

Universidad Nacional Autónoma de México



**Tesis para obtener el título de Licenciado en Geografía**

**EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LA  
POBLACIÓN A OZONO EN UN ESCENARIO  
ACTUAL Y HACIA EL AÑO 2010 EN LA ZONA  
METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

Vicente Pérez Núñez  
Facultad de Filosofía y Letras  
Colegio de Geografía

Asesora de tesis:  
Dra. María del Carmen Juárez Gutiérrez



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **Agradecimientos**

### **A mi Familia:**

**A mi madre:** *Gracias por todo lo que haces por mi.*

**A mi padre:** *Gracias por los valores que me has inculcado: el respeto y el amor.*

**A mi hermana:** *Gracias, Tú paciencia y tu carácter, me hacen fuerte.*

**A mi primo Ricardo:** *Gracias totales.*

*Gracias por ayudarme a ser quien soy.*

**A Valeria Barron Escobar:** *Gracias por compartir este viaje entre lo onírico y lo real.*

**A mis amigos:** *Erick, Alan, Jessica, Omar, Alejandra, Isabel y Mariana; son entrañables*

**Agradezco especialmente a:** *Geog. Angélica Cruz Arana; a mis maestros, en especial a la Dra. Carmen Juárez Gutiérrez, Dra Graciela Uribe y Dr. Jose Juan Zamorano; a mis compañeros universitarios que durante la carrera aprendimos a defender nuestros derechos, en especial el derecho a la educación pública y la libre expresión de las ideas, a mis compañeros del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.*

## Índice

- **Introducción.....1**
- **Capítulo 1- La Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.....5**
  - 1.1 La contaminación del aire - *Marco de referencia*
    - 1.1.1.- *El desarrollo económico y la contaminación ambiental.*
    - 1.1.2.- *Definición de contaminación del aire.*
    - 1.1.3.- *El estudio de la contaminación del aire.*
  - 1.2 Ozono
    - 1.2.1.- *Características y formación del ozono.*
    - 1.2.2.- *Sistemas de monitoreo de ozono.*
  - 1.3 El Ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).
    - 1.3.1.- *El monitoreo de la contaminación del aire en la ZMCM.*
    - 1.3.2.- *Cobertura de la Red de monitoreo atmosférico en la ZMCM*
    - 1.3.3.- *Comportamiento histórico del ozono en la ZMCM.*
  - 1.4 Un escenario actual de las concentraciones de ozono en la ZMCM
    - 1.4.1.- *Obtención y validación de datos de concentraciones de ozono en la ZMCM.*
    - 1.4.2.- *Identificación de un año típico de concentraciones de ozono.*
    - 1.4.3.- *Distribución espacial de concentraciones de ozono en un escenario actual.*
  - 1.5 Escenarios futuros de reducción de concentraciones.
    - 1.5.1.- *Escenarios futuros de reducción de concentraciones de ozono al año 2010.*
    - 1.5.2.- *Distribución espacial de concentraciones de ozono en escenarios de reducción al año 2010.*
- **Capítulo 2 Dinámica de la Población en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.....42**
  - 2.1 Dinámica del poblamiento de la Ciudad de México 1900-2000.
  - 2.2 Distribución espacial de la población en el año 2000.
  - 2.3 Proyección de la población al año 2010.
  - 2.4 Identificación de grupos de población vulnerables y grupos de riesgo.
  - 2.5 Estimación de la distribución espacial de la población al año 2010.

- **Capítulo 3 Evaluación de la exposición de la población a ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.....58**
  - 3.1. Definición y estimación de exposición
  - 3.2. Efectos en salud por exposición a ozono
  - 3.3. Estimación de la exposición a ozono en un escenario actual.
  - 3.4. Estimación de la exposición a ozono en dos escenarios futuros de reducción de concentraciones.
  
- **Resultados.....68**
- **Conclusiones.....78**
  
- **Bibliografía.....82**
  
- **Anexo.....85**

## Introducción

La Ciudad de México es una de las concentraciones urbanas más pobladas en el mundo, la dinámica y funcionamiento de su desarrollo social y económico requiere del consumo de energía y, como consecuencia, se emiten contaminantes que afectan el equilibrio ecológico.

Desde la década de los cuarenta, se observaba una pérdida de la visibilidad, ya que en los primeros años de esa década era de 4 a 10 kilómetros y en la primera mitad de los cincuenta se redujo por debajo de los 4 km. Pero fue hasta 1958 que se detecta la presencia de Ozono en la atmósfera de la ciudad, desde entonces se consideró la contaminación del aire como un riesgo para los habitantes de la ciudad, por lo que fue necesario evaluar su comportamiento para conocer su evolución y repercusiones.

Actualmente uno de los problemas ambientales graves en la Ciudad de México es la contaminación del aire, las altas concentraciones de elementos nocivos suspendidos en la atmósfera, son un grave riesgo para la salud de sus habitantes. Uno de los contaminantes más abundantes en la Ciudad es el Ozono, el cual rebasó la norma de calidad del aire en 221 días del año 2005 y se ha asociado con síntomas comunes como irritación ocular, tos, malestar de garganta y dolor de cabeza y con la presencia o exacerbación de enfermedades agudas y crónicas, como el asma, la neumonía o la bronquitis, incluso se ha atribuido a niveles altos de este contaminante un incremento de la mortalidad prematura en personas con padecimientos respiratorios o cardiovasculares previos (*Ecosistema Urbano y Salud, ECOURS, 2001*). Los estudios epidemiológicos realizados en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, señalan una asociación entre las concentraciones de ozono y el aumento en admisiones hospitalarias por crisis de asma.

El impacto de este problema atmosférico en la población tiene múltiples variantes que van del daño a la salud hasta el costo económico que conlleva enfrentar un ambiente contaminado, afectando de manera diferencial a la población dependiendo de características intrínsecas como la edad.

La gravedad de este problema ambiental requiere implementar estrategias que permitan mitigar la amenaza que representa la exposición de la población a este contaminante, así como evaluar la calidad del aire para

determinar la eficiencia de los programas aplicados para disminuir este problema y evaluar los beneficios que trae consigo la reducción de los contaminantes en la atmósfera.

En el presente trabajo se plantea la necesidad de evaluar la situación actual de la exposición de la población a concentraciones de ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), para fundamentar las decisiones que se toman en la mitigación de este problema, también se plantean escenarios futuros de reducción donde se estima el beneficio de disminuir las concentraciones de éste contaminante hacia el año 2010.

### **Hipótesis**

La población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México está expuesta, de manera cotidiana, a concentraciones de ozono que ponen en riesgo su salud, la reducción de este contaminante bajo una evaluación eficiente en la actualidad y hacia el 2010, disminuiría el número de personas que estarían en peligro por este contaminante.

### **Objetivos**

#### *Objetivo General*

Evaluar la exposición de la población de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México a ozono en un escenario actual y en dos escenarios hacia el 2010

#### *Objetivos Particulares*

- 1) Estimar el comportamiento del ozono en la ZMCM en un escenario actual de concentraciones en el aire ambiente y en dos escenarios de reducción de concentraciones del 10 y 20%.
- 2) Identificar la distribución actual de la población general en la ZMCM, por grupos de edades, y estimar su proyección al año 2010.
- 3) Evaluar la exposición a ozono de la población general en la ZMCM, por grupos de edades en un escenario actual de concentraciones en el aire ambiente y su proyección al año 2010 en escenarios de reducción del 10 y 20%.

## **Metodología (métodos y técnicas de Investigación)**

La metodología que se emplea en este trabajo para evaluar la exposición a ozono, se basa en el estudio *“Human Exposure to ozone and PM10 in the Metropolitan Area of Mexico City using a GIS-Base”*, elaborado por Cicero. (2001), donde se obtuvieron indicadores de exposición poblacional.

