificar y jerarquizar los factores de carácter espacial que determinan la selección de sitios de monitoreo.
- \* Proponer, dependiendo del resultado del estudio, la instalación de las nuevas estaciones de monitoreo atmosférico en términos de ubicación, equipamiento, cobertura territorial y análisis de costo-beneficio.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Se pretende determinar en que medida influyen y cuales son los factores socioeconómicos y ambientales que influyen en la ubicación de estaciones de monitoreo atmosférico para, posteriormente, identificar cuales son los sitios idóneos para el emplazamiento de las nuevas estaciones de monitoreo atmosférico en la ZMCM. Lo anterior con la finalidad de lograr una plena representación operativa y espacial de las

nuevas estaciones propuestas y de la red en su conjunto, de acuerdo a las tendencias de crecimiento urbano y problemática ambiental observadas hasta la fecha.

## **ESTRUCTURA DEL ESTUDIO**

Para cumplir con lo anterior se pretende realizar el estudio en 6 capítulos, mismos que a continuación se resumen:

En el capítulo I se presenta una reseña histórica acerca de las condiciones que originaron la necesidad de crear una red de monitoreo atmosférico para la Ciudad de México. Posteriormente, se realiza un bosquejo de los orígenes y evolución del sistema de monitoreo atmosférico actual, así como de los marcos legales y normativos que han dirigido y soportado dicha evolución.

En el capítulo II se realiza una descripción estructural y operativa de la red de monitoreo atmosférico actual, describiendo sus 3 partes fundamentales a saber: la red automática, la red manual y la red meteorológica. Como complemento a lo anterior se realiza también una breve descripción del equipo de apoyo al sistema y del IMECA.

En el capítulo III se describe la zona de estudio desde 2 puntos de vista; medio físico; que comprende la localización geográfica, relieve, vegetación, climatología y meteorología y medio urbano; donde se abarcan aspectos relacionados con estructura urbana, usos de suelo, demografía y tendencias de crecimiento urbano e industrial.

En el capítulo IV se afronta la problemática atmosférica de la ZMCM, así, se describen las fuentes contaminantes predominantes, que comprenden a las fuentes puntuales, fuentes de área, fuentes móviles y fuentes biogénicas. Asimismo se presenta un resumen de emisiones anuales totales para la ZMCM y una zonificación de zonas de aporte de contaminantes.

En el capítulo V se realiza una revisión teórica de las bases que sustentan las actividades de diseño y operación de las redes de monitoreo atmosférico y una estimación general de los costos de implementación de una estación automática de monitoreo básica.

El capítulo VI contiene los resultados del estudio, donde se maneja una perspectiva general de la red de monitoreo, las alternativas de localización de las estaciones, la descripción de las zonas propuestas, los análisis locales de los sitios y el equipamiento para cada estación.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones alusivas al tema tratado, así como un índice de mapas y gráficas y la bibliografía empleada.

Es a partir del desarrollo de las actividades anteriormente mencionadas que se pretende integrar el proyecto de ampliación de la actual red de monitoreo atmosférico, con la finalidad de contribuir al fortalecimiento de los programas de trabajo implementados por las instancias ambientales correspondientes, siempre en pro del bienestar de los habitantes de la Ciudad de México y de su Zona Metropolitana.

## CAPÍTULO I

### ANTECEDENTES

#### I.1.- ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ZMCM.

De acuerdo a las estimaciones más recientes antes del año 2000 la Ciudad de México llegará a ser la más poblada del mundo. Hace cinco siglos fue la más importante y magnífica que encontraron los conquistadores, tal fue la opinión vertida, incluso cuando la compararon con las ciudades europeas más esplendorosas de la época.<sup>5</sup>

Durante los tres siglos de la etapa colonial se implantaron legislaciones que fortalecieron la pauta concentradora y centralizadora, principalmente en la gestión comercial y el control de los productos de y hacia la metrópoli. Esta inercia perduró en todos los ámbitos de la vida económica, político-ideológica y social del país y al final de la etapa colonial, esta forma de pensar y hacer las cosas formaban la parte sustantiva de las tareas organizativas de la administración pública.

En su desarrollo histórico la Ciudad de México ha sido objeto de grandes transformaciones, desde su destrucción y reconstrucción por los mismos Aztecas, bajo el mando de los conquistadores, pasando por el renacentismo, por el barroco para, en las etapas independiente y de reforma, incorporar el neoclásico, al que seguiría la influencia francesa. Sin embargo, todas éstas transformaciones estuvieron subyugadas por las ideas de centralización y concentración de todas las actividades, tanto en el nivel nacional como en el local. La distribución del espacio, y por lo tanto el patrón de crecimiento de la ciudad, estaba regido por requerimientos y competencia gremial y por las necesidades del culto, en razón de actividades sociales y requerimientos administrativos y burocráticos, así, se tiene primeramente un desarrollo hacia el centro de la ciudad y posteriormente esta tendencia se revierte y comienza un desarrollo hacia la periferia.

Desde el punto de vista poblacional, hasta antes de la conquista se estima que la población la ciudad de México-Tenochtitlán era de 60 000 habitantes, con un área de 15 km<sup>2</sup> y una densidad de 4 000 hab./km<sup>2</sup>. Respecto a la densidad de edificación, ésta era menor en el centro de la ciudad, ya que la nobleza ocupaba los predios más grandes y que tenían las mayores áreas enjardinadas. En el anillo que rodeaba inmediatamente a éste centro habitaba el grueso de la población urbana, con terrenos más chicos y con construcciones más concentradas. En resumen, ésta era la forma urbana de México-

---

<sup>5</sup> Raúl Benítez Zenteno. Grandes Problemas de la Ciudad de México. pp 21-38.

Tenochtitlán, que en realidad constituía, además de la metrópoli del imperio, el centro urbano de toda la Cuenca de México, que actuaba como unidad regional integrada. Con las ciudades cercanas, que representaban una especie de satélites, mantenía relaciones simbióticas de influencia y dependencia por conceptos político-administrativos, económico-tributarios y comerciales.

### **I.1.1.- La expansión de la Ciudad de México.**

Durante la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX se observan grandes cambios y la ciudad experimenta una transformación absoluta, especialmente durante el porfiriato. Es una época de gran crecimiento, durante la cual el área urbana casi se quintuplica al extenderse sobre la cuenca y absorber ranchos, haciendas y barrios indígenas e invadir municipios aledaños. La expansión territorial fue favorecida además por las innovaciones tecnológicas en los sistemas de transporte. Los recorridos a pie por la ciudad fueron desplazados primero por el tranvía de tracción animal y posteriormente por trenes urbanos eléctricos y por el automóvil, que aumentaron la accesibilidad a la periferia. Así, el transporte fue un elemento clave en la transformación de la ciudad, los tranvías, el ferrocarril y la creación de nuevas carreteras promovieron el auge de fraccionamientos en la periferia de la ciudad.

De manera paralela al proceso de desarrollo de la Ciudad de México, los municipios aledaños se extendieron y algunos quedaron unidos al área urbana de la capital. Entre 1882 y 1910, el crecimiento se dirigió principalmente hacia las zonas oeste-suroeste y norte, que presentaron características muy diversas. La expansión norte une a la ciudad con Azcapotzalco y Guadalupe y es la que absorbe mayor población: 56.71% del crecimiento poblacional de la municipalidad de México se ubica en esta zona. Cabe mencionar que la mayor parte de las colonias establecidas era para obreros y población de escasos recursos. En el sector oeste-suroeste el crecimiento invade los municipios de Tacuba y Tacubaya, aquí se concentra sólo el 11.4% del aumento poblacional registrado en este período, no obstante que el área de expansión es semejante al registrado en la zona norte. Se trata de la zona residencial elegante de la capital, donde se crean las colonias para la élite porfirista, dotadas de urbanización previa, sistemas perfeccionados de servicios y amplios lotes con grandes espacios verdes. La zona sur registró un desarrollo menor con respecto al área ocupada y en ella también se crearon colonias para estratos bajos y absorbió 11.69% del crecimiento poblacional registrado. El sector este-sureste fue la parte de la ciudad que menos se desarrolló en este período, esto se debió a que eran terrenos salitrosos, áridos, expuestos a inundaciones y cercanos al canal del desagüe, donde los vientos arrastraban el mal olor de los desechos de la ciudad, era la zona de abasto y allí se localizaban las curtidurías y las fábricas de cola. Fue la zona con la mayor tasa de mortalidad y por lo tanto no presentaba atractivo para los fraccionadores, a pesar de lo anterior, absorbió 13.51% del aumento poblacional registrado en el período. Esta

expansión irregular muestra que en la Ciudad de México no hubo una planificación previa del crecimiento y que el establecimiento de las colonias fueron proyectos parciales de extensiones y objetivos variables, localizados donde convenía a los intereses económicos de los especuladores urbanos ante la falta de control gubernamental real y de una planeación que considerara a la ciudad en su conjunto.

El periodo entre 1910 y 1920 se caracterizó por constituir una etapa difícil ya que se frena el crecimiento físico y en menor medida el poblacional de la ciudad, pero que sienta las bases para la reactivación económica de los años veintes y treintas con una orientación nacionalista incorporada a la constitución de 1917 que define una mayor participación del Estado en la orientación del desarrollo, reafirma la expansión moderna iniciada en 1890, transfiere capital de las diversas regiones, establece nuevos usos de la tierra, elimina la relación hacendado-peón e institucionaliza el desarrollo capitalista posterior como consecuencia de las transformaciones sociales que trajo consigo la revolución. El cambio más importante fue la nueva participación del Estado en la conducción de la economía, lo que trajo consecuencias determinantes en las pautas de concentración de la riqueza, el poder y la población. Como respuesta a lo anterior, se inicia la centralización del aparato productivo en la Ciudad de México, que a partir de 1940 mostrará una dinámica sorprendente en cuanto a la ocupación de nuevos espacios y en la dinámica de crecimiento de la población, ésta última estará influenciada por los cambios en las pautas de crecimiento demográfico natural, por la disminución de la tasa de mortalidad y por las corrientes migratorias considerables. Cabe agregar que en esta época predominaron las políticas poblacionistas de presidentes como Alvaro Obregón, Plutarco Elías Calles y Lázaro Cárdenas, orientadas a lograr una mayor integración del país a partir de la relación producción-población.\*

Desde el punto de vista poblacional, se tiene que en 1900 la cifra es de 350 000 habitantes y que a partir de esta fecha se inicia una dinámica de mayor crecimiento demográfico, la ciudad pasa a 470 000 en 1910, 615 000 en 1921; 1 049 000 en 1930 y a 1 645 000 en 1940, en 1950 se tienen 3 135 000 habitantes, es decir, casi el doble que en 1940, en 1960 se tiene 5 381 000, en 1970 se llega a 9 211 000 para tener 14 500 000 en 1980 y más de 15 000 000 en 1990. Paralelo al crecimiento de la población, se tiene una expansión física de la ciudad y es a partir de 1940 cuando la dinámica de la Ciudad de México adquiere un carácter metropolitano por la conurbación de los municipios vecinos del Estado de México. Esta sorprendente dinámica de la Ciudad de México, se convierte en uno de los más grandes problemas del país, reflejándose en 1980 cuando se hace evidente la crisis económica, social y política del proyecto industrializador.

---

\* D.D.F. Atlas de la Ciudad de México, 1987. pp 64-71.

Referente al aspecto económico, entre 1940 y 1970 la población económicamente activa en el sector primario se reduce de 65.9 % a 41.1 %, el sector secundario pasa de 14.1 % a 24.7 % y el terciario de 20.5 % a 34.2 %, resaltando que por vez primera la población ocupada en la agricultura disminuyó en cifras absolutas. A partir de este momento se perfila la concepción del desarrollo por la vía de la modernización, que en ese momento significa industrialización y desarrollo urbano. Para 1985 la participación de las actividades agropecuarias en el producto interno bruto es de solo 9%; el sector secundario llega hasta el 34% con lo que se tiene una idea de que el proceso de desarrollo económico se ha dado muy cercano al de urbanización. Respecto a la evolución de la distribución industrial en la ZMCM, en 1960 el DF tenía 96% y el Estado de México 4.0% del total de los establecimientos industriales, presentándose un patrón de concentración industrial congregado en las delegaciones centrales y en la parte norte de la ciudad, la pequeña y mediana industria se localizaba en la parte central, mientras que la gran industria tendía a establecerse en el norte, dentro de los municipios periféricos del Estado de México que experimentaban un acelerado crecimiento demográfico. Para 1970 se observa una disminución en la participación industrial del Distrito Federal, que baja a 88.7 % del total de establecimientos, ésta reducción fue mucho mayor en las delegaciones centrales. Obviamente todos estos decrecimientos los absorbió el Estado de México, que en 1970 alcanzó 11.3 % del total de los establecimientos industriales de la urbe. Para 1980 la distribución industrial en la ZMCM se definió de la siguiente manera: Estado de México 61.4% y el Distrito Federal 38.6%, observándose que continuó reduciéndose la importancia industrial del Distrito Federal y, en contrapartida, aumentando la de los municipios conurbados del Estado de México, éstos también crecieron en número; a los 8 considerados hasta 1975 se agregaron 7 más (Cuautitlán Izcalli, Nicolás Romero, Ixtapaluca, Coacalco, Tecámac y Chalco), lo que evidencia la creciente expansión económica de la ZMCM principalmente hacia la porción norte. En síntesis se puede decir que Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuahutémoc y Gustavo A. Madero son las delegaciones más industrializadas. De los 17 municipios del Estado de México, que para ésta fecha conformaban la zona conurbada, 14 tenían una producción industrial considerada, destacando Tlalnepantla (que, después de Azcapotzalco, era la segunda unidad política más industrializada) que redujo su importancia industrial en forma ligera, al igual que Naucalpan y Ecatepec que mantuvo su importancia, por el otro lado, Cuautitlán Izcalli, Cuautitlán de Romero Rubio y Tultitlán aumentaron su participación industrial. Es notable la aparición, aún con baja industrialización, de Chalco e Ixtapaluca en el oriente de la mancha urbana, siguiendo el eje de la autopista a Puebla.

Hasta la fecha, la ZMCM se encuentra constituida por 27 municipios conurbados y 10 delegaciones políticas. La tendencia de crecimiento industrial continua hacia los municipios del norte y del sureste. El mapa 1 fue elaborado a partir de los datos proporcionados por el INEGI y muestra el crecimiento histórico de la ZMCM desde 1930 y hasta 1990.

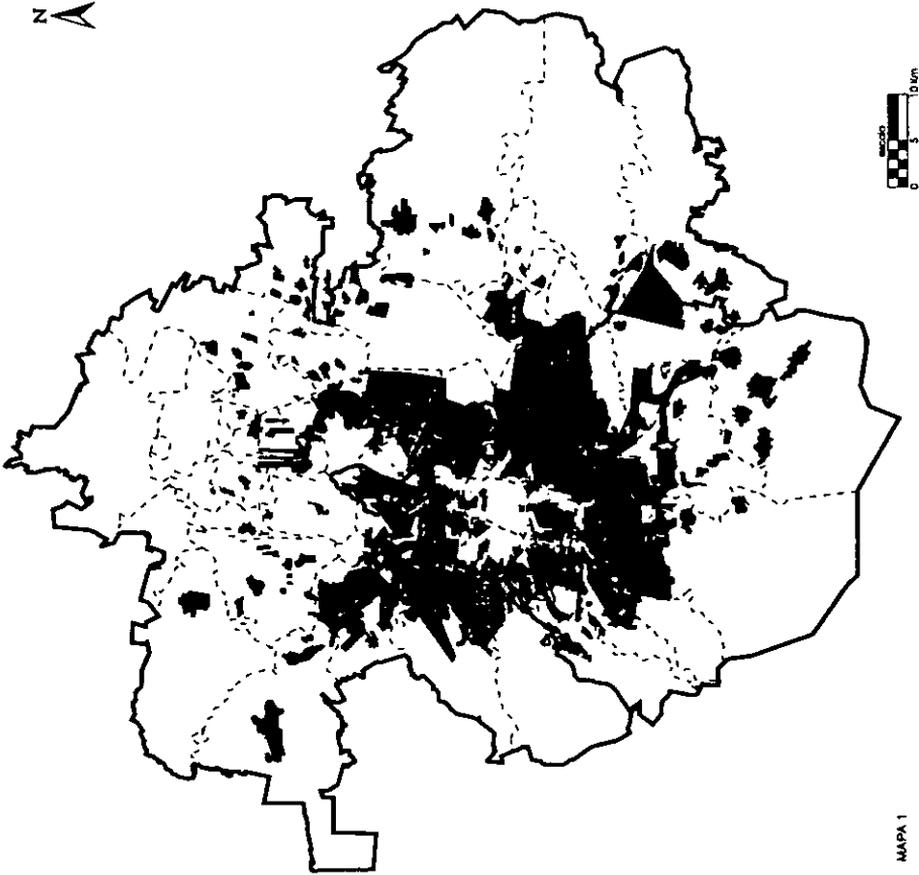
**CRECIMIENTO HISTORICO DE LA  
CIUDAD DE MEXICO Y ZONA  
METROPOLITANA**

- LIMITE ACTUAL DEL DISTRITO FEDERAL  
Y ZONA METROPOLITANA
- - - LIMITE DELEGACIONAL Y  
MUNICIPAL

**EVOLUCION DE LA MANCHA URBANA**



FUENTE: INEGI, Regional 10, Cartografía Censal 1993.



## **I.2.- ANTECEDENTES OPERATIVOS DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.**

### **I.2.1.- Evolución del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.**

Los primeros estudios tendientes a elevar la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México fueron realizados a finales de la década de los 50's, a través de la Secretaría de Salubridad y Asistencia. Sin embargo, fue hasta 1966 cuando estos estudios cristalizaron en la primera Red de Monitoreo Atmosférico, con cuatro estaciones que medían bióxido de azufre, polvo sedimentable y partículas suspendidas. Un año después se contaba ya con 14 estaciones, gracias a un convenio firmado con la Organización Panamericana de la Salud.

Con la creación de la Subsecretaría de Mejoramiento Ambiental, y dentro del programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, se adquirieron 48 estaciones de monitoreo, instalándose 22 de ellas en la Zona Metropolitana. Estas estaciones contaban con muestreadores de alto volumen para la determinación de partículas suspendidas totales y burbujeadores de gases para la determinación de bióxido de azufre y bióxido de nitrógeno.

A partir de 1974 se integra y entra en operación la primera red automática para el monitoreo continuo de la calidad del aire con enlace telemétrico a un centro de operaciones. Este sistema estuvo integrado por 20 estaciones para la medición de ozono, monóxido de carbono, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno y partículas suspendidas totales, al igual que la velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa. Sin embargo, la información generada no fue del todo confiable.<sup>7</sup>

Este sistema operó hasta el año de 1980, fecha en que las autoridades ambientales determinaron la necesidad de reemplazarlo por uno más moderno y confiable, con mayores ventajas y facilidades para su operación. En el año de 1984 se llevó a cabo la sustitución del sistema por el comúnmente conocido como Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), que quedó terminado en 1986 e inició su operación en octubre del mismo año.

La RAMA fue proyectada en tres etapas: integración, ampliación-reforzamiento y consolidación. La integración se inició a partir de 1984 con 25 estaciones interconectadas telemetricamente a un Centro de Operaciones. En el año de 1991 se acordó proceder a la

<sup>7</sup> Agenda Estadística. SEDUE, 1986. pp 3-5.

etapa de ampliación y reforzamiento debido al crecimiento de la mancha urbana y a la necesidad de un mejor conocimiento de las características de la calidad del aire a través de una mayor cobertura territorial analítica.

Para lograr lo anterior se instalaron 7 estaciones adicionales, alcanzándose la cantidad de 32 estaciones de monitoreo y enfatizando, con esta ampliación, la cobertura del área del Estado de México conurbada del Distrito Federal.

Paralelamente, el criterio de la calidad del aire para zonas urbano-industriales, que al inicio estableció como trazadores del problema al monóxido de carbono y al bióxido de azufre, se modificó para dar paso a un sistema más específico de evaluación y seguimiento del fenómeno de interacción y formación de contaminantes secundarios, como son el ozono y los óxidos de nitrógeno. De igual manera, partiendo del hecho de que la tecnología actual permite la medición continua de material particulado en su fracción respirable, se integraron analizadores continuos de PM10, los cuales son validados hasta garantizar una información confiable.

La tercera etapa de reforzamiento se empezó a desarrollar a partir de 1993 y actualmente se pretende extender el monitoreo a sitios críticos, instalando estaciones en zonas cuyo entorno y problemática así lo requieran, también se pretende la introducción de tecnologías más selectivas para la medición de compuestos orgánicos volátiles, gases orgánicos reactivos y compuestos tóxicos gaseosos. Cabe mencionar que por el momento se tienen contemplados algunos núcleos de población importantes, tanto al interior como en zonas perimetrales de la mancha urbana, como áreas candidatas para la ampliación de la cobertura de la red, lo anterior a pesar de los costos económicos y los problemas técnicos y de jurisdicción que podría implicar una expansión física más allá de la cobertura que proporciona la actual red de monitoreo atmosférico.

### **I.3.- MARCO LEGISLATIVO E INSTITUCIONAL AMBIENTAL.**

El problema de la contaminación atmosférica de la ZMCM es complejo si se toma en cuenta la dimensión de la urbe, su dinámica socioeconómica y su proceso concentrador y centralizador. La falta de políticas previsoras adecuadas para evitar su acelerada expansión y la proliferación de los patrones modernistas de consumo, han incrementado notoriamente la generación de residuos tóxicos, principalmente los emitidos por el transporte y la industria. La Ciudad de México se ha vuelto altamente vulnerable a los efectos de contaminación atmosférica y la problemática tiende a incrementarse, en gran medida por la flexibilidad y falta de rigor con que son aplicadas las normas ecológicas y por otro lado por la carencia de las mismas en muchos renglones. La capacidad política y financiera del estado y de la sociedad es todavía insuficiente para

frenar el avance del fenómeno de la contaminación. Por tal motivo las autoridades en los niveles federal, estatal y municipal, se encuentran cada vez más comprometidos con el establecimiento de condiciones de desarrollo que, a través del adecuado ordenamiento demográfico-territorial y el establecimiento de lineamientos para compatibilizar el desarrollo socioeconómico y la protección ambiental, puedan sentar las bases para mejorar las condiciones de vida de la población. Así, se pueden identificar las dos vertientes más importantes de la política gubernamental sobre la contaminación ambiental: a) el marco legislativo e institucional y b) los planes, los programas y las acciones, ambos enmarcados en los 2 principales niveles de la toma de decisiones; el nivel federal y el nivel estatal.

### **I.3.1.- Políticas Nacionales.**

Según un análisis histórico a nivel nacional y regional realizado por Legorreta,<sup>8</sup> las primeras señales de preocupación por los niveles de contaminación atmosférica se comienzan a dar a fines de los años cincuenta con la creación de la Dirección de Higiene Ambiental de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA), misma que tenía a su cargo algunas funciones preventivas en dicho campo, pero hasta aquí no se había creado una dependencia específica y mucho menos la elaboración y aprobación de alguna disposición reglamentaria de fondo en la materia. Fue hasta 1971 cuando se aprobaron las primeras y más importantes disposiciones jurídicas para la prevención y control de la contaminación, muchas de ellas reformadas en los años posteriores, cabe recalcar que la mayoría de las disposiciones se refirieron al aire. En el mismo año se publica en el Diario Oficial de la Federación la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental. En 1972 es creada la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente (SMA), dependiente de la SSA, en la cual recae la responsabilidad de aplicar las nuevas disposiciones anunciadas hasta el momento, a partir de este momento se crean y modifican diversas comisiones destinadas a resolver el problema, con sus diferentes enfoques y matices, aunque teniendo siempre un común denominador: la falta de efectividad en la aplicación y resultados de los programas propuestos y, por ende, la inoperancia de la ley frente a un constante deterioro ambiental. Cabe mencionar que con la finalización del sexenio, todas las comisiones creadas hasta entonces desaparecieron. Para la década de los ochenta, el panorama ambiental tiende a agravarse, por lo que se emiten nuevas disposiciones y modificaciones a los reglamentos ya existentes, por ejemplo en la Ley Federal de Protección al Ambiente se adicionan y derogan diversas disposiciones para afrontar el problema, así, las funciones relativas a la contaminación se trasladan de la SSA y de la SARH a la SEDUE, donde se crea una Subsecretaría específica y desaparece por tanto la SMA. Desde entonces la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental se circunscribe cada vez más a un ámbito normativo, como lo especifican las modificaciones efectuadas en 1984 a

---

<sup>8</sup> Legorreta, J. Transporte y Contaminación en la Ciudad de México. pp 242-252.

los artículos 1º y 9º que dictan lo siguiente, respectivamente; "... para establecer las normas para la conservación, protección, preservación, mejoramiento y restauración del medio ambiente... y para la prevención y control sobre los contaminantes" y "La SSA (o SEDUE)... desarrollará programas tendientes a mejorar la calidad del aire... así como aquellas áreas cuyo grado de contaminación se considere peligroso..."

En 1987 la Ley Federal se modifica y se cambia por una de carácter general denominada Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la cual se publica en el Diario Oficial en 1988, entre otros aspectos introdujo nuevas funciones en ámbitos no legislados hasta entonces, como la utilización de reservas y recursos naturales, contaminación de agua y suelo y la participación popular. La más importante modificación que justificó su cambio de Federal a General se refirió al traslado de las funciones de prevención, control y aplicación de sanciones contra la contaminación a los gobiernos estatales y municipales, con excepción de las fuentes industriales ubicadas en la ZMCM y en zonas federales. Con esta política de descentralización, la SEDUE adoptó una función eminentemente normativa. Cabe comentar que hasta la fecha existen muchas disposiciones que no se han podido llevar a la práctica por diversas razones, tanto en el orden federal como en el estatal y municipal.

A finales de 1988, se aprueban tres reglamentos derivados de la Ley General del Equilibrio Ecológico: 1) en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica; 2) en materia de residuos peligrosos; 3) para la prevención y control de la contaminación generada por vehículos automotores que circulan en el DF y Área Conurbada, esta última con carácter de aplicación regional.

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 1989-1994, señala que la protección al ambiente es una de las mayores prioridades del crecimiento del país y es requisito indispensable para dar vialidad al proceso de modernización. Con base en ello, el Programa Nacional de Protección al ambiente 1990-1994 (PNPA) busca la compatibilización de los procesos de desarrollo con la restauración y conservación del ambiente. Los principales planteamientos que se proponen están basados en el entendimiento de que la problemática ambiental tiene un carácter estructural, específica para cada región o ciudad y que por lo tanto deberán de ser abordados de acuerdo a los lineamientos establecidos por dicho programa. Asimismo, y apoyándose en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, promueve la descentralización de facultades normativas en el ámbito ecológico, situación que en algunos Estados ya ha dado lugar a la expedición de normas locales y a la estructuración de esquemas administrativos responsables de atender los asuntos de la gestión ambiental.

En materia de financiamiento a los programas de prevención y control de la contaminación, se proponen dos vías principales, la primera son las inversiones directas

mediante créditos bancarios para fomentar la inversión en la producción y adquisición de equipo anticontaminante y la segunda vía estímulos fiscales. Se comenzó a plantear una tercera fuente de financiamiento vía multas, pero las sanciones no eran adecuadas por sus relativos bajos montos, por ejemplo, para fuentes fijas la multa iban de 170 mil a 170 millones de viejos pesos, que en algunos casos resultaba más atractiva pagarla que introducir equipo anticontaminante. En el caso del autotransporte, el control se efectuaba a través de revistas anuales obligatorias, lamentablemente, éstas se efectuaban en la mayoría de los casos sin los instrumentos adecuados o bien mediante una gratificación para pasarla. De ahí que estas medidas no hallan dado los resultados esperados. Actualmente los procedimientos antes descritos están en proceso de actualización o ya han cambiado definitivamente.

Por otro lado y dentro de las metas para atacar la problemática atmosférica de las principales ciudades del país, se proponen mecanismos de concertación para promover la participación activa de los sectores social y privado, se proponen acciones para la reubicación de empresas altamente contaminantes y el fortalecimiento de la red nacional de monitoreo atmosférico, ampliando su cobertura de medición continua en las zonas críticas del país.

El Plan Nacional de Desarrollo 1989-1994, señala también que la contaminación atmosférica ha sido producto del proceso de la industrialización, así como de las grandes concentraciones urbanas, primordialmente por la emisión de humos, polvos y gases provenientes de fuentes móviles y fijas y que por lo tanto para prevenir, restablecer y mantener la calidad del aire se realizarán acciones para reducir la emisión de contaminantes enmarcadas en los siguientes programas;

Para impulsar un esquema de desarrollo territorial más equilibrado y revertir los problemas generados por la excesiva concentración de población en pocas ciudades y favorecer condiciones ambientales más sanas, el Programa Nacional de Desarrollo Urbano 1990-1994 (PNDU) asume como premisa que el desarrollo regional y urbano, equilibrado y congruente con la distribución territorial de recursos, constituye una pieza esencial para la modernización del país y para elevar el nivel de vida de la población. De acuerdo con lo anterior, la política de desarrollo urbano se orienta a tres objetivos fundamentales: la transformación del patrón de ocupación territorial de los asentamientos humanos en concordancia con las políticas de descentralización y desarrollo económico; el mejoramiento en la calidad de los servicios urbanos y; el fortalecimiento de la capacidad municipal para propiciar el sano desarrollo de las ciudades, mediante su ordenamiento y regulación.

La Ley General de Salud contempla que en materia de efectos del ambiente en la salud, las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán medidas y realizarán las

actividades a que se refiere esta ley, tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente, así como determinar, para los contaminantes atmosféricos, los valores de concentración máxima permisible para el ser humano.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su reglamento en materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera, señalan que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y regiones del país y que la Secretaría de Desarrollo Social, expedirá, en coordinación con la Secretaría de Salud en lo referente a la salud humana, las normas oficiales mexicanas correspondientes, especificando los niveles permisibles de emisión e inmisión por contaminante y por fuente de contaminación, de acuerdo con el reglamento respectivo.

El Programa Nacional para la Protección del Medio Ambiente 1990-1994, dicta que en materia de protección al ambiente se cuente con los conocimientos científicos y técnicos que permitan incorporar en los procesos productivos tecnologías que reduzcan al mínimo el impacto sobre el medio ambiente, así como definir e incluir criterios ecológicos para regular y optimizar las actividades productivas.

Finalmente, cabe destacar que uno de los principales obstáculos que han impedido un correcto manejo de la problemática ambiental es la discontinuidad en el seguimiento de las políticas planteadas sexenalmente, que terminan, interrumpen o en el mejor de los casos modifican los programas que se encuentran desarrollando en el momento. Asimismo, el hecho de que los asuntos ambientales hallan recorrido diversas dependencias, desde la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente de la SSA, pasando por la Subsecretaría de Ecología de la SEDUE (1983), y finalmente a los gobiernos estatales y municipales (1988), ha llevado a una falta de estructura administrativa sólida y a la concretización y finalización de los programas ambientales planteados en su momento, aunque es preciso hacer énfasis en la importancia que hoy día tiene el hecho que a los estados y municipios se les hayan conferido los aspectos operativos de la lucha contra la contaminación

### **1.3.2.- Políticas Estatales.**

El hecho que el Área Metropolitana de la Ciudad de México comprenda entidades con distinta estructura administrativa (el Distrito Federal y el Estado de México), implica que diferentes modos de operación y ejecución de planes y programas entran en relación, incluso, entre diferentes niveles de gobierno. Se trata de aspectos de operación tan complicados como su estructura administrativa, por ejemplo en la operación de programas de tráfico vehicular, industriales, comerciales, de crecimiento urbano, etc. Tal diversidad

de entes gubernamentales y programas genera un marco de atribuciones legales y políticas autónomas y no del todo complementarias. Esta es una de las razones que ha impedido elaborar y poner en práctica planes integrales para toda la ZMCM en algunos rubros que implican una participación común, aunque cabe mencionar que en otros ya se han conformado organismos rectores y ejecutivos únicos, constituidos por los niveles federal, estatal y municipal para la coordinación y ejecución de los programas implementados.

Dentro del marco regional se han decretado un sinnúmero de normas y disposiciones tendientes a disminuir y controlar el problema de la contaminación ambiental, Así, señala Legorreta que en 1978, en un intento por coordinar acciones, programas y funciones de las diversas dependencias públicas que intervenían en el asunto, se crea la Comisión Intersecretarial de Saneamiento Ambiental y en 1979 se presenta uno de los programas gubernamentales más complejos elaborados hasta entonces: el Programa Coordinado para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México. En él se plantearon nuevas políticas al reconocer que no bastaban los ajustes administrativos y se agregó otra perspectiva de solución: fomentar por vía de los estímulos fiscales y el financiamiento la producción e instalación de equipo anticontaminante. Como una meta particular hacía referencia que: "para 1982, asegurar que nunca se presente la condición de *MALA* en la calidad del aire; y que la *NO SATISFACTORIA* no rebase el 10% de días al año (según el Índice Mexicano de Calidad del Aire, IMEXCA), entre otras disposiciones.

Dentro del marco del Programa Nacional de Desarrollo (1984-1988), se formularon programas que incluyeron propuestas anteriores y otras nuevas con respecto al control y prevención de la contaminación, así, cabe mencionar los siguientes: El Programa de Desarrollo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y la Región Centro (SPP), 1984; El Programa de Reordenación Urbana y Protección Ecológica del Departamento del Distrito Federal (DDF), 1985; Las Medidas Contra la Contaminación en la ZMCM. Decreto Presidencial del 14 de febrero de 1986; Las 100 Acciones Necesarias, de 1987; y El Convenio General de Concertación DDF-Grupos Ecologistas, en 1987. Los dos primeros tuvieron un carácter meramente normativo, el resto, por el contrario, fueron concertados entre los distintos niveles de gobierno, las dependencias públicas involucradas, el sector privado y el social. Los objetivos y medidas propuestas por cada uno de ellos sólo se cumplieron parcialmente debido a la insuficiencia de recursos y a que no se canalizó adecuadamente la participación ciudadana para su solución, entre otras razones.

Son las anteriores políticas las que han definido lo que es hoy la actual Red Automática de Monitoreo Atmosférico, tanto en su configuración y operación como en sus lineamientos de validación y difusión de la información recopilada.

## CAPÍTULO II

### CONFIGURACIÓN ACTUAL DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

El Sistema de Monitoreo Ambiental de la ZMCM fue diseñado y se opera con base en el criterio de vigilancia del comportamiento de los contaminantes atmosféricos que permite calificar la calidad del aire por zonas específicas. Para lograr este objetivo el sistema de monitoreo se integra por 3 subsistemas que son: la Red Automática, la Red Manual y la Red Meteorológica, éste sistema se complementa con 2 unidades móviles de monitoreo atmosférico, 2 estaciones piloto y los equipos Rass, Ecosonda y DOAS.<sup>9</sup>

Los anteriores subsistemas proporcionan, de manera conjunta, una amplia cobertura territorial en función de los contaminantes característicos de la zona, de la topografía circundante y de la configuración y funcionamiento urbano presente. Así, se tiene un conocimiento claro, preciso y continuo de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

La información que genera este sistema de vigilancia permite evaluar el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, tanto en el tiempo como en el espacio. Dada la oportunidad y confiabilidad de estos datos, se posibilita su empleo para definir políticas y estrategias de prevención y control de la contaminación atmosférica, al igual que evaluar la eficacia de los programas que se encuentran en ejecución.

#### II.1.- RED AUTOMÁTICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.

La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (R.A.M.A.) está integrada por 32 estaciones, asignadas tanto en el Distrito Federal (21) como en el Estado de México (11). Estas se encuentran distribuidas estratégicamente en la mancha urbana y cada uno de los sitios de monitoreo cuenta con el equipamiento necesario para efectuar las mediciones de los contaminantes derivados de la actividad y uso del suelo típicos del entorno de cada estación.

Los equipos de medición son analizadores de gases tales como ozono, óxidos de nitrógeno (incluidos el monóxido y bióxido de nitrógeno), bióxido de azufre, monóxido de

<sup>9</sup> Información proporcionada por la Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico del GDF.

carbono, hidrocarburos totales, analizadores de partículas suspendidas totales (PST) y partículas suspendidas menores a 10 micras (PM-10).

Cada uno de los instrumentos de medición en cada una de las estaciones mide las concentraciones de contaminantes y partículas específicos, dicha información es recopilada por una computadora que envía la información vía módem al Centro de Control de la R.A.M.A. de manera continua y constante, por lo que la comunicación entre el Centro de Control y el resto de la red se mantiene prácticamente ininterrumpida.

Esta red opera permanentemente durante las 24 horas del día, todos los días del año, por lo que la generación de datos del estado de la calidad del aire y del comportamiento atmosférico es constante y en tiempo real. Esto muestra la confiabilidad en la obtención de los datos y la posibilidad de obtener información sobre lo que sucede con los contaminantes, de ser necesario, cada minuto.

Por esta razón y por la configuración misma de la red, es posible mantener una vigilancia constante del comportamiento espacial y temporal de los contaminantes gaseosos más comunes y significativos en la cuenca atmosférica urbana, estando así en la posibilidad de diseñar, establecer, ejecutar y evaluar medidas de control y abatimiento, o en su caso, poner en marcha los planes y programas de prevención de episodios ambientales.

La tabla 2.1 muestra los principios de operación y los parámetros medidos por la Red Automática.

TABLA 2.1

CONTAMINANTE	PRINCIPIO DE OPERACIÓN
Ozono	Fotometría en el rango de ultravioleta
Óxidos de nitrógeno (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	Quimiluminiscencia
Bióxido de azufre	Fluorescencia pulsante
Monóxido de carbono	Espectroscopia no dispersiva por correlación
Hidrocarburos totales	Ionización de flama
Partículas suspendidas fracción respirable	Atenuación de radiación beta

## II.2.- RED MANUAL DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.

La Red Manual de Monitoreo Atmosférico proporciona el complemento a la información de la Red Automática, en virtud de que su principal objetivo es el monitoreo

de partículas suspendidas en el aire y de los elementos contenidos en ellas. Asimismo, es un auxiliar valioso en el seguimiento de programas de prevención y control de la contaminación.

Esta red contempla en su diseño los criterios internacionales de la Organización Mundial de la Salud, de la Organización Meteorológica Mundial y del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, tanto para el número y ubicación de las estaciones, como para la medición de los contaminantes. La frecuencia de monitoreo es de un muestreo cada seis días en verano y cada tres días en invierno. Actualmente cuenta con 19 estaciones equipadas con analizadores de partículas suspendidas totales (PST), fracción respirable (PM-10), plomo, metales pesados (cobre, hierro, cadmio, níquel), nitratos, sulfatos y formaldehídos.

Por otro lado, con esta red es posible realizar muestreos programados de otros contaminantes atmosféricos para los que no existe una tecnología de muestreo continuo, por ejemplo el análisis de depósitos húmedos y secos en las campañas de monitoreo de agua de lluvia.

La tabla 2.2 muestra los principios de operación y los parámetros medidos por la red manual.

TABLA 2.2

CONTAMINANTE	PRINCIPIO DE OPERACIÓN
Partículas suspendidas totales	Muestreador de alto volumen
Partículas suspendidas fracción respirable	Muestreador PM-10
Sulfatos	Alto volumen
Nitratos	Alto volumen
Metales: plomo, cadmio, cobre, zinc y níquel	Espectrofotometría de absorción atómica.

### II.3.- RED METEOROLÓGICA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.

La Red Meteorológica tiene como objetivo proporcionar información para evaluar la calidad del aire y su posible evolución en condiciones atmosféricas normales y extraordinarias, esta información es determinante en la elaboración de los pronósticos meteorológico y de la calidad del aire, cuyo fin es analizar la estabilidad o el desplazamiento de los contaminantes en tiempos de una hora, 24 horas o 48 horas de antelación.

Esta red está formada por 10 estaciones, equipadas con sensores de velocidad y dirección del viento, medidores de humedad relativa y temperatura, las cuales se interconectan teleméricamente al Centro de Control, enviando la información en tiempo real.

Este subsistema se complementa con una unidad de medición de vientos de altura, que consiste en una torre meteorológica y dos radares acústicos, con los cuales se obtiene información de altura y características de la capa de mezcla de la atmósfera. Esta información se complementa con la información sinóptica que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional.

La tabla 3.3 muestra los principios de operación y los parámetros medidos por la Red Meteorológica.

TABLA 3.3

PARAMETRO	PRINCIPIO DE OPERACIÓN
Velocidad del viento	Anemómetro convencional
Dirección del viento	Veleta convencional
Temperatura	Sensor tipo capacitor de película delgada de termistor
Humedad relativa	Sensor tipo capacitor de película delgada de polímero
Temperatura de capa de mezclado	Radar acústico

El mapa 2 muestra la distribución geográfica de las redes de monitoreo automática, manual y meteorológica, además de los parámetros que mide cada uno de ellos. A continuación se especifica la abreviación utilizada:

O3 ⇒ Ozono.

CO ⇒ Monóxido de carbono.

NO, NOx ⇒ óxidos de nitrógeno.

SO2 ⇒ Bióxido de azufre.

PM10 ⇒ Partículas suspendidas menores a 10 micras.

PST ⇒ Partículas suspendidas totales.

MET ⇒ Meteorología (velocidad y dirección de viento, humedad relativa y temperatura).

H2S ⇒ Ácido sulfhídrico.

AUT ⇒ ESTACIÓN AUTOMÁTICA

MAN ⇒ ESTACIÓN MANUAL

MET ⇒ ESTACIÓN METEOROLÓGICA

**DISTRIBUCION ESPACIAL Y EQUIPAMIENTO DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFERICO**

- LIMITE DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CD. DE MEXICO
- - - LIMITE DELEGACIONAL Y MUNICIPAL
- LIMITE DE LAS ZONAS IMECA
- \* ESTACION DE MONITOREO

**NOROCCIDENTE**

- CUA CUBAMAQ - AUF ECU
- TU TULTEPEC - AUF ECU COJ NOZ NOX PAUO
- AT ATZAPAPAN - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- VAL VALLEJO - AUF ECU COJ
- AC ACAPULCO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- AC ACAPULCO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- TJA TLAQUEMILLA - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- MAP MAPISQUITO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- SMA SECRETARIA DE HACIENDA - MAN (PT)

**NOROCENTRO**

- UAJ JAQUES - AUF NOZ
- UPR LA PARRA - AUF ECU COJ NOZ NOX PAUO (PT)
- VA LA VILLA - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- SAG SAN AGUSTIN - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH MEI
- XAL XALISCO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- MA MAGDALENA - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- MI MIGUEL ALICAMON - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- VE COACALCO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- CHM CHAMPAGNO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO
- TEC CERRO DEL REFINANC - MAN (PT) PAUO
- NTS NEZAHUALCOYOTL SUR - MAN (PT)

**CENTRO**

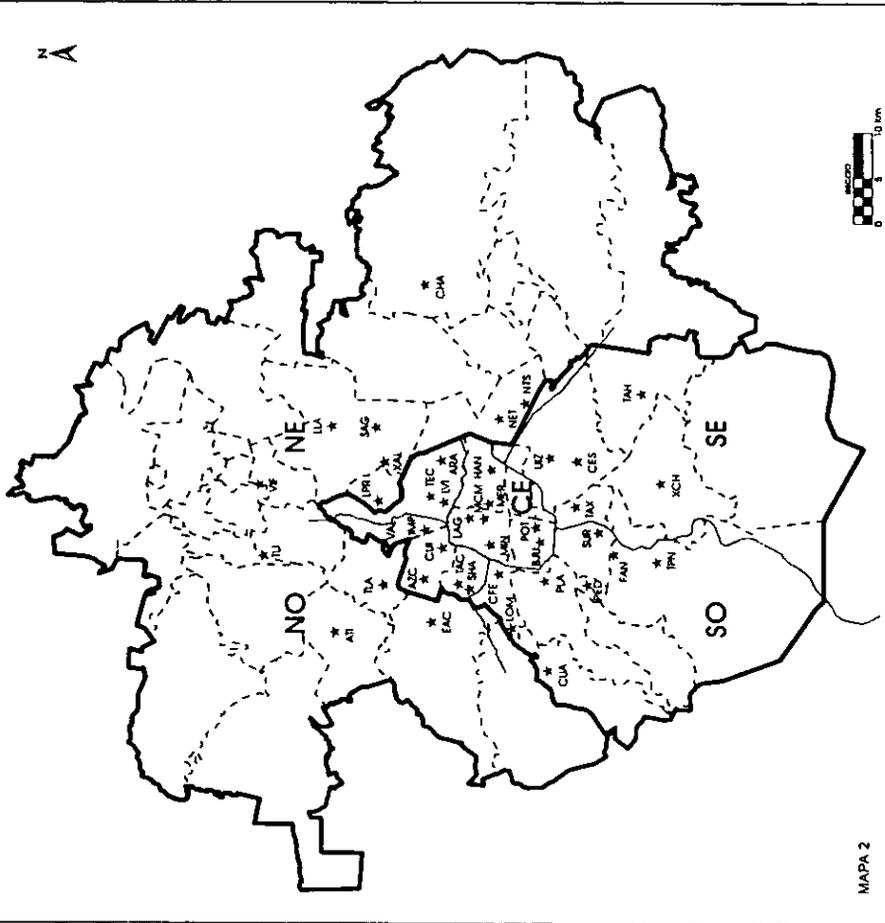
- LAG LAGUNILLA - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- MAZ MAZATECO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- MAS MASATEPE - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- MU MEXICO JARDIN - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- MAN MANRIQUEZ - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH
- XCM CENTRO DE MEXICO - MAN (PT) PAUO
- POF POZOS - MAN (PT)

**SUROCCIDENTE**

- RETE TETLAHUACAN - AUF ECU
- PCD PEDREGAL - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- PLA PLATEROS - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH MEI
- CUA CUAUHUILAN - AUF ECU
- IPN IPN - AUF ECU
- TEC TETLAHUACAN NOROCCIDENTE - MAN (PT) PAUO
- LOM LOMAS - MAN (PT)

**SURESTE**

- CET CERROS DE LA VISTA - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- UAJ JAQUES - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- VAL VALLEJO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- MAP MAPISQUITO - AUF ECU COJ NOZ NOX NOH PAUO PAUO (PT) MEI
- XCH XICHIMILCO - MAN (PT)



MAPA 2

#### **II.4.- EQUIPO DE APOYO AL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.**

Paralelo al funcionamiento de la Red de Monitoreo, se cuenta con equipo de monitoreo complementario que realiza diversas funciones de apoyo, éstos son las 2 Estaciones Piloto y las Unidades Móviles de Monitoreo Atmosférico.

Tanto las Estaciones Piloto como las Unidades Móviles están provistas con los analizadores de los tres subsistemas de la red para medir, de manera independiente y autónoma, los niveles de contaminación atmosférica y parámetros meteorológicos. Las Estaciones Piloto, con su ubicación estratégica dentro de la red, tienen como función servir como testigos de la operación de la red en su conjunto, por lo que reciben una vigilancia muy estricta, asegurando así su óptimo funcionamiento, éstas estaciones son utilizadas como puntos de referencia de los valores instantáneos medidos por las estaciones cercanas y en general por las demás estaciones. Las unidades móviles se utilizan para realizar estudios especiales en lugares remotos donde no se cuenta con la cobertura de la R.A.M.A., durante períodos predeterminados en caso de incidentes o accidentes, para evaluar la factibilidad de instalar una nueva estación de monitoreo y para auditar los datos de las estaciones automáticas de monitoreo atmosférico.

#### **II.5.- ÍNDICE METROPOLITANO DE LA CALIDAD DEL AIRE.**

Toda la información que se recibe del Sistema de Monitoreo Atmosférico se comunica cada hora a la población a través de los reportes del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA).

El índice de calidad de aire (IMECA) podemos definirlo como una transformación de los datos de concentración de los contaminantes a un valor simple y representativo de la calidad del aire en una región determinada. El IMECA consta de un algoritmo de cálculo para la obtención de los subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire, éste algoritmo involucra la utilización de funciones segmentadas basadas en dos puntos de quiebre principales, los cuales se obtuvieron a partir de los criterios mexicanos de calidad del aire que especifican las concentraciones para las cuales existen evidencias de provocar daños significativos a la salud, al primer subíndice se le asignó el valor de 100 y al segundo el valor de 500; entre estos dos puntos se definieron tres más, los cuales tienen por objeto clasificar el intervalo en diferentes términos descriptivos de la calidad del aire.

La función principal del IMECA es mantener informada a la población sobre la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, así como observar el comportamiento de los distintos contaminantes y comparar la calidad del aire entre las

distintas zonas. Para el efecto, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se dividió en cinco zonas en las cuales se reportan los índices de contaminación, para el caso de los contaminantes ozono ( $O_3$ ) y bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ), el índice reportado corresponde al máximo valor horario del contaminante de cualquiera de las estaciones que se encuentran en cada una de las cinco zonas, para el caso de monóxido de carbono (CO) el índice reportado corresponde al máximo del promedio móvil de 8 horas reportado en cada zona, para el bióxido de azufre ( $SO_2$ ) y partículas menores a 10 micras (PM-10) el índice reportado corresponde al máximo del promedio móvil de 24 horas reportado en cada zona y para partículas suspendidas totales (PST) el índice reportado corresponde al promedio de 24 horas por estación, realizando un muestreo cada 6 días.

Finalmente cabe agregar que los niveles del IMECA están asociados a las diferentes etapas de aplicación del Plan de Contingencias Ambientales, cuyo objetivo es prevenir y mitigar los posibles efectos de un evento crítico de contaminación atmosférica.

La estructura y funcionamiento de la actual Red Automática de Monitoreo Atmosférico responde, entre otras variables, a las condiciones físicas, urbanas y socioeconómicas de la ciudad de México y Área Conurbada, estos aspectos son abordados en el capítulo siguiente y nos permiten, posteriormente, comenzar a concretar los objetivos del presente estudio.

### CAPÍTULO III

## ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DEL ESPACIO URBANO DE LA ZMCM.

### III.1.- CONDICIONES FÍSICO-AMBIENTALES.

#### III.1.1.- Localización.

#### CUENCA DE MÉXICO

Valverde y Aguilar<sup>10</sup> desarrollaron un análisis de localización física y de expansión histórica de la Ciudad de México y Zona Conurbada, estableciendo que se localiza en la porción meridional de la Altiplanicie Mexicana, en la región denominada Cuenca de México, encontrándose comprendida entre los paralelos 19° 01' 18'' y 20° 09' 12'' y entre los meridianos 98° 31' 58'' y 99° 30' 52'' de longitud oeste, y contando con una superficie de 9560 km<sup>2</sup>. Varias entidades federativas comparten el territorio de la cuenca de México, comprendiendo la mayor parte del Distrito Federal, el occidente de Tlaxcala, una pequeña porción del estado de Puebla, el sur del estado de Hidalgo y el Estado de México, al que corresponde una mayor superficie (véase la tabla 3.1).

Tabla 3.1  
Distribución de la superficie de la Cuenca de México según las Entidades Federativas que la forman.

Entidad	Superficie en km <sup>2</sup>	Porcentaje
Estado de México	4800	50
Hidalgo	2500	26
Distrito Federal	1320	14
Tlaxcala	840	9
Puebla	100	1
Total	9560	100

Fuente: Bassols (1966).

<sup>10</sup> Atlas de la Ciudad de México. Departamento del Distrito Federal - El Colegio de México. Noviembre de 1987. p.p. 19-22.

### III.1.2.- Relieve.

Por ser la cuenca de México una región geográfica rodeada de sierras, constituye una cuenca cerrada o endorreica, es decir, aquella en que los ríos y arroyos que escurren desde las partes altas de dichas sierras desaguan a la llanura lacustre.

La cuenca de México se encuentra limitada hacia el norte por las sierras de Tezontlalpan, Tepotzotlán y Pachuca, que se caracterizan por ser las menos elevadas, pues sólo alcanzan una altura máxima de 3000 m.s.n.m. Al sur de la cuenca se levantan las sierras del Ajusco y de Chichinautzin, que alcanzan una altitud de 3500 a 3930 m.s.n.m. En el oriente, el límite está constituido por la Sierra Nevada, en donde sobresalen por su altitud los picos nevados del Popocatepetl y el Iztaccihuatl con 5465 y 5230 m.s.n.m., respectivamente. Por último, hacia el poniente se localizan las sierras de las Cruces, Monte Alto y Monte Bajo, con una altitud máxima de 3600 m.s.n.m.<sup>11</sup> Todas estas sierras tienen en común ser de origen volcánico.

La presencia de las sierras es uno de los aspectos físicos que caracterizan y limitan a la Cuenca de México, en el interior de ésta el relieve es básicamente suave, dominando la llanura lacustre con una altitud promedio de 2240 m.s.n.m., que solo se ve interrumpida por algunas elevaciones de relativa altura, entre las que destacan las sierras de Guadalupe en el norte del Distrito Federal y la de Santa Catarina en la porción sur-oriental.

De entre los múltiples problemas que enfrenta esta cuenca y que es producto del acelerado crecimiento de la ciudad, esta la contaminación atmosférica, que se agrava debido a que por un lado la Cuenca de México, al estar rodeada de sierras, se comporta como una olla que impide la salida de los contaminantes, y por otro a la constante emanación de desechos tóxicos, cuyas fuentes principales son las industrias y los vehículos automotores.

### DISTRITO FEDERAL Y ZONA METROPOLITANA.

El Distrito Federal se localiza en el sur-oeste de la cuenca de México, por lo que gran parte de su territorio queda comprendido en las partes bajas y de escaso relieve, generalmente en áreas que antiguamente ocuparon los lagos, tal es el caso de las delegaciones Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuahutémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Iztacalco, Iztapalapa, Tláhuac y una superficie considerable de Coyoacán y Xochimilco. La otra parte comprende dos zonas geográficas bien identificadas: la que corresponde al piedemonte, es decir, la transición de la zona plana a la sierra y la sierra misma, como son los casos de Milpa Alta, Tlalpan, Magdalena Contreras, Alvaro Obregón y Cuajimalpa.

<sup>11</sup> Datos obtenidos de las cartas topográficas Ciudad de México y Pachuca, escala 1:250 000 del INEGI.

El crecimiento de la mancha urbana, dentro del Distrito Federal, se ha dado preferentemente en terrenos correspondientes a la llanura lacustre; sin embargo, la expansión de la ciudad ha sido tal que también se puede observar una franca invasión de las estribaciones de algunas sierras, como las del Ajusco y las Cruces, en el Distrito Federal, y de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo en terrenos del Estado de México. Así, al hablar del crecimiento de la ciudad no podemos circunscribirnos únicamente al territorio del Distrito Federal, ya que el proceso de expansión física y la urbanización que representa ha rebasado los límites político-administrativos de esta entidad para penetrar en los terrenos del Estado de México.

Hasta 1940 la extensión de la ciudad se circunscribía principalmente a la llanura lacustre, con una topografía plana, a excepción de algunos lomeríos hacia el occidente del Distrito Federal en áreas como las Lomas de Chapultepec y Mixcoac, sin embargo esto ya indicaba una tendencia de crecimiento hacia las partes norte y sur-poniente de la ciudad.

En los cincuentas la expansión continúa sobre los terrenos planos del oriente, al pie del cerro de la estrella y hacia el norte, ya en terrenos del Estado de México, en forma de fraccionamientos residenciales e industriales, estos últimos preferentemente se establecieron en zonas de escaso declive siguiendo las principales carreteras y vías férreas, los conjuntos residenciales, por el contrario, comenzaron a invadir el piedemonte de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo, alrededor de la recién creada Ciudad Satélite. En esta misma década se empieza a dar la expansión sobre las zonas volcánicas del sur, con los desarrollos de Ciudad Universitaria y el Pedregal de San Ángel, iniciando la integración de esa zona al paisaje urbano.

En los sesentas continúa y se consolida el proceso de urbanización principalmente hacia la parte norte. En esta zona la ocupación del suelo ocurre principalmente en las planicies que se ubican alrededor de la sierra de Guadalupe e incluso empiezan a poblar sus laderas. Asimismo, se empieza a poblar el oriente, sobre terrenos secos y salinos del antiguo lago de Texcoco, a pesar de ser inadecuados para el uso urbano a causa de las tolveneras en la estación seca y de las inundaciones en la época de lluvia. Con la realización de importantes obras viales como el periférico, la ciudad continuó expandiéndose hacia el sur, ocupando suelos de origen lacustre en dirección a Xochimilco y terrenos cubiertos de lava hacia el rumbo de Tlalpan. Por otra parte, ciertos asentamientos residenciales comenzaron a ocupar el piedemonte de las sierras de Chichinautzin hacia el sur y de las Cruces en el poniente, tendencia que se consolidaría en la siguiente década.

En los setentas la ZMCM comprendía todo el Distrito Federal (a excepción de Milpa Alta) y del Estado de México se integraron los municipios de Tultitlán, Coacalco, La Paz, Cuautitlán, Atizapán de Zaragoza, Huixquilucan y Nezahualcóyotl. Con lo anterior, se presentan claramente varias tendencias de crecimiento: hacia el oriente la

ciudad prácticamente forma un cerco alrededor del cerro de la Estrella y de la sierra de Santa Catarina, aunque se ocupan principalmente terrenos de escaso relieve y de origen lacustre, se observa una tendencia a invadir las laderas de las elevaciones mencionadas. Hacia el sur continúan integrándose a la mancha urbana las zonas chinamperas de Xochimilco y Tláhuac y las laderas de la sierra del Ajusco. En el poniente la ocupación se da a lo largo de los parteaguas de los numerosos ríos, tal es el caso de las Águilas y Tecamachalco. En dirección norte el proceso de ocupación se origina con la expansión urbano-industrial, la sierra de Guadalupe se ve prácticamente cercada por usos urbanos, ocupándose preferentemente terrenos de escasa pendiente.

En los ochentas la ZMCM integra a la delegación Milpa Alta y a los municipios de Cuautitlán Izcalli, Chalco, Chicoloapan, Ixtapaluca, Nicolás Romero y Tecámac, todos pertenecientes al Estado de México. Lo anterior significa que la ciudad presenta dos tendencias principales de expansión: se mantiene la tendencia de crecimiento hacia el norte y cobra gran importancia la expansión hacia el oriente, en donde empieza a ocupar los terrenos lacustres del antiguo lago de Chalco y consolida la ocupación de las partes bajas del extremo oriente de la sierra de Santa Catarina, en áreas como Ayotla e Ixtapaluca. Asimismo, se incorporan amplias áreas de origen lacustre sobre un corredor urbano en dirección al poblado de Texcoco. En cuanto a la expansión de la ciudad hacia el norte, cuando ésta rodeó a la sierra de Guadalupe volvió a disponer de otra llanura lacustre del antiguo lago de Zumpango para el crecimiento de la mancha urbana, dándose importantes desarrollos industriales y habitacionales. Es de notar que con el crecimiento de la ciudad hacia estos dos rumbos los límites de la ZMCM entran por segunda vez en contacto con otras entidades federativas: en 1940 lo hizo por primera vez con el Estado de México y en 1980, con los estados de Puebla e Hidalgo, a través de los municipios de Ixtapaluca y Tecámac, respectivamente.

En los noventas, se integran a la ZMCM los municipios de Acolman, Atenco, Jaltenco, Melchor Ocampo, Nextlalpan, Teoloyucan, Tepotzotlan, Texcoco, Tultepec y Zumpango, con lo cual se llega a 27 municipios conurbados (Véase el cuadro 3.2). Cabe hacer énfasis que el crecimiento se dio hacia el norte y oriente, ocupando la región del valle de Cuautitlán- Texcoco, caracterizado por ser zonas lacustres y de depósito de materiales. Asimismo, el mapa 3 muestra la configuración y extensión actual de la ZMCM de acuerdo a los últimos datos reportados por el INEGI.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> INEGI. Estados Unidos Mexicanos. Censo de Población y Vivienda 1995. Resultados definitivos. Tabulados Básicos.

Cuadro 3.2  
Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1995.

DELEGACIONES	HABITANTES	SUPERFICIE (km <sup>2</sup> )
Alvaro Obregón	676 930	91.15
Azcapotzalco	455 131	33.28
Benito Juárez	3694 956	26.77
Coyoacán	653 489	54.44
Cuajimalpa de Morelos	136 873	77.42
Cuauhtémoc	540 382	32.79
Gustavo a. Madero	1 256 913	88.11
Iztacalco	418 982	23.32
Iztapalapa	1 696 609	117.09
Magdalena Contreras	211 898	64.38
Miguel Hidalgo	364 398	47.16
Milpa Alta	81 102	285.61
Tláhuac	255 891	99.24
Tlalpan	552 516	317.16
Venustiano Carranza	485 623	34.18
Xochimilco	332 314	116.40
<b>Municipios Conurbados:</b>		
Acolman	53 468	86.32
Atenco	27 988	142.33
Atizapán de Zaragoza	427 444	83.17
Coacalco	204 674	33.62
Cuautitlán	57 373	25.45
Cuautitlán izcalli	417 647	112.49
Chalco	175 521	250.41
Chicoloapan	71 351	32.35
Chimalhuacán	412 014	57.65
Ecatepec	1 457 124	161.56
Huixquilucan	168 221	148.05
Ixtapaluca	187 690	277.48
Jaltenco	26 238	14.12
La Paz	178 538	35.07
Melchor Ocampo	33 455	19.72
Naucalpan	839 723	154.70
Nextlalpan	15 053	66.96
Nezahualcoyotl	1 233 868	70.02
Nicolas Romero	237 064	231.15
Tecámac	148 432	148.64
Teoloyucan	54 454	45.34
Tepetzotlán	54 419	192.89
Texcoco	173 106	396.23
Tlalnepantla	713 143	72.88
Tultepec	75 996	30.73
Tultitlan	361 434	64.08
Zumpango	91 642	208.60

FUENTE: INEGI. Estados Unidos Mexicanos. Censo de Población y Vivienda 1995. Resultados definitivos. Tabulados Básicos. Nota: En cálculo de áreas se realizó con base en la cartografía digital del INEGI y utilizando el software ARC/INFO.

**CONFIGURACION ACTUAL DE LA CIUDAD DE MEXICO Y ZONA CONURBADA**

— LIMITE DEL DISTRITO FEDERAL Y ZONA CONURBADA  
 - - - - LIMITE DELEGACIONAL Y MUNICIPAL

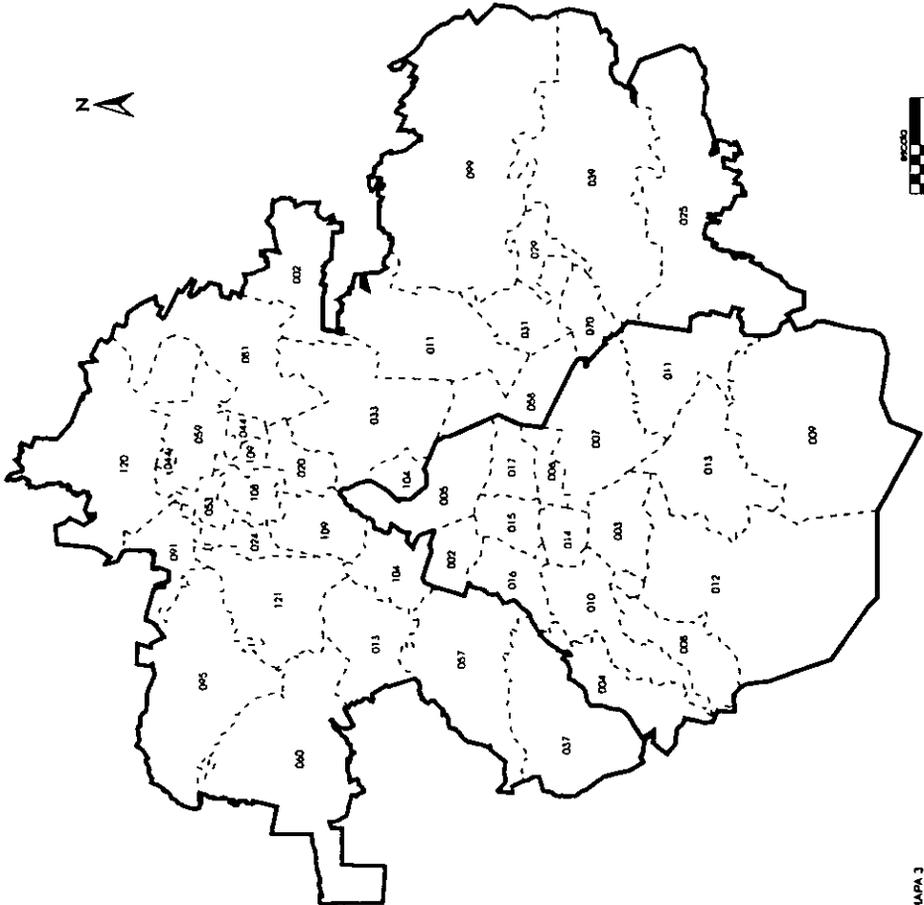
**DISTRITO FEDERAL**

- 002 ACAPOTZALCO
- 003 COYOACAN
- 004 CUAMAPAC DE MORELOS
- 005 CUICUILTEPEC A. MADRERO
- 006 IZTACALCO
- 007 IZTAPALPA
- 008 LA MAGDALENA CONTRERAS
- 009 MILPA ALTA
- 010 ALVARO OBREGON
- 011 TLAHUAC
- 012 TLALPAM
- 013 XOCHIMILCO
- 014 BENITO JUAREZ
- 015 CUAUHTEMOC
- 016 MIGUEL HIDALGO
- 017 VENUSTIANO CARRANZA

**ESTADO DE MEXICO**

- 002 ACOAMAN
- 011 ARENCO
- 013 ATZAPAN DE ZARAGOZA
- 020 COACUILCO
- 024 CUAUTLAMAN
- 025 CHICOLMAN
- 031 CHIHUAHUACAN
- 033 ECATEPEC
- 037 HUIXQUILCAN
- 039 XIQUILAPAN
- 044 JALTENCO
- 053 MELCHOR OCCAMPO
- 057 NAUCALPAN
- 058 NEZAHUALCOYOTL
- 059 MEXTLAHPAN
- 060 NICOLAS ROMERO
- 070 LA PAZ
- 081 TECAMAC
- 091 TEOLOTLIHUACAN
- 095 TEPICOTLAN
- 099 TOLUCA
- 104 TULTEPEC
- 108 TLATEPEC
- 109 TULTITLAN
- 120 ZUMPANGO
- 121 CUAUTLAMAN (CALI)

FUENTE: INEGI, Regional 10, Cartografía Censal 1993.



MAPA 3

### III.1.3.- Vegetación.

En la Cuenca de México se encuentran diferentes clases de asociaciones vegetales, con base en lo desarrollado por Melo y Oropeza<sup>13</sup>, en este apartado únicamente se describirán las principales, refiriéndonos a su actual distribución geográfica, área de cobertura, composición, fisonomía, estructura, estado de conservación y factores físicos que influyen en su desarrollo. La descripción se enfocará a 3 tipos de vegetación: bosques naturales, plantaciones exóticas y cultivos agrícolas.

#### BOSQUES NATURALES.

El bosque de pino se circunscribe a las cumbres más elevadas de las sierras. Las superficies significativas por su espesura y grado de conservación se localizan en los volcanes Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Ajusco, Papayo y Telapón, mientras que las partes más reducidas y dañadas cubren las cimas de los cerros Pelado, Cuautzin y Tláloc.

El bosque de oyameles (*Abies religiosa*) es escaso en la república y tiene en las principales serranías de la cuenca el hábitat adecuado para el desarrollo de amplias e importantes masas forestales, se localiza entre los 2700 y 3200 m.s.n.m. en las sierras de Pachuca, las Cruces, la Sierra Nevada y la de Chichinautzin. Este medio forestal tiene especial significado porque su estructura constituye un eficiente instrumento protector del terreno gracias a la existencia de una bien formada estratificación, aquí encontramos al estrato herbáceo, rico en cantidad y número de especies, al estrato arbustivo en el cual disminuye la riqueza florística con altura promedio de 5 metros y el estrato superior, constituido por densos bosques de oyameles con altura máxima del estrato uniforme de entre 35 y 40 metros. En la cuenca de México, el bosque de oyameles presenta, en alto porcentaje, adecuado estado de conservación. Por estar en parques nacionales la protección legal a estos bosques ha coadyuvado a conservar grandes extensiones, tal es el caso del Desierto de los Leones, de las cumbres del Ajusco, del sistema Iztaccíhuatl-Popocatepetl, la sierra Nevada y del Mineral del Chico, en la sierra de Pachuca.

El bosque de pináceas se presenta en altitudes que oscilan entre 2700 y 2800 m.s.n.m., con clima templado-húmedo, incluyendo varios grupos vegetales semejantes fisonómicamente con demandas ecológicas parecidas. La altura de su estrato arbóreo oscila entre 8 y 15 metros. Debido a que su medio ecológico es objeto de fuerte degradación, este bosque ha desaparecido en las principales serranías de la cuenca, excepto en las sierras de Patlachique, Tepozán, Chichicauhtla, Pachuca, Monte Bajo y la sierra Nevada, donde todavía subsisten pequeños manchones que, salvo los de ésta última, manifiestan un fuerte grado de perturbación.

---

<sup>13</sup> Atlas de la Ciudad de México. D.D.F. - Colegio de México. Noviembre de 1987. pp 33-35.

El bosque de enebros se limita a las laderas bajas de la sierra de Pachuca, Chichicuautila, Tepozán y Patlachique, creando franjas heterogéneas y discontinuas en altitudes que oscilan entre 2500 y 2700 m.s.n.m.; se ubican por debajo de las pináceas y su límite inferior son los matorrales xerófitos. Este bosque lo forman coníferas cuyo estrato superior tiene una altura media de 5 metros, el estrato arbustivo está compuesto por plantas densas de numerosas especies que constituyen una cubierta adecuada para la protección del terreno y en el estrato inferior existe un dominio absoluto de los pastos.

El bosque mixto de latifoliadas y coníferas se ubica en medios ecológicos mesófilos en los que coexisten latifoliadas y pináceas y que da lugar al típico bosque mixto de pinos y encinos. Presenta dos situaciones antagónicas: distribución aislada en el sur y menos dispersa en el norte, oriente y poniente. El primer caso incluye relictos, agrupados en pequeños manchones, que subsisten en laderas bajas de las sierras Nevada y de las Cruces, mientras que el segundo reúne áreas de mayor magnitud ubicadas en las sierras de Monte Alto, Tepetzotlán, Pachuca, Patlachique, Pitos, Cerro Gordo y Tepozán. En su estructura intervienen dos estratos característicos: la cubierta superior, que es la mezcla de encinos y pináceas de diferentes especies y el estrato arbustivo, que tiene mayor riqueza florística. Circunstancias de origen antrópico han causado fuertes desequilibrios en esta masa forestal, que en la mayoría de las veces la convierte en área deforestada que se transforma en campos de cultivo.

Los más extensos páramos de altura (zacatonales) se encuentran en los volcanes Iztaccíhuatl y Popocatepetl, donde se desarrollan entre los 3800 y 4800 m.s.n.m., colindando con el nivel de las nieves perpetuas. Áreas menos extensas de zacatonal cubren las cimas de los volcanes Ajusco, Tláloc y Telapón.

Existen otros tipos de asociaciones vegetales con variable área de cobertura, constituidas principalmente por: grupos de matorrales de densidad variable y que ocupan comúnmente terrenos anteriormente cubiertos por bosques; asociaciones de halófilas que se desarrollan en condiciones de salinidad y presencia de sodio, propias de los antiguos vasos lacustres de Zumpango, Xaltocan, San Cristóbal, Texcoco y, en menor escala, Xochimilco. Estas asociaciones se caracterizan por presentar fuertes disturbios edáficos causados por pastoreo, raquítica agricultura e inadecuados asentamientos humanos.

## PLANTAS EXÓTICAS Y CULTIVOS AGRÍCOLAS.

Finalmente tenemos a las comunidades vegetales artificiales que son: 1) las plantaciones exóticas, constituidas por elementos arbóreos que tiene por objetivo reforestar áreas cerriles (eucaliptos, casuarinas, pirules, estoraques, álamos y sauces) y que poseen elevado grado de adaptabilidad, crecimiento acelerado, resistencia a cambios ambientales, pocas exigencias edáficas, bajo costo de mantenimiento y alto poder

regenerativo. Estos bosques artificiales se localizan en pequeñas elevaciones en el fondo de la cuenca y en sitios planos adaptados a jardines públicos, como son los parques nacionales del Tepeyac y del Cerro de la Estrella, situados al norte y centro del Distrito Federal, respectivamente, el cerro Zacatépétl, el pie del Pedregal de San Ángel, en áreas de las estribaciones de la sierra de Guadalupe, en las laderas inferiores de la sierra de las Cruces y en los bosques de San Juan de Aragón y Chapultepec y 2) los cultivos agrícolas, que comprenden la mayor área de la cuenca de México, ocupando terrenos propios para la agricultura y que, conjuntamente con los asentamientos humanos, son el principal problema para el equilibrio ecológico de la cuenca.

### III.1.4.- Climatología y Meteorología.

Debido a la complejidad, tanto natural como urbana, que presenta la ZMCM y a su gran extensión, podemos identificar diferentes expresiones a nivel climático y microclimático. Respecto a esto último el Dr. Jauregui<sup>14</sup> encontró que la temperatura del aire aumenta de la periferia hacia el centro de la Cd. de México. La llamada "Isla de Calor" se localiza en general un poco viento abajo de la zona de mayor densidad de los edificios elevados, es decir al sureste del Centro, mostrando en algunas ocasiones indentaciones frías en áreas de parques y zonas abiertas. En la estación seca (nov-abr) y en noches despejadas con viento en calma se observaron las diferencias térmicas más acentuadas de 4°C ó 5°C. En estas condiciones las pérdidas de calor por radiación nocturna es más marcada en los alrededores que en el área urbana, misma que se encuentra cubierta por una nube de impurezas que absorbe y reirradia el calor despedido por las superficies urbanas.

Por latitud a la ZMCM le corresponde un clima tropical de montaña, aunque la temperatura se ve menguada por la altitud, otro rasgo climático como la regularidad e intensidad de las lluvias son típicos de los trópicos. En resumen, el clima de la ZMCM está determinado por los sistemas atmosféricos tropicales y extratropicales, distinguiéndose así dos estaciones climáticas bien definidas: la temporada de seca (noviembre-abril) y la estación lluviosa (mayo-octubre). Por lo anterior, se describirán las zonas climáticas que prevalecen en el área urbana.<sup>15</sup>

### ÉPOCA DE SECA.

Durante este periodo la circulación del aire sobre la cuenca es del oeste, noroeste o suroeste, intensificándose a medida que se asciende en altura. A la altura de la tropopausa

<sup>14</sup> Mesomicroclima de la Ciudad de México. Ernesto Jauregui O. UNAM - Instituto de Geografía. 1971. pp. 13.

<sup>15</sup> Atlas de la Ciudad de México. D.D.F. - Colegio de México. Climas. pp. 37.

(alrededor de los 13 kilómetros) los vientos alcanzan velocidades cercanas a los 100 km/h, estos vientos máximos forman la llamada corriente en chorro (jet stream). Mientras los vientos fuertes del oeste soplan en las alturas, en los niveles cercanos al suelo, ocasionalmente llegan masas de aire procedentes de las regiones polares de Norteamérica y Pacífico del norte.

La subsidencia (o descenso) del aire asociada a la circulación anticiclónica prevaleciente, origina en la Ciudad de México días de cielo despejado y de periodos de calma en los niveles inferiores (los primeros 100 a 200 m), especialmente por la noche y en la mañana.

Las perturbaciones que en forma de ondulaciones (o vaguadas en lenguaje técnico) viajan en el seno de la corriente aérea del oeste, ocasionan una intensificación del viento a su paso por la cuenca de México, levantando en ocasiones altas y densas cortinas de polvo, especialmente en la segunda mitad del período de seca, es decir, de febrero a abril. Estas tolvaneras que afectan a la capital también pueden tener su origen en una aglomeración de nubes convectivas que se desarrollan generalmente después del mediodía hacia el centro de la cuenca. Las corrientes turbulentas descendentes que obran debajo de estas nubes levantan espesos muros de polvo a su paso por los campos secos y desnudos de vegetación, comúnmente donde antes existió una zona lacustre. Impulsadas por los vientos dominantes (que en los niveles inferiores son del este), las nubes y el polvo avanzan luego sobre la ciudad, agravando los niveles de contaminación por algunas horas.

Conviene señalar que acciones como la del Plan Texcoco (pastización de unas 600 has.), la creación de cuerpos de agua como el lago artificial Nabor Carrillo (900 has) y las barreras rompeviento han contribuido a reducir localmente la erosión eólica y, en consecuencia, la frecuencia de las tolvaneras en ese rumbo de la ciudad. Pero la creciente urbanización con calles sin pavimentar en el perímetro de la capital así como la tala de vegetación arbórea, constituyen nuevas fuentes de polvo en la cuenca.

El paso de las tormentas invernales, asociadas a la llegada de una masa de aire frío, originan un descenso marcado de la temperatura que en promedio es de 3°C, pero que en ocasiones supera los 6°C. Lo más frecuente es que las masas de aire polar continental que penetran en la cuenca de México sean bastante secas (sobre todo al final de la estación), produciendo tiempo frío y ventoso con poca nubosidad.

## ÉPOCA DE LLUVIAS.

A partir del mes de abril la circulación atmosférica de invierno comienza a cambiar como resultado del calentamiento gradual de Norteamérica, debilitándose los vientos del oeste sobre la cuenca de México. En estas condiciones comienza a disminuir la influencia

del flujo anticiclónico de invierno al tiempo que crece el predominio de la corriente húmeda de los alisios.

En plena estación de lluvias los vientos invernales del oeste se han retirado completamente y en su lugar prevalece la corriente húmeda tropical de los alisios, la cual se profundiza entonces hasta llegar a la troposfera alta (13 km). Entonces prevalecen en la cuenca los movimientos ascendentes y convergentes hasta la tropósfera media, compensados por flujo divergente en los altos niveles de la misma zona. Esta situación atmosférica propicia la formación de nubes convectivas que originan los aguaceros de verano. En un día típico, después de una mañana soleada, se desarrollan los cúmulos al pie de las montañas para avanzar posteriormente sobre la ciudad, pasado el mediodía, las nubes han alcanzado su máximo crecimiento y ayudadas por la energía calorífica de la ciudad se precipitan en forma de violentos chubascos sobre el área urbana, especialmente hacia el sur y el poniente.