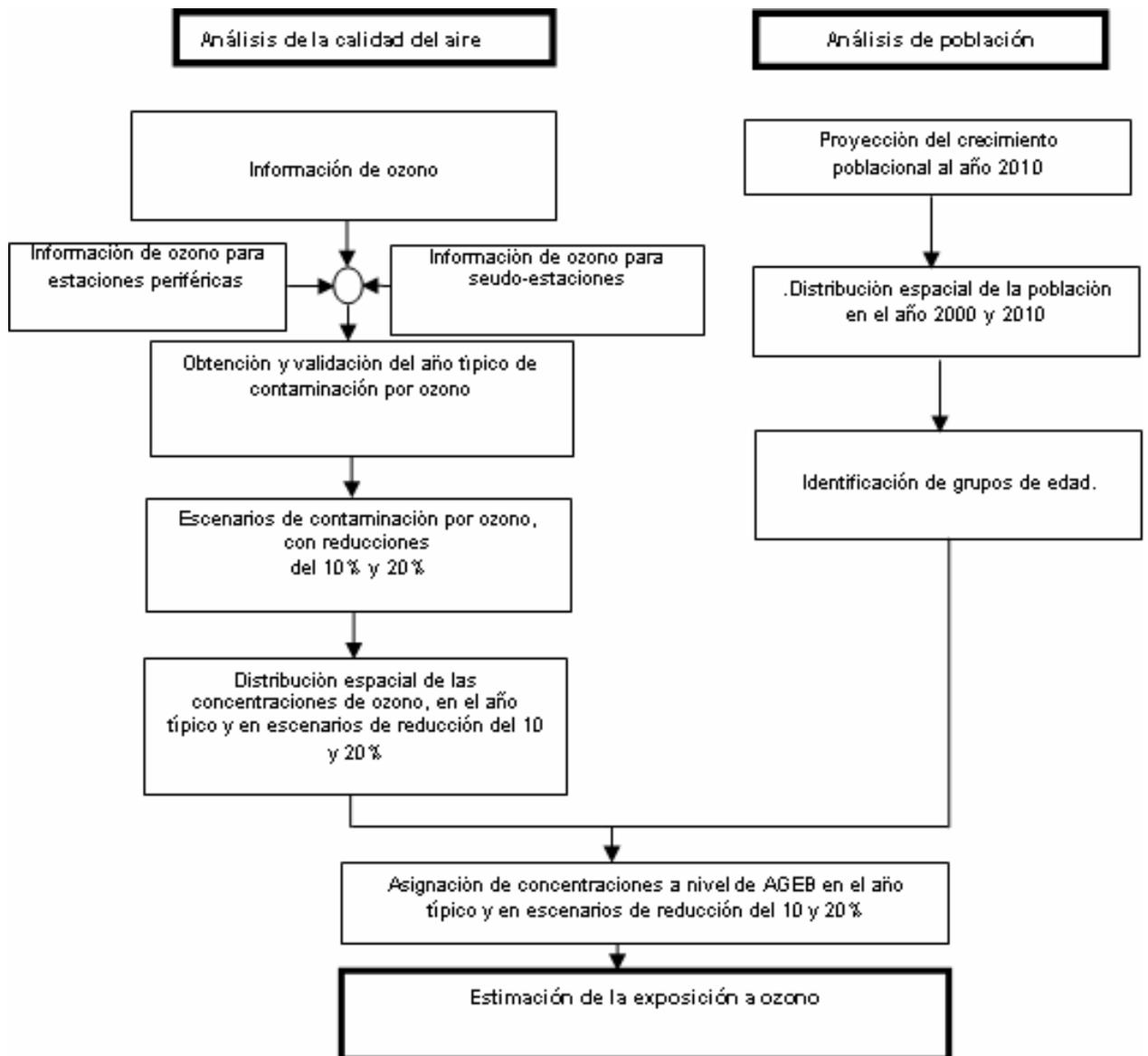
En este trabajo se consideraran dos componentes para estimar la exposición; por un lado, la información de ozono registrada en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) a través del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) y, por otro, la información del Censo General de Población y Vivienda, 2000, del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2000). El proceso de ambos tipos de información y su integración se ilustra en la Figura 1.

Para obtener la exposición se evaluaron los dos componentes. En el capítulo 1, se analiza la calidad del aire en la ZMCM y el comportamiento que han tenido las concentraciones de ozono en los últimos años, con lo que se estimó un escenario actual y dos escenarios futuros de reducción.

En el capítulo 2, se analizó la distribución de la población y su estructura por grupos de edades, adicionalmente se proyectó la misma al año 2010.

En el capítulo 3, se estima la exposición de este contaminante en un escenario actual y en dos escenarios futuros de reducción al año 2010 obteniendo un promedio ponderado entre, las concentraciones estimadas en un escenario actual con la población al año 2000 y en los escenarios futuros de reducción con la población estimada al 2010.

**Figura 1. Proceso general de evaluación de la exposición a ozono**



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente, 2005

## **Capítulo 1 - La Calidad del Aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México**

*“La instantaneidad de la información globalizada aproxima los lugares y crea entre lugares y hechos una relación unitaria a escala mundial”.*

*Milton Santos, 1993*

## **1.1 La contaminación del aire – marco de referencia.**

### **1.1.1.- El desarrollo y medio ambiente.**

Por muchos años, la humanidad carecía de una conciencia ambiental, el uso de los recursos naturales se realizaba sin ninguna planeación y con el fin de aumentar la riqueza de naciones que dominaban el planeta, principalmente se utilizaban los recursos de los pueblos que conquistaban.

Este modelo de explotación se heredó a los países pobres que si bien salieron de la dominación de otras naciones, no tenían recursos para un desarrollo económico y continuaron exportando sus bienes naturales como materia prima, y recibiendo productos procesados con un valor agregado, provocando el aumento de la pobreza y el deterioro ambiental en estos países. En el caso de las naciones dominantes, la demanda de recursos para satisfacer su estilo de vida ha requerido un aumento constante de recursos energéticos naturales y de procesos de transformación que incrementan el problema ambiental.

La pobreza y el deterioro ambiental son dos de los graves problemas que enfrenta la humanidad en la actualidad, la preocupación por resolver estos problemas ha llevado a la comunidad internacional a discutir sobre estas cuestiones, desde la década de los setenta organizaciones ambientalistas demandaron la necesidad de frenar el daño a los ecosistemas, y organizaciones de derechos humanos han denunciado los efectos de la pobreza.

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha propuesto diversos foros sobre estos problemas. En 1992, se realizó la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro (*ONU 1992*), donde se respaldó el modelo de desarrollo sustentable que había sido planteado 20 años antes y acuñado oficialmente en 1987 con la Comisión Brundtland (*Hardoy et al, 1992*).

El Desarrollo Sustentable plantea que se deben de satisfacer las necesidades de la presente generación sin comprometer la habilidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Para lograr que se

realice este modelo, la ONU planteó en la Cumbre de Río una serie de compromisos que firmaron los países participantes, entre los que destacan<sup>1</sup>:

- Los Estados deberán cooperar con espíritu de solidaridad mundial para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra.
- Todos los Estados y todas las personas deberán cooperar en la tarea esencial de erradicar la pobreza como requisito indispensable del desarrollo sostenible.
- Los Estados deberán desarrollar un sistema económico internacional favorable y abierto que llevará al crecimiento económico y el desarrollo sostenible de todos los países; así como de una legislación nacional relativa a la responsabilidad y la indemnización respecto de las víctimas de la contaminación y otros daños ambientales.
- Deberá emprenderse una evaluación del impacto ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente y que este sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente.
- La paz, el desarrollo y la protección del medio ambiente son interdependientes e inseparables.

Para lograr lo anterior, en esta cumbre se planteó la necesidad de crear programas a nivel local, que se les conoce como Agenda XXI donde los gobiernos de acuerdo con sus posibilidades y su realidad plantean medidas para un desarrollo sustentable.

La Ciudad de México tiene su plan hacia la Agenda XXI en la que se presentan una serie de medidas considerando la complejidad urbana y ambiental, tomando en cuenta la economía y las tendencias sociales y culturales.

La evaluación del impacto ambiental es parte fundamental de esta agenda, en el caso de la contaminación del aire, se desarrolló el Programa para mejorar la calidad del aire (*PROAIRE, 2000*), en el que se incluyen

---

<sup>1</sup> Declaración de Río sobre medio ambiente, aplicación y ejecución, Organización de las Naciones Unidas ONU 1997

medidas de reducción de emisiones así como planes de evaluación del impacto de este problema que van desde daños a la salud hasta económicos .

Este trabajo pretende fortalecer mediante sus resultados un mayor conocimiento para la evaluación y seguimiento de los programas mencionados anteriormente.

### **1.1.2.- Definición de contaminación atmosférica.**

Un contaminante, de manera genérica, se puede identificar como toda materia o sustancia, sus combinaciones o sus derivados químicos y biológicos, tales como humos, polvos, gases, cenizas, bacterias, residuos y cualquier otro agente que, al integrarse al ambiente alteren o modifiquen sus características naturales.

Desde el punto de vista del bienestar humano, se entiende por contaminación, la presencia en el ambiente de sustancias o factores físicos químicos o biológicos que perjudiquen o molesten, la salud y la calidad de vida de los individuos.

La contaminación atmosférica se ha definido como la alteración de la composición pura de la atmósfera; se considera "aire limpio" cuando, está compuesta de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de otros gases, entre los que destacan argón, vapor de agua, dióxido de carbono, metano, ozono y otros gases. Cuando algún elemento sobrepasa estas proporciones o se encuentra otro elemento en esta composición podemos decir que ya no es aire puro, los efectos derivados de esta alteración se han analizado profundamente y van desde el desequilibrio de los ecosistemas hasta los efectos en la salud humana (*Gutiérrez, 1997*).

### **1.1.3.- El estudio de la contaminación del aire.**

La contaminación del aire se puede estudiar desde diferentes puntos de vista, que van del análisis químico de los agentes ajenos a la composición pura de la atmósfera, hasta el costo económico de sus efectos.

Para evaluar el impacto de la contaminación atmosférica, particularmente en los efectos que se tienen sobre la salud de los individuos, se han realizado análisis sobre la calidad del aire, en los que se identifica la presencia de elementos que alteran su composición.

Se ha identificado un grupo de contaminantes considerados como comunes en ambientes urbanos, que se les ha denominado como contaminantes criterio para evaluar la calidad del aire.

Con el fin de proteger la salud pública, se han decretado una serie de normas de protección a la salud que establecen límites máximos permisibles a los que la población puede estar en contacto con las concentraciones de estos contaminantes.

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, los contaminantes criterio son: el ozono (O<sub>3</sub>), las partículas menores a 10 micrómetros PM<sub>10</sub>, las partículas suspendidas totales (PST), el plomo (Pb), el monóxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el bióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y el bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), en la actualidad son dos los que registran concentraciones que cotidianamente ponen en riesgo la salud de la población, el ozono que superó su norma de protección a la salud en el 60% de los días del año 2005 y las PM<sub>10</sub> que lo hacen en el 2% de los muestreos anuales (*SMADF, 2005*).

Los estudios realizados en materia de calidad del aire han señalado al ozono como uno de los contaminantes con un mayor índice de concentración en las ciudades más grandes del mundo, su presencia en la atmósfera ha sido objeto de estudios por su impacto a la salud.

Investigaciones realizadas en diversas partes del mundo coinciden en una serie de efectos adversos a la salud de los individuos, la exposición a concentraciones de ozono que van de 0.080 a 0.200 partes por millón (ppm) producen un grupo de respuestas complejas, incluyendo descensos en la función respiratoria, sus efectos se han asociado también a problemas cardiovasculares por la acción oxidante de este contaminante (*Gutiérrez et al 1997*).

La evaluación del impacto de la exposición a este contaminante ha sido abordada con diversas metodologías, entre las que destacan las que consideran la variabilidad espacial de este problema.

En el Instituto Nacional de Salud Pública en México desde 1996, se planteó la necesidad de analizar la exposición de los habitantes de la ZMCM a este contaminante y se manifestó la importancia de la evaluación temporal y espacial de las concentraciones de ozono.

A nivel internacional se destaca el trabajo realizado por la Comunidad Europea a través del programa ALPHEIS que es un sistema de información de contaminación atmosférica y salud, en él se estima el beneficio de la reducción de las concentraciones, analizando las tasas de morbilidad y mortalidad.

En los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA por sus siglas en inglés), ha colaborado en proyectos que pretenden evaluar de manera sistemática el costo económico de la contaminación, un ejemplo de lo anterior es el programa BenMap, el cual estima el beneficio de la reducción de concentraciones considerando múltiples variables como, tipo de empleo, análisis epidemiológico, estructura de servicios médicos, costos de medicamentos, meteorología, frecuencia y magnitud de las concentraciones de contaminantes atmosféricos y sus efectos en salud, entre otros.

Uno de los trabajos que se ha desarrollado en la ZMCM es el presentado por *Pablo Cicero* en el año 2002 en el que se estima la exposición personal a ozono y partículas superiores a 10 micrómetros, por medio de una ecuación que considera la población ubicada en una zona geográfica y la concentración promedio a la que se enfrenta de manera continua, este trabajo fue desarrollado en conjunto con el gobierno de la Ciudad de México, agencias de cooperación canadienses y el Banco Mundial. Se estimó que cada habitante de la ZMCM tiene una exposición personal promedio de 0.114 ppm.

Se han desarrollado trabajos que plantean la necesidad de establecer metodologías y bases de datos con una perspectiva integral, que permita contemplar múltiples variables, para identificar afectaciones en grupos sensibles.

También se han desarrollado trabajos en otras ciudades del país, en la Zona Metropolitana de Monterrey se evaluó el riesgo por exposición, contemplando variables como la movilidad de la población o el tipo de empleo que desarrollan los individuos.

Actualmente continúan las investigaciones sobre la estimación de la exposición a contaminantes y sus efectos, considerando nuevos postulados dentro de estudio de la salud pública como es el principio precautorio.

## **1.2 Ozono.**

### **1.2.1.- Características y formación del ozono.**

El ozono es uno de los contaminantes atmosféricos que presentan los niveles más altos en la ZMCM, su impacto en la salud, en la economía y en la calidad de vida de la población ha sido objeto de diversas investigaciones

El ozono es un gas altamente reactivo de color azul pálido, constituido por tres átomos de oxígeno en su estructura molecular.

En la atmósfera se encuentra de manera natural en la estratosfera aproximadamente entre los 12 y 50 km sobre la superficie terrestre, esta capa evita el paso directo de la radiación solar y se ha deteriorado con el uso de los clorofluorocarbonos (CFC) empleados en aerosoles y refrigerantes.

Este elemento se encuentra también en la troposfera entre los 0 y 12 km a partir de la superficie terrestre, su presencia es producto de reacciones entre contaminantes y es el que impacta la salud de la población.

La formación del ozono en esta capa se explica porque la radiación solar influye en los procesos fotoquímicos en la atmósfera, interactuando con moléculas que funcionan como fotocaptadores. Producto de esta fotodisociación de moléculas estables, son los radicales libres, los cuales son muy reactivos, como ejemplo: oxígeno atómico o hidrógeno atómico.

La actividad de los compuestos químicos puede variar debido a su estructura y peso molecular. Los hidrocarburos son importantes por su velocidad de reacción con varias especies oxidantes y su contribución a la generación de productos que forman parte del smog fotoquímico, como el ozono ( $O_3$ ).

El ozono es un contaminante secundario formado en la atmósfera a través de una compleja serie de reacciones químicas de los contaminantes primarios, conocidos como precursores. De estos últimos, los más importantes son los óxidos de nitrógeno (NOX) y los hidrocarburos no metano (HCNM).