A continuación se presenta un breve resumen de las zonas, a nivel mesoclimático, identificadas por el Dr. Jaúregui.<sup>16</sup>

#### ZONIFICACIÓN POR PRECIPITACIÓN.

Según el sistema de clasificación climática propuesto por Köppen (1948), el clima de gran parte de la Ciudad de México es templado subhúmedo (Cw); sin embargo, el decrecimiento de las lluvias hacia el centro de la cuenca es tan acentuado que en la carta climática del INEGI<sup>17</sup>, el clima de algunos suburbios del Oriente y Noreste de la capital (Aeropuerto, San Juan de Aragón, Iztacalco y Agrícola Oriental) tiene ya, según dicha clasificación, características semiáridas (clima seco BS). Las zonas antes mencionada reciben menos de 600 mm anuales en promedio. Según esta clasificación al área urbana de la capital tiene tres climas en cuanto a la humedad del ambiente; zona poniente-sur, zona norte-centro y zona oriente. Cabe recalcar que existen estudios más específicos realizados por la Mtra. Enriqueta García donde adapta y subdivide la clasificación climática de Köppen a las condiciones particulares de México, específicamente para los climas BS.<sup>18</sup>

#### ZONIFICACIÓN POR TEMPERATURA.

Es sabido que la temperatura del aire en el centro de las grandes zonas urbanas es mayor que en los suburbios, debido por una parte a la mayor capacidad que tienen los

---

<sup>16</sup> Las zonas climáticas de la Ciudad de México. Ernesto Jaúregui O. Instituto de Geografía. México 1975. pp 47-58.

<sup>17</sup> INEGI. Carta Climática escala 1: 1 000 000. Hoja México.

<sup>18</sup> Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Enriqueta García. México. 1981. pp 41-42.

materiales de la ciudad (piedra, concreto, pavimento, etc.) para almacenar el calor del sol. Los vehículos y las fábricas, así como las grandes aglomeraciones de gente, son fuentes importantes de calor dentro del área urbana. Las calles del centro flanqueadas por grandes edificios se asemejan a profundas cañadas donde las paredes de las construcciones irradian calor entre sí, en vez de hacerlo hacia el cielo. Todos estos factores, junto con la nube de smog, hacen que el aire de la ciudad se mantenga más tibio que el del campo. El contraste térmico intra-ciudadino es mayor por la noche y al amanecer y menor al mediodía. Debido a este fenómeno las temperaturas mínimas debajo de 0°C (heladas) han desaparecido del centro de la ciudad.

Solo en algunas ocasiones las temperaturas máximas pueden ser más altas en la periferia que en el centro de la ciudad y es cuando predomina el efecto de la nube de impurezas que se cierne sobre la ciudad y que intercepta una parte (hasta 15%) de la radiación solar. Por otra parte, las temperaturas mínimas son generalmente más altas en el centro que en los suburbios debido en parte al efecto de invernadero de la nube de smog que limita el enfriamiento nocturno del aire urbano.

Las temperaturas más bajas ocurren en las mañanas de invierno: de 4°C a 8°C en el centro y de -3°C a -5°C en el borde oriente de la ciudad. Los contrastes térmicos son menos acentuados hacia el poniente de la capital debido principalmente al efecto topográfico de la zona de lomeríos. La mayor densidad de edificios altos en el centro reduce ahí la intensidad de los vientos, este hecho hace que sea mayor la sensación de sofoco al faltar la ventilación necesaria en la zona del centro durante la primavera calurosa de nuestra ciudad.

## ZONIFICACIÓN POR HUMEDAD.

En general, la humedad relativa es menor en las áreas urbanas que en los campos vecinos, pues la urbe cuenta con escasas fuentes de humedad. Es conocido el efecto benéfico de regulación de la humedad que tienen las áreas verdes en la ciudades, además, las zonas arboladas interceptan gran parte de las partículas y polvos que flotan en el aire urbano, ayudando a reducir la contaminación por polvos. Las fuentes de humedad, como parques y jardines públicos, son todavía insuficientes y no han crecido al mismo ritmo que se ha extendido el área urbana de la capital. Áreas verdes como Chapultepec, San Juan de Aragón, el zoológico de Tlalpan, etc., son fuentes importantes de humedad en los suburbios, donde además existe un mayor número de casas con jardines y avenidas arboladas. El resultado es que en las zonas del centro el aire es más seco que en la periferia. Durante la estación lluviosa los contrastes de humedad entre la ciudad y el campo son pequeños, pero cuando deja de llover, el rápido escurrimiento sobre azoteas y pavimento reduce las horas de evaporación en la ciudad, no permitiendo la alimentación continua de la humedad relativa citadina.

## ZONIFICACIÓN POR VENTILACIÓN.

Se ha mencionado la reducción de la intensidad de los vientos en la zona del centro originada por la mayor densidad de edificios elevados, si a este efecto se agrega el debilitamiento que sufren las corrientes generales de aire que cruzan la cuenca por la presencia de montañas circundantes, es fácil comprender porque las áreas del centro registran más períodos de aire en calma, sin embargo, esto no es permanente, y la ventilación del centro (y de toda el área urbana) mejora notablemente cuando los vientos regionales se intensifican como resultado del paso de las masas de aire sobre la cuenca de México, es entonces cuando la ventilación llega a ser tan enérgica que barre todas las impurezas que flotan en el aire citadino, mejorando la claridad y transparencia de la atmósfera, sin embargo, la gran cantidad de emisiones que se arrojan a la atmósfera ocasionan que el aire se vuelva a enturbiar en el momento en que los vientos dejan de soplar.

Por la mañana, los vientos débiles que bajan de las montañas producen una convergencia del flujo hacia el centro de la ciudad, esta situación es desfavorable para la dispersión de contaminantes, que tienden concentrarse en el centro de la ciudad en las horas de mayor actividad vehicular entre las 7 y 10 horas.

## ZONIFICACIÓN POR CONTAMINACIÓN DEL AIRE.

Partiendo del hecho que la topografía y las condiciones meteorológicas dificultan la dispersión de contaminantes y siendo los vehículos la principal fuente de aporte de contaminantes, es normal que la nube de impurezas sea más densa en la parte central, que es la zona de mayor actividad vehicular. Aunado a lo anterior, las fuentes fijas dispersas por toda el área urbana - especialmente la parte norte de la ciudad - y la complejidad de las trayectorias del aire superficial, dan por resultado una distribución bastante irregular de las líneas de isoconcentraciones, en general podemos afirmar que las máximas concentraciones de bióxido de azufre las encontramos en la zona noroeste, correspondiente a la región industrial de Vallejo, en el caso del ozono, teniendo como precursores a los NOx e hidrocarburos y un proceso de formación fotoquímico, su distribución esta muy asociada con la trayectoria de los vientos dominantes, así, es común registrar las máximas concentraciones en la zona suroeste por la tarde, cuando los vientos ya acarrearón la masa de contaminantes provenientes de la parte norte y ya tuvieron tiempo para reaccionar. Las partículas suspendidas totales (PST) y las partículas menores a 10 micras (PM-10) registran las máximas concentraciones en la zona noreste y oriente, debido a la existencia de grandes zonas erosionadas y a la extensión de la mancha urbana sin servicios de pavimentación, este problema se agrava en la estación de seca.

## VIENTOS LOCALES EN EL VALLE DE MÉXICO.

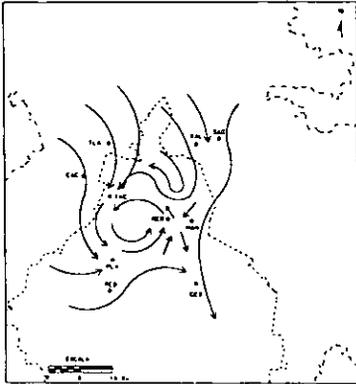
De acuerdo a la información de vientos de superficie proporcionada por las estaciones meteorológicas de la R.A.M.A. y tomando en cuenta el efecto de la topografía circundante, se establece que en el Valle de México no existe un patrón definido en el flujo estacional, mensual o anual de éste parámetro, lo anterior es claramente observable en los mapas de vientos de las páginas siguientes. En el análisis de flujo de viento en forma tri-horaria, se puede observar que se desarrollan microsistemas en circulación de baja presión, alta presión o bien de vientos predominantes en forma temporal y en una sola dirección. Esta es la razón de que los contaminantes que se emiten en una zona, y de acuerdo al patrón de vientos imperantes, aparezcan en otras zonas. Aún cuando a la cuenca de México en el transcurso del año lo afectan diversos sistemas meteorológicos, éstos no son determinantes para establecer vientos dominantes definidos, ya sea del norte, del sur, etc. Sin embargo es importante mencionar que al mediodía y primeras horas de la tarde, con frecuencia el viento fluye en dirección de norte a sur, con desviaciones ya sea al sureste o al suroeste, siendo ésta la causa de que los precursores de ozono reaccionen en los lugares antes mencionados.

Lo anterior es claramente observable en los siguientes mapas de flujo de vientos mensuales de superficie (Tri-horarios) para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, correspondiente al periodo de julio de 1994 a junio de 1995, de esta forma es posible observar el comportamiento de los vientos durante un año completo, mismos que permiten identificar sus trayectorias, variaciones estacionales y su relación con los sitios de monitoreo propuestos.

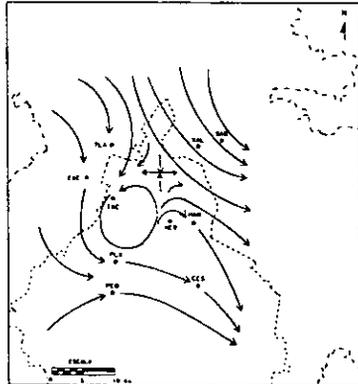
CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES DE JULIO DE 1994

CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES DE AGOSTO DE 1994

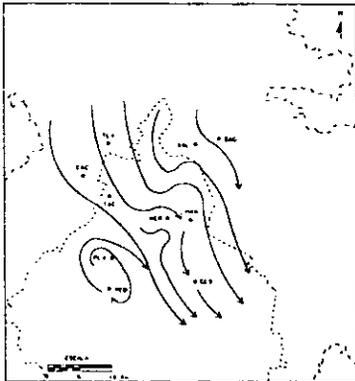
6:00 HRS.



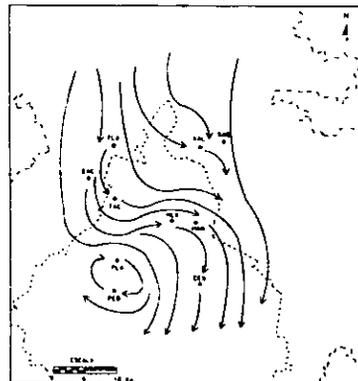
6:00 HRS.



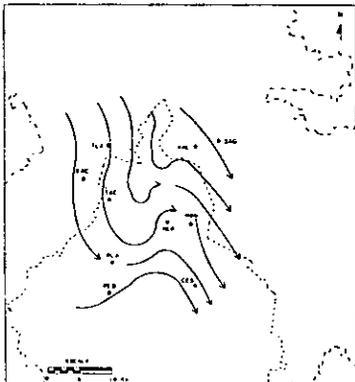
12:00 HRS.



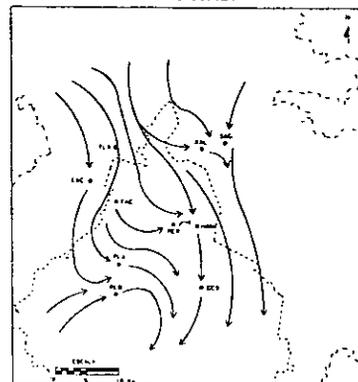
12:00 HRS.



18:00 HRS.



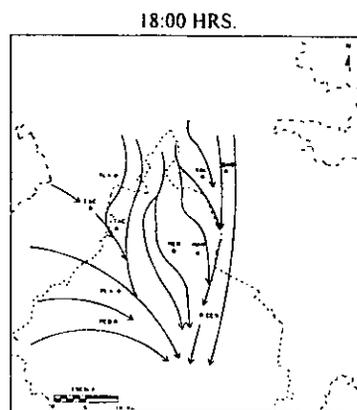
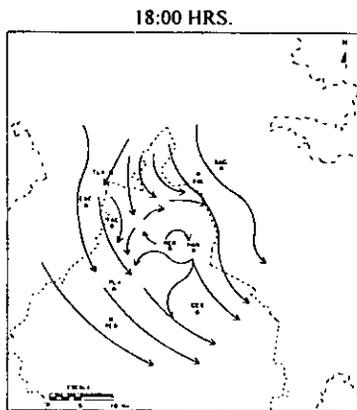
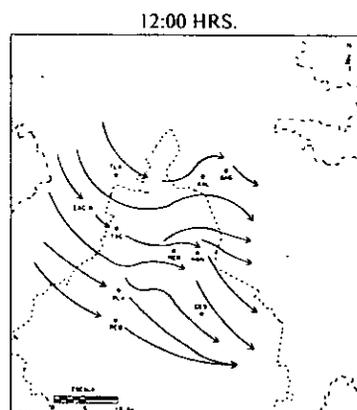
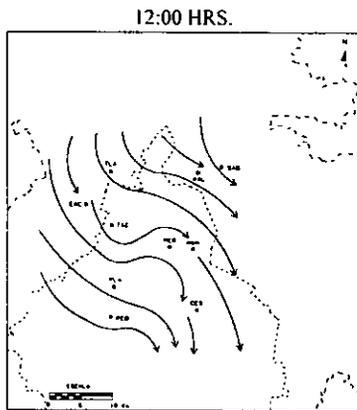
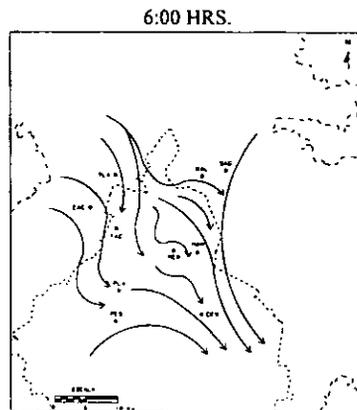
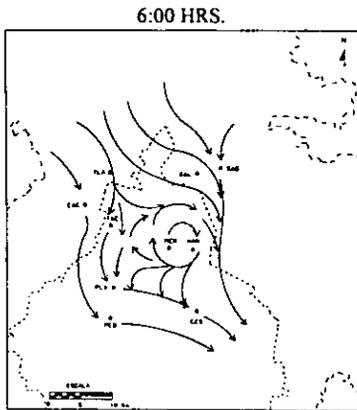
18:00 HRS.



Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del D.F. - Subdirección de Meteorología.

CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES DE SEPTIEMBRE DE 1994

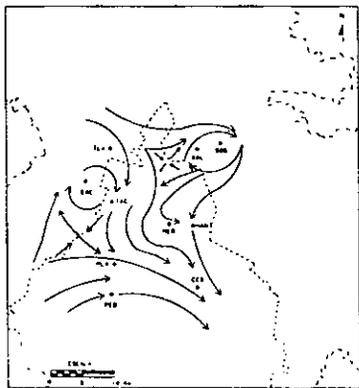
CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES DE OCTUBRE DE 1994



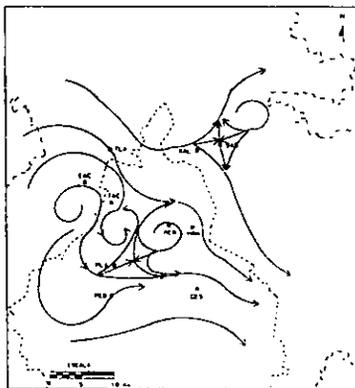
Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del D.F. - Subdirección de Meteorología.

CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES  
DE NOVIEMBRE DE 1994

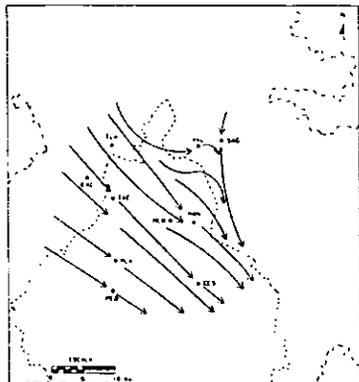
6:00 HRS.



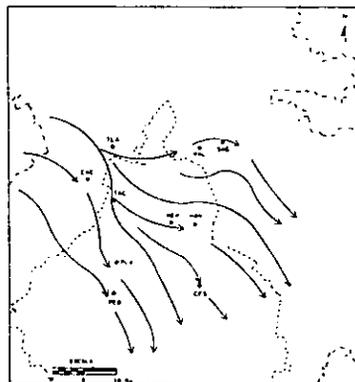
6:00 HRS.



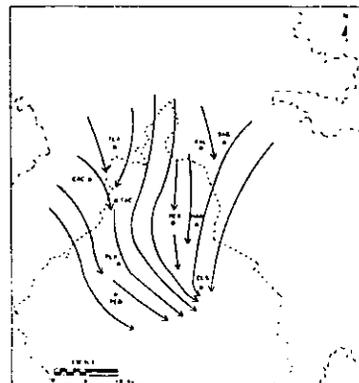
12:00 HRS.



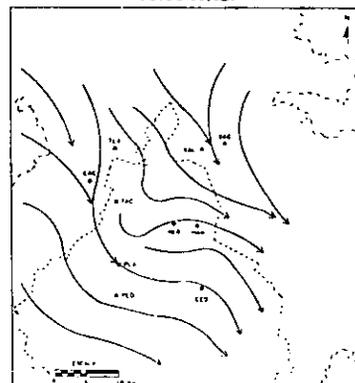
12:00 HRS.



18:00 HRS.



18:00 HRS.



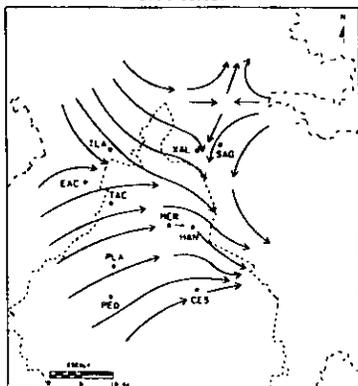
Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del D.F. - Subdirección de Meteorología.



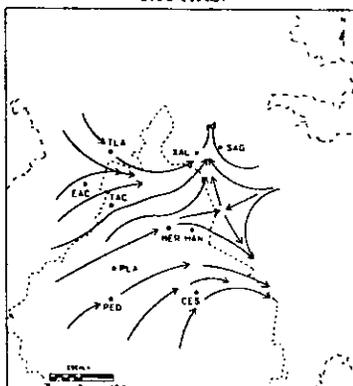
CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES DE MARZO DE 1995

CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES DE ABRIL DE 1995

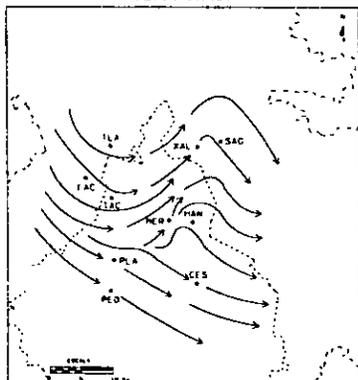
6:00 HRS.



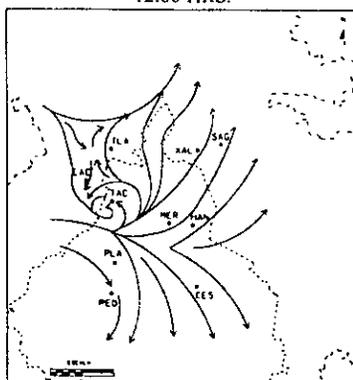
6:00 HRS.



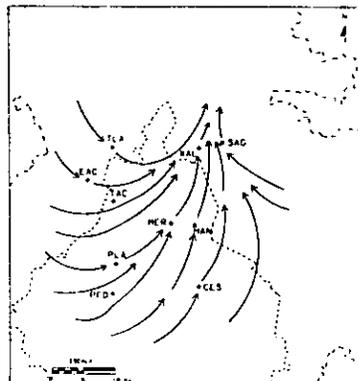
12:00 HRS.



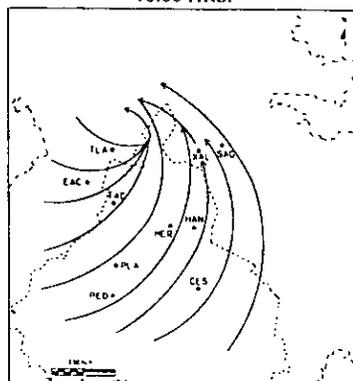
12:00 HRS.



18:00 HRS.



18:00 HRS.

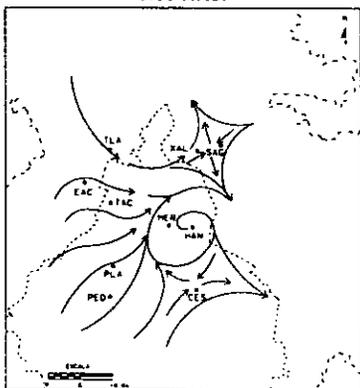


Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del D.F. - Subdirección de Meteorología.

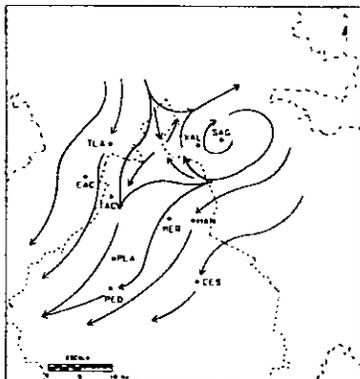
# Estructura y organización del espacio urbano de la ZMCM

## CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES DE MAYO DE 1995

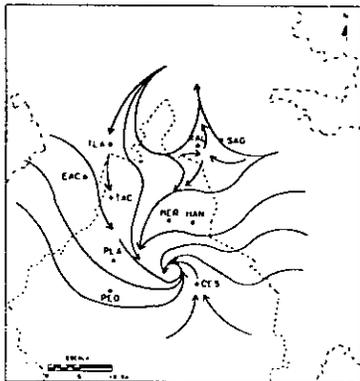
6:00 HRS.



12:00 HRS.

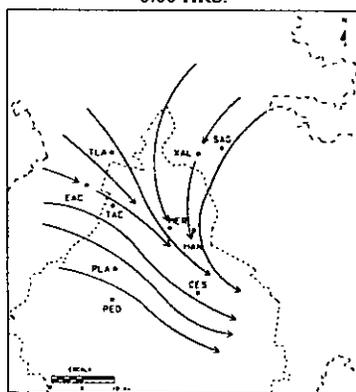


18:00 HRS.

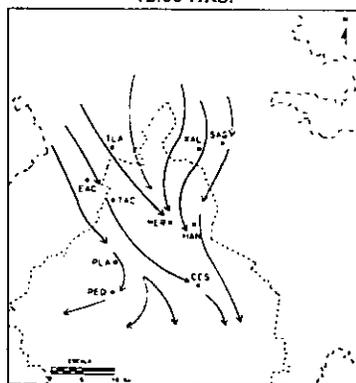


## CAMPOS DE VIENTO DE SUPERFICIE DEL MES DE JUNIO DE 1995

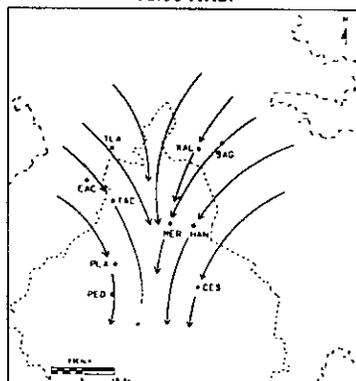
6:00 HRS.



12:00 HRS.



18:00 HRS.



Fuente: Red Automática de Monitoreo Atmosférico del Gobierno del D.F. - Subdirección de Meteorología.

### III.2.- MEDIO URBANO.

El patrón de crecimiento urbano en los últimos cinco decenios se ha dado en forma irregular y desordenada, ya que no sólo se han establecido asentamientos a lo largo de las principales vías de comunicación, sino en espacios de difícil acceso, lo cual surge como respuesta a una necesidad de suelo más barata para la población de menores recursos, en algunos casos presa de maniobras especulativas e ilegales. Este planteamiento es desarrollado a detalle por Iracheta<sup>19</sup> y da una idea de la gran complejidad de este problema.

Han sido la regularización de la tenencia de la tierra y la constitución de reservas territoriales, los dos mecanismos o políticas más importantes que ha utilizado el Estado para resolver los problemas de uso de suelo para vivienda y para el equipamiento que se le asocia a ésta, dentro de la ZMCM. La constitución de reservas territoriales es una acción de planeación territorial que ha sido asumida por el Estado de México y no por el D.F. En este sentido, el "Esquema Rector de Usos del Suelo", concertado por el gobierno del Distrito Federal y el del Estado de México en 1986 para ordenar la ZMCM, establece que "los ordenamientos referentes al desarrollo urbano en el Distrito Federal no contemplan la creación de reservas territoriales para el crecimiento; proponiendo la captación de los nuevos pobladores por la vía del aumento de las densidades de las actuales áreas urbanas". En cambio, el gobierno del Estado de México en su "Programa Estatal de Suelo 1986", considera a la reserva territorial como una de las líneas de acción más importantes para el ordenamiento de la ZMCM. Por medio de esta acción se pretende "abrir una oferta amplia y oportuna de tierra para la población de bajos recursos económicos y para el establecimiento del equipamiento regional y metropolitano".

Así, la reserva territorial ha sido conceptualizada como la vía más idónea para intervenir en la ordenación del crecimiento urbano de la ZMCM. En este sentido, la adquisición masiva de tierra urbanizable pretendería "equilibrar" el efecto de segregación social - irregularidad producida por la existencia de un mercado de suelo urbano altamente especulativo -, en otras palabras, ante la imposibilidad política de controlar y afectar al mercado privado, el Estado interviene por la vía de la reserva territorial; como un elemento concurrente más, aunque teóricamente motivado por el servicio público y no por la ganancia.

Por citar un ejemplo, según estadísticas oficiales de 1987 del gobierno del Estado de México, la superficie total que se encontraba constituida o en proceso de constitución como reserva territorial gubernamental alcanzaba 3,202.38 has. Por su localización, 1,927.5 has. (60.19%), se ubicaron en los municipios del norte de la ZMCM y 1,274.88 has., (39.814%) en los municipios de oriente de la misma. La primera respondió a un

---

<sup>19</sup> Iracheta Alfonso. Grandes Problemas de la Ciudad de México. pp. 76-78.

nuevo crecimiento metropolitano y la segunda a proporcionar tierra para vivienda popular en la zona con mayor presión para este tipo de uso en toda la ZMCM. Con lo anterior podemos deducir cual ha sido la tendencia de expansión de la ZMCM, sus razones y su funcionamiento.

La constitución de reservas territoriales se enfrenta con múltiples problemas que en algunos casos limitan seriamente la posibilidad de actuación del Estado, un caso concreto es que la solicitud de expropiación de áreas ejidales es un proceso muy complicado y lento y cuando se llega a aprobar dicha solicitud, los terrenos se encuentran ya con asentamientos irregulares, lo anterior implica que cuando dichas reservas sean entregadas al gobierno estatal, éste deberá iniciar un programa de regularización de la tenencia de la tierra y lo más grave, perderá buena parte de esta superficie para el uso que se le había asignado originalmente. En conclusión, dentro del proceso de planificación del crecimiento urbano, el Estado se aboca a tomar medidas eminentemente correctivas, con la finalidad de aligerar el problema y evitar un caos urbano.

La constitución de reservas territoriales al no aplicarse junto con políticas integrales de desarrollo urbano, permiten la especulación innecesaria con áreas circunvecinas. El proceso de constitución de reservas territoriales que ha utilizado el Estado responde a condiciones socio-políticas concretas que dificultan la búsqueda de acciones que, además de proporcionar tierra a los organismos de planeación, les permitan garantizar el respeto a reglas básicas de uso de suelo y sobre todo que, a lo largo del tiempo, permanezcan los beneficios de transferencia de dichas reservas en manos de los grupos sociales que realmente la necesitan.

### **III.2.1.- Estructura urbana.**

Desde una perspectiva general y retomado algunos planteamientos de Delgado<sup>20</sup> podemos afirmar que el crecimiento horizontal de la Ciudad, como patrón de expansión territorial predominante en el Área Metropolitana de la Ciudad de México, se expresa en base a dos características generales: por la incorporación progresiva de grandes extensiones de tierra en la periferia, no atractivas para el gran capital inmobiliario, pero accesibles para la población de bajos recursos; y por el bajo nivel de densidad ocupacional que se manifiesta en un proceso de poblamiento disperso y totalmente exento de directrices planificadoras. Como un ejemplo real de lo anterior podemos mencionar el caso del Valle de Chalco, que nos ofrece una idea del patrón de ocupación presentado, caracterizado por poseer un gran porcentaje de lotes baldíos en proceso de construcción y edificaciones construidas dispersas.

---

<sup>20</sup> Delgado, Javier. Grandes Problemas de la Ciudad de México. pp 185-203.

La configuración y estructura urbana actual de la Ciudad de México y Zona Metropolitana es el resultado de procesos históricos de segregación urbana, que tienen su expresión concreta en la desigual localización y calidad de servicios y equipamiento, tanto a nivel intra-urbano como con respecto al área urbana contigua (ZMCM). El esquema de conjuntos de Centros y Subcentros Urbanos, elementos nodales de las políticas urbanas tanto del D.F. como del Edo. de México, fue creado para resolver estas grandes desigualdades, pero según los resultados observados hasta la fecha dichas políticas no han disminuido la actual estructura segregada de la ciudad y por el contrario parece que se avanza hacia la consolidación de la misma.

En el ámbito urbanístico se manejan diversas propuestas de análisis de la actual estructura urbana, por ejemplo el modelo de anillos concéntricos, entre otros. Sin embargo, y con riesgo de caer en una generalización, se ha retomado el análisis estructural realizado por algunos urbanistas que consiste en la reducción de la problemática a un esquema de grandes sectores urbanos con un determinado grado de homogeneidad interna y que se definen como segregados en función de la dosificación existente del equipamiento en sus áreas. Este esquema permite lograr una visión global de la composición del área urbana continua sin hacer una referencia estricta a la división política establecida, que desde el punto de vista de la problemática abordada sólo refleja una estructura ficticia de la ciudad y una política diferenciada de equipamientos urbanos dentro del D.F. y en mayor medida con respecto a los municipios conurbados.

Se entiende por **equipamiento urbano** a todas aquellas áreas dedicadas a las actividades de Educación, Salud y Abasto a la población, mientras que **servicios** hace referencia a la infraestructura presente en determinado lugar, por ejemplo alumbrado, pavimentación, etc. Por lo anteriormente mencionado, se retomó la división de la zona urbana en contornos, los cuales quedan constituidos por las siguientes delegaciones y municipios: CIUDAD CENTRAL por las 4 delegaciones centrales del DF (Miguel Hidalgo, Cuahutémoc, Benito Juárez y Venustiano Carranza); El 1er. contorno o ÁREAS INTERMEDIAS por Azcapotzalco, Gustavo A Madero, A. Obregón, Coyoacán, Iztacalco e Iztapalapa; el 2o. contorno o 2a. CONURBACIÓN, por Naucalpan, Tlalnepantla, Ecatepec, Neza, M. Contreras, Tlalpan y Xochimilco y; el 3er. contorno o METROPOLIZACIÓN por los municipios y delegaciones restantes.

Así, se puede considerar que existe un perfil de equipamiento muy desigual, que se caracteriza por el sobre-equipamiento de las áreas centrales y el sub-equipamiento de la periferia, apenas mediados por un transitorio equilibrio de las áreas intermedias. Se considera que mientras que el centro siempre ha superado ampliamente la norma de nivel de equipamiento considerada (10% de área equipada con respecto al área total), en las áreas intermedias se registra una pérdida relativa de su dotación pero manteniéndose muy cerca del nivel normativo, los dos contornos de la periferia cuentan solamente entre la mitad y un tercio del equipamiento necesario. La anterior tendencia de segregación es la

observada a partir de estudios realizados por especialistas entre 1970 y 1986, observándose una agudización de la diferencias de equipamiento entre los años antes mencionados. El desfazamiento entre la población y los servicios no sólo origina la mayor parte de los movimientos de transporte que se realizan en la ZMCM, sino que además puede dar una medida más exacta de la segregación. La tabla 3.3 muestra de manera clara lo anterior.

Tabla 3.3  
Estimación del déficit de equipamiento y servicios por anillos, ZMCM.

Contorno	% del área dedicada al equipamiento	% déficit estimado	% Población Residente
Ciudad Central	16.68	-6.68	13.2
Áreas Intermedias	9.89	0.11	31.2
2a. Conurbación	5.14	4.86	39.4
Metropolización	3.66	6.34	16.2
Total Área Urbana Continua	7.45	2.55	100.0

FUENTE: Delgado, Javier. El Proceso de Metropolización de la Ciudad de México, 1970-1986. CECODES. 1988

En la conformación de esta estructura segregada han intervenido de manera compleja una serie de factores políticos e históricos que tienden a modificar y diluir estas diferenciaciones intraurbanas. Sin embargo determinadas intervenciones dentro de la estructura urbana tienen una gran incidencia en el proceso de conformación urbano-territorial de una región, como es el caso de las implantaciones industriales, las vías de comunicación, la construcción de grandes unidades habitacionales e incluso la autosegregación de los distintos grupos sociales, entre otros.

Para ejemplificar el proceso de estructuración diferencial algunos autores han planteado, aún corriendo el riesgo de una fuerte simplificación, relacionar esta tendencia con la construcción de una serie de grandes obras de infraestructura y equipamiento y con la intervención estatal en la conformación de ciertas zonas urbanas perfectamente definidas, que han tenido como resultado, al integrarse en la estructura urbana global de la ciudad, el perfil urbano que nos caracteriza hoy día. Dentro de las anteriores podemos mencionar entre 1930 y 1950 la implantación de una zona industrial al norte de la ciudad, la construcción de la refinería de Azcapotzalco y el Aeropuerto, definiéndose dos tendencias básicas de expansión urbana: una básicamente industrial hacia el norte y otra principalmente habitacional hacia el sur con asentamientos de ingresos medios y altos,

mientras que la localización de los estratos sociales y económicos más bajos se dirigió desde entonces hacia el oriente y norte de la ciudad.

En la década de los 60's la construcción del periférico jugó un papel de primer orden en la estructura actual, ya que fue el primer trazo no radial y definió 3 grandes sectores urbanos: uno en cada extremo y un intermedio. Hasta este momento el crecimiento de la ciudad -tanto de su núcleo central como por nueva periferia- había seguido los ejes radiales que partían del núcleo central como: Insurgentes, Tlalpan, Zaragoza y las carreteras a Pachuca y Querétaro.

De 1960 a 1986, la modernización de 3 de las 5 carreteras regionales influyeron en la conurbación de los municipios por los que atravesaron, conformando grandes sectores urbanos nuevos que adquirieron una relativa homogeneidad interna.

La carretera a Querétaro construida como continuación del Periférico acercó a los municipios de Atizapán, Tultitlán y Cuautitlán, conformando dos zonas claramente identificadas: una primera "zona norte" como continuación del norte del DF y, en segundo lugar, el sector de los "Cuautitlanes" (Cuautitlán, Coacalco, Izcalli y Tultitlán). De esta forma se observa la conformación de una nueva zona a nivel metropolitano en torno a un solo proyecto urbanístico y administrativo como es el nuevo municipio de Cuautitlán Izcalli.

La carretera a Pachuca ha facilitado la ocupación progresiva de Ecatepec durante los 70's, la conurbación de Tecámac y Zumpango sugiere que pronto la ciudad de Tizayuca (Hidalgo), será la primera ciudad de una tercera entidad en conurbarse. Este trazo de carretera se puede considerar como el eje estructurador de la zona noreste.

Hacia el oriente, la carretera a Puebla, primero, y después el camino de Xochimilco a Tláhuac han estructurado un enorme -y tal vez el más grande- sector oriente, que tiene como característica principal el que se ha reservado para el crecimiento de los estratos más pobres de los habitantes de la ZMCM, esta zona está constituida por Nezahualcoyotl, Chimalhuacán, Chicoloapan, La Paz y el Valle de Chalco.

Es importante no perder de vista la influencia que podrían tener en la expansión de la ciudad, la construcción de las líneas del metro de Buenavista a Ciudad Azteca (en ejecución), de Guerrero a Xalostoc (en proyecto), el tren elevado de Santa Mónica a Bellas Artes (en proyecto), la terminación del Periférico, la terminación del ambicioso proyecto Santa Fe (en ejecución) y la construcción del aeropuerto alterno de la Ciudad de México, que vendrían a reforzar la tendencias de crecimiento principalmente hacia el norte, oriente y poniente de la ciudad.

Finalmente y de acuerdo a las tendencias de crecimiento urbano observadas hasta la fecha y según estudios de proyección sobre la movilidad poblacional, se espera que para finales de la última década del presente siglo, la mayoría de la población de la ZMCM se encuentre ubicada fuera de los límites administrativos del DF.

### II.2.2.- Uso de suelo

La problemática del suelo en el área metropolitana se remonta a principios de la década de los cuarenta, época en que se inicia de manera evidente el despegue del desarrollo urbano, industrial y de las actividades terciarias, redundando en una demanda cada vez mayor de suelo para urbanización. El crecimiento espacial acelerado terminó por rebasar los límites del DF e invadió los municipios aledaños del Estado de México, hasta llegar a formar lo que hoy conocemos como ZMCM.<sup>21</sup>

Tal como afirma García, la configuración del uso de suelo actual es resultado de complejos procesos de crecimiento y expansión urbana, cuyo origen formal se puede situar en los cuarentas y que definió la trayectoria que habrían de seguir las posteriores transformaciones. El patrón de crecimiento del uso de suelo en los últimos cuatro decenios ha sido por demás irregular, ya que no sólo se han detectado asentamientos a lo largo de las principales vías de comunicación, sino también en espacios de difícil acceso. La ocupación del área agrícola y forestal para usos urbanos agrava, por un lado, las condiciones ecológicas, y por otro, implica costos elevados de urbanización. Por lo anterior, el crecimiento horizontal que se ha desarrollado en la ZMCM presenta una serie de problemas diversos como invasión de zonas de reserva, tenencia de la tierra irregular, servicios e infraestructura deficientes, conflictos de carácter social, entre otros.

Respecto a los usos del suelo que actualmente se dan en la ZMCM, se pueden observar diferencias entre el DF y los municipios conurbados del Edo. de México, algunos estudiosos de la materia (Iracheta, 1985: 58), señalan que esto se debe en parte a que el crecimiento poblacional de éste último ha respondido a las políticas urbanas llevadas a cabo por el DF, y que hasta 1985 más de un tercio de la población asentada en los municipios conurbados proviene del DF. Este proceso producido por la migración del DF, no sólo se ha reflejado en los asentamientos humanos, sino también en los asentamientos industriales, lo cual ha condicionado el predominio de ciertos usos de suelo en ambas entidades.

Hasta 1986 en el DF sólo el 37.2% (55401 ha.) de su superficie total correspondía al área urbana ocupada, dentro de la cual los usos de suelo se encuentran distribuidos como se indica en la tabla 3.4.

---

<sup>21</sup> Atlas de la Ciudad de México. DDF - Colegio de México. Noviembre de 1987. pp 237 - 240.

Tabla 3.4  
Usos del suelo en el Distrito Federal (1986)

USO DE SUELO	SUPERFICIE (Has.)	PORCENTAJE RELATIVO DEL ÁREA URBANA OCUPADA
Habitacional	27 197	49.09
Industrial	2 936	5.30
Servicios	5 069	9.60
Espacios abiertos	4 936	8.91
Vialidad	15 263	27.55
Total	55 401	100.00

FUENTE: Dirección General de Reordenación Urbana y Protección Ecológica, DDF, México, 1986.

En lo que se refiere a los municipios de la zona metropolitana, hasta 1985 se observa que poco más de la mitad (58.1%) de los usos de suelo son de carácter habitacional, siguiendo en importancia áreas verdes (18.1%), reservas territoriales (12.2%) y en menor porcentaje el uso industrial (9.4%). El porcentaje del uso dedicado al equipamiento no es representativo (0.9%). Sobresale el hecho de que el uso de suelo industrial para los municipios conurbados era más del doble que en el DF. Es posible que esta tendencia se haya acentuado aún más en la actualidad (véase la tabla 3.5).