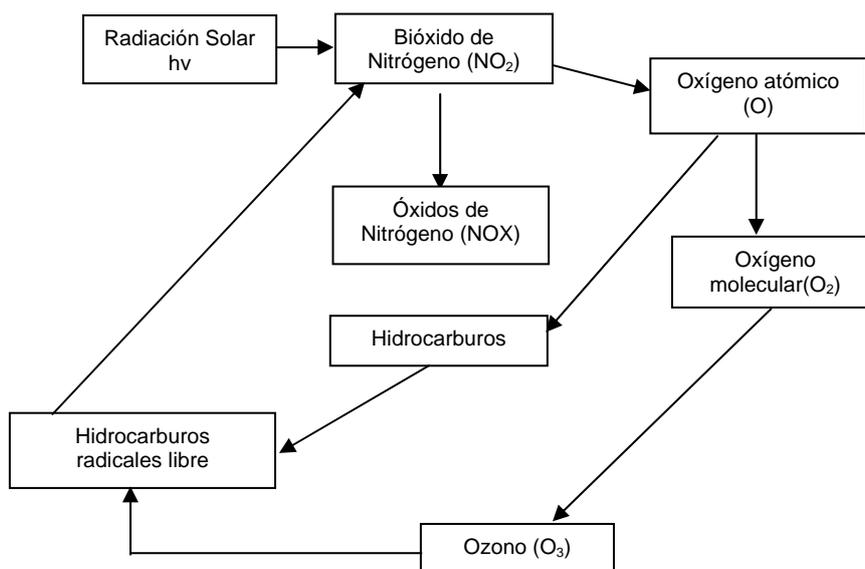
Otro de los precursores es el dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) que es un absorbente muy eficiente de energía solar ultravioleta, que llega a la superficie

de la Tierra. Esta molécula de  $\text{NO}_2$  se descompone en  $\text{NO}$  y  $\text{O}$ , con lo cual se inicia el mecanismo de la formación del  $\text{O}_3$ .

Las moléculas de  $\text{O}$  y  $\text{O}_3$  tienen gran capacidad para reaccionar por medio de la oxidación de los hidrocarburos reactivos; la reacción de molécula de  $\text{O}$  es muchas veces más rápida que las moléculas de  $\text{O}_3$ . Así los hidrocarburos (HCNM) no metano se combinan con más facilidad con el  $\text{O}$ , y se forman radicales que oxidan el  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$ , reiniciando con ello el proceso fotoquímico.

La ruta que se muestra en la figura 1.1, es la conversión de  $\text{NO}$  a  $\text{NO}_2$  sin consumir  $\text{O}_3$ , explica los niveles altos de  $\text{O}_3$  que se registran en ambientes urbanos.

**Figura 1.1 Formación de Ozono dentro del ciclo fotolítico del bióxido de nitrógeno**



Fuente: Gutiérrez 1997

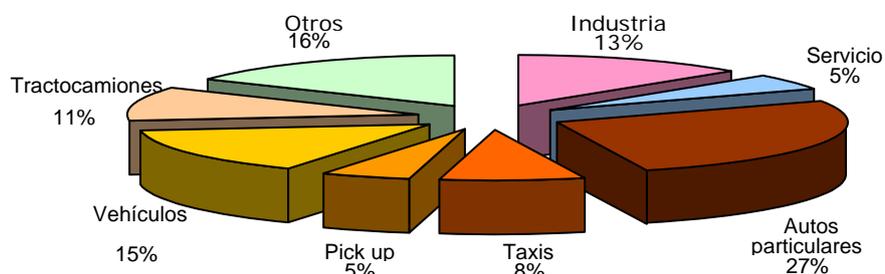
Las características geográficas de la ZMCM favorecen de manera importante la formación de ozono en la atmósfera de la ciudad, la orografía forma una gran barrera que impide la dispersión de los contaminantes, esto se registra de manera significativa en la zona sur oeste, la altitud (2240 m.s.n.m) a la que está situada la ciudad, disminuye la eficiencia de los vehículos considerablemente, provocando un aumento en las emisiones de contaminantes precursores del ozono a la atmósfera.

Por otra parte, la intensa radiación solar que se registra durante gran parte del año favorece los procesos fotoquímicos de los contaminantes precursores, la dirección de los vientos arrastra estos contaminantes primarios desde las fuentes de emisión al resto de la ciudad. En el caso del ozono, sus precursores son arrastrados de la zona noreste de la ciudad hacia el suroeste donde la radiación solar dispara procesos fotoquímicos que producen este contaminante.

Como se ha mencionado anteriormente, el ozono no es un contaminante que se emita a la atmósfera, es producto de reacciones fotoquímicas de sus precursores.

Se ha identificado que en la ZMCM, la emisión de los contaminantes precursores del ozono provienen en un 66% de vehículos automotores, lo que evidencia la importancia en el control de emisiones en este tipo de transporte, principalmente en los vehículos particulares que por sí solos representan el 27% de las fuentes de emisión de óxidos de nitrógeno, precursor del ozono (figura 1.2).

**Figura 1.2 Principales fuentes de emisión de contaminantes precursores del ozono**



Fuente: Comisión Ambiental Metropolitana, 2002

### 1.2.2.- Sistemas de monitoreo de ozono.

Existen diferentes técnicas para monitorear el ozono. En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se ha analizado el comportamiento de este contaminante de manera continua y permanente, por medio de una red automática de monitoreo atmosférico (RAMA), que registra las concentraciones de este contaminante minuto a minuto y es operada por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT).

La RAMA funciona mediante estaciones de monitoreo que están equipadas con analizadores que trabajan bajo principios fotométricos en el rango de la luz ultravioleta que convierten los impulsos reflejados por concentraciones de ozono en impulsos eléctricos que son codificados para obtener lecturas en partes por millón (ppm).

Esta información se deposita en bases de datos que son enviadas mediante sistemas de telecomunicación a un centro de control donde son validadas y posteriormente analizadas.

La información que se obtiene en estas estaciones se actualiza minuto a minuto las 24 horas del día, esto permite una estrecha vigilancia del comportamiento de las concentraciones de ozono en la ZMCM así como la generación de información que es publicada por medio del Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA).

La ubicación de las estaciones de monitoreo atmosférico responde al tipo de información que se requiere, es decir información de la calidad del aire en la ciudad, para la protección de la salud pública, por esta razón se consideró la distribución de la población y los requerimientos técnicos de los equipos analizadores para su instalación, sin embargo, la dinámica de la ciudad ha transformado el entorno de estos sitios de monitoreo, modificando en más de un caso sus alcances y en algunos casos su desaparición.

### **1.3 El Ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.**

#### **1.3.1.- El monitoreo de la contaminación del aire en la ZMCM.**

El monitoreo de la contaminación atmosférica en esta ciudad ha evolucionado y se ha convertido en un complejo sistema de información de la calidad del aire, la evolución de este sistema se presenta a continuación (GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL 2005):

##### *Visibilidad y Primeros Estudios (1940-1960)*

En la década de los cuarenta, como resultado del modelo centralista de desarrollo en nuestro país, la dinámica de la Ciudad de México atrajo inmigrantes en búsqueda de oportunidades y mejores empleos. Esta migración, así como el incremento de las necesidades de la población,

generaron la expansión de la mancha urbana. Uno de los primeros indicadores de éste crecimiento fue la contaminación del aire. En estos años la población se percató de un cambio en la visibilidad del aire en la capital del país, en los primeros años de la ésta década era de 4 a 10 kilómetros, y a finales de la década de los cincuenta se había reducido a menos de 4 kilómetros.

La necesidad de saber qué pasaba con el aire de la ciudad, llevó a investigadores a estudiar este fenómeno, el gobierno de igual manera se dio cuenta que era importante controlar este problema y creó la Dirección de Higiene industrial, en la que el Dr. Humberto Bravo identificó la presencia de ozono fotoquímico en la atmósfera de la ciudad (*GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2005*).

En 1958, con la instalación de las primeras 4 estaciones de monitoreo ubicadas en el Aeropuerto, Tlanepantla, el Centro de la Ciudad y Tacuba se comienzan a monitorear contaminantes como el dióxido de nitrógeno, partículas suspendidas y polvo sedimentable.

El auge económico que se presentó en México entre las décadas de los 40 y 50, tras la Segunda Guerra Mundial, permitió la industrialización del país. La población venía a la ciudad para trabajar como obrero y de esta manera se fue poblando la periferia de la ciudad, cerca de estas industrias y los servicios que brindaba la capital.