Tabla 3.5  
Usos del suelo en los municipios conurbados del Estado de México (1985)

USO DE SUELO	SUPERFICIE (Has.)	PORCENTAJE RELATIVO DEL ÁREA URBANA OCUPADA
Habitacional	41 528	58.1
Industrial	6 732	9.4
Equipamiento	682	0.9
Áreas verdes	12 863	18.1
Cuerpos de agua	908	1.3
Reservas	8 765	12.2
Total	71 478	100.00

FUENTE: Iracheta et al., 1985, pp. 67-77.

### III.2.3.- Aspectos socio-demográficos.

Actualmente, y según los resultados del censo de población 1995, se puede afirmar que la Ciudad de México no es la más poblada del mundo, aunque está entre ellas. Existen ciudades más pobladas como Bombay, Calcuta y Hong Kong y ciudades más extensas como Los Ángeles y New York. Así pues, la característica peculiar de la Ciudad de México no es su tamaño ni su número de habitantes, sino las elevadas tasas de crecimiento y densidades de población que se observan desde hace varias décadas. Mientras los Ángeles crece a tasas anuales inferiores al 1.5%, con densidades promedio de 40 habitantes por hectárea, la ciudad de México crece a tasas de 4.5% y tiene 150 habitantes promedio por hectárea. Entre 1960 y 1980 las tasas de crecimiento promedio para la ZMCM fueron de casi de 5% y la estimada para 1980 a 1990 fue ligeramente menor (4%).

Este análisis es abordado por Legorreta<sup>22</sup> quien afirma que desde hace tres décadas las tasas más elevadas se registran en las periferias de la ciudad. Entre 1950 y 1980, los 17 municipios conurbados del Estado de México registraron tasas de crecimiento poblacional de 7.27, 11.8, y 8.13, respectivamente, mientras que el Distrito Federal alcanzó en los mismos períodos sólo el 4.6, 3.44 y 2.23%, respectivamente.

Los resultados de los censos de 1990 y 1995 sorprenden y contradicen las anteriores predicciones académicas y oficiales respecto a la población de la ZMCM para la última década del presente milenio. Según los censos definitivos de 1990 y 1995 la habitan 14.5 y 16.38 millones de personas, respectivamente, y no los 19 millones que estimaban las proyecciones hechas en el pasado.

Al comparar las tendencias de crecimiento de la ciudad entre 1980 y 1990 se puede observar que municipios densamente poblados, cuyas áreas urbana se extendieron notoriamente, como Naucalpan y Coacalco, registraron aumentos de población de 26,556 y 50,266 personas, respectivamente. Nezahualcóyotl, que tuvo a partir de la regularización de la tenencia de la tierra en 1975 una alta densificación (es el territorio más denso de la ciudad) y un creciente hacinamiento de sus espacios habitacionales, ha registrado una disminución de 137,311 hab. (véase la tabla 3.6). Es de notar que en la misma década la población del D.F. disminuyó en casi un millón de habitantes, en concordancia con las tasas decrecientes registradas por las delegaciones centrales desde 1970. Por su parte, en los municipios conurbados se registro un aumento de 1 239 106 hab., lo que equivale a una tasa anual de crecimiento de 2.2%.

El comportamiento de la población entre 1990 y 1995 señala un ligero aumento en la población del D.F. (252 047 hab.), ocasionado por una disminución en las delegaciones centrales y un aumento en las delegaciones restantes.

---

<sup>22</sup> Jorge Legorreta. Efectos Ambientales de la expansión de la Ciudad de México, 1994. pp 40 - 42.

Estructura y organización del espacio urbano de la ZMCM

Tabla 3.6  
Población de la ZMCM según censos de 1970, 1980, 1990 y 1995.

	POB.	POB.	POB.	POB.	INCREMENTO			TASA ANUAL		
	1970	1980	1990	1995	1970-80	1980-90	1990-95	70-80	80-90	90-95
<b>TOTAL ZMCM</b>	<b>8 791 512</b>	<b>14 274 746</b>	<b>14 585 676</b>	<b>16 387 087</b>	<b>5 483 234</b>	<b>310 093</b>	<b>1 801 411</b>	<b>5.0</b>	<b>0.2</b>	
Distrito Federal	6 874 165	9 165 136	8 236 960	8 489 007	2 290 971	(928 176)	252 047	2.9	-1.1	0.54
Alvaro Obregón	456 709	663 156	643 542	676 930	206 447	(19 614)	33 338	3.8	-0.3	0.92
Azcapotzalco	534 554	623 433	474 905	455 131	88 879	(148 528)	(19 774)	1.5	-2.7	-0.74
Benito Juárez	501 363	563 996	407 731	369 956	62 633	(156 265)	(37 775)	1.2	-3.2	-1.71
Coyoacán	339 446	621 193	640 006	653 489	281 747	18 813	13 483	6.2	0.3	0.37
Cuajimalpa	36 200	95 059	119 720	136 873	58 859	24 661	17 153	10.1	2.3	2.41
Cuahuhtémoc	853 550	843 283	595 972	540 382	(10 267)	(247 311)	(55 590)	-0.1	-3.4	-1.72
G. A. M.	1 186 107	1 569 714	1 268 123	1 256 913	383 607	(301 591)	(11 210)	2.8	-2.1	-0.16
Iztacalco	477 331	591 445	448 357	418 982	114 114	(143 088)	(29 375)	2.2	-2.7	-1.19
Iztapalapa	522 095	1 315 714	1 490 981	1 696 609	792 968	175 918	205 628	9.7	1.3	2.32
Magdalena Cont.	75 429	179 986	195 000	211 898	104 557	15 014	16 898	9.1	0.8	1.48
Miguel Hidalgo	656 647	561 999	406 693	364 398	(94 648)	(155 306)	(42 295)	-1.5	-3.2	-1.93
Milpa Alta	33 694	55 706	63 573	81 102	22 012	7 867		5.2	1.3	4.38
Tláhuac	62 419	153 061	206 688	255 891	90 642	5 367	49 203	9.4	3.0	3.85
Tlalpan	130 719	384 613	485 043	552 516	253 894	100 430	67 473	11.4	2.3	2.34
Venustiano C.	891 409	717 221	519 606	485 623	(174 188)	197 615	(33 983)	-2.2	-3.2	-1.19
Xochimilco	116 493	226 208	271 020	332 314	109 715	44 812	61 294	6.9	1.8	3.66
<b>Municipios conurbados</b>	<b>1 917 347</b>	<b>5 109 610</b>	<b>6 348 716</b>	<b>7 898 080</b>	<b>3 192 263</b>	<b>1 239 106</b>	<b>1 549 364</b>	<b>10.3</b>	<b>2.2</b>	
Acolman				54 468						4.15
Atenco				27 988						5.02
Atizapán de Z.	44 322	211 624	315 413	427 444	167 302	103 789	112 031	16.9	4.1	5.54
Chalco				175 521*						9.25
Chicoloapan	8 750	28 548	56 963	71 351	19 798	28 415	14 388	12.6	7.2	3.95
Chimalhuacán	19 946	64 510	241 552	412 014	44 564	177 042	170 462	12.5	14.1	9.85
Coacalco	13 197	102 204	152 470	204 674	89 007	50 266	52 204	22.7	4.1	5.4
Cuautitlán Izcalli	-	179 920	326 646	417 647	-	146 726	91 001	-	6.1	4.44
Cuautitlán	20 509	41 296	48 899	57 373	20 787	7 603	8 474	7.2	1.0	2.88
Ecatepec	216 408	819 578	1 219 238	1 457 124	603 170	399 660	237 886	14.2	4.1	3.22
Jaltenco				26 238						2.51
Huixquilucan	33 527	81 395	132 045	168 221	47 868	50 650	36 176	9.3	5.0	4.39
Ixtapaluca	36 722	81 043	137 507	187 690	44 321	56 464	50 183	8.2	5.4	8.57
La Paz	32 258	103 765	133 423	178 538	71 507	29 658	45 115	12.4	2.5	5.40
Melchor Ocampo				33 455						4.45
Naucalpan	382 184	759 457	786 013	839 723	377 273	26 556	53 710	7.1	0.3	1.16
Nezahualcóyotl	580 436	1 396 854	1 259 543	1 233 868	816 418	(137 311)	(25 675)	9.2	-1.0	-0.32
Nextlalpan				15 053						5.98
Nicolás Romero	47 504	117 338	184 340	237 064	69 834	67 002	52 724	9.5	4.6	4.57
Tecámac	20 882	87 954	123 281	148 432	67 072	35 327	25 151	15.5	3.4	3.35
Teoloyucan				54 454						4.72
Tepotztlán				54 419						5.76
Texcoco				173 106						3.78
Tlalncpantla	366 935	809 967	703 162	713 143	443 032	(106 805)	9 981	8.2	-1.4	0.26
Tultepec				75 996						8.74
Tultitlán	52 317	142 625	245 145	361 434	90 308	102 520	116 289	10.5	5.6	7.01
Zumpango				91 642						4.51

FUENTE: Datos del IX, X y XI Censo General de Población y Vivienda y Censo de Población y Vivienda 1995, INEGI. Nota: Las cifras entre paréntesis son negativas. El asterisco (\*) indica que es un municipio que fue dividido en 1991.

Los municipios conurbados registran un aumento en su número ( de 17 a 27 municipios) y en la población (1 549 364 hab. más). Es de notar que la tendencia de crecimiento poblacional entre 1970 y 1995 es mayor en el área conurbada que en el D.F., registrándose los mayores incrementos poblacionales hacia el norte y oriente de la ZMCM.

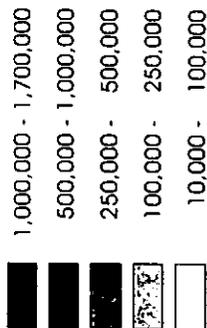
Los mapas 4 y 5 muestran en forma clara la distribución de la población y las densidades, respectivamente. Es importante observar que las delegaciones Gustavo A. Madero e Iztapalapa y los municipios de Nezahualcóyotl y Ecatepec rebasan el millón de habitantes y que con excepción de éste último, representan los municipios con mayor densidad de población conjuntamente con Azcapotzalco, Cuauhtemoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Iztacalco, Coyoacán e Iztapalapa.

Derivado de lo anterior se observa una tendencia general a la reducción o estancamiento en el crecimiento poblacional de las delegaciones centrales del D.F., un crecimiento sostenido hacia el norte y oriente y un despegue de las delegaciones y municipios del sur y sureste. Lo anterior sugiere una reconfiguración espacial tanto en el número de habitantes como en las densidades para las siguientes décadas.

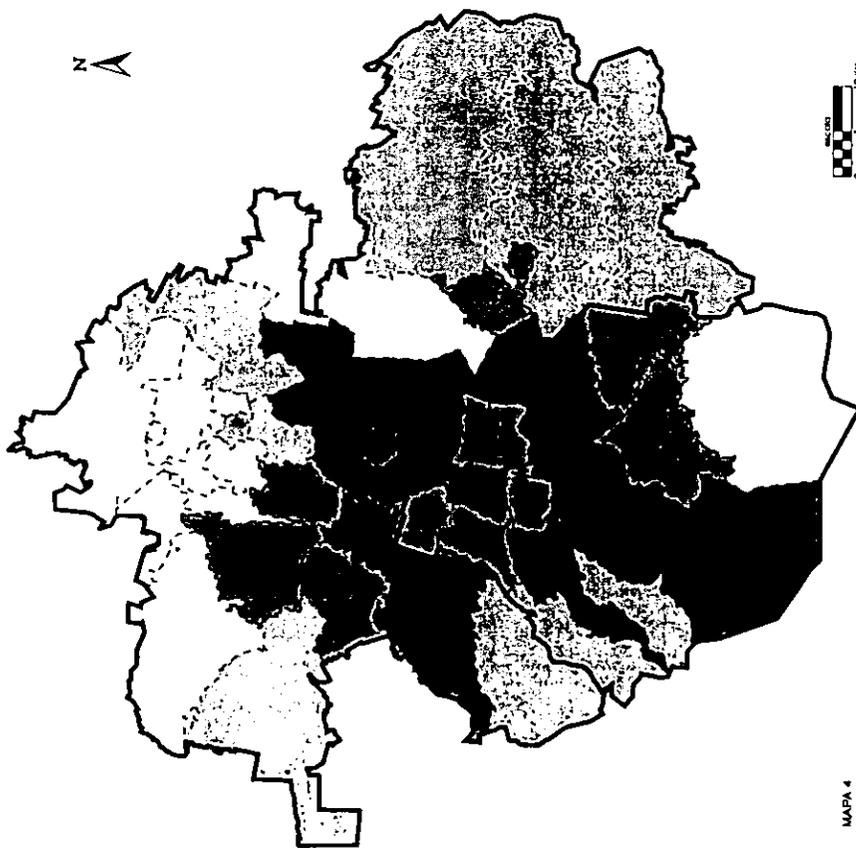
**POBLACION TOTAL  
POR DELEGACION Y  
MUNICIPIO, 1995.**

— LIMITE DEL DISTRITO FEDERAL Y  
ZONA CONURBADA.  
- - - LIMITE DELEGACIONAL Y MUNICIPAL

Nº DE HABITANTES



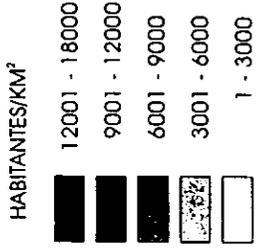
FUENTE: XI Censo General de Población y Vivienda 1990  
y Coteo de Población y Vivienda 1995, INEGI



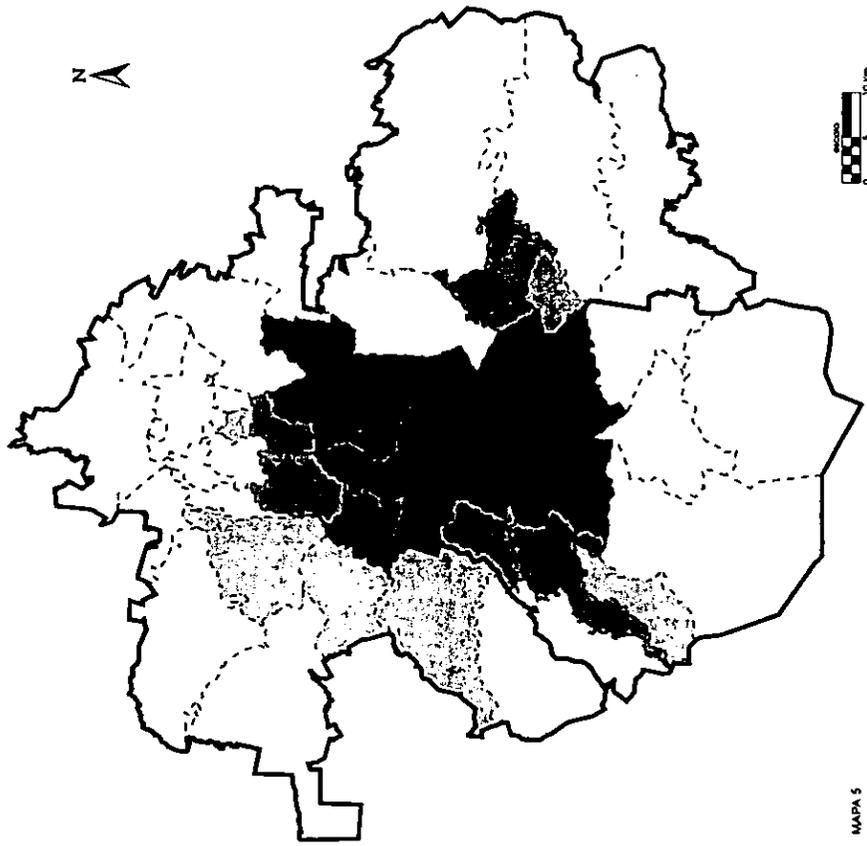
MAPA 4

**DENSIDAD DE POBLACION  
POR DELEGACION Y  
MUNICIPIO, 1995.**

— LIMITE DEL DISTRITO FEDERAL Y  
ZONA CONURBADA  
- - - LIMITE DELEGACIONAL Y MUNICIPAL



FUENTE: XI Censo General de Población y Vivienda 1990  
y Censo de Población y Vivienda 1995.



MAPA 5

### III.3.- TENDENCIAS DE CRECIMIENTO URBANO.

En los últimos 20 años la ciudad multiplicó su extensión casi dos veces, con un ritmo de crecimiento estable en cuanto a la expansión del suelo urbano.<sup>23</sup> La necesidad de suelo para actividades productivas y su consecuente encarecimiento provocó la ocupación de vastas zonas agropecuarias, boscosas y hasta las que fueron territorios lacustres en las últimas dos décadas, las montañas y los cerros han sido también objeto de ocupación para uso urbano. De 1790 a 1990 la mancha urbana se extendió alrededor de 75 000 metros cuadrados cada día, equivalente a 13 campos de fútbol. Al igual que la población, ese crecimiento fue más elevado en los municipios conurbados del Estado de México, donde de 1970 a 1990 se registró un crecimiento del 166%, mientras que el DF registró un crecimiento de sólo 42% en el mismo período. Casos notables de incorporación de nuevas zonas para usos urbanos se dieron para el mismo período en Chimalhuacán (incremento del 713%), Chicoloapan (536%), Chalco (473%), Cuautitlán Izcalli (518%) y Tultitlán (529%). En el DF no rebasaron el 200%; destacan las delegaciones periféricas Milpa Alta (168%), Cuajimalpa (155%) y Tlalpan (147%), (Véase la tabla 3.7).

Un rasgo característico del modelo de crecimiento de la ciudad es que la expansión física no sólo se produce al extenderse hacia afuera, sino también por el acercamiento a ésta de pequeñas manchas urbanas de los poblados que la rodean. En los procesos de expansión física de la ciudad intervienen un conjunto de factores que por lo general han actuado de manera poco articulada dentro de los diversos planes de reordenamiento y desarrollo urbano planteados hasta la fecha, entre ellos cabe mencionar al Estado, el capital y las organizaciones populares. Entre las acciones que han tenido y tendrán un impacto favorable a la expansión física de la ZMCM están el transporte colectivo que influye determinadamente en el dinámico proceso de conurbación multidireccional y que comprende al metro, ex-R-100, trolebuses, tren ligero, autobuses del Estado de México y los llamados colectivos, donde estos últimos han tenido un crecimiento vertiginoso que actualmente interconecta a los núcleos urbanos más importantes de la periferia con las áreas urbanas consolidadas, principalmente mediante alguna terminal de metro. Se han registrado coberturas de rutas largas que llegan a Cuautla (Morelos) y a Tezontepec (Hidalgo). Existe un proyecto de construir 5 trenes radiales rápidos desde la ciudad de México a las ciudades medias más cercanas, al parecer los primeros en operar serían a Cuernavaca y Querétaro, lo que influiría a largo plazo en "acercar" dichas ciudades a la ZMCM.

---

<sup>23</sup> Jorge Legorreta. Efectos Ambientales de la expansión de la Ciudad de México, 1994. pp 43 - 55.

Tabla 3.7  
Área urbana en el DF y municipios conurbados 1960-2000.

	ÁREA URBANA (HECTÁREAS)				INCREMENTOS		
	1960	1970	1990	2000	1960-70	1970-90	1990-2000
<b>TOTAL AUZM</b>	<b>36 524</b>	<b>63 812</b>	<b>118 468</b>	<b>166 021</b>	<b>25 732</b>	<b>54 656</b>	<b>47 553</b>
Distrito Federal	28 966	41 440	59 017	72 818	12 252	17 577	13 831
Alvaro Obregón	2 995	3 634	6 010	6 494	2 639	2 376	484
Azcapotzalco	2 309	2 819	2 819	2 819	510	0	0
Benito Juárez	2 426	2 426	2 426	2 426	0	0	0
Coyoacán	2 471	3 104	5 040	5 040	633	1 936	0
Cuajimalpa	90	612	1 558	3 196	522	946	1 638
Cuauhtémoc	3 242	3 242	3 242	3 242	0	0	0
Gustavo A. Madero	3 033	5 325	6 851	7 041	2 292	1 526	190
Iztacalco	1 232	1 933	2 129	2 129	701	196	0
Iztapalapa	2 043	4 875	9 311	9 540	2 832	4 436	229
Magdalena Contreras	650	1 075	1 407	1 952	425	332	545
Miguel Hidalgo	3 274	3 926	4 335	4 335	652	409	0
Milpa Alta	s/d	222	596	2 615	-	374	2 019
Tláhuac	452	1 022	1 925	5 495	570	903	3 570
Tlalpan	775	2 157	5 320	6 817	1 382	3 163	1 497
Venustiano Carranza	3 359	3 359	3 359	3 359	0	0	0
Xochimilco	615	1 709	2 689	6 346	1 094	980	3 657
<b>Municipios conurbados</b>	<b>7 558</b>	<b>22 372</b>	<b>59 451</b>	<b>93 173</b>	<b>13 480</b>	<b>37 079</b>	<b>33 722</b>
Atizapán	190	917	3 398	7 413	727	2 481	4 014
Chalco	657	721	4 130	5 442	64	3 409	1 312
Chicoloapan	78	105	696	3 470	7	591	2 794
Chimalhuacán	232	345	2 805	4 074	113	2 460	1 289
Coacalco	137	362	1 927	2 571	225	1 565	644
Cuautitlán Izcalli	n/e	860	5 319	7 301	-	4 459	1 982
Cuautitlán	272	454	1 989	5 561	182	1 535	3 572
Ecatepec	1 282	3 472	10 132	12 522	2 090	6 660	2 390
Huixquilucan	354	394	1 191	3 183	40	797	1 992
Ixtapaluca	295	669	1 478	2 888	374	809	1 410
La Paz	121	531	1 318	2 482	410	787	1 164
Naucalpan	1 136	4 177	6 220	7 835	3 041	2 043	1 615
Nezahualcoyotl	1 110	4 530	5 071	5 071	3 420	561	-
Nicolás Romero	s/d	474	1 998	3 539	-	1 524	1 541
Tecámac	252	607	1 998	6 821	355	1 391	4 823
Tlalnepantla	925	3 259	6 649	7 434	2 334	3 390	785
Tultitlán	397	495	3 112	5 505	98	2 617	2 393

FUENTE: Legorreta, Jorge. Efectos Ambientales de la expansión de la Ciudad de México. Centro de Ecología y Desarrollo. pag. 45.

Otra acción influyente en la expansión de la ciudad es la construcción de vialidades periféricas, aquí destacan los trazos proyectados para unir los accesos viales más importantes mediante anillos que eviten el paso por la ciudad, a principios de 1992 se autorizó la construcción del libramiento noreste que unirá la carretera de Puebla con la de Querétaro, conectando las nuevas áreas industriales de los municipios de Temascalapa, Huehuetoca y Tizayuca, éste último perteneciente a Hidalgo. Es indudable que ello impulsará el crecimiento y la conurbación urbana hacia Tizayuca, Pachuca y Teotihuacan. Otros libramientos importantes lo constituyen el libramiento este (la Quebrada-Santa Fe), que actualmente ya conecta a las carreteras de Querétaro y Toluca, y que comunica a las zonas suroeste, noroeste e intermedias de manera ágil, favoreciendo la expansión hacia la zona poniente. Finalmente, se tiene proyectado un libramiento que abarque las zonas sur y este, conectando las carreteras de Toluca, Cuernavaca, Puebla y hasta Texcoco, este libramiento comenzaría en la zona de Santa Fe, pasando por el Ajusco, la parte norte de Tres Marias, Sta. Ana Tlacotenco, Chalco y Texcoco, es muy probable que la creación de una obra de esta magnitud en un futuro favorezca la conurbación del municipio de Amecameca y una mayor expansión hacia la zona de Chalco, Ixtapaluca y Texcoco.

Cabe mencionar que las obras hidráulicas, particularmente las que están a cargo del D.F., juegan también un papel importante. Para 1993 ya operaban los primeros 5 kilómetros del acueducto denominado acuaférico sobre la parte sur de la ciudad. El proyecto a largo plazo es tenderlo alrededor de toda el área metropolitana con la finalidad de llevar agua a las periferias urbanas. De esta manera se dotará de agua a las zonas populares del Ajusco y favorecerá nuevas urbanizaciones en la sierra, probablemente para sectores medios altos y altos, que desde hace años se ha visto detenido precisamente por carecer de infraestructura hidráulica.

Por lo anterior se puede esperar, y de no modificarse las actuales políticas de crecimiento urbano, que la primera conurbación con la ciudad de Toluca y casi al mismo tiempo con Tizayuca y Pachuca, posteriormente será con ciudad Sahagún y luego con Amecameca, el Valle de Cuernavaca y Cuautla. En 60 u 80 años podría existir una relación metropolitana con Puebla y Querétaro.

Finalmente, es incuestionable que el crecimiento urbano se expandirá con mayor intensidad precisamente hacia y en los municipios conurbados que envuelven el territorio del D.F. La mayor parte de los aproximadamente 18 millones de pobladores que albergará la urbe para el año 2000 se alojarán en el norte y oriente de la ciudad. Se pronostica que los actuales 27 municipios conurbados aumentarán a 38, los cuales representarán para ese entonces el 70% del área urbana total. Cabe recalcar que la génesis de los conflictos actuales depende, y dependerá, de las políticas urbanas que se adoptan y de los particulares mecanismos en que se fundamenta el proceso de urbanización de la ciudad de México y Zona Conurbada.

### III.4.- DISTRIBUCIÓN DE LA INDUSTRIA Y TENDENCIAS DE CRECIMIENTO INDUSTRIAL.

En un estudio realizado por Gustavo Garza<sup>24</sup> se define que entre 1960 y 1980 se manifiesta en general un movimiento centro-periferia en la localización de la industria de transformación de la ZMCM. Las delegaciones centrales (Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza) pierden importancia relativa en favor de la delegación Azcapotzalco hasta 1970 y de los municipios de Tlalnepantla, Naucalpan y Ecatepec hasta 1975. A partir de este año y hasta 1980 continua el desplazamiento de la industria del centro a la periferia norte, prolongándose hacia Cuautitlán-Izcalli, Cuautitlán de Romero Rubio y Tultitlán. El mapa 6 refleja lo anteriormente dicho y muestra la distribución de fuentes fijas para 1994.

De seguir esta tendencia de crecimiento industrial, podría llegarse a una saturación de los nuevos municipios industriales al norte de la urbe y como consecuencia su corrimiento hacia otras zonas como los municipios del oriente (Chalco e Ixtapaluca), siguiendo el eje de la autopista a Puebla y más al norte hacia las nuevas áreas industriales de los municipios de Temascalapa, Huehuetoca y Tizayuca. Cabe remarcar que no obstante que el incipiente desarrollo industrial de las anteriores áreas atrae importantes desarrollos habitacionales y comerciales, el sur y el oeste de la ciudad quedan privilegiados fundamentalmente como áreas residenciales de las clases altas y medias.

La tendencia del patrón de localización industrial hacia el Estado de México resulta de un conjunto de factores, entre los que sobresalen las vías rápidas de comunicación que conectan el norte con el resto de la ciudad; las ventajas para el establecimiento de empresas dada la mayor flexibilidad en los requisitos de construcción, financiamiento, fraccionamientos, transferencias de tierra, impuestos, la disponibilidad de terrenos con infraestructura industrial adecuada y la existencia de la mano de obra necesaria. Dado que el patrón de localización industrial responde a ciertas condiciones socioeconómicas y políticas, se espera que el acelerado crecimiento urbano y poblacional de la ZMCM en algún momento haga que dichas localizaciones industriales lleguen a ser inadecuadas, forzando así a una reestructuración de la actual configuración industrial.

La combinación de los elementos físico-ambientales y urbanos analizados anteriormente determinan las condiciones atmosféricas y la dinámica socioeconómica de la ciudad, que sumadas a los aportes de contaminantes por la industria, los vehículos automotores, los servicios, las zonas erosionadas y la cubierta vegetal, dan como resultado la actual problemática atmosférica de la ZMCM, misma que es abordada en el siguiente capítulo.

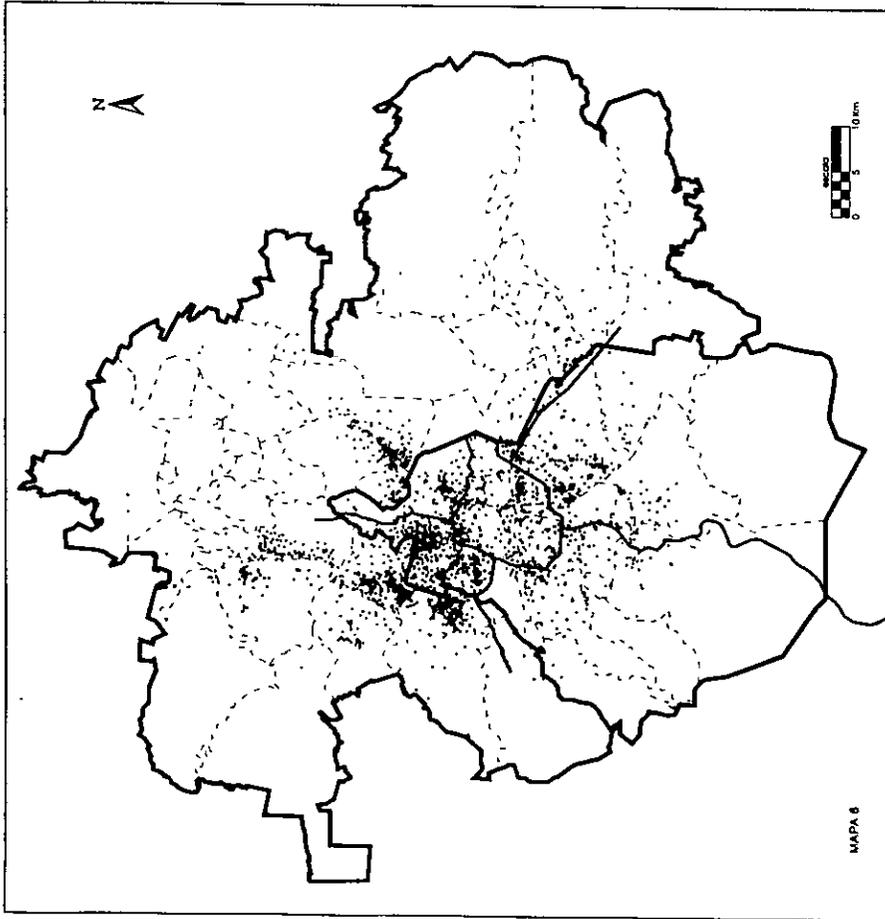
---

<sup>24</sup> Atlas de la Ciudad de México. DDF - Colegio de México. Noviembre de 1987. pp 100-107.

DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS  
FUENTES FIJAS (1994)

- LIMITE DEL DISTRITO FEDERAL Y  
ZONA CONURBADA
- - - LIMITE DELEGACIONAL Y  
MUNICIPAL
- LIMITE IMECA
- INDUSTRIA

FUENTE: INEGI, INE (DATGEN 1994)



MAPA 6

## CAPÍTULO IV

### PROBLEMÁTICA ATMOSFÉRICA DE LA ZMCM.

La contaminación atmosférica es uno de los mayores problemas de la Ciudad de México y de su Área Conurbada. La contaminación generada por el transporte, la industria, los servicios y demás actividades, propias de una gran ciudad, implica una problemática técnica, económica, ecológica y socialmente complicada y costosa, donde la participación del gobierno, los sectores académicos y educativos, el sector industrial y la ciudadanía en general para su solución es definitiva. Cabe mencionar que para lograr una mayor participación social se hace necesario redefinir los actuales canales de comunicación y readecuarlos para cada uno de los sectores anteriores, de manera que al final exista una convergencia de acciones sobre problemáticas particulares y con métodos concretos de acción.

La administración de los programas de calidad de aire implica el diseño, la implementación y la ejecución de diversos planes y programas. Actualmente se tienen ya están en marcha algunas acciones tendientes a la solución de dicha problemática, entre éstas podemos citar el trabajo que se está llevando a cabo para la estructuración/actualización de un inventario de emisiones de la ZMCM que sea completo, confiable, que pueda ser actualizado periódicamente y que comprenda las diversas fuentes de emisiones, sean de punto, de área, móviles, biogénicas o erosivas.

El PROAIRE<sup>25</sup> define que el inventario de fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos es un instrumento estratégico para el manejo de una cuenca atmosférica. El inventario de emisiones refleja la intensidad con que los diferentes usuarios utilizan este recurso ambiental común. Debe tenerse en cuenta que los usuarios se pueden agrupar en sectores de actividad, lo cual puede dar una idea de las prioridades de atención en el diseño de programas y medidas.

Para el caso de la ZMCM, el desarrollo de un inventario de emisiones preciso y actualizado es una tarea compleja que demanda la integración sistemática de información en un marco de concurrencia institucional, entre los gobiernos locales, instituciones de investigación y la autoridad federal en la materia. En esta tarea se tiene la participación de los gobiernos de la Ciudad de México, del Estado de México, de la SEMARNAP y del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. La tabla 4.1 presenta un resumen del inventario de emisiones 1994, fruto de este primer esfuerzo conjunto.

<sup>25</sup> Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995 - 2000. pp 73 - 74.

Tabla 4.1  
Inventario de Emisiones 1994

SECTOR	Emisiones en toneladas/año						
	PST	SO2	CO	NOx	HC	Total	%
Industria (1)	6,358	26,051	8,696	31,520	33,099	105,724	3
Servicios (2)	1,077	7,217	948	5,339	398,433	413,014	10
Transporte (3)	18,824	12,200	2,348,497	91,787	555,319	3,026,645	75
Vegetación y suelos (4)	425,337	0	0	0	38,909	464,246	12
<b>Total</b>	<b>451,614</b>	<b>45,468</b>	<b>2,358,141</b>	<b>128,646</b>	<b>1,025,760</b>	<b>4,009,629</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995 - 2000.

#### IV.1.- DESCRIPCIÓN DE FUENTES.

A continuación se presenta la información referente a fuentes fijas de punto, fuentes fijas de área, fuentes móviles y finalmente un resumen sobre emisiones totales en la ZMCM. Después de la fuentes móviles, las fuentes fijas son el rubro más importante en términos de cantidad de emisiones. Cabe aclarar que para la clasificación y diferenciación entre fuentes de punto y de área existen diversos criterios internacionales que toman en cuenta el tipo y la cantidad o peso del contaminante emitido.

##### IV.1.1.- Fuentes fijas puntuales.

El inventario de establecimientos industriales en la ZMCM incluye 4,623 empresas. La clasificación de éstas empresas de acuerdo a la magnitud de sus emisiones de contaminantes atmosféricos se presenta en tabla 4.2. Dicha tabla presenta seis estratos de empresas de acuerdo al nivel de emisiones indicado en la segunda columna. El estrato A, que incluye a todos los demás, está constituido por las 466 empresas cuyos niveles individuales de emisión son mayores a 6 toneladas anuales; el estrato B, que incluye a los subsecuentes, está formado por 289 establecimientos con emisiones mayores a 12 toneladas por año, y así sucesivamente. Lo anterior permite observar que las 466 empresas del estrato A representan un volumen de 53,536 ton/año de precursores de ozono, es decir, el 96% de las emisiones totales del sector industrial. Asimismo, y siguiendo con el mismo razonamiento, se puede observar 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. Además, cabe mencionar que éstas se encuentran ubicadas principalmente al norte de la ZMCM, correspondiéndole 60% al Estado de México y 40% al Distrito Federal.

Tabla 4.2  
Clasificación de empresas de la ZMCM según volumen de emisiones de HC y NOx

Grupo	Estratos de emisiones (ton/año)	No. de empresas	% de empresas respecto al total	Emisión ton/año			% de emisión respecto al total del subsector
				HC	NOx	Total (HC + NOx)	
A	mayor de 6	466	10.08	23,194	30,342	53,536	96
B	mayor de 12	489	6.25	22,476	29,473	51,949	93
C	mayor de 18	228	4.93	21,936	29,045	50,981	91
D	mayor de 60	94	2.03	19,595	26,546	46,141	83
E	mayor de 90	74	1.60	19,064	25,768	44,832	80
F	mayor de 120	56	1.21	17,721	24,954	42,675	76
Número total de empresas de la base de datos.....				4,623			
Emisión total (HC+NOx):(Ton/año).....				55,831			
Emisiones totales HC (Ton/año).....				24,311			
Emisiones totales NOx (Ton/año).....				31,520			
Nota: Sólo se incluyen las empresas sujetas a la jurisdicción federal; no se consideró la industria de artes gráficas.							

FUENTE: Programa para mejorar la calidad de aire en al Valle de México 1995 -2000.

Esta información es recopilada por el Instituto Nacional de Ecología de la SEMARNAP<sup>26</sup> a través de cuestionarios enviados a las empresas seleccionadas, el tipo de datos colectados son, entre otros; localización de la industria, número y tipo de procesos de combustión, consumo de combustibles y materias primas, número de empleados y emisiones de algunos contaminantes criterio. A partir de la anterior información es posible realizar una estimación de emisiones industriales a la atmósfera. La tabla 4.3 presenta las cantidades de emisiones en toneladas mensuales por contaminante y por unidad administrativa de la ZMCM. El mapa 7 muestra la distribución espacial de las emisiones de óxidos de nitrógeno y las subsecuentes gráficas representan el número de industrias, las emisiones totales de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y partículas, todas clasificadas por delegación y municipio. De lo anterior es posible realizar una zonificación general por cantidad de emisiones contaminantes, sobresaliendo las zonas Norte y Este como las principales zonas aportadoras de éstos tipos de contaminantes y las que concentran el mayor número de industrias en la ZMCM.

<sup>26</sup> El inventario de industrias es distribuido a través de la base de datos DATGEN.

Tabla 4.3  
Emisiones de fuentes fijas puntuales, 1995 (ton/mes).

CVE INEG	NOMBRE	Nº IND.	PARTIC.	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC*
09010	Alvaro Obregón	129	6.01	16.62	2.44	5.86	8.00
09002	Azcapotzalco	475	51.48	47.63	83.81	86.58	248.74
09014	Benito Juárez	177	1.44	7.22	2.27	2.81	133.88
09003	Coyoacán	109	3.49	7.11	1.05	2.64	2.57
09004	Cuajimalpa	10	0.64	8.76	0.12	1.84	0.29
09015	Cuauhtemoc	218	5.18	15.08	14.27	17.81	590.39
09005	Gustavo A. Madero	334	53.94	54.56	265.3	549.94	87.06
09006	Iztacalco	285	18.68	67.87	3.27	25.56	207.50
09007	Iztapalapa	518	24.72	94.6	26.74	30.37	149.34
09008	Magdalena Cont.	2	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
09016	Miguel Hidalgo	274	7.02	15.07	10.27	76.76	25.42
09009	Milpa Alta						0.00
09011	Tláhuac	62	1.92	1.63	0.55	1.1	13.13
09012	Tlalpan	62	15.5	118.11	2.34	46.22	3.26
09017	Venustiano Carranza	163	57.9	66.45	3.7	20.84	48.31
09013	Xochimilco	30	1.71	14.17	1.22	5.4	1.62
	<b>Municipios (Cont'd)</b>						
15002	Acolman	10	0.38	8.43	0.28	2.23	10.27
15011	Atenco						
15013	Atizapan de Z.	133	13.36	13.1	9.89	9.46	25.45
15020	Coacalco	9	1.52	0.03	0.02	0.02	0.02
15024	Cuautitlán	90	4.78	34.95	42.62	23.34	22.20
15121	Cuautitlán Izcalli	92	4.34	12.89	2.73	7.9	16.03
15025	Chalco	14	1.59	12.18	5.58	0.97	0.20
15029	Chicoloapan	17	3.2	2.71	117.64	1.1	0.33
15031	Chimalhuacán	4	0.27	1.2	0.04	0.47	0.03
15033	Ecatepec	367	117.76	673.5	314.55	322.25	285.53
15037	Huixquilucan	6	0.69	1.06	0.08	0.3	0.77
15039	Ixtapaluca	27	21.75	214.75	29.22	59.4	0.87
15044	Jaltenco						
15070	La Paz	72	56.79	763.09	8.88	87.84	5.37
15053	Melchor Ocampo	1	0.02	0.17	0.46	0.16	0.44
15057	Naucalpan	434	77.32	151.87	1062.53	413.18	87.29
15059	Nextlalpan	1	0.01	0.01	0.01	0.02	0.80
15058	Nezahualcoyotl	64	1.1	1.72	0.62	0.97	1.80
15060	Nicolas Romero	3	1.77	13.91	0.26	5.46	0.05
15081	Tecámac	12	15.2	1.99	0.32	0.8	0.10
15091	Teoloyucan	1	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
15095	Tepotztlán	5	1.21	10.23	0.28	3.93	0.51
15099	Texcoco	8	1.31	10.18	0.3	4.01	0.07
15104	Tlalnepantla	579	51242.82	1709.16	111.47	348.38	549.48
15108	Tultepec	2	0.26	0.66	1.54	0.27	0.02
15109	Tultitlán	145	148.98	95	437.48	1866.49	50.92
15120	Zumpango	2	2.43	28.01	0.66	8.42	0.09

FUENTE: Base de datos DATGEN, INE-SEMARNAP, mayo de 1995.

\* El cálculo de HC incluye emisiones por pérdidas evaporativas.

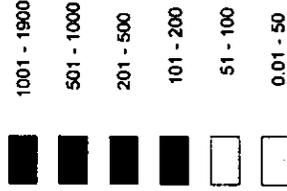
# DISTRIBUCION ESPACIAL DE OXIDOS DE NITROGENO (NOx)

FUENTES PUNTALES

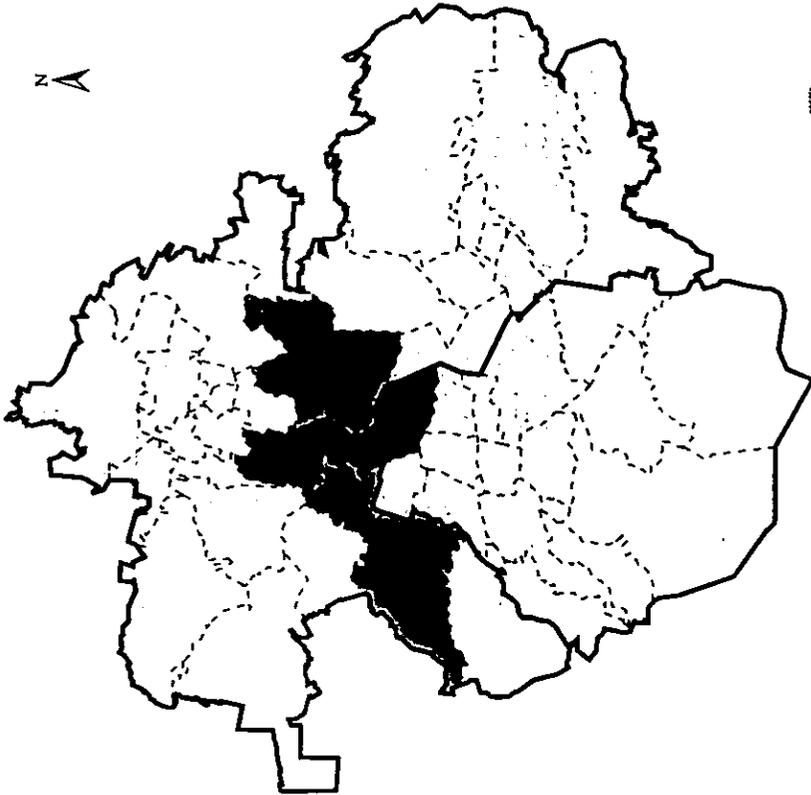
— LIMITE DEL DISTRITO FEDERAL Y ZONA METROPOLITANA

- - - LIMITE DELEGACIONAL Y MUNICIPAL

INTERVALOS DE NOx ( ton / mes )

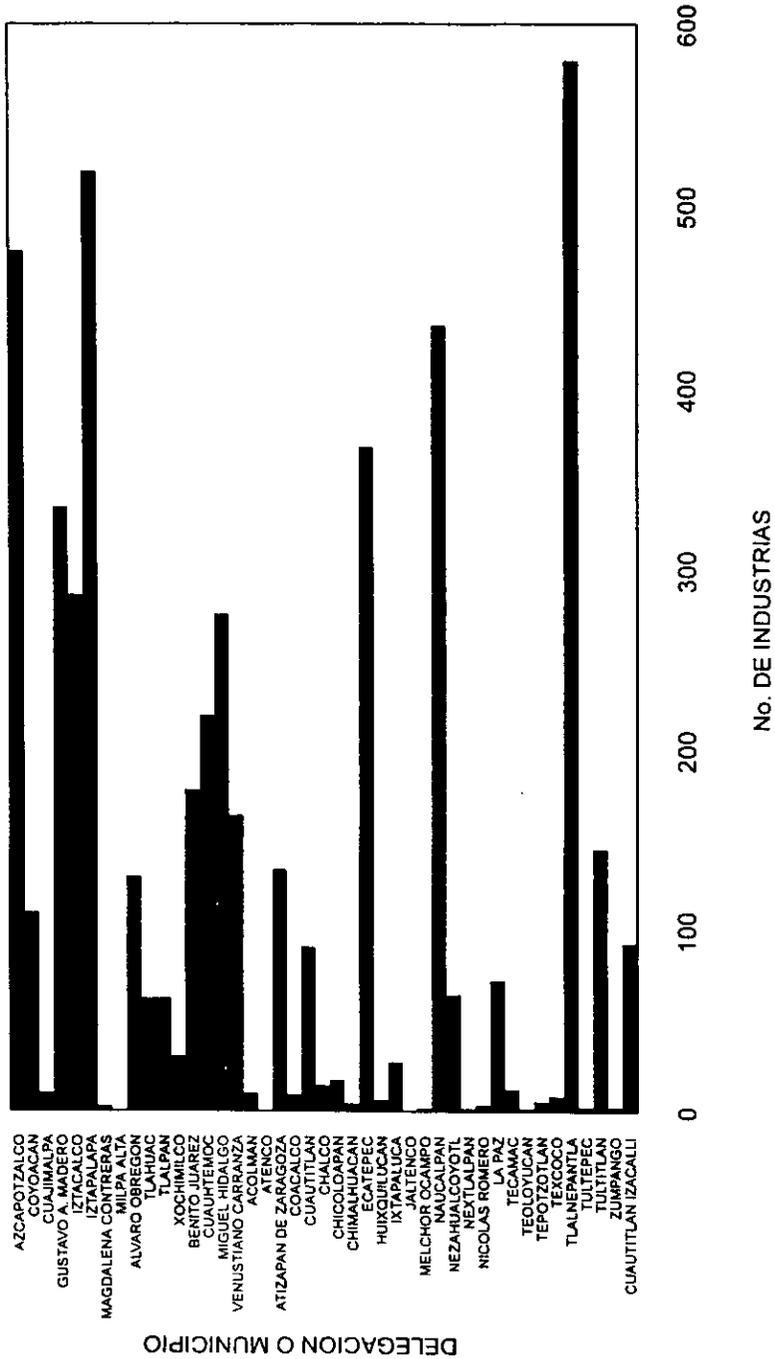


FUENTE: Inventario de Fuentes Puntuales, 1985, INE - SEMARNAP



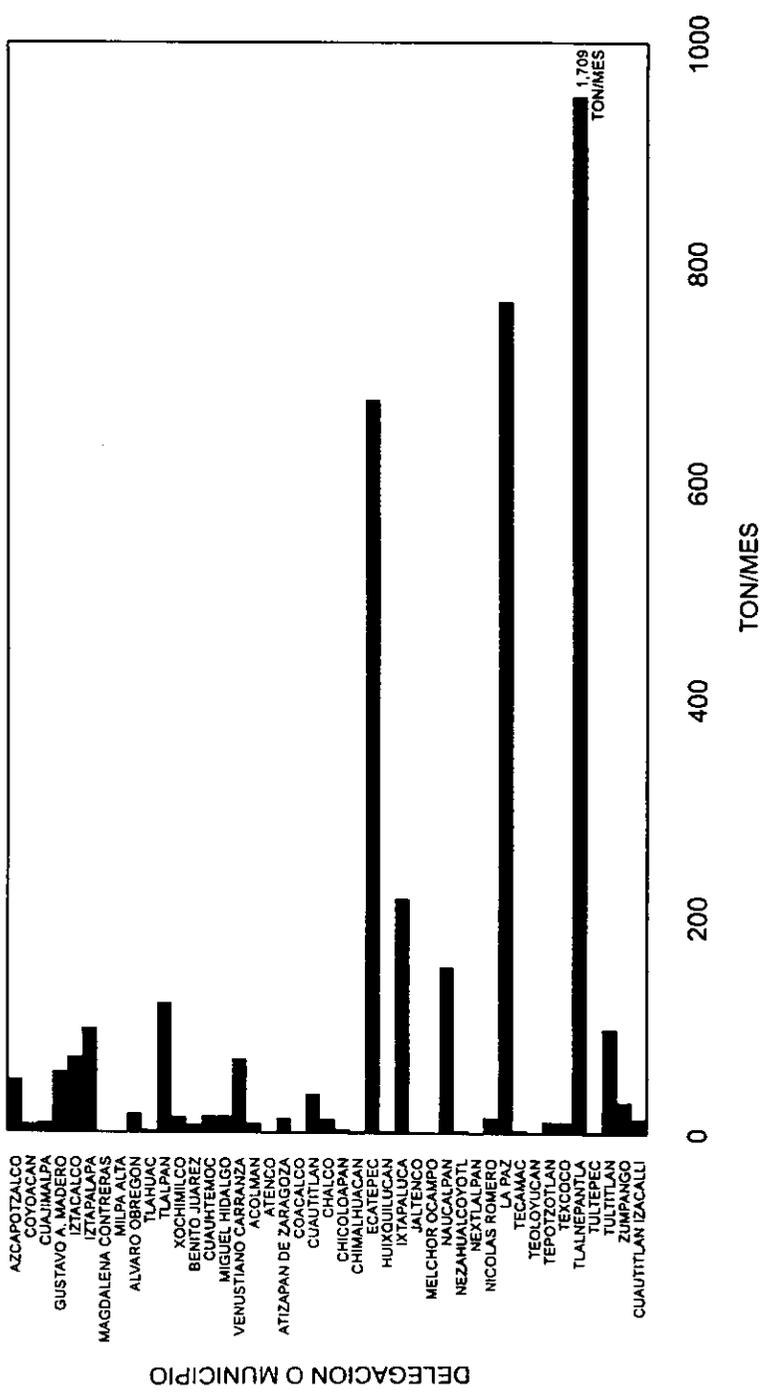
MAPA 7

# NUMERO DE INDUSTRIAS POR DELEGACION Y MUNICIPIO



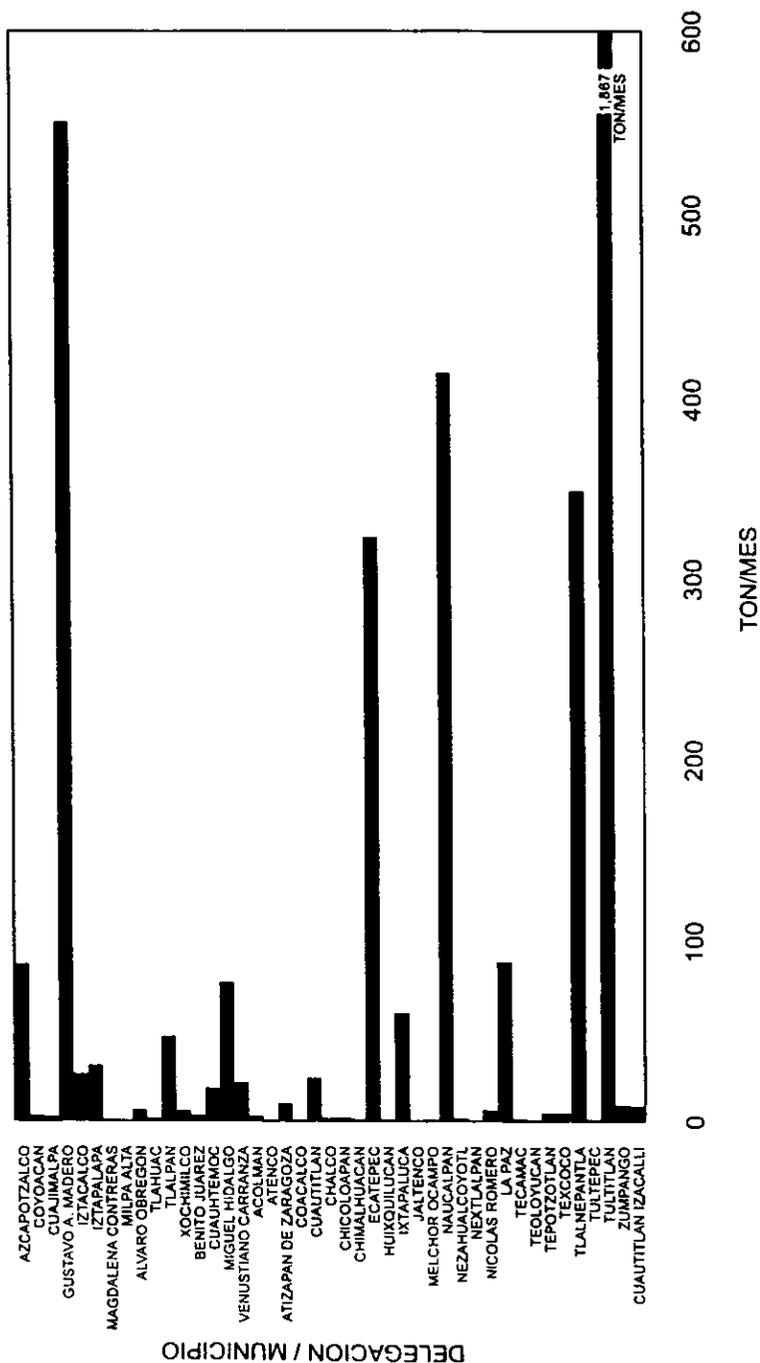
FUENTE: DATGEN 1994, ( INE )

# EMISIONES TOTALES DE OXIDOS DE AZUFRE POR DELEGACION Y MUNICIPIO



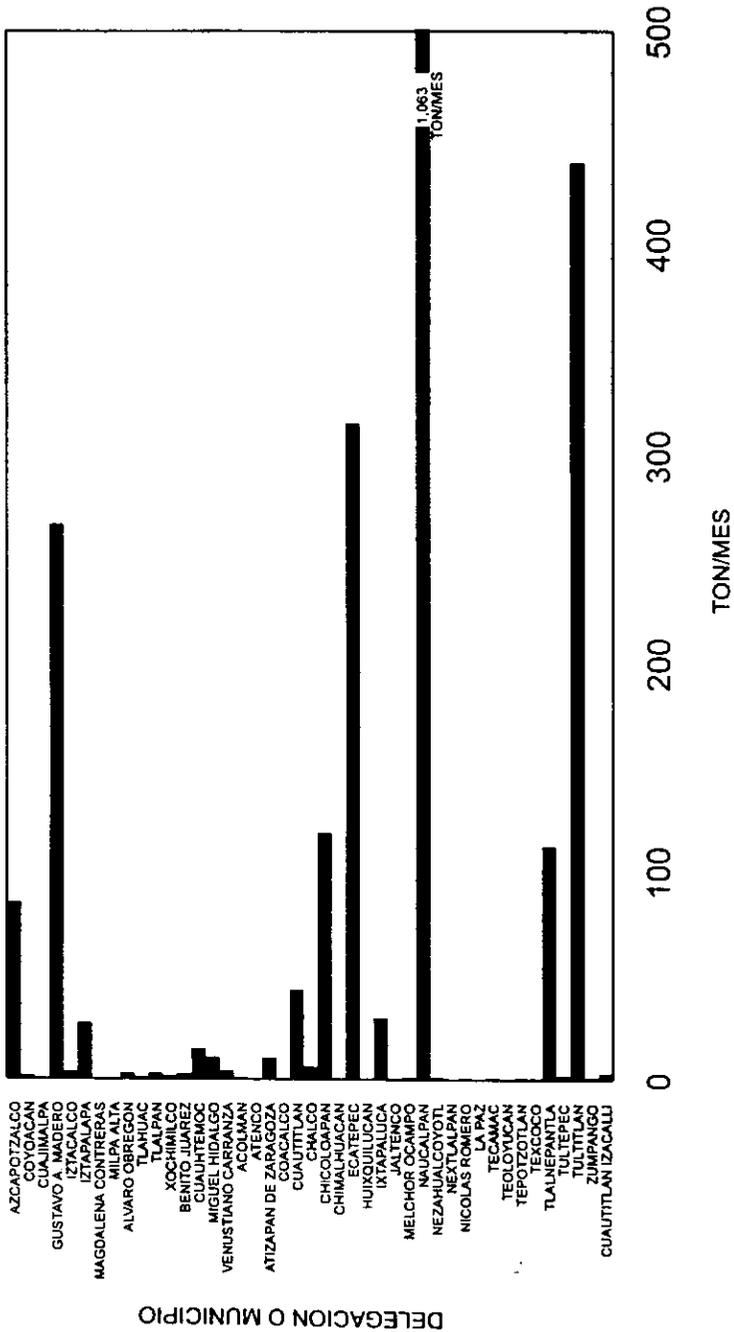
FUENTE: DATGEN 1994, INE

# EMISIONES TOTALES DE OXIDOS DE NITROGENO POR DELEGACION Y MUNICIPIO



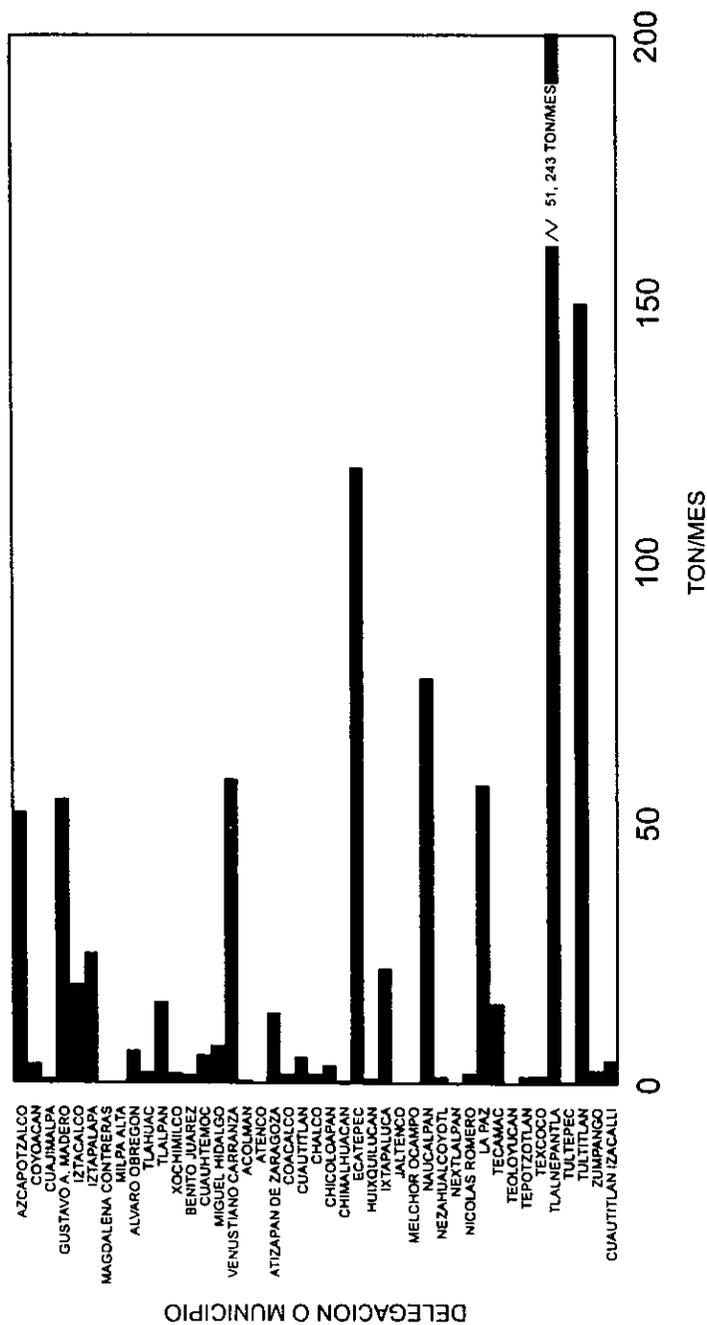
FUENTE: DATGEN 1994, INE

# EMISIONES TOTALES DE MONOXIDO DE CARBONO POR DELEGACION Y MUNICIPIO



FUENTE: DATGEN 1994, INE.

# EMISIONES TOTALES DE PARTICULAS POR DELEGACION Y MUNICIPIO



FUENTE: DATGEN 1994, INE.

#### **IV.1.2.- Fuentes fijas de área.**

En la zona metropolitana las fuentes o procesos que generan contaminantes 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.

Estudios realizados por la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal<sup>27</sup> señalan la existencia de 13,269 establecimientos de servicios, de los cuales el 79% (10,434 establecimientos) se encuentran en el Distrito Federal y el restante 21% (2,835 establecimientos) se encuentran en el Estado de México.

La emisión de los contaminantes en los establecimientos de servicio tienen su origen en los procesos de combustión empleados para brindar bienestar a la población. Según el PROAIRE, como resultado de la quema de 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.

La atmósfera de la Ciudad de México y Zona Metropolitana registra una concentración relativamente elevada de hidrocarburos, en el cual el sector de servicios tiene una responsabilidad importante. Los hidrocarburos atmosféricos provienen de las emisiones evaporativas de gasolina, así como de las emisiones vehiculares en forma de hidrocarburos sin quemar, pero existe otra fuente considerable de hidrocarburos detectada recientemente tanto como por el IMP como por otras instituciones, la cual se atribuye a fugas de gas licuado de petróleo.

Se han categorizado las fuentes de área para la ZMCM en los siguientes procesos:

##### **Perdidas evaporativas por transportación de combustibles.**

- \* Distribución de gasolina.
- \* Carga y descarga de carros tanque.
- \* Carga de aeronaves.
- \* Almacenamiento masivo de gasolina.

##### **Evaporación de solventes de fuentes fijas.**

- \* Operaciones de lavado en seco (tintorerías).
- \* Lavado y desengrase.
- \* Artes Gráficas.
- \* Consumo de solventes.

---

<sup>27</sup> Datos proporcionados por la Subdirección de Inventario de Emisiones. Red Automática de Monitoreo Atmosférico. Gobierno del Distrito Federal.

- \* Recubrimientos industriales de superficie.
- \* Superficies arquitectónicas.
- \* Panaderías.
- \* Pintura Automotriz.
- \* Pintura de tránsito.
- \* Esterilización en hospitales.
- \* Incineración (residuos hospitalarios).
- \* Uso de asfalto.
- \* Plantas de tratamiento de aguas.

**Fuentes evaporativas de compuestos orgánicos volátiles.**

- \* Rellenos sanitarios.
- \* Distribución de gas LP.
- \* Tiraderos a cielo abierto.

**Fuentes de combustión.**

- \* Combustión residencial.
- \* Combustión comercial-institucional.

**Fuentes móviles no carreteras.**

- \* Ferrocarriles foráneos.
- \* Locomotoras de patio.
- \* Aeropuertos.

La información sobre el inventario de fuentes de área fue obtenida a partir del cálculo de emisiones<sup>28</sup>, sin embargo y con fines de practicidad, sólo se presentarán los resultados para las fuentes de combustión (residencial y comercial-institucional), existentes en las distintas unidades administrativas analizadas. Puede establecerse una generalización al suponer que a mayores densidades de población se tienen mayores emisiones por fuentes de área, ya que el establecimiento o crecimiento de una localidad implica una mayor demanda de servicios y por lo tanto un mayor consumo de energía y una mayor generación de contaminantes. Las tablas 4.4 y 4.5 muestran el tipo y cantidad de emisiones por combustión comercial-institucional y por combustión residencial. Cabe agregar que en el rubro de comercial-institucional están incluidos restaurantes, baños públicos, centros deportivos, hospitales, hoteles, panaderías, tintorerías o lavanderías y molinos o tortillerías.

De las tablas siguientes podemos observar que las mayores emisiones en el rubro comercial/institucional se presentan en las delegaciones Cuahutémoc, Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza y en los municipios de Nezahualcoyotl, Ecatepec y Naucalpan. En lo referente a emisiones residenciales, las mayores cantidades

se emiten en Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Nezahualcoyotl, Ecatepec, Naucalpan y Tlalnepantla. Cabe observar que corresponden a los municipios más poblados y por lo tanto con mayor número de servicios.

Tabla 4.4  
Resumen de emisiones por combustión comercial-institucional (ton/año).

MUNICIPIOS	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	PARTEIC
Alvaro Obregón	144.97	10.96	62.52	2.35	7.47
Azcapotzalco	132.62	10.03	57.20	2.15	6.83
Benito Juárez	157.61	11.92	67.97	2.56	8.12
Coyoacán	135.70	10.26	58.53	2.21	6.99
Cuajimalpa	21.58	1.63	9.31	0.35	1.11
Cuahutémoc	342.33	25.88	147.66	0.56	17.63
Gustavo A. Madero	296.09	22.39	127.71	4.81	15.25
Iztacalco	129.54	9.79	55.86	2.10	6.67
Iztapalapa	307.18	23.23	132.49	4.99	15.82
Magdalena Contreras	40.08	3.03	17.29	1.81	2.06
Miguel Hidalgo	157.28	11.89	67.84	2.56	8.10
Milpa Alta	15.42	1.17	6.65	0.25	0.79
Tláhuac	44.08	3.33	19.02	0.78	2.27
Tlalpan	65.66	4.96	28.37	1.04	3.38
Venustiano Carranza	188.76	14.27	81.42	3.07	9.72
Xochimilco	59.21	4.48	25.54	0.96	3.05
Atizapan de Zaragoza	40.08	3.03	17.29	0.65	2.06
Coacalco	21.58	1.63	9.31	0.35	1.11
Cuautitlán Izcalli	43.19	3.26	18.63	0.70	2.22
Chalco	3.08	0.23	1.33	0.05	2.06
Chicoloapan	1.55	0.12	0.67	0.02	0.08
Chimalhuacán	1.55	0.11	0.65	0.02	0.08
Ecatepec	206.96	15.65	89.25	3.36	10.64
Huixquilucan	21.58	1.63	9.30	0.35	1.11
Ixtapaluca	3.08	0.32	1.32	0.05	0.16
La Paz	6.48	0.45	2.62	0.09	0.32
Naucalpan	161.28	12.20	69.58	2.62	8.30
Nezahualcoyotl	261.86	16.39	93.52	3.52	11.15
Nicolas Romero	3.08	0.23	1.33	0.05	0.16
Tecámac	1.55	0.12	0.66	0.02	0.08
Tlalnepantla	82.34	6.22	35.51	1.34	4.23
Tultitlán	24.36	1.84	10.51	0.40	1.25

FUENTE: Reporte del " INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES DE AREA, PRECURSORES DE OZONO Y CO PARA LA ZONA METROPOLITANA DE LA CD. DE MÉXICO, 1994." pp 82.

Tabla 4.5  
Resumen de emisiones por combustión residencial  
(ton/año)

DELEGACIÓN	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	HC	PARBHC
Alvaro Obregón	15.32	65.17	452.10	16.84	15.61
Azcapotzalco	11.49	48.91	339.32	12.64	11.72
Benito Juárez	9.87	41.97	291.15	10.85	10.05
Coyoacán	15.52	66.06	458.25	17.07	15.82
Cuajimalpa	2.90	12.35	85.70	3.19	2.96
Cuahutémoc	14.45	61.47	426.47	15.89	14.73
Gustavo A. Madero	30.57	130.05	902.16	33.61	31.15
Iztacalco	11.49	48.91	339.32	12.64	11.72
Iztapalapa	36.16	153.84	1067.22	39.76	36.85
Magdalena Contreras	4.52	19.21	133.26	4.96	4.60
Miguel Hidalgo	9.87	41.97	291.14	10.85	10.05
Milpa Alta	1.54	6.56	45.51	1.69	1.57
Tláhuac	4.86	20.69	143.53	5.35	4.96
Tlalpan	1.15	4.91	34.03	1.27	1.17
Venustiano Carranza	12.51	53.20	369.06	13.57	12.74
Xochimilco	5.21	22.16	135.77	5.73	5.31
Atizapan de Zaragoza	7.64	32.51	225.54	8.40	7.79
Coacalco	3.68	15.66	108.67	4.05	3.75
Cuautitlán Izcalli	7.64	32.51	225.54	8.40	7.79
Chalco	6.84	29.11	201.96	7.52	6.97
Chicoloapan	1.39	5.91	41.01	1.53	1.42
Chimalhuacán	5.87	24.97	173.25	6.45	5.98
Ecatepec	29.57	125.76	872.43	32.50	30.12
Huixquilucan	3.19	13.60	94.32	3.51	3.26
Ixtapaluca	3.33	14.17	98.31	3.66	3.39
La Paz	3.27	13.90	96.46	3.59	3.33
Naucalpan	19.07	81.13	562.82	20.97	19.43
Nezahualcoyotl	30.22	128.57	891.91	33.23	30.08
Nicolas Romero	0.44	1.89	13.11	0.49	0.45
Tecámac	12.85	54.68	379.32	14.13	13.00
Tlalneantla	17.02	72.41	502.34	18.72	17.34
Tultitlán	5.97	25.42	176.32	6.57	6.09

FUENTE: Reporte del " INVENTARIO DE EMISIONES DE FUENTES DE AREA, PRECURSORES DE OZONO Y CO PARA LA ZONA METROPOLITANA DE LA CD. DE MEXICO, 1994." pp 86.

<sup>28</sup> Los cálculos pueden ser consultados en la publicación "Inventario de Fuentes de Área 1995". Departamento del Distrito Federal. Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

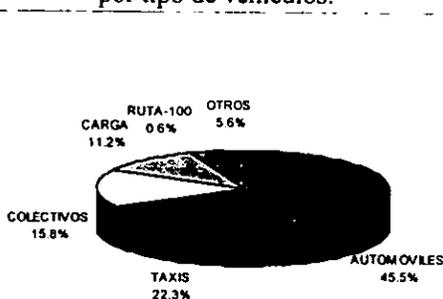
En el mapa 8 se muestran las cantidades totales de emisiones de óxidos de nitrógeno (es decir; se incluyeron todas las categorías de fuentes de área) y su distribución espacial en la ZMCM, donde se puede observar que las mayores emisiones se registran en la parte Centro y Norte. Cabe agregar que el óxido de nitrógeno es un precursor del ozono.

#### IV.1.3.- Fuentes móviles.

El gran consumo de combustibles por parte de los vehículos automotores constituye, aunado a todas sus implicaciones, la principal fuente de emisiones contaminantes de la ZMCM. Según datos oficiales<sup>29</sup> el sector transporte está conformado por alrededor de 3.1 millones de vehículos, de los cuales 71.2% son particulares, 5.4% taxis, 1.9% colectivos, 17.8% transporte de carga, 1.1% gubernamentales y 2.6% otros. La tasa de crecimiento anual del parque vehicular es de 10%, que en adición a los vehículos con más de 10 años de uso que conforman el 45% del parque vehicular, generan un mayor consumo de combustibles y por lo tanto una mayor contaminación, complicando la búsqueda de soluciones al problema de la contaminación.

Se calcula que el transporte privado contribuye con un 44.5% de las emisiones totales, seguido por los taxis con un 22.3%, colectivos con 15.8%, carga con 11.2%, otros con 5.6% y ExRuta-100 con 0.6%, tal como se muestra en la siguiente gráfica.

Contribución anual de emisiones del sector transporte por tipo de vehículos.



Fuente: Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995-2000

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

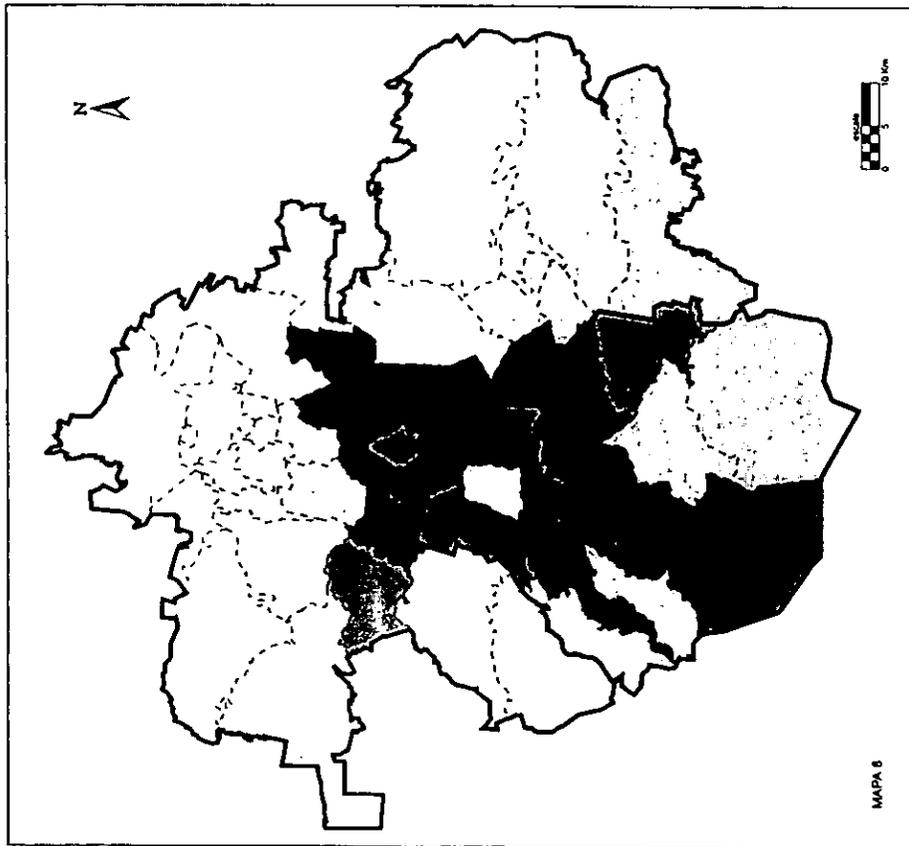
**DISTRIBUCION ESPACIAL DE OXIDOS  
DE NITROGENO (NOx)  
FUENTES DE AREA**

— LIMITE DEL DISTRITO FEDERAL Y  
ZONA METROPOLITANA  
- - - LIMITE DELEGACIONAL Y  
MUNICIPAL

INTERVALOS DE NOx ( ton / año )



FUENTE: Inventario de Emisiones para Fuentes de Area de Preciurones de Ozono y CO para la ZMCM, 1991, R.A.M.A. - D.F.



En cuestión de tipos de contaminantes, los autos privados contribuyen con un 46% de hidrocarburos y con 35% de óxidos de nitrógeno. El resto de las emisiones proviene de taxis, colectivos, autobuses y vehículos de carga.

El sistema de transporte de la ZMCM está integrado por el transporte privado (automóvil particular y camiones), el transporte de alquiler (colectivos y taxis) y el transporte público masivo (metro, autobuses urbanos, suburbanos y escolares, trolebús y tranvías), las cantidades de algunos de ellos se muestran en la tabla 4.6.

Tabla 4.6  
Sistema de transporte de la ZMCM, 1996.

MEDIO DE TRANSPORTE	TAMAÑO DE LA FLOTA
Automóvil	2 301 445
Taxis	91 765
Taxi colectivo	52 158
Autobús suburbano	1 284
Autobús urbano R-100	2 794
Autobuses particulares	4 013
Camiones de carga	463 962
Transporte Federal	187 753
Motocicletas	52 700

FUENTE: D.D.F. - Red Automática de Monitoreo Atmosférico - Subdirección de Inventario de Emisiones.

Dentro de la problemática atmosférica de la ZMCM, el transporte (automóvil particular, taxis, colectivos y camiones urbanos y suburbanos) juega un papel principal, ya que las principales cuotas de emisiones de contaminantes son generadas por éstos. Cabe hacer notar que del total de viajes-persona-día (36 millones), el 80.3% se realizan en transporte público y el resto en transporte privado y que los vehículos particulares contribuyen con la mayor cantidad de emisiones a la atmósfera. Lo anterior denota un problema de distribución modal ambientalmente ineficiente de los viajes-persona-día, porque la gran mayoría de ellos se realizan en vehículos de combustión interna y no en medios de transporte más limpios. La afluencia vehicular en las principales vías de comunicación se mantiene casi constante durante nueve horas (10:00 a 19:00 horas). La velocidad promedio vehicular en la Ciudad de México es de 36 km/h. Esta velocidad, sumamente baja, se ve reducida aún más cuando hay marchas y plantones. Aunque es

<sup>29</sup> Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México. pp 84-87

difícil cuantificar el impacto ambiental de las marchas, debido a que éste depende de la magnitud de la manifestación (número de integrantes), la hora en que se realiza, la vialidad que se afecta, el número de carriles obstaculizados y la duración de la misma, es una realidad que al disminuir significativamente la velocidad crucero se incrementan las emisiones vehiculares de hidrocarburos y monóxido de carbono.

El inventario de emisiones 1994 indica que el sector transporte emite anualmente 3,026,645 toneladas de contaminantes, de las cuales 2,384,497 corresponden a monóxido de carbono, 555,319 toneladas a hidrocarburos y 91,787 toneladas a óxidos de nitrógeno. Actualmente se dispone de los datos de emisiones por aforos vehiculares en vías localizadas, de los cuales se ha obtenido el mapa 9 que muestran las emisiones monóxido de carbono por cuadrícula de 2 x 2 kms., mostrando que las mayores emisiones se localizan en la zona centro del Distrito Federal, que es donde se presentan comúnmente grandes aforos vehiculares, marchas y plantones y por lo tanto grandes congestionamientos viales.

#### **IV.1.4.- Emisión anual por tipo de fuentes en la ZMCM.**

La tabla 4.7 nos ofrece un panorama general acerca de las cantidades totales de emisiones arrojadas a la atmósfera por tipo de fuente de emisión, tipo de contaminantes y por giro considerado. Se puede observar que las mayores emisiones corresponden a monóxido de carbono, partículas y compuestos orgánicos volátiles, donde juegan un papel principal el transporte vehicular, las fuentes erosivas y un combinado fuentes de área y vehículos, respectivamente.

Cabe mencionar que las principales fuentes de emisión de partículas a la atmósfera son la erosión del suelo, la suspensión de polvos provenientes de áreas pavimentadas y sin pavimentar y, especialmente, de las zonas lacustres desecadas en la parte oriente de la ZMCM. Como se puede ver en la tabla, los suelos contribuyen con más del 90% de las emisiones de partículas y que la vegetación aporta el 5% de hidrocarburos.