#### *Redes de Monitoreo y crisis ambiental (1960-1990).*

Se comenzó a conformar una red de monitoreo de contaminantes en diferentes puntos de la Ciudad de México. Con la ayuda de organismos internacionales como la Organización Panamericana de la Salud (OPS) se ubicaron 14 estaciones. En 1973 con el apoyo de Naciones Unidas se instalaron 22 estaciones más que transmitían datos continuos, esta red operó hasta 1977 se le conocía como “Red Phillips” y nunca pudo ser confiable la información generada (*GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2005*).

En la década de los 80 la contaminación ambiental se disparó por la alta densidad de población, no existían restricciones para la emisión de contaminantes y el parque vehicular se incrementaba de manera importante. Uno de los fenómenos que incrementaron los índices de contaminantes fueron

los bajos precios de la gasolina y el consumo en vehículos altamente contaminantes.

A finales de la década de los ochenta la contaminación del aire se volvió un serio problema, la población comenzó a tener molestias como irritación de ojos, garganta y dolor de cabeza más frecuente, las aves comenzaron a morir por lo que respiraban y la crisis ambiental se incrementaba. Las acciones de emergencia que se tomaron fue la implementación de programas como el “Hoy no circula”, el plan de contingencias ambientales atmosféricas, así como la introducción de nuevas gasolinas sin plomo.

Los sistemas de monitoreo comenzaron a tener una mayor relevancia por la importancia de su información. Se creó el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire IMECA para poder informar a la población de las condiciones de la contaminación relacionada con los efectos en su salud así como las recomendaciones en determinados momentos. El plomo fue uno de los contaminantes con altas concentraciones en la atmósfera, las partículas suspendidas también se presentaban en abundancia.

El sistema de monitoreo se actualizó y se creó la Red de Monitoreo Automático RAMA con 25 estaciones que funcionan de manera automática y minuto a minuto miden la calidad del aire de diferentes contaminantes.

Fue en este período donde se consolidó la conurbación de la Ciudad de México con algunos municipios del Estado de México, la migración a la ciudad presionó la mancha urbana desplazando a la población en condiciones socioeconómicas precarias a la periferia y a zonas no aptas para la vivienda.

#### *Modernización de las Redes y reducción de contaminantes (1990-2005)*

Desde el principio de la última década del siglo pasado, los resultados de las acciones tomadas para disminuir la contaminación del aire han tenido su impacto de manera positiva pero aún no satisfactoria.

En cuanto a la emisión de plomo, el uso de nuevas tecnologías automotrices y la eliminación de este elemento en la gasolina, permitió la disminución de concentraciones en el aire.

El ozono ha bajado paulatinamente, en 1986 el máximo en partes por millón era de 0.500, en 1989 de 0.463, en 1994 de 0.312, en 1998 de 0.307, en el 2000 de 0.282 y en 2004 de 0.240. Hay que considerar que los datos

anteriores a 1990 no son del todo confiables ya que la metodología y el tipo de muestreo no cumplían con las normas internacionales. Los procesos de validación de datos sólo se pueden aplicar de 1990 en adelante.

Hay que considerar que aunque la exposición a Ozono ha disminuido considerablemente, las concentraciones a las que se expone la población a diario continúan siendo graves, ya que la norma de salud considera que sólo se puede exponer una vez al año a concentraciones mayores a 0.11 partes por millón. La red de monitoreo de la Ciudad de México en la actualidad está constituida por 42 estaciones de las cuales 20 miden las concentraciones de Ozono de manera automática.

### 1.3.2.- Cobertura de la Red de monitoreo atmosférico en la ZMCM

La red de monitoreo atmosférico que registra concentraciones de ozono en la ZMCM, está constituida por 20 estaciones de monitoreo que recopilan información minuto a minuto, uno de los objetivos de esta red es la de brindar información a la población sobre el estado de la calidad del aire que es válida oficialmente para todo el Distrito Federal y 18 municipios del Estado de México.

**Cuadro 1.1 Zona Metropolitana de la Ciudad de México**

Distrito Federal		Estado de México	
1	Gustavo A. Madero	1	Atizapán
2	Azcapotzalco	2	Cuautitlán Izcalli
3	Miguel Hidalgo	3	Coacalco
4	Cuahutémoc	4	Cuautitlán
5	Venustiano Carranza	5	Chalco
6	Iztapalapa	6	Chicoloapan
7	Cuajimalpa	7	Chimalhuacán
8	Benito Juárez	8	Ecatepaec
9	Alvaro Obregón	9	Huixquilucan
10	Iztapalapa	10	Ixtapaluca
11	Coyoacán	11	La Paz
12	Magdalena Contreras	12	Nicolás Romero
13	Tlahuac	13	Naucalpan
14	Xochimilco	14	Nezahualcóyotl
15	Tlalpan	15	Tecámac
16	Milpa Alta	16	Tlalnepantla
		17	Tultitlán
		18	Valle de Chalco

Fuente: Comisión Ambiental Metropolitana 2002

Estudios realizados en Estados Unidos, han evaluado la cobertura de redes de monitoreo considerando los requerimientos técnicos de los equipos utilizados para este objetivo, de igual manera se han clasificado las estaciones de monitoreo por su representatividad, considerando la dimensión de la parcela de aire que representa.

En México se han realizado trabajos donde se evalúa la cobertura del sistema de monitoreo para la generación de información pública sobre la calidad del aire, en el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) se consideran las escalas de representación espacial documentadas en el Código de Regulaciones Federales 50 (CFR, por sus siglas en Inglés), parte 58 del apéndice D [*"Network Design for State and Local Air Monitoring Stations (SLAMS), National Air Monitoring Stations (NAMS), and Photochemical Assessment Monitoring Stations (PAMS)"*] de los Estados Unidos de América (EPA 1998).

La representación espacial se relaciona con el objetivo del monitoreo, en el caso de la elaboración del Índice Metropolitano de Calidad del Aire (IMECA) como medio de información al público, en el SIMAT se consideran los registros de contaminantes atmosféricos provenientes de las estaciones que cuentan con una representación Media, Vecinal o Urbana, las cuales muestran parcelas de diferente dimensión (Cuadro 1.2).