**DISTRIBUCION ESPACIAL  
DE LAS EMISIONES  
VEHICULARES DE MONOXIDO  
DE CARBONO**

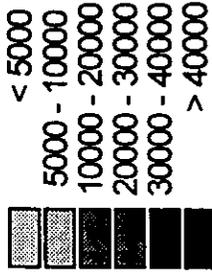
**LEYENDA**

∩ Limite de la Z.M.C.M.

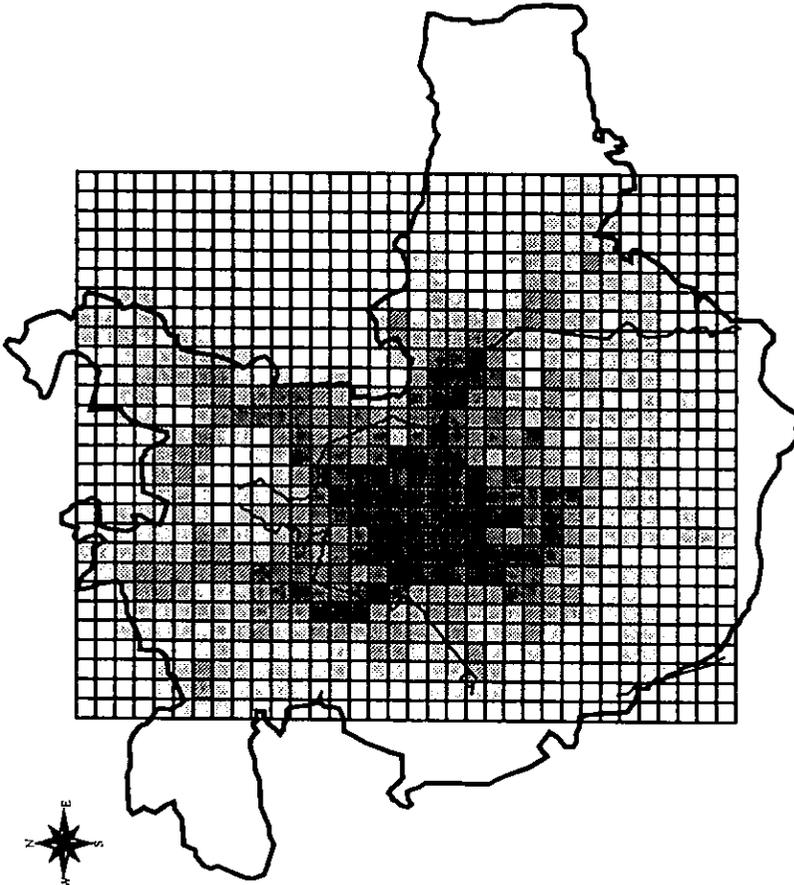
∩ Limite del Distrito Federal

□ Celdas de 2 x 2 Km

CO [Kg] / Dia Laboral



FUENTE: DDF - TÜV - TESM



5 0 5 10 15 Kilometers

MAPA 9

Tabla 4.7  
Emisión anual por tipo de fuentes en la ZMCM.

FUENTES DE AREA	COV. (TON/AÑO)	NO. (TON/AÑO)	CO. (TON/AÑO)	PARTIC. (TON/AÑO)	SO. (TON/AÑO)
ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE GASOLINA	20,127.12	0	0	0	0
OPERACIONES DE LAVADO EN SECO (TINTORERÍAS)	12,213.40	0	0	0	0
LAVADO Y DESENGRASE	29,044.28	0	0	0	0
ARTES GRÁFICAS	8,787.80	0	0	0	0
CONSUMO DE SOLVENTES	42,005.30	0	0	0	0
SUPERFICIES ARQUITECTÓNICAS	21,597.84	0	0	0	0
PANADERÍAS	2,290.90	0	0	0	0
PINTURA AUTOMOTRIZ	5,975.50	0	0	0	0
PINTURA DE TRANSITO	3,381.05	0	0	0	0
ESTERILIZACIÓN EN HOSPITALES	20.12	0	0	0	0
INCINERACIÓN EN HOSPITALES	0.02	0.51	0.54	0	0
USO DE ASFALTO	19,095.32	0	0	0	0
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	56.1	0	0	0	0
COMBUSTIÓN RESIDENCIAL	289.73	3,807.70	729.5	372.1	1483.23
COMBUSTIÓN COM./INS.	61.22	1,457.14	199.66	696.54	5713.44
COMBUSTIÓN EN HOSPITALES	2.89	73.57	18.43	8.13	20.13
SUBTOTAL	164,948.59	5,338.92	948.13	1,076.77	7,216.80
<b>FUENTES DE PUNTO</b>					
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	35.16	6,302.04	492.12	62.88	6.84
REFINACIÓN DE PETRÓLEO/PETROQUÍMICAS	16.08	206.76	741.6	34.56	84.96
PROCESOS QUÍMICOS	5,725.20	4,552.80	4,905.96	1,570.20	8,866.44
PRODUCTOS MINERALES METÁLICOS	678.48	15,153.36	5,091.72	1,069.80	684
PRODUCTOS MINERALES NO METÁLICOS	182.76	4,922.40	229.32	1,566.96	19,946.04
PROCESAMIENTO DE CAFÉ, DESHIDRATACIÓN DE SEMILLAS FABRICACIÓN DE ACEITES, GRASAS Y BETUNES.	238.68	260.04	39.96	111.24	841.68
PROCESADORAS DE MADERA Y DERIVADOS	1,252.68	3,366.12	498.6	1,184.16	14,916.72
INDUSTRIA ALIMENTICIA	397.08	1,069.44	405.96	799.32	2,110.56
INDUSTRIA DEL VESTIDO	533.04	9,491.16	13,415.76	1,032.72	2,429.28
BENEFICIO DE TABACO VINOS Y LICORES	444.6	7,253.76	1,720.44	301.68	136.2
PRODUCTOS DE IMPRESIÓN	5,063.88	13.92	15.84	776.04	19.68
PRODUCTOS METÁLICOS	1,529.28	900.72	2,229.72	235.08	559.08
FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS ELÉCTRICOS, ELECTRÓNICOS, ENSAMBLE Y REPARACIÓN DE APARATOS	599.4	69.96	100.68	98.88	37.8
INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN, MAQUINARIA PESADA Y REFACCIONES	943.92	193.08	522.96	93.24	172.2
SERVICIOS Y DIVERSAS CLASIFICACIONES INDUSTRIALES	110.52	77.04	25.44	5.04	5.16
SUBTOTAL	17,750.76	53,832.60	30,436.08	8,941.80	50,816.64

## Problemática atmosférica de la ZMCM

FUENTES MÓVILES					
AUTO PARTICULAR	115,285.30	47,895.10	1,573,537.50	10,321	2,408
PICKUP, COMBIS	16,509.80	7,593.30	208,373.40	1,091	254
MICROBÚS	20,143.30	8,395.70	224,077.60	397	93
AUTOBÚS (R-100)	2,337.20	6,751.30	5,655.00	1,900	366
FORÁNEOS, SUBURBANOS	2,055.10	2,485.60	57,332.70	120	28
DE CARGA	13,969.60	5,867.60	271,321.10	360	84
DE CARGA (MAS DE DOS EJES)	2,079.50	7,204.00	4,735.80	1902	266
AUTOBÚS MUNICIPAL	781.6	2,591.40	1,777.70	2,075	400
LOCOMOTORAS	16.84	414	50.52	0	0
LOCOMOTORAS DE PATIO	29.59	293.96	52.12	0	0
AEROPUERTO	523.43	1,294.89	1,583.23	0	0
SUBTOTAL	173,731.26	90,786.85	2,348,496.67	18,164	3,999
BIOGÉNICAS	38,999	0	0	0	0
PORTEROSTON	0	0	0	425,337	0
<b>TOTAL DE EMISIONES</b>	<b>395,339.61</b>	<b>149,958.37</b>	<b>2,379,880.88</b>	<b>453,519.57</b>	<b>62,032.44</b>

### FUENTES:

- Emisiones de fuentes de área tomadas del reporte final de inventario de emisiones para fuentes de área en la Ciudad de México, 1994, DDF, Dirección General de Ecología, Red Automática de Monitoreo Atmosférico.
- Emisiones de fuentes de punto calculadas a partir de la DATGEN del Instituto Nacional de Ecología, considerando 4 632 industrias.
- El total de emisiones procedentes de fuentes móviles fue tomado del proyecto TESM, convenio DDF-TUV.
- Los datos para fuentes biogénicas fueron tomados del reporte final de cálculos y mediciones de hidrocarburos naturales en el Valle de México, Centro de Ciencias de la Atmósfera, mayo de 1994.
- Manual del inventario de emisiones contaminantes a la atmósfera. Estudio de emisión de partículas generadas por fuentes naturales, octubre de 1990.
- Se consideró que los vehículos tienen las siguientes distancias promedio recorridas: autos particulares 30 km por día, taxis, combis y pick up 100 km/día, microbús 120 km/día, R-100 100 km/día, foráneos y suburbanos 110 km/día, camiones de carga 60 km/día, camiones de carga de 2 ejes o más 110 km/día, autobús municipal 120 km/día.
- Los camiones de carga de más de 2 ejes y autobuses municipales 120 km/día. Datos tomados de: "Seguimiento y evaluación del programa de verificación vehicular de la ZMCM, segundo semestre". Padrón vehicular, 17 de diciembre 1992.

## IV.2.- IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ZONAS DE APORTE Y RECEPCIÓN DE CONTAMINANTES.

Las zonas de aporte y recepción de contaminantes se pueden conceptualizar, desde una perspectiva amplia, como las zonas que generan ó emiten cantidades determinadas de contaminantes (gases, partículas, polvos, etc.) y las zonas que reciben el impacto de dichos contaminantes, respectivamente. Dentro de el primer grupo encontramos a las zonas industriales, principalmente y en el segundo grupo a las zonas habitacionales.

El patrón general del comportamiento de los procesos de emisión, arrastre, impacto y acumulación de contaminantes esta determinado por variables físicas (relieve y circulación de vientos, principalmente) y por la configuración urbana misma, que define la distribución de los usos de suelo predominantes y las relaciones y distancias entre cada uno de ellos.

En una gran urbe, como es el caso de la Ciudad de México, las zonas de aporte significativo de contaminantes están identificadas con las zonas industriales, las vialidades importantes (debido a los altos aforos vehiculares) y con las zonas erosionadas (como es el caso del ex-lago de Texcoco), algunos de éstos elementos se encuentran claramente ubicados (zonas industriales y habitacionales) y otros normalmente coexisten entre ellos (como es el caso de las vialidades con los demás elementos).

En la ZMCM existen zonas claramente identificadas con un uso de suelo predominante, en términos generales y aún con el riesgo de caer en una extrema simplificación, podemos situar a la zona industrial en la parte norte y noroeste, correspondiente a la delegación Azcapotzalco y los municipios de Naucalpan, Tlalnepantla y Ecatepec, aunque actualmente se empieza a registrar el despegue de Nezahualcoyotl y Cuautitlán Izcalli. La zona habitacional se extiende por prácticamente toda la urbe, las áreas verdes se localizan principalmente en zonas de reserva como la sierra de Guadalupe y del Ajusco, en lo que corresponde al equipamiento y servicios se concentra en la parte central de ciudad y disminuye progresivamente hacia la periferia, la zona de aporte de material particulado se localiza principalmente en la zona oriente (ex-lago de Texcoco) y finalmente, las áreas dedicadas a la vialidad coexisten prácticamente con todos los usos de suelo, aunque el impacto por tráfico vehicular puede considerarse más significativo en el centro de la ciudad, donde se concentra gran parte de la actividad comercial y de servicios, además de tener densidades altas de población.

Las características físicas de la ZMCM, la distribución de la población y el uso de suelo vigente, la identificación de las principales fuentes contaminantes de la atmósfera, la distribución espacial de las mismas y de sus emisiones, la dinámica atmosférica y fotoquímica de los contaminantes criterio señalados anteriormente posibilitan el intentar definir el número, localización y equipamiento de las nuevas estaciones automáticas de monitoreo atmosférico, sin embargo, resulta indispensable la realización de una revisión teórica de los fundamentos que soportan el diseño o rediseño de las redes de monitoreo atmosférico, mismos que serán tratados en el siguiente capítulo.

## CAPÍTULO V

### EL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.

Antes de poner en práctica el establecimiento o expansión de un programa de monitoreo atmosférico se deben establecer los alcances del proyecto. Aunque en un momento dado se pretenda diseñar un sistema que pudiera servir para diferentes objetivos, en la práctica sucede que sólo una cierta combinación de objetivos son realizables con cierto tipo de red. Por ejemplo, generalmente no es posible utilizar una red de monitoreo que fue diseñada para estudios de tendencias de contaminantes a largo plazo como una red de vigilancia para investigar una queja específica. Puede ser posible modificar el diseño original de tal manera que sirva para otro propósito, pero no es práctico, ya que por un lado se perdería la continuidad histórica de la información y por el otro implicaría costos adicionales.

Es común que se planteen objetivos enfocados a cumplir un programa de monitoreo atmosférico para una ciudad industrializada, con problemas de contaminación atmosférica actual o potencial y que cubran requerimientos básicos, pero también se pueden incluir objetivos más especializados, los que son más bien opcionales y técnicamente más complejos y que pueden, de acuerdo a la situación local, formar parte o no del programa básico.<sup>30</sup>

No debe perderse de vista que se deberá contar con los datos mínimos necesarios para el establecimiento de los estándares de calidad del aire y de todos los elementos que permitan desarrollar un programa viable de control de la contaminación del aire. Normalmente, los contaminantes del aire más significativos; partículas sólidas en suspensión, bióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y oxidantes fotoquímicos, deben ser considerados e incluidos en éste tipo de operaciones de monitoreo. Dependiendo del tipo de industrias en actividad dentro del área de estudio, se pueden incorporar otros contaminantes no criterio, como por ejemplo, ácido sulfhídrico, hidrocarburos de metano, compuestos orgánicos volátiles, etc. Los principales factores meteorológicos que deben ser tomados en cuenta son; dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y de ser posible contar con un registro de la frecuencias de inversiones térmicas, niveles de radiación solar, presión barométrica y algunos otros que serán mencionados más adelante.

---

<sup>30</sup> R.E. Munn. Institute of Environment Studies. University of Toronto. pp 10 - 15.

## **V.1.- OBJETIVOS DE LOS PROGRAMAS DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS URBANAS E INDUSTRIALES.**

### **A) OBSERVAR TENDENCIAS A LARGO PLAZO.**

Se entiende como el detectar cualquier deterioro de la calidad del aire como consecuencia del desarrollo urbano y/o industrial. Para éste propósito una red de equipo manualmente operado pudiera ser suficiente, colectando muestras cada 6 días durante 24 horas de manera intermitente y con sólo tres o cuatro estaciones dentro de una área urbana dada (es importante considerar que éstas estaciones deberán permanecer en operación en los mismos sitios casi permanentemente). La selección de los sitios de muestreo debe hacerse cuidadosamente para evitar que queden bajo influencia de fuentes cercanas. Es posible obtener mucho más información y la red puede ser mucho más versátil, si se realizan observaciones ininterrumpidas por períodos de 24 horas, si los datos generados se someten a análisis estadísticos se obtendrán no sólo los promedios anuales, sino también la frecuencia de distribución de los valores diarios.

El comportamiento de los contaminantes se puede estudiar por separado para los días hábiles y compararse contra los fines de semana y si se puede examinar la interrelación con programas como cambios de combustibles, restricciones a la circulación, etc. Debido a las notorias variaciones estacionales de las concentraciones de algunos contaminantes es siempre importante, cuando se estudian las tendencias, asegurarse de que los muestreos se realicen a lo largo del año o cuando menos por períodos representativos. Los grandes cambios en los patrones del clima que se dan de un año a otro pueden afectar aún las medias anuales, por lo que se requieren datos de cuando menos cinco años consecutivos para observar las tendencias fundamentales.

### **B) EVALUAR EL CUMPLIMIENTO DE LAS NORMAS DE CALIDAD DEL AIRE Y LA EFECTIVIDAD DE LAS ESTRATEGIAS DE CONTROL.**

En forma general, se ha puesto insuficiente atención a los procedimientos de monitoreo que deben ser adoptados cuando se recomienda cumplir con ciertos estándares de calidad del aire. Es importante que éstos se especifiquen en detalle, ya que los resultados dependen en extremo de la exacta localización de los muestreadores y de los períodos promediados que se adopten. En términos de las normas de calidad, la utilidad debe ser el enfatizar sobre concentraciones a las que la población en general está expuesta, sin que sea excesiva la influencia de fuentes locales o condiciones poco usuales de dispersión, cuando se adoptan nuevas medidas de control es necesario obtener una serie extensa de resultados hasta por períodos de cinco años para establecer su efectividad, aunque esto puede ser relativo. La red o sistema de monitoreo deberá estar en operación, de ser posible, antes de que se apliquen las medidas de control. Usualmente se utilizan

promedios de 24 horas, 8 horas y de una hora para contaminantes criterio, aunque hay casos como el del plomo en que se requieren manejar promedios trimestrales.

#### C) PARA ACTIVAR PLANES DE CONTINGENCIA.

Este es, en primera instancia, un problema de pronosticar el clima y en su momento las probables concentraciones de los contaminantes clave con varias horas de antelación. Para este caso es posible auxiliarse en modelos matemáticos, relacionando los niveles de contaminantes del aire con las variables meteorológicas. Los pronósticos de calidad del aire derivados de tales modelos necesitan estar apoyados por observaciones de rutina en el área urbana mediante muestreos con duración de una hora o menos. Con la tecnología y con la información meteorológica y de contaminantes presentes en la atmósfera, actualmente es posible emitir un pronóstico con varias horas de anticipación, con el fin de aplicar medidas preventivas para proteger la salud de la población.

#### D) EVALUAR LOS RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA.

Los efectos de la contaminación del aire en zonas urbanas pueden considerarse desde dos perspectivas: efectos agudos, que se observan normalmente en términos de cambio en algunos índices de salud que se dan día con día y efectos crónicos, que se manifiestan gradualmente después de muchos años de exposición a la contaminación. Para el primer caso es esencial contar con mediciones de los contaminantes por periodos cortos, regularmente de 24 horas, que se consideran adecuados. Para estudios de exposición a concentraciones pico durante el ciclo diurno, será necesario tomar muestras en promedio por intervalos más cortos. En relación a los efectos crónicos, los promedios anuales pueden ser suficientes, pero debido a que el conocimiento de las variaciones estacionales de los valores pico puede ser de utilidad, tomar mediciones sobre periodos de 24 horas establecería una base de considerable confiabilidad. En los lugares en que las concentraciones varían significativamente en distancias cortas, como sucede en el caso de monóxido de carbono y de plomo provenientes de fuentes lineales, se requiere de algún tipo de reconocimiento especialmente diseñado para cada caso que involucraría, de ser posible, el uso de muestreadores de campo o de estaciones de medición puntual.

#### E) ESTUDIOS DE OTROS RIESGOS AMBIENTALES.

El daño que sufren plantas y árboles dentro de las áreas urbanas se puede estimar en base a muestreos por periodos de 24 horas, pero debido a que una exposición por poco tiempo a una concentración alta de algún contaminante (bióxido de azufre u ozono) puede dañar sensiblemente algunas plantas, tal vez sea necesario el uso de bioindicadores. Por

ejemplo, se utilizan plantas de tabaco y alfalfa para evaluar el daño cualitativo de ozono. En otros casos, se mide el deterioro de los materiales de construcción debido particularmente al bióxido de azufre, también es de gran utilidad para este objetivo, el análisis de precipitación pluvial, sobre todo en lo que a acidez se refiere.

#### F) OBTENER INFORMACIÓN BÁSICA PARA PLANEAR EL USO DE SUELO.

Los patrones de uso de suelo y las actividades asociadas determinan, a largo plazo, los tipos y cantidades de contaminantes generados en una área urbana. Con el creciente interés por preservar la calidad del ambiente, se convierte en una prioridad establecer los niveles de contaminación existentes y estimar el impacto debido al crecimiento o creación de nuevos complejos urbanos o industriales y crear, en consecuencia, un mayor y mejor sistema de administración pública de la calidad del aire.

#### G) PARA VALIDAR MODELOS DE DISPERSIÓN.

Los modelos de dispersión pueden estar referidos a las emisiones de una fuente o al efecto integral de múltiples fuentes en una comunidad de grandes proporciones, por lo que los requerimientos de monitoreo variarán de acuerdo a éstos. Al determinar la frecuencia de los muestreos, se debe tomar en cuenta la naturaleza del modelo, ya sea que se vaya a utilizar en relación a variaciones de los niveles de contaminación a corto plazo, sobre periodos que van de 24 horas a unos cuantos minutos, o en las estimaciones de promedios a largo plazo, que se consideran de un mes a un año. En la mayoría de los casos, es necesaria una red de monitoreo de cobertura amplia y formada por equipo automático, que permanezca en operación por el período ininterrumpido necesario para calibrar un modelo.

#### H) INVESTIGACIÓN DE PROYECTOS ESPECÍFICOS.

El tipo de monitoreo para la investigación de proyectos específicos puede estar, en contraste con los casos anteriores, deliberadamente dirigido a recoger muestras de los contaminantes en las fuentes locales involucradas. Ya que los resultados estarán influenciados hasta por la más pequeña variación en los patrones del viento, puede ser que se requiera una cantidad apreciable de muestreadores, además de influir equipo continuo, de tal manera que se tenga idea de las condiciones en que se presentan los valores pico de corta duración. Tal vez halla que enfrentar dificultades para identificar los contaminantes si no se tiene conocimiento previo de ellos, por lo que no sería práctico instalar estaciones especiales para diversos contaminantes. En estos casos, una unidad móvil de monitoreo atmosférico sería lo más recomendable.

**I) EFECTUAR ESTUDIOS INICIALES PARA ADQUIRIR INFORMACIÓN DE FONDO.**

En lugares donde nunca antes se han efectuado mediciones o donde surge un nuevo tipo de problema por contaminación, se puede iniciar un reconocimiento exploratorio por un período predeterminado, utilizando equipo manual o una unidad móvil, si se dispone de ella. Conocer los tipos y calidades de los combustibles que se consumen y la clase de actividad industrial en el área es importante para darse una idea de que contaminantes deben ser monitoreados. Donde existan cambios drásticos de temperatura o de factores meteorológicos, el reconocimiento debe incluir estos períodos, ya que es cuando se espera que los niveles de contaminación sean altos.

**V.2.- OBJETIVOS DE LOS PROGRAMAS DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS RURALES O REMOTAS.**

Los objetivos para el monitoreo en áreas rurales o remotas no son muy diferentes de los objetivos planteados para las áreas urbano-industriales, sin embargo hoy día se empieza a gestar cierta preocupación por la transferencia de contaminantes de zonas urbanas a rurales o entre zonas urbanas que se encuentran a grandes distancias. Los siguientes objetivos pueden ser distinguidos:

- A) El estudio y modelación de condiciones climáticas globales y regionales.
- B) Para documentar y modelar los movimientos de contaminantes a través de un país y otras fronteras jurisdiccionales.
- C) Para el estudio de las relaciones dosis-respuesta, particularmente con respecto a lluvia ácida y desarrollo de episodios de oxidantes regionales.
- D) Para complementar estudios de calidad de aire urbano con observaciones de calidad de aire rural.
- E) Para estudiar y modelar los ciclos bioquímicos regionales y globales de elementos traza.

### V.3.- CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.

#### GENERALIDADES.

El establecimiento de criterios para el diseño de redes de monitoreo de calidad de aire es un tópico de considerable importancia actualmente. Lo anterior es debido en parte al creciente reconocimiento de que la eficacia en el abatimiento de la contaminación del aire está asociada a la naturaleza de las actividades de monitoreo realizadas. Sólo cuando la calidad del aire es medida y se encuentra que está por debajo de los estándares establecidos, las acciones de control son usualmente iniciadas. El optar por el "mejor sitio" para el establecimiento de una estación de monitoreo requiere de la aplicación de diversos juicios cuantitativos y cualitativos. De lo anterior, se desprende la duda común desde que empezaron a proliferar las primeras redes de monitoreo atmosférico y se refiere al ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Cómo? y ¿Qué? monitorear. Obviamente como en otras áreas ambientales, la discusión sobre el costo-beneficio de la implementación de una red de monitoreo reviste una importancia cada vez mayor.

Los programas de monitoreo de la calidad del aire se iniciaron el siglo pasado, pero el primer estudio en forma se dio en Leicester, Inglaterra en 1937-39<sup>31</sup>. Fueron instaladas 15 estaciones de monitoreo bajo el criterio de localización en el centro de grandes distritos uniformes. Los distritos fueron clasificados de acuerdo a su entorno en: industrial, comercial, residencial y en áreas abiertas o forestales, clasificación aún usada actualmente en muchos programas de monitoreo de calidad de aire. En esa ocasión se tuvo gran cuidado en poder diferenciar entre: (1) el área que contribuye significativamente a las concentraciones medidas en una estación y; (2) el área que la estación de monitoreo representa, en otras palabras se diferenciaron las áreas de aporte y recepción de contaminantes.

A inicios de los 50's, fueron establecidas redes de monitoreo atmosférico en las ciudades mas grandes del mundo. Aunque las redes de monitoreo fueron modestas al principio, posteriormente fueron incrementadas en el número de estaciones y en el número de contaminantes medidos. La mayoría de las redes son ahora operadas en tiempo real y se requieren elevadas sumas de dinero para su puesta en marcha, para el entrenamiento de los técnicos de operación, para el mantenimiento, para las tareas de análisis computacional y para un equipo profesional que interprete los datos obtenidos. Este incremento en complejidad influye, por un lado, en la elevación de costos y por el otro, en un creciente interés en el campo del diseño de redes de monitoreo atmosférico. La pregunta común que se planteaba en este campo era: ¿Cuántas estaciones de monitoreo son requeridas para poder estimar los valores promedio de las áreas urbano-industriales para varios

---

<sup>31</sup> Una revisión histórica detallada es desarrollada por R.E. Munn. Institute of Environmental Studies. pp 2-6.

contaminantes y cuáles deben ser los tiempos de muestreo?. En los 70's se revivió el interés en preguntas semejantes que hacían referencia a la densidad de redes, a los criterios requeridos para detectar tendencias de calidad de aire y a la utilidad que representaba para verificar las predicciones de un modelo de difusión.

Otro problema común se refirió a la ubicación de los sitios de monitoreo atmosférico, después de varios intentos para editar guías, realizados por el Comité Meteorológico de la Asociación para el Control de la Contaminación del Aire, el primer resultado positivo fue la publicación de un artículo sobre prácticas en ubicación y diseño de estaciones de monitoreo de aire continuas. Posteriormente en 1977 y después de la implantación de varios programas, fue editado un artículo el cual incluía guías generales para la ubicación de estaciones y para la estimación del número de estaciones requeridas en áreas urbanas e industriales.

El diseño de redes de monitoreo de calidad de aire incluye tópicos semejantes a métodos de operación, procedimientos de calibración, control de calidad, almacenamiento y recuperación de datos, entre otros. Cabe resaltar que aún en este limitado campo del monitoreo atmosférico, varias disciplinas científicas como la Epidemiología, la Química, la Meteorología, la Ingeniería y la Fisiología de plantas, entre otras, se encuentran envueltas en el desarrollo de los criterios de diseño.

Según la US-EPA<sup>12</sup>, el desarrollo de un programa de monitoreo de calidad de aire debe incluir el determinar el número, tipo y localización de las estaciones de monitoreo, seleccionar el tipo de monitores adecuados, la frecuencia de muestreos y la duración del período de colección de datos para cada muestreador, el sistema de adquisición de datos y un programa de administración de la red de monitoreo en su conjunto. Por lo anterior, el tipo de red determinada va a definir los requerimientos para los procedimientos de muestreo y análisis en laboratorio, la configuración del laboratorio de soporte y el sistema de análisis y adquisición de datos. En el caso que nos ocupa, en que se pretende una expansión de la actual red de monitoreo, se debe atender el tipo de contaminante a ser medido, las características físicas de entorno y los objetivos que se persiguen, retomando la experiencia y juicios técnicos del personal técnico. Asimismo, es importante hacer un balance entre lo deseable desde un punto de vista técnico y lo que es posible lograr con los recursos disponibles, en general se requieren más recursos de los que están disponibles, por lo que se debe tratar de maximizar su efectividad a través de la selección cuidadosa de los sitios de monitoreo y atendiendo a los posibles cambios que pudieran tener los sitios seleccionados en un corto y mediano plazo.

Actualmente se tienen identificados los contaminantes característicos de la ZMCM, los cuales son los siguientes: contaminantes fotoquímicos (NO<sub>x</sub>, hidrocarburos volátiles

---

<sup>12</sup> Guidelines: Air Quality Surveillance Networks. U.S.-EPA. pp 1 - 3.

no metánicos y su precursor ozono), monóxido de carbono, bióxido de azufre, partículas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas menores a 10  $\mu\text{m}$  (PM-10) y plomo. Aunque cada contaminante requiere un tipo de analizador en particular, el análisis se puede generalizar en dos grupos: analizadores de partículas y analizadores de gases, la presencia de uno u otro tipo de analizador dependerá del tipo y cantidad de contaminante presente en la región seleccionada.<sup>33</sup>

El conocimiento de la dinámica y de los niveles de contaminación existentes es esencial en el diseño o rediseño de una red de monitoreo, las áreas de mayor contaminación atmosférica deben de ser definidas junto con sus variaciones temporales y características geográficas, para lo cual se debe de recurrir a diversas fuentes como son: mapas temáticos y sinópticos, información adicional como meteorología, topografía, distribución de población, distribución industrial, usos de suelo e identificación de fuentes contaminantes, principalmente.

El número y localización de las estaciones requeridas depende principalmente del nivel de contaminación existente, de su variabilidad espacio-temporal, de las características físico-urbanas y del tamaño de la región considerada, de tal forma que permita la definición de áreas representativas u homogéneas y evite la selección de áreas inadecuadas. De lo anterior depende el tipo de sitio seleccionado, el cual se define por el tipo de estación considerada, ya sea de fuente orientada o de receptor orientado y que se definirá en función de parámetros físicos (topografía y meteorología, principalmente) y de la configuración urbana y uso de suelo existente. Una vez que se hallan definido la localización de los sitios a escala macro, es necesario realizar estudios más detallados a nivel de sitios locales para la posterior identificación de los sitios específicos de emplazamiento de las estaciones.

Las primeras aproximaciones para la determinación del número y localización de estaciones de monitoreo, así como del tipo de analizador contenido, se obtienen comparando las densidades de población, la dinámica y tipo de contaminantes en relación a una área determinada, los fenómenos de carácter físico y la distribución geográfica de fuentes de emisión, principalmente. Es importante no perder de vista los aspectos de jurisdicción administrativa, diseño de las estaciones, líneas eléctricas y telefónicas, características del entorno de la estación, seguridad y accesibilidad de la zona, entre otras.

La diferencia básica entre una red de vigilancia mínima y una red ideal es que la red mínima tiene menos estaciones y quizás instrumentos menos sofisticados. Los diseñadores de redes deben intentar maximizar la eficacia de las redes mínimas a través de la cuidadosa selección de los sitios de muestreo, de un correcto programa de frecuencias

---

<sup>33</sup> Un análisis específico sobre los métodos y equipos de muestreo usuales puede consultarse en el manual Atmospheric Sampling. US-EPA. Air Pollution Training Institute. Capítulos 3 y 4.

de muestreo y del posible uso de muestreadores automáticos continuos. Debido a los recursos limitados de algunas ciudades o regiones, si en algún momento es necesario expandir la red de monitoreo, es indispensable que el programa de expansión sea bosquejado desde el inicio del diseño, para permitir un crecimiento sistemático y una adecuada distribución de recursos.

Los objetivos que se persiguen con la instalación de redes de monitoreo pueden ser varios, pero pueden resumirse en un solo objetivo general: el registro de los niveles de contaminación para evaluar el cumplimiento de las normas de calidad del aire y de los programas de control de la contaminación, con miras a proteger la salud de la población .

En conclusión, el desarrollo de un programa de monitoreo de calidad de aire comprende, tomando como base los objetivos que se propongan, analizar las características físicas y urbanas del área, determinar el número y localización de las estaciones de monitoreo, seleccionar el tipo de contaminante a ser medido, seleccionar el tipo de monitores adecuados, los períodos de muestreo y métodos de análisis, establecer el sistema de adquisición de datos, el sistema de información y difusión de calidad de aire, el laboratorio de soporte y el programa de administración de la red de monitoreo en su conjunto. Es recomendable tomar en cuenta la experiencia y juicios del personal técnico calificado, las herramientas computacionales disponibles, los modelos matemáticos, los sistemas de información geográfica y otros tipos de métodos auxiliares.

#### **V.4.- INFORMACIÓN REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE REDES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.**

Para la selección de sitios es necesario tener información detallada sobre la localización de fuentes de emisión, la variación geográfica de las concentraciones de contaminantes, las condiciones meteorológicas, topográficas, etc. Por lo tanto, la tarea de selección del número de estaciones, localización, tipos de estaciones y equipamiento, es un proceso complejo que requiere una clara y objetiva solución. Por otro lado, la variabilidad de las fuentes de emisión y de sus intensidades, de los terrenos, de las condiciones meteorológicas y características demográficas, requieren que cada sitio sea desarrollado individualmente. Así, la selección de la red va a ser el resultado de juicios basados en las evidencias disponibles y en la experiencia del equipo de trabajo.

El proceso de selección de sitios de muestreo implica tomar en cuenta diversas consideraciones y restricciones<sup>14</sup>. Ninguno de los anteriores factores es dependiente de los otros. Los objetivos del programa de monitoreo deben ser claramente definidos antes de que el proceso de selección de sitios sea iniciado, quizás la definición inicial de

---

<sup>14</sup> Quality Assurance Handbook for Air Quality Measurement System. US -EPA. Section 2.0.1. pp 6 - 9

prioridades tenga que ser vuelta a evaluada después de hacer las consideraciones de los factores faltantes y entonces será posible que las localizaciones finales sean definidas.

Consideraciones económicas - Las consideraciones económicas deben ser definidas claramente. La cantidad de dinero requerido para la colección de datos (instrumentación, instalación, mantenimiento, recuperación de datos), análisis de datos, garantía de calidad e interpretación de datos, debe ser balanceado contra los recursos monetarios disponibles, desde una perspectiva actual y posteriormente proyectada, como por ejemplo no perder de vista los costos-beneficios de los sitios de muestreo adicionales o reubicaciones necesarias a futuro.

Problemas logísticos - Los problemas logísticos comprenden los medios para obtener, analizar e interpretar los datos. ¿ Puede el actual personal manejar el sistema propuesto o son necesarias más o menos personas para realizar las tareas ?. ¿ Esta la información necesaria disponible o cuanto tiempo debe pasar antes de tenerla ?.

Problemas atmosféricos - Los problemas atmosféricos se refieren a la definición de variaciones espaciales y temporales de los contaminantes y su transporte. Los efectos de edificios, terrenos y fuentes de calor sobre la trayectoria del aire crean anomalías locales de concentraciones excesivas de contaminantes. La velocidad y dirección del viento y la estabilidad atmosférica determinan la dispersión de contaminantes.

Consideraciones sobre contaminantes - Un sitio o un arreglo de sitios de monitoreo para un contaminante puede ser inapropiado para otra especie de contaminantes debido a la configuración de las fuentes, a la meteorología local o al terreno. Algunos contaminantes experimentan cambios en su composición entre el punto de su emisión y cuando se le detecta, por lo tanto, el impacto de éste cambio sobre el sistema de medición debe de ser considerado. Existen reacciones de química atmosférica como las que producen el ozono ( $O_3$ ) en presencia de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) e hidrocarburos (HC), por lo tanto el tiempo que transcurre entre la emisión de  $NO_x$  y HC y la detección del pico de ozono puede requerir de una red de muestreadores para los precursores de ozono y otra red diferente para el actual  $O_3$  medido.

Restricciones meteorológicas - Entre las primeras cosas que se deben hacer es establecer contacto con los servicios meteorológicos con el propósito de saber el tipo y cantidad de información disponible, generalmente los datos meteorológicos son generados con propósitos diferentes a los del monitoreo atmosférico (pronósticos, apoyo al tráfico aéreo y servicios a la agricultura e hidrología, por ejemplo) y además no es usual que se tengan estudios meteorológicos dentro de las grandes ciudades. Por tal motivo, se requiere complementar la información meteorológica existente con la instalación de estaciones de meteorología adicionales en lugares que sean parte del programa de monitoreo. Los

servicios meteorológicos locales tienen por lo común información general acerca de las condiciones climáticas en el área. La dirección y velocidad del viento y las variaciones de temperatura en función de la hora del día y de la estación del año, son los parámetros usualmente medidos. Otros datos que se pueden conseguir son: la precipitación pluvial, períodos de insolación, humedad relativa y absoluta y la potencial información de nieblas. En la medida de lo posible, sería útil obtener información de observaciones sobre gradiente de temperatura y la información relativa a la frecuencia y la altura de la capa de inversión térmica. Así, la meteorología tiene que ser considerada para determinar, no sólo la localización geográfica de un sitio de monitoreo, sino también para evaluar los impactos de factores como altura, dirección y extensión de vientos y masas de aire, obtenidos de sondeos atmosféricos y otros medios. Los factores meteorológicos que tienen una gran influencia sobre la dispersión de contaminantes son la dirección, velocidad y variación del viento así como la estabilidad atmosférica y su velocidad de desplazamiento. Debido a que la velocidad del viento regula el movimiento general de contaminantes en la atmósfera, la revisión de los datos disponibles pueden indicar la dirección predominante del viento y así poder inducir la orientación de la(s) mayor(es) fuentes de emisión. La velocidad del viento afecta: 1) el tiempo de viaje de los contaminantes de la fuente al receptor y 2) la dilución del aire contaminado en las áreas que se localizan con el viento a favor. En general podemos decir que la concentración de contaminantes en el aire es inversamente proporcional a la velocidad del viento. La variabilidad del viento se refiere a sus movimientos horizontales y verticales fortuitos. Estos movimientos son considerados como turbulencia atmosférica, la cual puede ser mecánica (causada por cambios en el terreno) y termal (causada por el enfriamiento y calentamiento de masas de tierra y agua). Si la escala de la turbulencia es más pequeña que el tamaño de la pluma del contaminante, la turbulencia causará la difusión o esparcimiento de la misma. Si éste fenómeno meteorológico impacta con frecuencia en algún sitio de monitoreo, los datos medidos deben de ser evaluados desde el punto de vista que se tomaron bajo condiciones atmosféricas inusuales. Una forma útil de desplegar datos de viento es un diagrama de rosa de vientos que muestra la distribución de las velocidades y direcciones.

Restricciones topográficas - La topografía es un factor importante en la selección de los sitios de muestreo por su efecto sobre los vientos locales y las condiciones de estabilidad. Existen diversos desarrollos urbanos y/o industriales que se establecen en lugares donde hay una gran tendencia a la formación de inversiones térmicas que atrapan al aire contaminado. Las ciudades construidas en terrenos ondulados presentan variaciones substanciales de las concentraciones de contaminantes dentro del área urbana. En general, mientras más complejo sea el terreno se necesitarán más sitios de monitoreo para determinar la distribución de los contaminantes. Las montañas, los lagos y océanos son otros aspectos topográficos que afectan la dispersión de los contaminantes. Los elementos topográficos menores pueden ejercer pequeñas influencias, mientras que elementos mayores, como valles o montañas, pueden afectar grandes áreas. Antes de seleccionar el sitio final, se debe revisar la topografía del lugar para asegurarse que el propósito del

monitoreo en el sitio no sea adversamente afectado. La tabla 5.1 resume los rasgos topográficos importantes, sus efectos sobre el flujo de aire y algunos ejemplos de influencias sobre la selección de sitios de monitoreo.

Tabla 5.1  
Relación entre topografía, flujo de aire y selección de sitios de monitoreo.

Rasgo Topográfico	Influencia sobre el flujo de aire	Influencia sobre la selección del sitio de monitoreo
Vertiente/Valle	Predominancia de corrientes de aire ladera-valle en las noches o en días fríos; vientos en sentido contrario ocurren cuando en el valle aumenta la temperatura. Los vientos ladera-valle y viceversa son predominantes. La tendencia general del flujo es hacia las partes bajas de laderas y valles. Existe una tendencia a la presencia de inversiones térmicas.	Se consideran sitios especiales para los monitores de aire porque los contaminantes no son representativos de otras áreas geográficas; posiblemente el emplazamiento de monitores será para determinar niveles de concentraciones en áreas pobladas y/o industriales localizadas en un valle.
Cuerpos de agua.	La brisa de mares o lagos sopla hacia tierra durante el día o en clima frío; durante la noche ocurre lo opuesto.	Las estaciones situadas sobre las riberas son generalmente usadas como respaldo o para obtener datos de contaminantes sobre corrientes de agua.
Colinas.	Altas colinas y parteaguas pronunciados causan turbulencias; el flujo de aire en los alrededores se obstruye durante condiciones estables, pero fluye durante condiciones inestables.	Depende de la orientación de la fuente de emisión; cuando las emisiones son generadas viento arriba es generalmente ventajoso; cuando las emisiones son generadas viento abajo generalmente son dispersadas cerca de la fuente; un monitor cerca de una fuente es generalmente deseable si existen centros de población adyacentes.
Obstáculos naturales o artificiales	Efecto de remolino	Su localización cerca de obstáculos no es generalmente representativo en cuanto a las lecturas presentadas.

Fuente: Quality Assurance Handbook for Air Quality Measurement System. US -EPA. Section 2.0.1. pp 11.

**Fuentes y emisiones** - Uno de los primeros pasos en el diseño de una red de monitoreo es reunir información concerniente a las fuentes y emisiones de contaminantes atmosféricos en el área para armar un inventario de emisiones. Las principales fuentes en una ciudad incluyen usualmente industrias, vehículos de motor, plantas de energía, incineradores y equipos de calefacción. En la información se deberá incluir la cantidad, tipo, tamaño y localización y se complementará con datos sobre calidades y cantidades de combustible utilizados y su composición (azufre, cenizas y contenido de elementos traza) en algunos casos es posible obtener los totales locales, regionales y nacionales en ciertas publicaciones del sector correspondiente. Los combustibles para consumo de fuentes fijas deben considerarse por separado de los dedicados a la transformación. Para la elaboración del inventario de emisiones se dispone de procedimientos ya existentes. Una vez que se recolecta la información, se deberá hacer una estimación preliminar de las concentraciones de contaminantes que se esperan encontrar, mediante el uso de modelos de cálculo de dispersión. De esta manera se puede tener, inicialmente, una idea de la magnitud del problema en poco tiempo y relativamente a bajo costo. Cuando se establece la distribución de fuentes es importante hacer una distinción entre las de gran tamaño, que emiten sus desechos a través de chimeneas altas y las pequeñas que lo hacen por chimeneas de baja altura. Por lo tanto, las fuentes más pequeñas pueden tener mayor impacto, proporcionalmente, en concentraciones a nivel de piso a su entorno que las fuentes de mayor tamaño. También es importante diferenciar entre los contaminantes emitidos directamente por las fuentes (primarios) y los que resultan de reacciones fotoquímicas (secundarios). Estos últimos son un factor particularmente importante con respecto a las emisiones arrojadas por los servicios de transporte y la industria. Como los contaminantes secundarios se forman en la atmósfera a partir de reacciones fotoquímicas, puede ser que las concentraciones más altas se encuentren a cierta distancia de las fuentes emisoras y este aspecto debe ser considerado cuando se diseñe una red de monitoreo.

**Información geográfica y estadística** - El conocimiento de la dinámica y de los niveles de contaminación existentes es esencial en el diseño o rediseño de una red de monitoreo, las áreas de mayor contaminación atmosférica deben de ser definidas junto con sus variaciones temporales y características geográficas y urbanas, para lo cual se debe recurrir a diversas fuentes como son: mapas temáticos y sinópticos e información como meteorología, topografía, distribución de población, distribución industrial, usos de suelo e identificación de fuentes contaminantes, principalmente; también es recomendable el utilizar mapas de isopletas de concentraciones obtenidos de mediciones anteriores y/o de modelos de difusión. Todo lo anterior constituye la información básica para determinar el número de estaciones necesarias y su localización. Cabe agregar que en ausencia de mapas de isopletas, la información sobre emisiones y/o uso de suelo puede ser usadas en conjunto con una rosa de vientos para determinar áreas expuestas a altas concentraciones. Los mapas topográficos proveen información adicional sobre la localización y distribución del relieve, el flujo de vientos y las características de la dispersión de contaminantes. A continuación se describen algunos de los elementos mencionados.

Información demográfica y de salud - Es cosa común que la decisión de iniciar un programa de monitoreo se derive de quejas de la población, debido a molestias causadas por olores ofensivos o polvos en exceso. El origen y distribución geográfica de las quejas, su tipo y cantidad pueden contribuir al diseño de la red. Es también útil coleccionar información sobre el daño que sufren las plantas, animales y materiales en las distintas áreas de muestreo. La información referente a la distribución de la población dentro de un área es necesaria, particularmente, cuando dentro de los objetivos está el de evaluar la exposición humana a los contaminantes. Cuando se realizan estudios epidemiológicos, por lo regular la evaluación de la calidad del aire se efectúa en un cierto número de áreas residenciales con diferencias significativas en los niveles de contaminación. Es probable que también sea necesario contar con información sobre edades y condiciones socioeconómicas de la población, esta información se obtiene normalmente de los resultados de los censos nacionales. Particularmente los mapas de distribución de población son esenciales en la localización de estaciones clave para el monitoreo durante episodios de contingencia ambiental, estos datos pueden obtenerse de diversas agencias gubernamentales y privadas.

Información previa de la calidad del aire - Aún cuando no halla existido un programa formal de monitoreo de la calidad del aire, a menudo es posible contar con información adquirida de manera esporádica, ya sea por estudios especiales efectuados por el sector salud, por el servicio meteorológico, instituciones de educación superior, investigadores o aún por estudiantes que preparan sus tesis sobre el tema, toda esta información debe, de ser posible, reunirse y analizarse, algunas veces se puede obtener una primera estimación de la magnitud del problema de ésta manera. Habrá que ser precavidos con el uso de ésta información debido a la variedad de procedimientos de muestreo y análisis que pudieran haber sido utilizados.

Zonificación del uso del suelo - Es importante clasificar cada sitio en término de las fuentes y actividades predominantes en el área. Esto se puede hacer convenientemente de acuerdo a las descripciones del uso del suelo. Generalmente, una observación del sitio es suficiente para cumplir con este requisito, pero en algunas áreas tal vez sea necesario consultar mapas que muestren su distribución. Una forma de clasificar cada sitio de monitoreo es de acuerdo a las características de su vecindad inmediata, como sería residencial, comercial, industrial o mixta, tomando en cuenta algunos otros aspectos como la densidad y tipo de construcciones y si hay parques o algún otro tipo de espacios abiertos en las cercanías. Es importante también la localización de infraestructura como hospitales, escuelas, guarderías, vialidades, etc. Otra información de carácter urbano como altura de construcciones, árboles y cercas son importantes porque pueden obstruir o modificar el flujo de aire, las fotografías aéreas e inspecciones visuales son recomendables para identificar éstos y otros tipos de elementos. Actualmente es fundamental contar con información cartográfica que identifique los usos de suelo predominantes para así poder determinar las áreas de emisión y recepción de contaminantes.

Si bien las interacciones de los factores identificados anteriormente son complejas, es claro que el problema de selección de sitios puede ser resuelto. La experiencia en la operación de sistemas de medición de calidad de aire, en las estimaciones de calidad de aire, en el conocimiento de la química atmosférica<sup>35</sup> y en los efectos de la contaminación del aire, son los requerimientos que se combinan y que son necesarios para seleccionar el óptimo sitio de muestreo para poder obtener datos representativos de acuerdo a los objetivos del monitoreo.

#### V.5.- BALANCE NECESIDADES - RECURSOS.

Después de analizar las consideraciones pertinentes para el diseño o ampliación de una Red de Monitoreo Atmosférico, es necesario programar los recursos para llevar a cabo la instalación de la red o de las estaciones adicionales. Dentro de esta sección, se presentan los costos aproximados de algunos equipos y sistemas que podrían ser necesarios cuando se intente realizar lo anterior.<sup>36</sup>

#### COSTO DEL EQUIPO

La mayor parte de los equipos de monitoreo y análisis de contaminantes, así como los instrumentos para la medición de parámetros meteorológicos no se producen en México, por lo que deberán importarse principalmente de los Estados Unidos. El presupuesto se presenta en dólares en la siguiente tabla 5.2.

Tabla 5.2  
Presupuesto para la adquisición de equipo manual de monitoreo atmosférico

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO
1	Muestreador de alto volumen	4,500
1	Muestreador para partículas PM-10	6,500
1	Kit de calibración	1,100
1	Muestreador de gases RAC	3,500
1	Camioneta	12,000
1	Estación meteorológica	34,500
<b>TOTAL</b>		<b>62,100</b>

<sup>35</sup> Para una mayor información sobre química atmosférica consúltese el libro Air Quality Criteria For Oxides of Nitrogen y el libro Air Quality Criteria For Ozone and Related Photochemical Oxidantes.

<sup>36</sup> Información proporcionada por la Dirección de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico. Gobierno del Distrito Federal.

Por otro lado, se debe calcular el costo de consumibles, servicio de los vehículos y gasolina. Esto se realiza en base a los Programas de Operación, Mantenimiento y Calibración de la propia Red de Monitoreo. En el caso de una red manual es necesario contar con un Laboratorio de Físico-Química para analizar las muestras colectadas y determinar las concentraciones de los contaminantes presentes.

Los equipos indispensables para la operación del Laboratorio son los siguientes:

- Espectrofotómetro UV.
- Absorción atómica.
- Mediador electroquímico de fluoruros.
- Equipos de extracción.
- Campana de extracción de gases.

Por otra parte y dado el volumen de muestras de partículas a analizar, se recomienda la construcción de un cuarto específico para el acondicionamiento de filtros a un peso constante. Este cuarto deberá tener la temperatura y humedad controladas.

El equipo de apoyo para la preparación de las muestras y reactivos, indispensable en cualquier laboratorio de análisis químico es:

- Balanza analítica
- Agitador magnético
- Desecadores
- Potenciómetros
- Mufla
- Horno de evaporación
- Refrigerador
- Destilador de agua
- Deionizador de agua
- Cristalería
- Autoclave u horno de microondas

El Laboratorio requiere de áreas de trabajo específicas con una superficie mínima de 140 mts<sup>2</sup> y son:

Area de servicios y oficina	60 mts <sup>2</sup>
Area de reactivos	10 mts <sup>2</sup>
Area de almacén de reactivos	10 mts <sup>2</sup>
Area de almacén general	20 mts <sup>2</sup>
Area de espectrofotometría	6 mts <sup>2</sup>
Area de absorción atómica	10 mts <sup>2</sup>
Area de extracción de metales pesados (continúa...)	16 mts <sup>2</sup>

## El diseño de redes de monitoreo atmosférico

Area de preparación de agua destilada deionizada	8 mts <sup>2</sup>
Area de preparación de reactivos	32 mts <sup>2</sup>
Area de cuarto de temperatura y humedad constante	3 mts <sup>2</sup>
Area de cuarto de equipo de meteorología	30 mts <sup>2</sup>
<b>Area total</b>	<b>205 mts<sup>2</sup></b>

El costo aproximado para la instalación de una Red Manual de Monitoreo y un Laboratorio de Físico-Química, con todos los equipos, accesorios y consumibles para un año de operación es el siguiente:

Concepto	Monto
Costo del equipamiento de 5 estaciones manuales de monitoreo atmosférico	133,200 USD
Costo de operación y mantenimiento	28,000 USD
Costo de instalación del laboratorio:	
Construcción	300,000 USD
Equipo mayor	600,000 USD
Equipo menor	300,000 USD
Reactivos y gases	100,000 USD
Operación y mantenimiento	50,000 USD
<b>Total</b>	<b>1'511,200 USD</b>

Por otra parte, mostraremos el costo estimado de una Red Automática de Monitoreo Atmosférico, con 5 estaciones multicomponente.

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Total en USD
Sistema central de cómputo	1	120,000	120,000
Laboratorio de reparación de equipo	1	80,000	80,000
Laboratorio de transferencia de estándares	1	140,000	140,000
Caseta de albergue (shelters)	5	30,000	150,000
Analizador de ozono	5	12,000	60,000
Analizador de monóxido de carbono	5	12,000	60,000
Analizador de bióxido de azufre	5	11,500	57,500
Analizador de óxidos de nitrógeno	5	12,500	62,500
Monitor de partículas PM-10 automático	5	29,500	147,500
Estación meteorológica	5	34,000	170,000
Datalogger (basado en PC)	5	7,500	37,500
Módem de transmisión de datos	5	3,250	16,250
Contratación de líneas telefónicas	15	6,000	90,000
Refacciones y accesorios para instalación	Un lote	77,600	77,600
<b>Total</b>			<b>1'268,850</b>

Cabe mencionar que en el proyecto de implantación de una Red de Monitoreo Automática o Manual no se considera el costo de diseño e instalación debido a que varía.

**V.6.- CRITERIOS EMPLEADOS EN LA UBICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO ATMOSFÉRICO.**

**NUMERO Y DISTRIBUCIÓN DE ESTACIONES**

El número de sitios de muestreo depende de:

- 1) El tamaño del área que se pretenda cubra la red.
- 2) La variabilidad de las concentraciones de los contaminantes.
- 3) La necesidad de información en términos de cantidad y calidad, lo cual está relacionado con los objetivos del proyecto.

La tabla 5.3 presenta, a manera de ejemplo, una guía del número de estaciones necesarias para monitorear las tendencias de los contaminantes en áreas urbanas. Se supone que la población será un indicador del tamaño de la región y de la variabilidad de contaminantes presentes. El número de estaciones recomendadas se basa, en gran medida, en la experiencia adquirida en el diseño de redes en otras ciudades de México<sup>37</sup> y deben ser consideradas sólo como guía general. Se incluyen más adelante una serie de factores modificantes que suman situaciones particulares y que recomiendan el aumento o disminución del número de estaciones. Cuando los objetivos del programa son otros, particularmente los que se relacionan con estudios epidemiológicos, la cantidad de estaciones se tendrá, generalmente, que incrementar.

Tabla 5.3

Promedio de estaciones para la vigilancia de tendencias de la calidad del aire en zonas urbanas con poblaciones determinadas.

Población Urbana (millones)	Partículas Suspendidas Totales	Bióxido de Azufre	Óxidos de Nitrógeno	Oxidantes	Monóxido de Carbono	Velocidad y dirección del viento
<1	2	2	1	1	1	1
1-4	5	5	2	2	2	2
4-8	8	8	4	3	4	2
>8	10	10	5	4	5	3

<sup>37</sup> Introducción al Monitoreo Atmosférico. Martínez, P., Romieu I. 1997. pp 20.

Donde los factores modificantes son los siguientes:

- \* En las ciudades muy industrializadas deberán incrementarse las estaciones para medir las partículas en suspensión y el bióxido de azufre.
- \* En zonas que emplean grandes cantidades de carburantes pesados, el número de estaciones para medir el bióxido de azufre se debe incrementar y viceversa.
- \* En regiones de terreno accidentado puede ser necesario aumentar el número de estaciones.
- \* En ciudades con tráfico extremadamente lento, tendrán que incrementarse al doble las estaciones para medir los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono.
- \* En ciudades de 4 millones de habitantes o menos, con un tránsito relativo bajo, podrán reducirse las estaciones para medir los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono.

Existen dos métodos básicos para definir la distribución de un número dado de estaciones de monitoreo sobre una cierta área y son los siguientes:

- A) Una red geométrica en la que los puntos de muestreo se sitúen en la intersección de una retícula o dentro de cada rectángulo o cuadrado.
- B) Una red más selectiva en la que la ubicación de los sitios dentro del área bajo vigilancia tome en consideración la distribución de fuentes densidad poblacional, densidad vehicular etc.

Las redes geométricas han sido utilizadas en muchos lugares para una gran variedad de propósitos y en muchos casos fueron parte de los estudios que colaboraron en la determinación del número de estaciones necesarias para la caracterización adecuada de los niveles de contaminación en un área determinada y algunas otras han sido utilizadas para efectuar mediciones de rutina. Hay un número de posibles variaciones con respecto a la operación de una red con patrón de retícula regular. Todos los puntos de cruce en la rejilla podrían indicar un posible punto de monitoreo, aunque no necesariamente, ya que algunos podrían omitirse si el análisis de la información muestra que es posible la reducción sin perder precisión en los datos. Existe también la posibilidad de utilizar equipo móvil para visitar los puntos de cruce de manera aleatoria utilizando procedimientos estadísticos para calcular los niveles de contaminación en el área.

Aunque las redes reticulares aún son utilizadas actualmente, no son muy favorecidas debido a algunas imperfecciones que presentan. Son, por ejemplo, muy limitadas en relación a los puntos de muestreo, poco analíticas y de alto costo económico,

tienden también a consumir mucho tiempo de los operadores. Una red mas selectiva involucra la selección de puntos de muestreo más representativos y generalmente proporciona una imagen más detallada de las zonas más pobladas y por lo tanto más contaminadas, se tiende a incrementar la densidad de la red en estos lugares y consecuentemente se reduce hacia la periferia, donde la calidad del aire es generalmente mejor. El número de estaciones que se pueden instalar no permitirá, por lo regular, establecer una resolución total de los patrones de la contaminación atmosférica para la región de interés. Por lo tanto, es aconsejable utilizar los modelos de dispersión que pueden proporcionar información adicional a través de la interpolación, por ejemplo, acerca de los niveles máximos esperados o de la distribución espacial de los contaminantes entre sí. Los equipos móviles ofrecen buenas aproximaciones sobre cuando incrementar el equipamiento que las estaciones fijas contienen, referente a los equipos móviles se debe tener cuidado en evitar que los instrumentos alteren sus niveles de desempeño debido a los cambios de ubicación, lo cual implicaría calibrar los equipos más frecuentemente. Tampoco hay que perder de vista que la información de la distribución de los contaminantes generada por equipo móvil es usualmente representativa de períodos cortos de tiempo, por lo que se debe evitar el aplicarla a épocas y condiciones distintas.

#### CRITERIOS DE UBICACIÓN Y SELECCIÓN DE SITIOS

En el diseño de un programa de monitoreo de calidad de aire, deben de ser considerados cuatro criterios, ya sea en forma individual o en combinación, para cada localización de sitio y en plena correspondencia con los objetivos del muestreo. Así, se deben orientar los sitios de monitoreo para medir:<sup>38</sup>

- A. Los impactos de emisiones contaminantes criterio sobre la calidad del aire.
- B. Los niveles de dosis-receptor a corto, mediano y largo plazo.
- C. Los impactos de determinadas fuentes de emisiones de contaminantes (área y punto) sobre la calidad del aire.
- D. La representatividad de la calidad de aire medida en áreas previamente determinadas.

La localización exacta de cada estación de monitoreo es un aspecto muy importante del desarrollo de una red ya que cualquier error puede originar que la información producida tenga una representatividad muy limitada.

La localización de una estación debe satisfacer los siguientes criterios:

<sup>38</sup> Consúltese Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Secc. 2.0.1. pp 5.

- A) El sitio debe ser representativo del área seleccionada en el diseño general.
- B) La estación debe ser establecida y operada de tal manera que la información que proporcione pueda ser comparada con los datos de otras estaciones dentro de la misma red.
- C) El sitio debe satisfacer ciertos requerimientos físicos, administrativos, entre otros.

A continuación se explican los puntos mencionados:

Una estación es representativa si los datos obtenidos reflejan, de manera fiel y precisa, las concentraciones y fluctuaciones reales de los contaminantes en un área dada. En la práctica, los lineamientos para cumplir lo anterior son difíciles de especificar. Aunque la posición de una estación pareciera satisfactoria, debiera verificarse realizando muestreos mediante una o varias estaciones móviles dentro de la misma área. La estación deberá localizarse en un lugar donde las interferencias en las cercanías sean poco probables. Considérense las siguientes:

- \* Que la localización de los sitios de muestreo y la determinación del tamaño de la red sean consistentes con los objetivos del monitoreo.
- \* Que la determinación de restricciones sobre los sitios de monitoreo sean impuestos por criterios meteorológicos, topográficos, fuentes de emisiones y restricciones físicas y urbanas en general.
- \* Que la planeación de los programas de muestreo sean consistentes con los objetivos del monitoreo.
- \* Fuentes cercanas de contaminación: la distancia recomendada dependerá de la altura y fuerza de las emisiones de las fuentes. La estación deberá estar a 50 mts. cuando menos, de chimeneas domésticas, especialmente si éstas están a menor altura de la toma de muestra. Para fuentes mayores la distancia deberá ser mayor.
- \* Superficies absorbentes: las más comunes son los follajes y materiales de construcción, por lo que el espacio libre alrededor de la toma de muestra dependerá de las propiedades absorbentes de los materiales en función de los contaminantes en cuestión, pero en ningún caso será menor a cinco metros.
- \* Áreas donde se contemplen construcciones o cambios drásticos de uso del suelo, sobre todo si se persigue estudiar tendencias a largo plazo.

Para objetivos tales como el estudio de efectos en la salud y la evaluación de daños a la vegetación, la localización de las estaciones es representativa si los datos que se obtengan reflejan la exposición permanente del receptor. Esto significa que los movimientos de un grupo de población bajo estudio deberán estar cubiertos por un número de estaciones con el propósito de definir la exposición promedio. Esto implica un problema fundamental, ya que las actividades para monitorear la calidad del aire son desarrolladas en el exterior, mientras que la gente pasa la mayor parte del tiempo en los interiores. Las concentraciones de contaminantes pueden ser mayores en el interior que en el exterior. La diversidad de condiciones que afectan las concentraciones exteriores es tan amplia que es poco práctico recomendar la inclusión de muestreos interiores como parte de un programa general de monitoreo; sin embargo, pueden ser considerados bajo estudios complementarios y específicos.

La medición de contaminantes derivados de fuentes móviles, requiere especial atención por las altas concentraciones que pueden ser encontradas y no se hace necesario medirlos en todas las estaciones, ya que los contaminantes primarios originados por el tráfico de vehículos (monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, plomo y partículas) se encontraran en las vías de comunicación con altos índices de tráfico y en los centros de las ciudades, especialmente donde hay edificios altos, hecho que limita la ventilación. Si una calle es muy transitada por peatones y se cuenta con un sitio apropiado, sería recomendable situar una estación.

Contaminantes fotoquímicos como el ozono se presentan en el aire como resultado de complejas reacciones entre los contaminantes, la luz solar y bajo ciertas condiciones atmosféricas.<sup>39</sup> Como estas reacciones requieren tiempo para desarrollarse, las concentraciones de ozono pueden ser más altas en la periferia de la zona urbana que dentro de ésta. Este aspecto debe ser considerado cuando se instalen instrumentos para la medición de contaminantes fotoquímicos.

Para facilitar la comparación de los datos obtenidos en diferentes estaciones, los detalles de cada sitio deberán estandarizarse al máximo. Si se pretende evaluar el impacto de fuentes estacionarias, la toma de muestra debe estar de preferencia a tres o cuatro metros sobre el nivel del piso y a 1.5 mts. de la superficie vertical más cercana. Todos los demás lados deberán estar abiertos, lo que significa que la toma no puede estar en un espacio confinado. Cuando la intención sea monitorear la contaminación debida a vehículos, la toma deberá situarse al menos a tres metros sobre el nivel de la calle y a una distancia horizontal de un metro de la acera. Las modificaciones a estos requerimientos podrían ser problemáticas y si tienen que hacerse, deberá procurarse que sean las mismas en todas las estaciones de la red. Esta altura es recomendable para evitar la recirculación

---

<sup>39</sup> Para una mayor información sobre química atmosférica del ozono consúltese el texto Air Quality Criteria For Ozone and Related Photochemical Oxidantes.

de los contaminantes, permitir el libre tránsito y proteger la toma de muestra contra el vandalismo.

Algunos instrumentos para el monitoreo (como los muestreadores de alto volumen) tienen que ser colocados en el exterior y por razones prácticas, en la mayoría de los casos, los techos de construcciones de poca altura, unidades móviles y estaciones de monitoreo automáticas, han sido considerados los mejores sitios.

Los equipos continuos para la medición de contaminantes gaseosos, así como algunos para muestreo de material sólido suspendido, se instalan normalmente en casetas metálicas o de concreto, construidas *expofeso*.<sup>40</sup> Se conectan al exterior mediante un tubo de material inerte (vidrio, teflón o acero inoxidable), el cual tiene en su extremo exterior forma de embudo invertido que evita la entrada de agua, de partículas de gran tamaño o de insectos junto con la muestra de aire. Si se van a muestrear partículas, las características de entrada del flujo (tasa, diámetro del embudo, etc.) se tienen que estandarizar y la línea de muestreo tiene que estar libre de dobleces, además, deberá ser lo más corta posible de preferencia de menos de 3 mts. y hecha de materiales que no reaccionen con los contaminantes y que puedan liberar compuestos que interfieran con las lecturas. El diámetro del tubo dependerá de la demanda de flujo y se recomienda se estandarize en toda la red.

Ya que frecuentemente no es posible cumplir con todos los requisitos que se han mencionado, las diferencias que se implementen deberán ser analizadas y su influencia tomada en cuenta, especialmente si se tiene planeado comparar los resultados entre varias estaciones. Es un hecho bien conocido que los niveles de contaminación en una área urbana varían de acuerdo al tipo de vecindario en el que se realiza la medición. Por tal motivo, es útil hacer una descripción del entorno físico de cada sitio de muestreo, que puede ser necesaria cuando se analice la información. Lo más común es diseñar el formato que contenga la descripción, la dirección de la estación y que identifique si esta situada en el centro o en los suburbios de la ciudad, si es zona residencial, industrial, comercial, mixta, la elevación sobre el nivel promedio y toda la información que se considere pertinente.

En lo que se refiere a los requisitos físicos, los sitios candidatos para instalar una estación deben cubrir uno o varios de los siguientes puntos, dependiendo del tipo de instrumentos a contener:

\* Debe disponerse del sitio por tiempos prolongados, de preferencia que sea permanente.

---

<sup>40</sup> Consúltense Atmospheric Sampling. Chapter 4.

- \* Que se tenga acceso, de ser posible, las 24 hrs. del día durante todo el año.
- \* La energía eléctrica debe de ser suficiente y de calidad para la demanda de los instrumentos de la estación, así como facilidad para la instalación de líneas telefónicas.
- \* Estar a salvo de injerencia de extraños y vandalismo.
- \* Estar protegido contra exposición a condiciones meteorológicas extremas.

Los edificios públicos son, con frecuencia, los lugares más convenientes para establecer las estaciones de monitoreo. La localización final de un monitor en el sitio seleccionado depende de las obstrucciones físicas y de las actividades desarrolladas en el área inmediata (accesibilidad, disponibilidad de servicios públicos y otras instalaciones de soporte) y de los propósitos definidos para el monitor específico de acuerdo a su diseño. Obstrucciones semejantes a árboles y cercas pueden alterar significativamente el flujo de aire, por lo tanto los monitores deben ser colocados lejos de dichos elementos. Es importante que el flujo de aire alrededor del monitor sea representativo del flujo general en el área para prevenir muestreos parciales. Información detallada sobre configuración urbana (características de edificios, vialidades, etc.) puede ser determinada a través de observaciones visuales en sitio, fotografías aéreas, mapas y estudios especiales. Esta información puede ser importante para determinar la localización exacta de las fuentes de emisión en los alrededores de las áreas que contienen los sitios de monitoreo prospectivos. Los diseñadores de redes deben evitar instalar monitores que estén influenciados por zonas de erosión o terrenos polvosos (chimeneas, caminos no pavimentados, etc.), en éstos casos se debe elevar la toma del muestreador por encima del nivel de afectación o localizar los muestreadores razonablemente lejos de las fuentes generadoras de partículas.

Otro factor a ser considerado en la ubicación de sitios de monitoreo atmosférico es la probabilidad de que los actuales usos de suelo cambien en un tiempo determinado. Lo anterior representa una dificultad para predecir los cambios de uso de suelo y algunas veces la posición de una estación de monitoreo puede llegar a ser rápidamente inapropiada en su localización después de un corto tiempo y por lo tanto también inapropiada en operación. Una razón pueden ser los cambios inesperados en zonas sujetas a cierto reglamento de uso de suelo. Respecto a lo anterior un criterio para un buen sitio de monitoreo atmosférico es que debe tener un microambiente (alrededor de 50 mts.) que tenga una alta probabilidad a estar estable. Esto simplifica las tareas de estimación del impacto de un posible desarrollo mayor. Pueden existir, por otro lado, estaciones que tienen objetivos muy particulares, como efectuar un monitoreo para la estimación de cambios ambientales derivados del impacto de un desarrollo propuesto, como una fábrica, una vía rápida o una planta generadora de energía eléctrica.

Algunos de los micro-ambientes que no son muy probables a cambiar en un tiempo corto y que podrían ser considerados para la ubicación de una estación de monitoreo atmosférico incluyen: un parque, un cementerio, una construcción histórica, una área de conservación o de reserva biológica, entre otros. En todos los casos debe ser preparada una documentación del sitio y revisada a intervalos regulares. Dependiendo de los objetivos definidos, se podrá determinar los niveles representativos o las máximas concentraciones de contaminantes para un sitio en particular. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, deben realizarse consideraciones prácticas sobre las restricciones físicas y urbanas para la óptima representatividad de los datos colectados.

El marco teórico aquí presentado nos permite, en conjunto con los aspectos socio-económicos y ambientales tratados en los capítulos anteriores, analizar la configuración territorial y operativa de las actuales estaciones, identificar los posibles nuevos sitios de monitoreo atmosférico dentro de una perspectiva integral y proponer el número, localización y equipamiento de las nuevas estaciones automáticas de monitoreo atmosférico, esto últimos aspectos serán tratados en el siguiente capítulo.



INSTITUTO DE FILOSOFÍA Y LETRAS  
COLEGIO DE GEOGRAFÍA

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS

#### VI.1.- CONFIGURACIÓN TERRITORIAL DE ESTACIONES.

Es un hecho que la configuración de la red de monitoreo atmosférico debe responder a una problemática atmosférica planteada desde una perspectiva metropolitana, por lo que se hace necesario plantear el reforzamiento de la misma partiendo de las siguientes premisas: la optimización de su cobertura y capacidad de análisis; el mantenimiento de la continuidad y representatividad espacial de las mediciones de la red y; la funcionalidad de la red a corto y mediano plazo.

Por lo anterior y con la finalidad de mejorar la actual cobertura de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico, la propuesta de localización para nuevas estaciones de monitoreo considera criterios específicos para cada sitio y su correspondiente evaluación. Esto permite converger de manera global en la evaluación de los eventos de contaminación que caracterizan a la ZMCM. Los siguientes puntos fueron los principales criterios considerados que determinaron la localización, equipamiento y representatividad de las estaciones;

- Complementación de la información actual de la RAMA.
- Optimización de su operación y cobertura.
- Crecimiento de la mancha urbana y población.
- Parámetros meteorológicos predominantes en la Z.M.C.M.
- Características topográficas de la Z.M.C.M.
- Uso de suelo.
- Caracterización de las principales fuentes de emisión.

Es claro que siendo la red un sistema dinámico en número, estructura y funcionamiento, debe evolucionar de acuerdo a las modificaciones del entorno de cada estación, de acuerdo al crecimiento de la mancha urbana y de acuerdo a las condiciones atmosféricas y cambios de uso de suelo, siempre en plena concordancia con las posibilidades técnicas, presupuestales y de facilidad política. Todo lo anterior debe estar enmarcado dentro de programas a corto y mediano plazo, que tengan como objetivo común el mejoramiento del sistema de monitoreo y la consecuente protección de la calidad del aire y la salud de los habitantes de la ZMCM.

## **VI.2- ALTERNATIVAS DE LOCALIZACION.**

Tomando como base el desarrollo de la propuesta para la ampliación de la red de monitoreo atmosférico, se hace posible realizar la siguiente zonificación para la ubicación de 5 estaciones automáticas de monitoreo atmosférico. El mapa 10 muestra la localización y la distribución espacial de los sitios de monitoreo propuestos.

### **SITIO 1**

**Estación Tecnológico de Monterrey (Campus Edo. de México).**

### **SITIO 2**

**Estación Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.**

### **SITIO 3**

**Estación Los Reyes.**

### **SITIO 4**

**Estación Acolman.**

### **SITIO 5**

**Estación Chalco.**

El mapa 11 muestra la distribución actual de las estaciones automáticas de monitoreo y su relación espacial con las estaciones propuestas. Se observa que se trata de establecer una relación de continuidad y complementación entre todas y cada una de ellas. Las estaciones Acolman (ACO), Los Reyes (REY), Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura (EIA), Chalco (CHO) y Tecnológico de Monterrey (TEM), se encuentran situadas en el Estado de México y tienen una situación periférica con respecto a la red en su conjunto. Asimismo se puede apreciar que la expansión que se propone se pretende que refleje un crecimiento paulatino y uniforme, cuidando de no romper el sentido de representatividad de la red en su conjunto.

**DISTRIBUCION ESPACIAL DE LAS CINCO ESTACIONES PROPUESTAS**

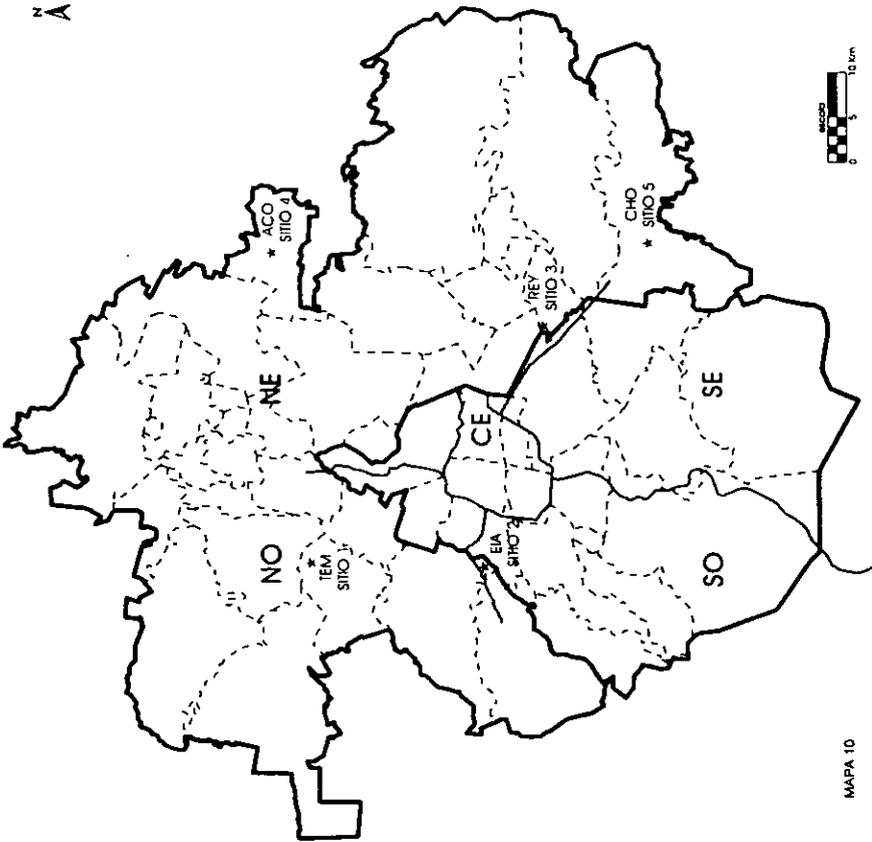
- LIMITE DEL DISTRITO FEDERAL Y ZONA METROPOLITANA
- - - LIMITE DELEGACIONAL Y MUNICIPAL
- LIMITE DE ZONAS IMECA
- \* ESTACION PROPUESTA

**NOROESTE**  
TEM - TECNOLÓGICO DE MONTERREY  
(CAMPUS EDO. DE MEXICO)

**NORESTE**  
ACO ACOLMAN  
REY - LOS REYES

**SUROESTE**  
EIA - ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA  
Y ARQUITECTURA

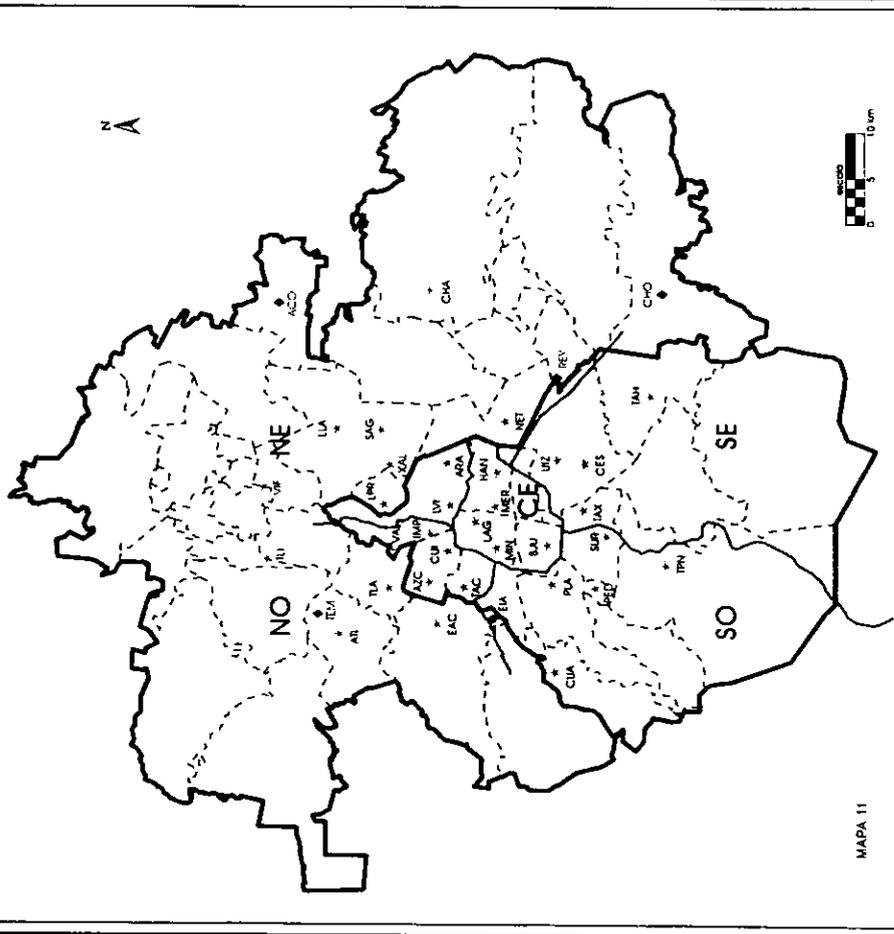
**SURESTE**  
CHO - CHALCO



MAPA 10

**DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA ACTUAL RED AUTOMATICA DE MONITOREO ATMOSFERICO Y DE LAS CINCO ESTACIONES PROPUESTAS**

- ESTACION DE MONITOREO INSTALADA
  - ◆ ESTACION DE MONITOREO PROPLESTA
- NOROESTE**
- VAL VALLEJO (CO, SO2)
  - TAC TACUBA (O3, CO, SO2, NO2, NOX, MET)
  - EAC ENERACAILAN (O3, CO, SO2, NO2, NOX, MET)
  - AZC AZCAPOTZALCO (O3, CO, SO2, NO2, NOX)
  - TIA TLAXIAPAN (O3, CO, SO2, NO2, NOX, PM10, MET)
  - IMP INST. MEXICANO DEL PETROLEO
  - CUI CURTILAHUAC (CO)
  - TULI TULITLAN (CO, SO2, NO2, NOX, PM10)
  - ATI ATIZAPAN (CO, SO2, NO2, NOX)
  - TFM TFC. DE MONTERREY (O3, CO, SO2, NOX, PM10, MET)
- NORDESTE**
- LLA LAURELES (SO2)
  - LPR LA PRESA (SO2)
  - IVI LA VILA (SO2, PM10)
  - SAG SAN AGUSTIN (O3, CO, SO2, NO2, NOX, MET)
  - XAL XALOSTOC (O3, CO, SO2, NO2, NOX, PM10, MET)
  - ARA ARAGON (CO, SO2)
  - NET NEZAHUALCOYOTL (CO, SO2, PM10)
  - VIE COACALCO (CO, SO2, NO2, NOX, PM10)
  - CHA CHAPINGO (O3, CO)
  - ACO ACOXIMAN (SO2, NOX, PM10, MET)
  - REY LOS REYES (O3, CO, SO2, NOX, PM10, MET)
- CENTRO**
- LAG LAGUNILLA (O3, CO, SO2, NO2, NOX)
  - MER MERCED (O3, CO, SO2, NO2, NOX, PM10, MET)
  - HAN HANGARES (O3, CO, SO2, NO2, NOX, MET)
  - BLU BENITO JUAREZ (O3, CO, SO2, NO2, NOX)
  - MNI INSURGENTES (CO)
- SUROESTE**
- SAR SANTA LUISA (SO2)
  - PED PEDREGAL (O3, CO, SO2, NO2, NOX, PM10, MET)
  - PLA PLATEROS (O3, CO, SO2, NO2, NOX, MET)
  - CUA CUAJIMALPA (O3)
  - TPN TLAPAN (O3)
  - EIA ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA (O3, SO2, NOX, MET)
- SURESTE**
- CES CERRO DE LA ESTRELLA (O3, CO, SO2, NO2, NOX, PM10, MET)
  - UES UAMANTLAPAN (O3, CO, SO2, NO2, NOX)
  - TAX TAXIQUERA (O3, CO, SO2, NO2, NOX)
  - TAM TLANHUAC (O3, CO, SO2, NO2, NOX, PM10)
  - CHO CHALCO (O3, CO, SO2, NOX, PM10, MET)



MAPA 11

### **VI.3.- DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS PROPUESTAS.**

#### **Estación Tecnológico de Monterrey.**

La estación se caracteriza por estar localizada en una zona con uso de suelo predominantemente habitacional y con densidad de población media, la zona se encuentra comunicada por dos carreteras de orden primario, que son complementadas por vialidades de orden secundario, la intensidad del tráfico vehicular es moderado y está compuesto principalmente por autos particulares y colectivos. Esta zona se encuentra bajo la influencia de las emisiones industriales generadas en Tultitlán y en menor medida en Cuautitlán, debido al patrón de vientos predominante. Su ubicación responde a la necesidad de realizar un monitoreo más preciso en ésta zona, ya que hacia el Noreste, en un radio de 13 kms., se encuentran emplazamientos industriales importantes como la termoeléctrica Jorge Luque, plantas químicas, huleras y vidrieras, lo que permitirá una evaluación más adecuada del comportamiento de los contaminantes atmosféricos en ésta zona. El sitio de monitoreo tiene una elevación superior a la del entorno, ya que el Tecnológico se encuentra situado en una loma, de aquí la importancia de su localización, ya que permitirá un monitoreo de altura y por lo tanto el registro de las plumas de contaminantes emitidas desde los sitios anteriormente mencionados. Asimismo, su función será complementar la información de las estaciones adyacentes, así como registrar la influencia de los eventos meteorológicos en la dispersión y transporte de contaminantes.