**Cuadro 1.2 Tipo de estaciones de monitoreo y cobertura**

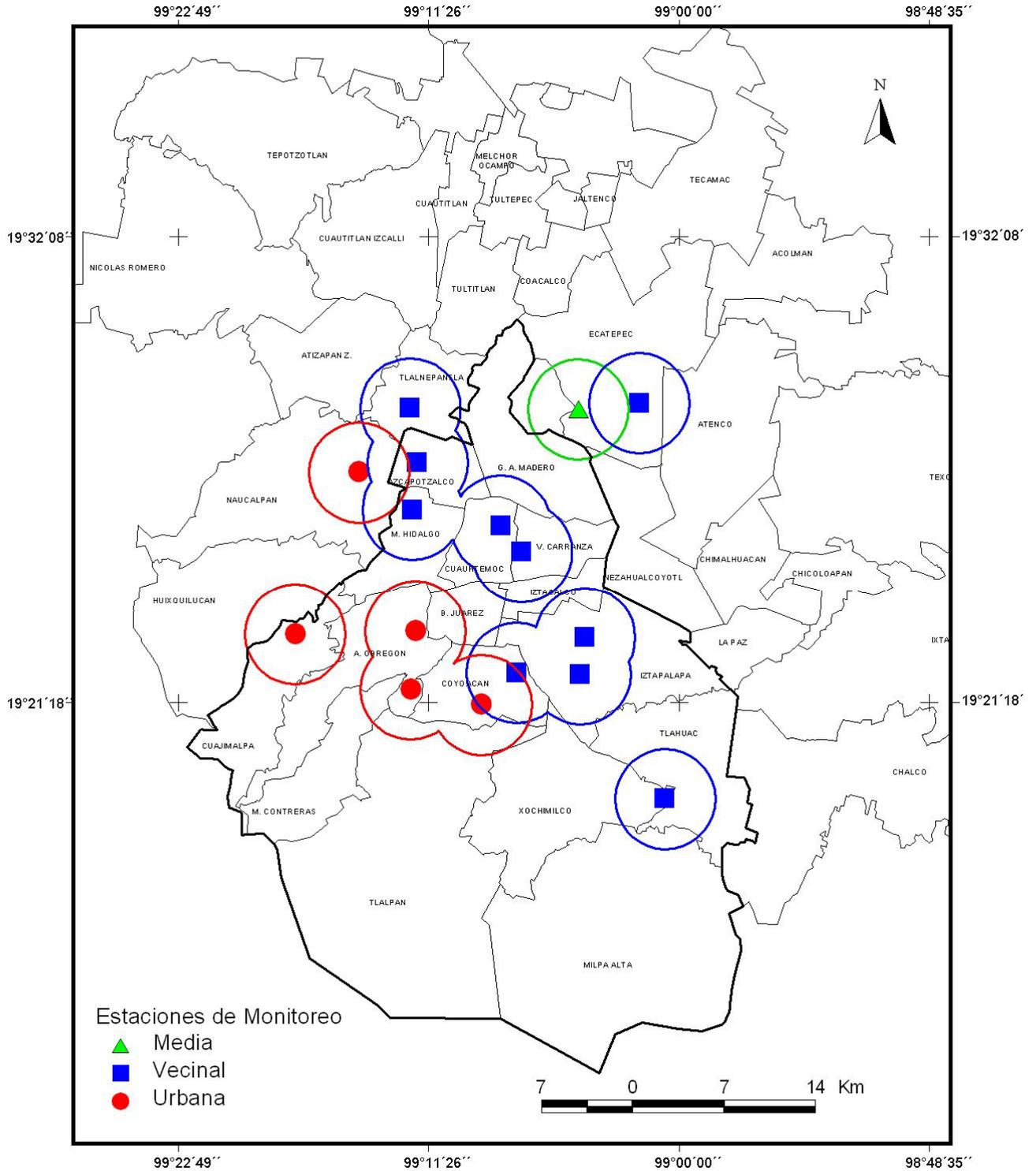
Tipo	Dimensión de la parcela que caracteriza
Media	Entre 100 y 500 mts.
Vecinal	Entre 500 mts. y 4 km.
Urbana	Superior a 4km

Fuente: GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2005

La delimitación del área de cobertura de la red de monitoreo para ozono en la ZMCM obedece en la actualidad a límites administrativos. Sin embargo, en la figura 1.3 se observa la cobertura real, considerando una representatividad promedio de 500 metros de radio para cada estación, esta, cubre el centro y sur de la ciudad en donde se observa una mayor densidad de estaciones de monitoreo, ésta se debe a que históricamente la zona suroeste

registra las máximas concentraciones de ozono y se ha buscado un monitoreo más específico en esta zona de la ciudad.

**Figura 1.3 Estaciones de monitoreo de ozono y su cobertura 2005**



Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2005

Elaboración: Vicente Pérez Núñez

### **1.3.3.- Comportamiento histórico del ozono en la ZMCM.**

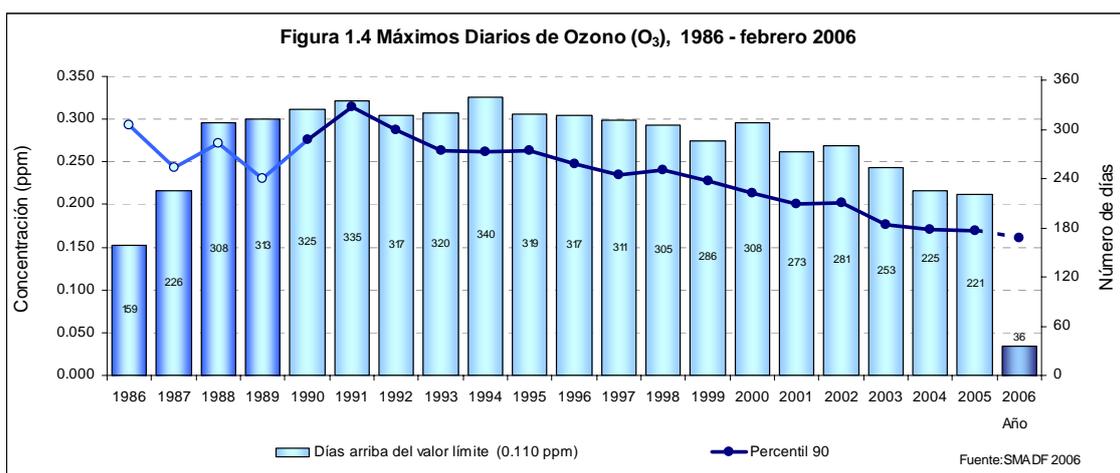
El comportamiento de las concentraciones que ha tenido este contaminante desde hace 20 años ha disminuido paulatinamente, a finales de la década de los 80 y principios de los 90, las concentraciones llegaban a más de 0.300 ppm, provocando una crisis ambiental que desencadenó en acciones para disminuirlo.

Estas acciones han funcionado de manera significativa en la última década, ya que se ha reducido en más del 40%, las concentraciones máximas, de 1986 al año 2004 y el número de días por arriba de la norma de protección a la salud se ha reducido de 340 que se registró en 1994 a 225 en el 2004.

La reducción no ha sido satisfactoria ya que si consideramos que la norma de protección establece que sólo se pueden presentar una vez en el año concentraciones por arriba del límite de 0.11ppm la situación en la ZMCM es particularmente grave.

En la Figura 1.4 se observa una marcada tendencia a reducción de las concentraciones máximas de ozono pero, esta tendencia será difícil de continuar, cuando las concentraciones sean menores, esto es conocido como el efecto pistón (*Jaimes, 2004*), debido a que la reducción de concentraciones menores requiere la implementación de programas más agresivos.

A lo largo del año el aumento de las concentraciones se ve favorecido con el aumento de radiación solar que recibe en la ZMCM, por lo que durante la época seca-caliente, que comprende de marzo a mayo, se registran los niveles anuales máximos de ozono.



Uno de los indicadores de reducción de las concentraciones de ozono en la última década es el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA), que como muestra en el cuadro 1.3, desde 1998 presenta una disminución paulatina en el número de ocasiones en que se instrumenta en sus diferentes fases; la primera es la pre-contingencia, la cual se activa cuando en alguna de las estaciones de monitoreo se registran concentraciones superiores a las 0.233 ppm, la segunda etapa es la contingencia fase I, se activa cuando las concentraciones alcanzan las 0.281 ppm y la fase II se aplica cuando llegan a 0.355 ppm.