#### **Estación Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.**

El uso de suelo de la zona es predominantemente habitacional, se caracteriza por constituir una zona residencial de ingresos altos, hacia el Suroeste se encuentra la zona de Santa Fe, la cual está recibiendo un fuerte impulso para constituir zonas habitacionales para ingresos medio-altos y altos, zonas comerciales y de negocios. La red de vías de comunicación es densa, Av. del Conscripto y Av. de las Fuentes son las avenidas cercanas más importantes. La ubicación de ésta estación permitirá reforzar y ampliar la cobertura de la RAMA hacia la zona Suroeste de la ciudad, la cual se ha caracterizado por registrar altos índices de contaminación por ozono a lo largo del año y también altos niveles de lluvia ácida. La zona Suroeste registró en los últimos 8 meses las concentraciones más altas de ozono y el mayor número de días con violaciones a la norma. En los últimos años esta zona se ha caracterizado por registrar el mayor número de eventos ácidos y los mayores promedios de acidez. La información que genere la estación permitirá analizar la influencia de los eventos meteorológicos relacionados con la dispersión y el transporte de contaminantes emitidos en la zona norte y evaluar el impacto de áreas localizadas viento-abajo.

### **Estación Los Reyes.**

Su entorno se caracteriza por constituir zonas de crecimiento de población reservadas principalmente a los estratos sociales de ingresos medios y bajos, es una zona de densidad habitacional media pero con tendencias de crecimiento acelerado. La traza vial es principalmente de orden secundario, la vía de tráfico principal es la avenida Ignacio Zaragoza, que conecta con las carreteras México-Texcoco y México-Puebla, que son consideradas vías con tráfico intenso. El parque está constituido principalmente por vehículos privados, de transporte público local, foráneo y de carga. En el caso de la estación Los Reyes, su ubicación permite la ampliación de la cobertura de la red de monitoreo a zonas de expansión urbana acelerada y un registro del impacto de las emisiones de contaminantes provenientes del norte y centro de la Ciudad que habitualmente son transportadas por el viento hacia ésta área, además de las emisiones generadas "in situ". Es importante también no perder de vista la tendencia de crecimiento industrial y habitacional que se ha estado observando últimamente en la zona.

### **Estación Chalco.**

La zona en general se caracteriza por constituir un centro poblacional importante y de crecimiento acelerado, con un gran déficit en el rubro de servicios y equipamientos. El uso de suelo es predominantemente habitacional con densidad media de población, reservado para los estratos medios-bajos y bajos. La red vial primaria se compone por la autopista México-Puebla y las carreteras regionales que entroncan con la cabecera municipal, ésta red se complementa con un sistema de vialidades secundarias. La ubicación de la estación de monitoreo en el valle de Chalco permitirá evaluar la influencia de los contaminantes que se generan en la parte Norte, Noreste y Centro de la ZMCM y que son transportados por el viento hacia dicho valle, así como registrar los contaminantes generados por la operación de la industria local y por las zonas de aporte de partículas. El anterior fenómeno, en asociación con las características topográficas del valle, son la causa del creciente deterioro de la calidad del aire de la zona, misma que adquiere cada vez mayor importancia ya que concentra en la actualidad a un número importante de habitantes y de actividades industriales y cuyas tendencias apuntan hacia un crecimiento acelerado.

### **Estación Acolman.**

Esta zona constituye un corredor de crecimiento socioeconómico importante, a lo largo del cual se encuentran distribuidos varios centros poblacionales e industrias importantes. El uso de suelo característico en la zona es mixto, es decir, coexisten los usos habitacionales y de agricultura de temporal, su sistema de comunicaciones terrestres es

principalmente secundario, alimentado por la carretera regional que la comunica con la Ciudad de México, con las Pirámides y con Ciudad Sahagún. Por un lado, la instalación de la estación en ésta zona tendrá un carácter de "receptor orientado", ya que permitirá monitorear el impacto de los contaminantes emitidos en la región, principalmente por la industria artesanal asentada y por la termoeléctrica del Valle de México, que se encuentran ubicadas sobre la línea de un "corredor de viento", cuya trayectoria incide sobre la zona noreste y centro de la Cd. de México. Así, se extenderá la mayor cobertura de la red de monitoreo hacia ésta zona, permitiendo el registro de emisiones foráneas al Distrito Federal. Cabe recalcar la importancia del monitoreo en ésta zona semi-urbana por la gran cantidad de poblados que existen muy cerca uno del otro y que en conjunto representan un asentamiento poblacional considerable, además, la variación en la dirección de los vientos dominantes en ocasiones causa que la pluma de la termoeléctrica se dirija hacia ésta zona, de esta manera se puede establecer una relación de complemento entre ésta estación y la de Los Laureles, ya que la termoeléctrica se encuentra en el punto intermedio de la distancia entre ambas estaciones, sobre el mismo eje SO-NE. Por otro lado, se pretende utilizarla como una estación "testigo", ya que debido a su ubicación, se considera que no se encuentra inmersa totalmente en la problemática atmosférica de la Ciudad de México y por lo tanto debe servir como un punto de referencia en la evaluación de los avances o retrocesos de las políticas de prevención y control de la contaminación.

#### **VI.4.- ANALISIS LOCALES DE SITIOS PROPUESTOS.**

A continuación se presenta la descripción de los sitios de monitoreo atmosférico seleccionados, en la cual se proporciona la información relevante que caracteriza cada sitio en particular, dicha descripción va seguida de su croquis de localización correspondiente.

### **ESTACION TECNOLOGICO DE MONTERREY (TEM)**

Dirección: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México, Km. 3.5 carretera al Lago de Guadalupe, Atizapán de Zaragoza, Edo. de México (ver croquis anexo).

Latitud: 19° 35' 50'' Norte.

Longitud: 99° 13' 33'' Oeste.

Altitud: 2333 m.s.n.m.

Localización según criterio IMECA: Zona Noroeste.

Parámetros a medir: CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM-10, humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento.

Altura de la toma de muestra: 16 metros.

Descripción del entorno: El entorno de la estación es principalmente habitacional con densidad media de población. Hacia el Norte y Este, en una zona de lomeríos, se localizan asentamientos habitacionales de estratos bajos con deficiencias en infraestructura y servicios. Hacia el Sur y Oeste se localizan asentamientos regularizados de ingresos medios y medios altos, dotados de todos los servicios e infraestructura. La altura de las construcciones circundantes en general no rebasan los dos niveles. Respecto al impacto por fuentes contaminantes, el principal es por los vehículos que transitan por las dos avenidas adyacentes, que hacia el Norte confluyen en dirección al Lago de Guadalupe y hacia el Sur conectan la zona con el Norte y Poniente del Distrito Federal, la distancia entre éstas avenidas y el sitio de monitoreo es de aproximadamente 150 metros, respectivamente. El tráfico vehicular es moderado y está compuesto principalmente por transporte privado, colectivo y transportes de carga. Respecto a la influencia por actividades industriales, en los alrededores no existen desarrollos industriales importantes, sin embargo, la zona se encuentra bajo la influencia de la industria de Cuautitlán y Tultitlán, que se localizan hacia el Noreste. Hacia el Norte y Este del sitio propuesto y pasando la franja semi-urbana que lo rodea, se localizan extensas áreas abiertas y desprovistas de vegetación, las cuales no se encuentran destinadas a un uso de suelo específico y podrían ser áreas de aporte de partículas suspendidas en épocas de seca y fuertes ventiscas. Hacia el Sur y Oeste se localizan los núcleos urbanos consolidados y continuos. No se observó la existencia de barreras naturales o artificiales que pudieran evitar la correcta circulación de las masas de aire en el sitio de monitoreo, ya que dicho sitio se encuentra sobre una loma y por lo tanto por encima del nivel del área circundante.

## ESTACION TECNOLOGICO DE MONTERREY (TEM)



DIRECCION: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Edo. de México. Km. 3.5 carretera al Lago de Guadalupe, Atizapán de Zaragoza, Edo. de México.

LATITUD: 19° 35' 50" Norte.

LONGITUD: 99° 13' 33" Oeste.

ALTITUD: 2333 m.s.n.m.

ZONA IMECA: Noroeste.

PARAMETROS A MEDIR: O3, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, PM-10, Meteorología.

ALTURA DE LA TOMA DE MUESTRA: 16 metros.

DESCRIPCION DEL ENTORNO: La estación se caracteriza por estar localizada en una zona con uso de suelo predominantemente habitacional con densidad medio-alta de población. La zona se encuentra comunicada por 2 carreteras de orden primario, la intensidad del tráfico vehicular es moderada, compuesto principalmente por autos particulares y colectivos.

**ESTACION CHALCO (CHO)**

Dirección: Preparatoria # 30, Domicilio Conocido, Chalco, Edo. de México (ver croquis anexo).

Latitud: 19° 15' 48" Norte.

Longitud: 98° 53' 17" Oeste.

Altitud: 2242 m.s.n.m.

Localización según criterio IMECA: Zona Sureste

Parámetros a medir: O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM-10, humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento.

Altura de la toma de muestra: 7 metros.

Descripción del entorno: El uso de suelo del entorno es predominante habitacional, con densidad de población media-baja. El sitio se caracteriza por estar localizado en una zona con deficientes servicios e infraestructura, la altura de las construcciones circundantes es generalmente menor a 2 niveles. El tipo predominante de fuentes contaminantes que impactan el área de influencia de la estación son principalmente las fuentes erosivas, que aportan una gran cantidad de material particulado a la atmósfera cuando sopla el viento. Se estima que la densidad de tráfico vehicular es bajo. Se calcula que la distancia entre el sitio de monitoreo y la vialidad principal que se localiza hacia el Sur es de 270 metros. El tipo de tráfico está compuesto por transporte privado, colectivo (combis) y en menor medida autobuses de pasajeros y transporte de carga. En el área circundante no se apreció la existencia de fuentes fijas de importancia. Asimismo, no se observó la existencia de barreras naturales o artificiales que pudieran evitar la correcta circulación de las masas de aire en el sitio de monitoreo.

Observaciones: El sitio se encuentra ubicado en la Preparatoria # 30. La caseta está localizada en el costado sur de dicha escuela, la base de la caseta esta a 3 metros sobre el nivel del piso, se calcula que la altura aproximada de la toma de muestra sería de 7 metros sobre el nivel base de la construcción. Las acometidas para las líneas eléctrica y telefónica no presentan problemas para su instalación.

## ESTACION CHALCO (CHO)



**DIRECCION:** Preparatoria No. 30, Domicilio Conocido, Chalco, Edo. de México.

**LATITUD:** 19° 15' 48" Norte.

**LONGITUD:** 98° 53' 17" Oeste.

**ALTITUD:** 2242 m.s.n.m.

**ZONA IMECA:** Sureste.

**PARAMETROS A MEDIR:** O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM-10, Meteorología.

**ALTURA DE LA TOMA DE MUESTRA:** 7 metros.

**DESCRIPCION DEL ENTORNO:** Uso de suelo predominantemente habitacional, con una densidad de población media-baja. La densidad de tráfico vehicular es baja y esta compuesta principalmente por transporte privado, peseras y en menor medida transporte pesado de carga y pasajeros. La traza vial es principalmente de orden secundario. Esta zona se encuentra comunicada con la Cd. de México a través de la autopista a Puebla y por la carretera regional México-Cuautla. Es una zona con deficiente infraestructura y servicios.

**ESTACION ACOLMAN (ACO)**

Dirección: Calzada de los Agustinos s/n, Acolman, Edo. de México (ver croquis anexo).

Latitud: 19° 38' 03" Norte.

Longitud: 98° 54' 46" Oeste.

Altitud: 2255 m.s.n.m.

Localización según criterio IMECA: Zona Noreste

Parámetros a medir: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM-10, humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento.

Altura de la toma de muestra: 12 metros.

Descripción del entorno: La localidad se puede clasificar como urbano-rural, con densidad de población media-baja. El uso de suelo predominante es habitacional dentro de la localidad y de agricultura de temporal en la periferia. Respecto a las fuentes contaminantes, se desarrolla una fuerte actividad ladrillera en toda la región que emplea como combustible todo tipo de material inflamable como llantas, madera, desperdicios, etc., lo que origina en periodos de alta actividad la generación de una gran cantidad de contaminantes. En cuanto a la actividad vehicular se tiene, en general, una intensidad de tráfico baja, éste se compone por transporte privado, de carga y pasaje, principalmente, por lo tanto el aporte de contaminantes por este tipo de actividad se considera bajo. El sitio de monitoreo se encuentra en la periferia del poblado, por su lado Este, cuenta con un acceso principal poco transitado de 4 carriles, 2 en sentido N-S y 2 en sentido contrario, se calcula que la distancia entre el sitio de monitoreo y estas vialidades es de 60 metros, por los demás lados predominan espacios sin uso identificado, no existen barreras naturales o artificiales que interfieran la circulación normal de los vientos. Respecto a la identificación de fuentes fijas, en los alrededores no existen industrias importantes, excepto la planta cementera en dirección Suroeste (aproximadamente a 5 kms.) y casi en la misma dirección la termoeléctrica del Valle de México (aproximadamente a 8 kms.).

Observaciones: El sitio se encuentra ubicado en la Presidencia Municipal de Acolman. La construcción tiene 1 nivel, se calcula que la altura aproximada de la caseta sería de 9 metros sobre el nivel del piso. El techo fue construido con caída de dos aguas, por lo que de instalarse aquí el Shelter, se tendría antes que nivelar la base del mismo. El palacio Municipal está localizado a la entrada de la población. Hasta el momento no existe una escalera permanente hacia la azotea.

## ESTACION ACOLMAN (ACO)



**DIRECCION:** Presidencia Municipal de Acolman de Nezahualcóyotl.  
Calzada de los Agustinos S/N, Acolman, Estado de México.

**LATITUD:** 19° 38' 03" Norte.  
**LONGITUD:** 98° 54' 46" Oeste.  
**ALTITUD:** 2255 m.s.n.m.

**ZONA IMECA:** Noreste.

**PARAMETROS A MEDIR:** SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM-10, Meteorología.

**ALTURA DE LA TOMA DE MUESTRA:** 12 metros.

**DESCRIPCION DEL ENTORNO:** La localidad se puede clasificar como urbano-rural, con densidad de población media-baja. El uso de suelo predominante es habitacional dentro de la localidad y de agricultura de temporal en la periferia.

La intensidad del tráfico vehicular es baja. Se registra en algunas temporadas una gran cantidad de emisiones por la actividad de las ladrilleras. El acceso a la zona es a través de la carretera a las pirámides.

En esta zona no tiene industria establecida, excepto una cementera y una termoeléctrica que se encuentran hacia el suroeste en un radio de 8 kilómetros.

**ESTACION LOS REYES**

Dirección: Hombres Ilustres # 48, Los Reyes, Edo. de México.

Latitud: 19° 21' 26'' Norte.

Longitud: 98° 58' 11'' Oeste.

Altitud: 2241 m.s.n.m.

Localización según criterio IMECA: Zona Sureste

Parámetros a medir: SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PM-10, humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento.

Altura de la toma de muestra: 10 metros.

Descripción del entorno: El entorno se caracteriza por tener un uso de suelo predominantemente habitacional con densidad de población media, se considera un área de acelerado crecimiento urbano reservada para estratos sociales con ingresos medios y medios-bajos. Se presenta una estructura urbana continua, con un altura promedio de las construcciones circundantes de 1 nivel, existiendo algunos predios aldeaños sin uso definido. No existen emplazamientos industriales importantes en los alrededores, sin embargo, hacia el Sureste y a una distancia aproximada de 3 kilómetros se localiza una franja industrial que en este caso no tiene influencia directa en la zona, ya que los vientos predominantes soplan del Norte y Noreste con dirección Sur, con excepción de algunos casos fortuitos donde se invierta el sentido de circulación de los vientos. La zona se encuentra comunicada hacia el centro de la ciudad por la Av. Ignacio Zaragoza y por la carretera federal México-Texcoco, ésta última se encuentra localizada aproximadamente a 500 metros hacia el Sur del sitio de monitoreo. La traza vial local es de orden secundario, con aforo vehicular moderado y compuesto principalmente por vehículos particulares y de transporte público (combis). No se aprecian barreras naturales o artificiales cercanas que pudieran evitar la libre circulación del viento.

Observaciones: El sitio se encuentra ubicado en las oficinas de TELMEX, sucursal Los Reyes, cuenta con vigilancia las 24 horas del día. La construcción tiene 1 nivel, se calcula que la altura aproximada de la caseta sería de 7 metros sobre el nivel del piso. Existe una escalera permanente y confiable hacia la azotea, se considera que la estructura de la construcción es adecuada para soportar el peso del Shelter sin ningún problema.



**ESTACION ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA (EIA)**

Dirección: Av. fuente de los Leones # 28, Tecamachalco, Edo. de México (ver croquis anexo).

Latitud: 19° 24' 52'' Norte.

Longitud: 99° 13' 46'' Oeste.

Altitud: 2311 m.s.n.m.

Localización según criterio IMECA: Zona Suroeste.

Parámetros a medir: O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, humedad relativa, temperatura, velocidad y dirección del viento.

Altura de la toma de muestra: 10 metros.

Descripción del entorno: El uso de suelo del entorno es habitacional, se caracteriza por estar constituido por asentamientos poblacionales de altos ingresos que cuentan con todos los servicios e infraestructura. Desde el punto de vista físico, la zona se encuentra situada en las estribaciones de la Sierra de las Cruces, por lo que su relieve es muy accidentado y se encuentra formado por cañadas y lomeríos, debido a lo anterior se presentan asociaciones vegetales importantes, constituidas por pinos y oyameles principalmente, que en algunos casos interrumpen ligeramente la continuidad de la estructura urbana. Cabe recalcar que hacia el Suroeste del sitio se presentan los accesos naturales hacia las zonas de Santa Fe y Cuajimalpa. Por otro lado, la zona se encuentra comunicada al interior por una red vial de carácter secundario, cuyo aforo vehicular es bajo, constituido principalmente por vehículos privados. La zona se comunica al exterior por dos vías de acceso principales que la comunican hacia el Suroeste y Noreste de la Ciudad, éstas vialidades poseen doble sentido de circulación con aforos moderados compuestos por vehículos privados y en menor medida de transporte público (microbuses). Debido a que se trata de una zona residencial no se observan emplazamientos industriales puntuales o alguna otra fuente contaminante importante. No existen obstáculos entorno al sitio que pudieran evitar la libre circulación de los vientos.

Observaciones: El sitio se encuentra ubicado en el edificio principal de la ESIA de IPN, cuenta con vigilancia las 24 horas del día. La construcción tiene 1 nivel, se calcula que la altura aproximada de la caseta sería de 7 metros sobre el nivel del piso. El acceso a la azotea es a través de una escalera marinera, se estima que la estructura de la construcción es adecuada para soportar el peso del Shelter sin ningún problema.



## VI.5.- PROPUESTA PARA EL EQUIPAMIENTO DE ESTACIONES.

### ESTACION ACOLMAN

Se localiza sobre un corredor hacia el Noreste de la Cd. de México, la zona registra algunos emplazamientos industriales importantes (por ejemplo la termoeléctrica del Valle de México) así como desarrollos urbanos consolidados, de esto se deriva la necesidad de medir las emisiones generadas en la región ( $\text{NO}_x$ ), ( $\text{SO}_2$ ) y el muestreo de partículas suspendidas fracción respirable (PM-10), esto último debido a que se considera un área potencial de aporte de partículas debido al desarrollo deficiente en servicios públicos, a las extensas zonas de agricultura de temporal y a las zonas sin uso definido. Como complemento, se considera necesaria la instalación de medidores de los siguientes parámetros meteorológicos: velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa, con la finalidad de registrar la trayectoria y propiedades de los vientos y poder analizar su relación con el transporte de contaminantes hacia el Sur.

### ESTACION CHALCO

La región donde se localiza la estación se caracteriza por ser un valle contiguo a la Ciudad de México y donde, debido a factores ambientales, se propicia el acarreo y estancamiento de contaminantes provenientes del centro, norte y noreste de la ZMCM. Aunado a lo anterior, el acelerado crecimiento de la población, de la mancha urbana y el deficiente desarrollo en los servicios e infraestructura crean las condiciones para la instalación de monitores de  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$  y PM-10. El monitoreo de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{CO}$  fue relacionado con las emisiones registradas en el inventario de fuentes fijas del INE, el  $\text{O}_3$  se considera por ser un contaminante fotoquímico registrado principalmente en zonas de estancamiento y, el contaminante PM-10, se consideró importante monitorear por la cercanía a los volcanes, por la influencia del ex-lago de Texcoco y por las condiciones urbanas predominantes en la zona. Se considera necesaria la instalación de medidores de los siguientes parámetros meteorológicos: velocidad y dirección del viento, temperatura y humedad relativa, con la finalidad de registrar la trayectoria y propiedades de los vientos y poder analizar su relación con el transporte de contaminantes del centro y norte hacia la zona.

### ESTACION LOS REYES

La estación se encuentra ubicada en el corredor de vientos que desemboca al Valle de Chalco, lo que significa que constituye una zona de paso de los contaminantes hacia ese lugar y donde se presentan condiciones de acarreo de contaminantes del centro y norte del la ZMCM, además de las emisiones de origen vehicular e industrial originadas en la

zona. Se propone la estación también este equipada con los analizadores principales ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{PM-10}$  y  $\text{O}_3$ ) por las siguientes razones:

- Está localizada en el corredor de la carretera México-Puebla.
- Recibe el impacto de los contaminantes provenientes de la zona Centro, Noreste y Sureste.
- Es una región con infraestructura deficiente y áreas susceptibles de erosión.
- En base a las emisiones totales por fuentes fijas, muestra ser una zona con gran cantidad de toneladas emitidas de  $\text{SO}_2$ .
- Tiene una localización estratégica para registrar el transporte de contaminantes provenientes del centro de la ZMCM hacia Chalco y en los casos fortuitos de vientos del sureste hacia el centro o norte del valle de México se detecte la contribución de esta zona al impacto de contaminantes en áreas cercanas. Por lo anterior, también se propone la instalación de los medidores de los parámetros meteorológicos convencionales ya mencionados anteriormente.

#### ESTACION E.S.I.A.

La estación se encuentra localizada en la parte intermedia de las estaciones ENEP Acatlán, Plateros, Tacuba y Cuajimalpa. Esta zona se considera una zona importante para monitorear la trayectoria e impacto de los gases contaminantes acarreados desde el norte y centro de la ciudad y su posterior transporte hacia la región de Santa Fe, Cuajimalpa, Plateros y Pedregal, por lo tanto se propone que se registren los contaminantes  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , y  $\text{SO}_2$ , el primero porque ésta zona constituye un área de recepción de contaminantes, presentando por lo general los mayores índices y el mayor número de violaciones a la norma de ozono, el segundo contaminante por ser un precursor del ozono y por lo tanto estar íntimamente relacionado con los procesos de formación de ozono y el último debido a que ésta zona registra altas concentraciones de acidez atmosférica y por lo tanto de eventos de lluvia ácida. En forma paralela es necesaria la instalación de los sensores de parámetros meteorológicos convencionales para el registro de las condiciones atmosféricas y trayectoria de los vientos.

ESTACION TECNOLÓGICO DE MONTERREY (CAMPUS EDO. DE MEXICO)

La estación se encuentra localizada en una zona que recibe la influencia de importantes emplazamientos industriales instalados hacia el Noreste, los cuales son generadores de cantidades considerables de emisiones de NOx, CO, SO<sub>2</sub> y PM-10, éste último es originado también por los procesos de erosión de suelos, muy típicos de la región. Debido a que la región Norte es la mayor aportadora de contaminantes en general, es necesario el monitoreo de los NOx y por lo tanto del O<sub>3</sub>, de esta forma se pretende evaluar la cantidad ozono formado en el lugar a partir de rápidas reacciones fotoquímicas generadas por alta insolación. De lo anterior se desprende la posibilidad de realizar análisis de trayectorias del ozono formado en la parte noroeste y su transporte hacia la parte Centro y Suroeste de la ciudad. Debido a que el municipio de Tlalnepantla registra los más altos índices de óxidos de azufre es necesaria la instalación de un analizador de SO<sub>2</sub>. Como complemento, es fundamental la instalación de los sensores de parámetros meteorológicos convencionales para el registro de las condiciones atmosféricas y el acarreo de contaminantes hacia el centro y sur de la ciudad.

Propuesta de equipamiento para las estaciones

ESTACION	O <sub>3</sub>	CO	NOx	SO <sub>2</sub>	PM-10	MET
Acolman			√	√	√	√
Chalco	√	√	√	√	√	√
Los Reyes	√	√	√	√	√	√
ESIA	√		√	√		√
Tec. de Monterrey	√	√	√	√	√	√

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según la dinámica y tendencias del crecimiento urbano-poblacional observados hasta la fecha, en un futuro próximo la ciudad alcanzará umbrales críticos en su crecimiento físico y poblacional, en el uso y degradación de los recursos naturales y en el bienestar social y calidad de vida de la población. De no modificarse las actuales condiciones económicas y políticas que han conducido a la concentración, a la expansión y al actual estado de la ZMCM, ésta continuará creciendo a costos sociales muy elevados, afectando significativamente los recursos de agua, suelo y aire de la Cuenca de México.

Particularmente, el acelerado deterioro de la calidad del aire se ha convertido en uno de los principales problemas de la urbe en la actualidad, para lo cual se han tomado una serie de acciones tendientes a su control, entre ellas destaca el apoyo que el gobierno capitalino a proporcionado a la Red Automática de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, sin embargo, éste no ha sido suficiente y hoy día se observa una tendencia al desequilibrio entre el crecimiento de la ciudad y los programas de ampliación y reforzamiento del sistema de monitoreo atmosférico, por lo que es necesario impulsar programas paralelos que acorten la brecha entre las necesidades de cobertura y operación de la red y las posibilidades de satisfacer las mismas. Es claro que la ejecución de acciones tendientes a mejorar su capacidad de medición deben de contemplar objetivos a corto, mediano y largo plazo, siempre buscando mantener su operatividad, continuidad y representatividad espacial y su plena correspondencia con los programas de mantenimiento, calibración, enlace remoto, soporte computacional y de personal. Se debe buscar la representatividad espacial de todas y cada una de las estaciones con el objetivo de constituir una red integral, funcional y representativa con respecto a las condiciones socio-ambientales propias de la urbe, siempre en pro del bienestar de los habitantes de la ZMCM

En general, y de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede considerar que se cumplió con la parte de evaluación y propuesta de las nuevas estaciones de monitoreo atmosférico, parte fundamental de los objetivos planteados al inicio del estudio. Dicho estudio será propuesto y se espera que sea retomado, y en su caso modificado y proyectado, por las autoridades competentes y así poder darle el sentido de aplicabilidad práctica, que cristalice en la expansión de la actual Red Automática de Monitoreo Atmosférico. Obviamente los datos aportados por estas nuevas estaciones y por la red en su conjunto servirán, por un lado, como instrumentos de enriquecimiento de los programas de prevención y control de la contaminación del aire vigentes hoy día, y por el otro lado, a la creación de nuevos proyectos sobre bases más sólidas.

Cuando se trata de identificar cuales son los factores ambientales y socioeconómicos y que importancia revisten en el momento de tomar una decisión sobre la ubicación y equipamiento de una estación automática de monitoreo atmosférico, encontramos que es difícil realizar dicha calificación, ya que su relevancia está en función de condiciones muy particulares y que más bien dicha importancia se define por lo general en conjunto o en combinación con otras variables, sin embargo, se podría afirmar que el aspecto población es una de las variables más trascendentes en la realización de dicha tarea.

Respecto a la propuesta de ubicación de las cinco nuevas estaciones de monitoreo, es importante remarcar que se propone la instalación de tres estaciones primarias (con equipamiento completo) que son el Tecnológico de Monterrey, Los Reyes y Chalco y la instalación de dos estaciones complementarias (con equipamiento parcial) que son Acolman y la ESIA. Por otro lado, es importante no perder de vista algunos aspectos técnicos y de administración. En el caso de la estación ESIA, su relativa cercanía al Centro de Control de la R.A.M.A. facilita el enlace remoto, la transmisión de la información, las labores de mantenimiento y calibración y la accesibilidad a las mismas. Para el caso de las estaciones de Chalco, Acolman y en menor medida el Tecnológico de Monterrey y Los Reyes, la gran distancia entre ellas y el Centro de Control implican costos económicos de operación, mantenimiento y transmisión de la información y de inversión de trabajo en horas-hombre más elevados. Los anteriores puntos son de gran relevancia dentro del funcionamiento y administración de la red de monitoreo, desde una perspectiva individual y de conjunto, por lo que deben de ser tomados muy en cuenta.

Actualmente se discute la validez y representatividad de las mediciones realizadas por la Red Automática de Monitoreo atmosférico, sin embargo hay que recordar que ésta red fue creada con la finalidad de realizar un monitoreo aerométrico, es decir a escalas medias y de vecindario y bajo objetivos previamente definidos. Si embargo, sería recomendable establecer sistemas paralelos que vengan a complementar las mediciones realizadas por la R.A.M.A., específicamente el realizar mediciones a escala micrométrica o intramuros y para algunos otros contaminantes hoy identificados como no criterio, pero que no por eso dejan de ser peligrosos.

Finalmente cabe aclarar que la Red Automática de Monitoreo Atmosférico no constituye en si la solución a la grave problemática atmosférica que hoy día se afronta, sino es sólo una parte importante de la compleja maquinaria que actualmente está operando, por lo que puede considerarse como el "termómetro" que nos indica los aciertos o desaciertos de las actuales políticas y programas implementados en torno al combate de la contaminación atmosférica y por lo tanto hace factible el corregir o mantener el rumbo observado hasta la fecha.

## ÍNDICE DE MAPAS Y GRÁFICAS

Mapa 1. Crecimiento histórico-urbano de la ZMCM (pág. 13).

Mapa 2. Distribución y equipamiento de la red de monitoreo atmosférico (pág. 25).

Mapa 3. Configuración actual de la ZMCM (pág. 33).

Campos de vientos mensuales tri-horarios de julio de 1994 a junio de 1995 (págs. 41- 47).

Mapa 4. Población total por delegación y municipio 1990 (pág. 58).

Mapa 5. Densidad de población por delegación y municipio 1990 (pág. 59).

Mapa 6. Distribución espacial de las fuentes fijas en la ZMCM (pág. 64).

Mapa 7. Distribución espacial del bióxido de nitrógeno por fuentes de punto en la ZMCM (pág. 69).

Gráficas de distribución industrial y de emisiones contaminantes (págs. 70 - 74).

Mapa 8. Distribución de óxidos de nitrógeno por fuentes de área en la ZMCM (pág. 80).

Mapa 9. Distribución de las emisiones vehiculares de monóxido de carbono (pág. 83).

Mapa 10. Distribución espacial de las 5 estaciones propuestas (pág. 114).

Mapa 11. Distribución espacial de la actual red de monitoreo atmosférico y de las 5 estaciones propuestas (pág. 115).

Croquis de localización de la estación Tecnológico de Monterrey (pág. 120).

Croquis de localización de la estación Chalco (pág. 122).

Croquis de localización de la estación Acolman (pág. 124).

Croquis de localización de la estación Los Reyes (pág. 126).

Croquis de localización de la estación ESIA (pág. 128).

**BIBLIOGRAFIA**

**Benítez Zenteno, R., Benigno Morales, J.**  
**Grandes Problemas de la Ciudad de México.**  
Colección de Desarrollo Urbano, DDF-IPN.  
Editorial Plaza y Valdés.  
Primera edición, diciembre de 1988.

**Departamento del Distrito Federal-Colegio de México.**  
**Atlas de la Ciudad de México.**  
Primera edición, noviembre de 1987.

**Departamento del Distrito Federal.**  
**Gobierno del Estado de México.**  
**Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.**  
**Secretaría de Salud.**  
**Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995 - 2000.**  
México, agosto de 1997.

**Departamento del Distrito Federal.**  
**Informe Anual 1995.**  
Secretaría del Medio Ambiente.  
Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.  
Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

**Departamento del Distrito Federal.**  
**Informe Anual 1996.**  
Secretaría del Medio Ambiente.  
Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación.  
Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

**Departamento del Distrito Federal.**

**Inventario de Fuentes de Area.**

Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

Subdirección de Inventario de Emisiones.

Inventario de Fuentes de Area-Precusores de ozono y monóxido de carbono para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. 1995.

**Gobierno del Estado de México.**

**Plan Estatal de Desarrollo Urbano del Estado de México, 1986.**

Dirección General de Desarrollo Urbano y Vivienda.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.

Cartas topográficas Cd. de México y Pachuca

Escala 1: 250 000, sexta impresión, 1991.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.

Conteo de Población y Vivienda 1995.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, INEGI.

XI Censo General de Población y Vivienda 1990.

**Jaúregui, Ostos E.**

**Mesomicroclima de la Cd. de México.**

UNAM - Instituto de Geografía. 1971.

**Jaúregui, Ostos E.**

**Las Zonas Climáticas de la Cd. de México.**

Instituto de Geografía.

Boletín, Volumen IV, México 1975.

**Legorreta, Jorge.**

**Efectos Ambientales de la Expansión de la Ciudad de México.**

Centro de Ecología y Desarrollo.

Primera edición, 1994.

**Legorreta, Jorge.**

**Transporte y Contaminación en la Ciudad de México.**

Centro de Ecología y Desarrollo.

Segunda edición, 1995.

**Martínez, A. P., Romieu, I.**

**Introducción al Monitoreo Atmosférico.**

Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud.

Departamento del Distrito Federal.

Cooperación Técnica. República Federal de Alemania.

**Munn, R. E.**

**The Design of Air Quality Monitoring Networks.**

Institute of Environmental Studies.

University of Toronto, Toronto, Canada.

**Poder Ejecutivo Federal**

**Plan Nacional de Desarrollo.**

Informe de Ejecución 1983 y 1989.

**Rivero Serrano, O., Ponciano Rodríguez, G.**

**La Situación Ambiental en México.**

UNAM. Programa Universitario del Medio Ambiente.

**U.S. Environmental Protection Agency.**

**Air Quality Criteria for Oxides of Nitrogen.**

Office of Research and Development.

Volume I, II and III.

**U.S. Environmental Protection Agency.**

**Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical Oxidants.**

Office of Research and Development.

Volume I, II and III.

**U.S. Environmental Protection Agency.**  
**Air Quality Surveillance Networks.**  
Office of Air Programs.  
Research Triangle Park, North Carolina.

**U.S. Environmental Protection Agency.**  
**Atmospheric Sampling.**  
Air Pollution Training Institute.  
Environmental Research Center.  
Research Triangle Park, North Carolina.

**U.S. Environmental Protection Agency.**  
**Network Design and Site Exposure Criteria for Selected Noncriteria Air Pollutants.**  
Office of Air Quality Planning and Standards.  
Research Triangle Park, North Carolina.

**U.S. Environmental Protection Agency.**  
**Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems:  
Volume II. Ambient Air Specific Methods.**  
Environmental Monitoring Systems Laboratory.  
Research Triangle Park, North Carolina.

**U.S. Environmental Protection Agency.**  
**Site Selection for the Monitoring of SO<sub>2</sub> and TSP in the Ambient Air.**  
Air Pollution Training Institute.  
Environmental Research Center.  
Research Triangle Park, North Carolina.

**World Health Organization (WHO).**  
**Healthy Cities Air Management.**  
Information System AMIS 1.0, 1997., Geneva.



ACADEMIA DE FLORES Y LETRAS  
CENTRO DE INVESTIGACIONES