**Cuadro 1.3 Casos de precontingencias y contingencias fase I y fase II para ozono en la ZMCM.**

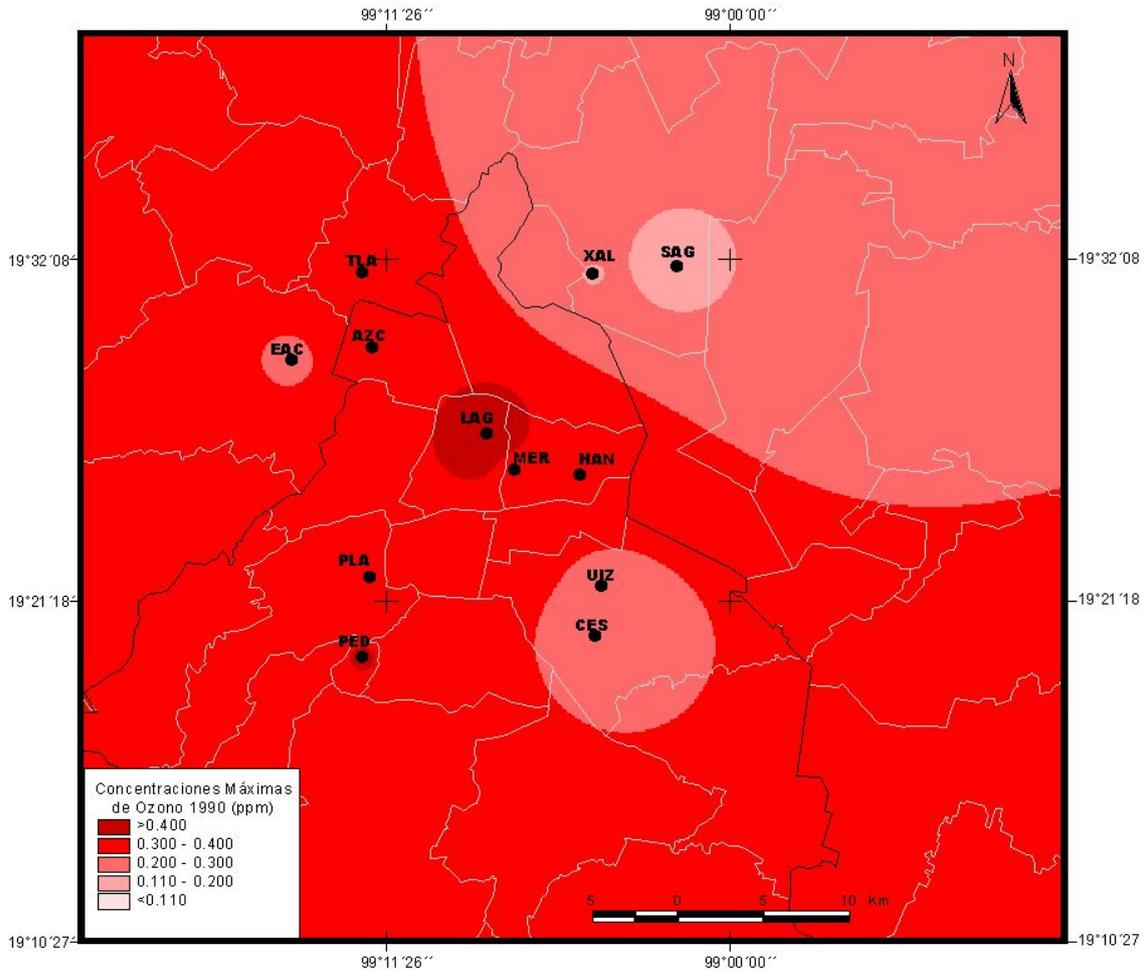
Fase del PCAA	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Pre-contingencia	78	217	167	103	127	147	86	72	77	39	24	14	9	2	0
Contingencia Fase I	0	2	4	12	1	5	3	3	4	3	0	0	1	0	0
Contingencia Fase II	0	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005

La distribución de las concentraciones máximas de este contaminante en la ZMCM se presentan históricamente en la zona sureste. Su comportamiento se ha asociado al transporte de los contaminantes precursores del ozono hacia esta zona por la acción del viento, donde la radiación solar favorece las reacciones fotoquímicas que lo forman.

En 1990, las concentraciones máximas de ozono llegaban a superar las 0.400 ppm y era el suroeste de la ciudad donde se presentaban las concentraciones máximas, la zona con menores niveles de concentración se encontraba en el noreste (Figura 1.5).

**Figura 1.5 Distribución de las concentraciones máximas de ozono en el año 1990**

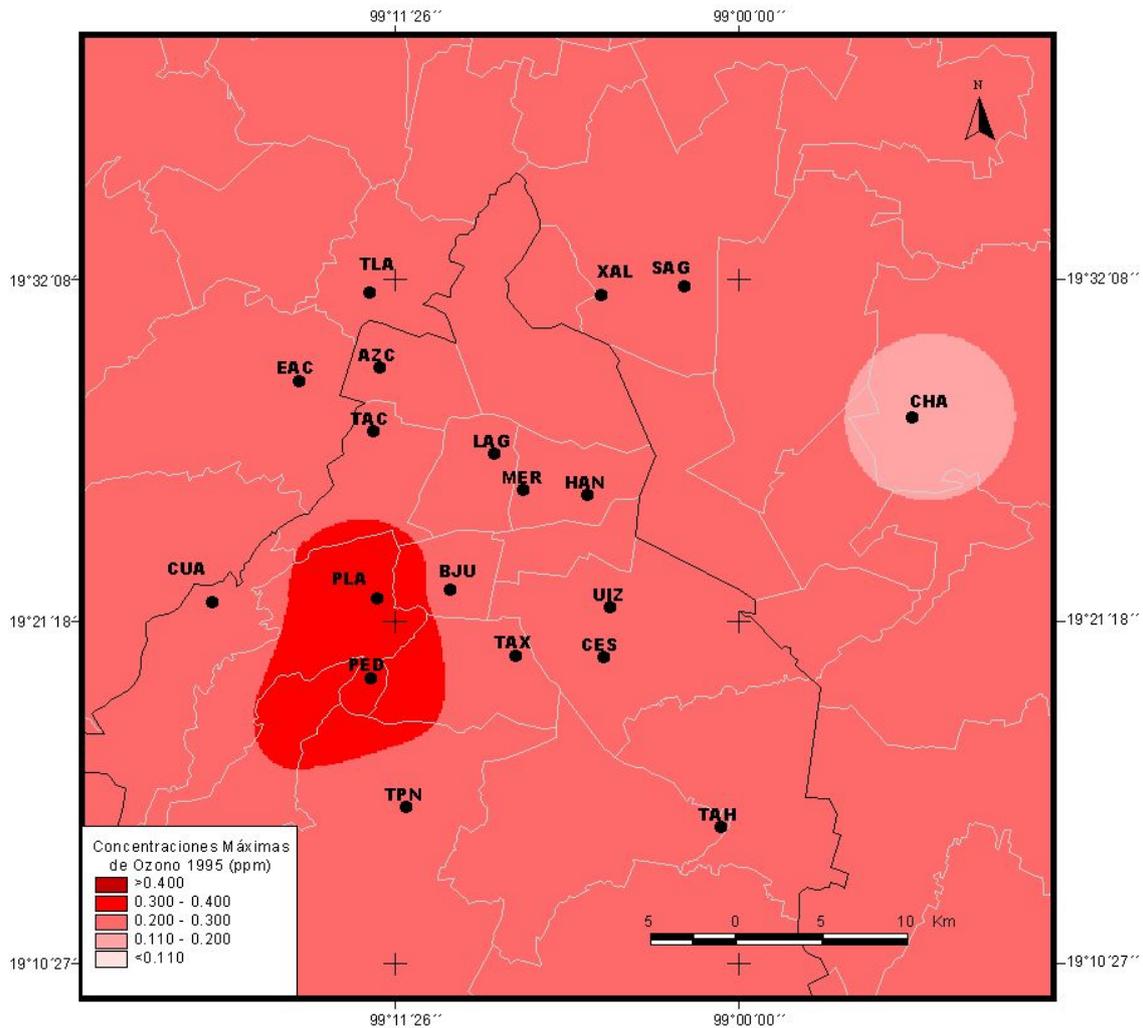


Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005

Elaboración: Vicente Pérez Núñez

Para 1995, las concentraciones máximas de ozono en la ZMCM ya no alcanzaban niveles superiores a 0.400 ppm, sin embargo, la zona suroeste continuaba registrando la situación más crítica, las estaciones de monitoreo Plateros (PLA) y Pedregal (PED) y sus alrededores enfrentaron niveles entre 0.300 y 0.400 ppm, en el resto de la ciudad se llegaba a concentraciones entre 0.200 y 0.300 ppm (Figura 1.6).

**Figura 1.6 Distribución de las concentraciones máximas de ozono en el año 1995**

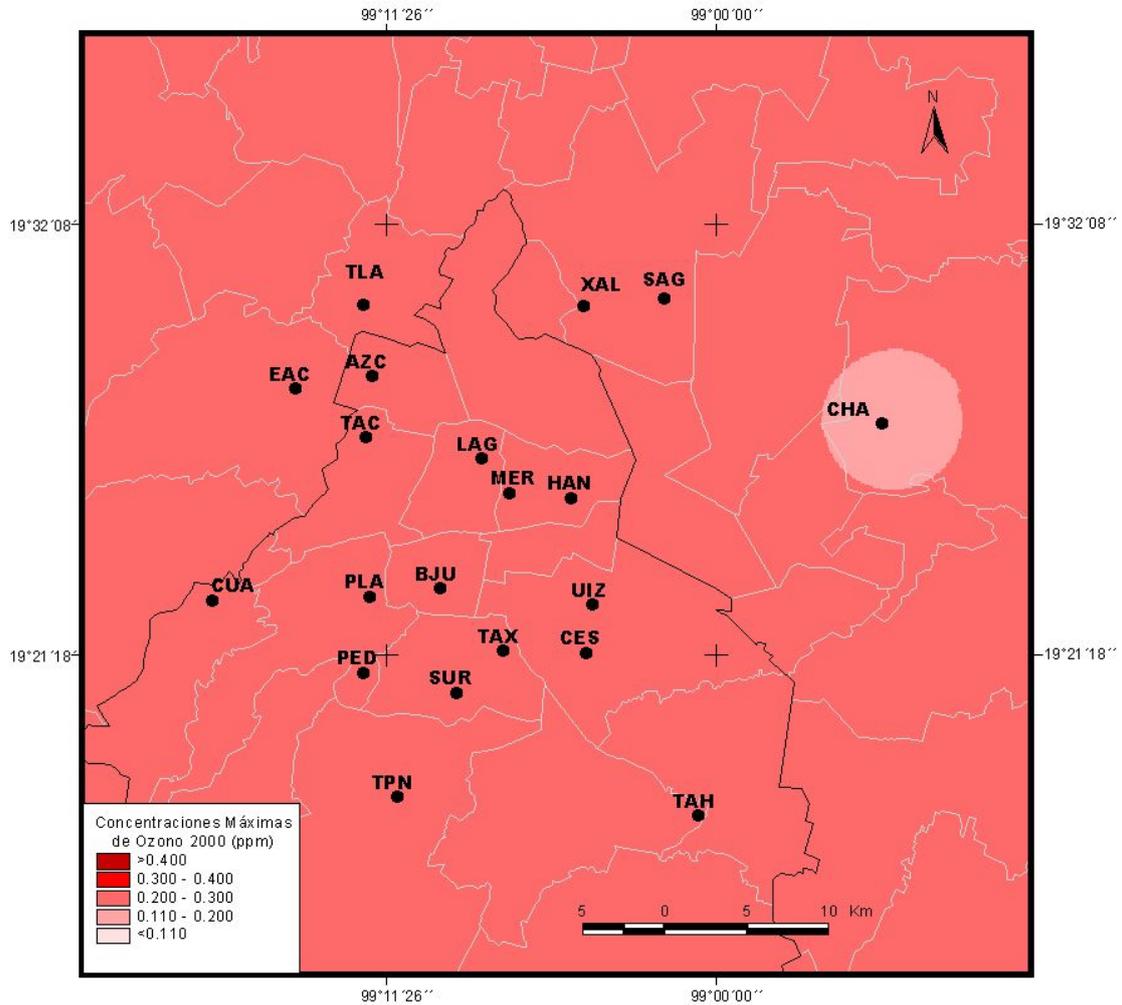


Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005

Elaboración: Vicente Pérez Núñez

En el año 2000, la concentración máxima registrada en la ZMCM no superaba las 0.300 ppm. Sin embargo, en gran parte de la ciudad las concentraciones de este contaminante excedían las 0.200 ppm, la estación de monitoreo ubicada en la Universidad Autónoma de Chapingo (CHA) es la única que registró valores menores a 0.200 ppm, la reducción de los altos niveles de concentración se alcanza paulatinamente, reduciendo así el peligro hacia la población (Figura 1.7).

**Figura 1.7 Distribución de las concentraciones máximas de ozono en el año 2000**

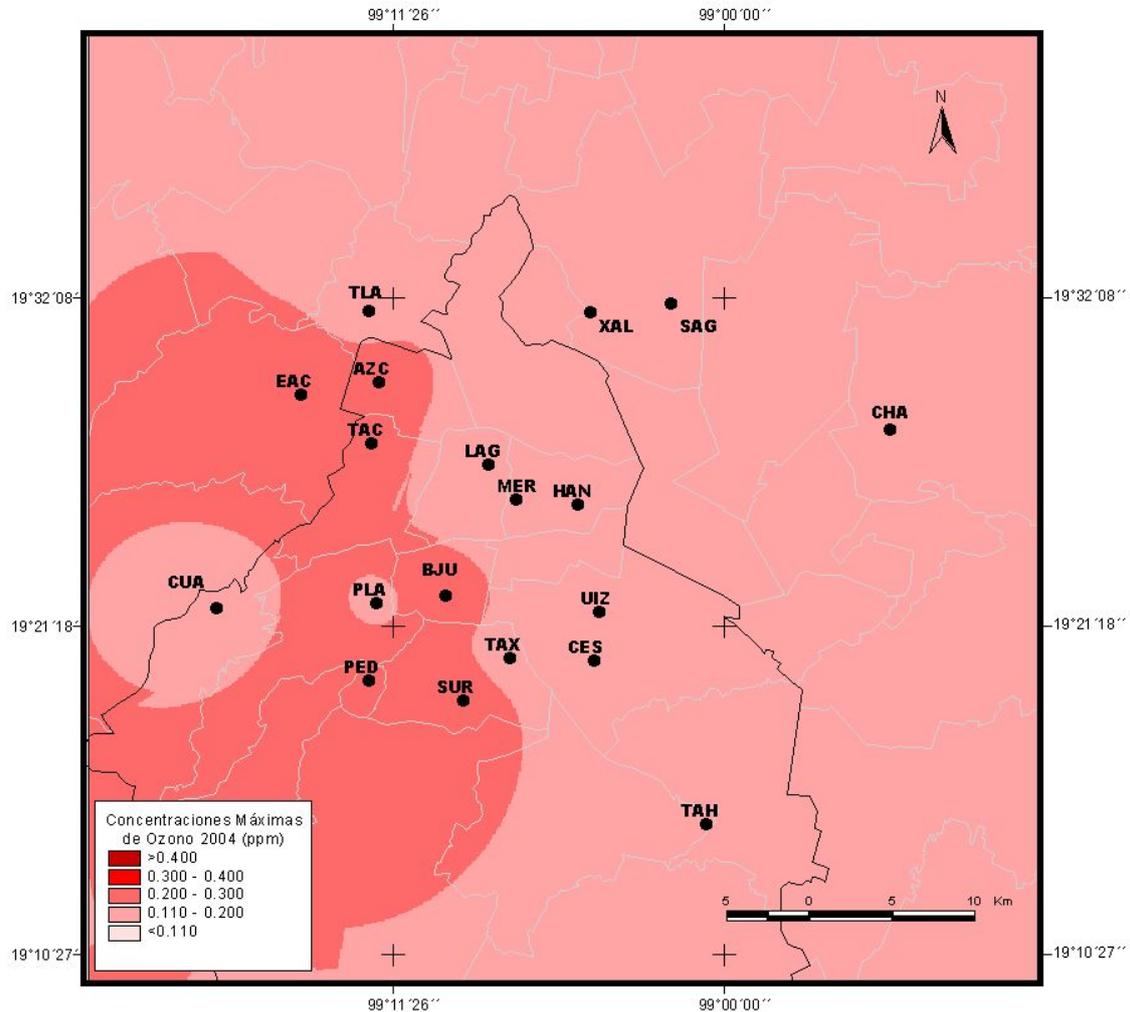


Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005

Elaboración: Vicente Pérez Núñez

Para el año 2004, las concentraciones superiores a 0.200 ppm se presentaron sólo en la zona suroeste, en el resto de la ciudad el ozono no superó este nivel, lo que permite observar que la tendencia de reducción es continua al menos hasta este año (Figura 1.8).

**Figura 1.8. Distribución de las concentraciones máximas de ozono en el año 2004**



Fuente: Gobierno del Distrito Federal 2005

Elaboración: Vicente Pérez Núñez

## 1.4 Un escenario actual de las concentraciones de ozono en la ZMCM

### 1.4.1.- Obtención y validación de datos de concentraciones de ozono en la ZMCM.

La información utilizada en este trabajo es obtenida del SIMAT, que registra concentraciones por medio de estaciones de monitoreo, en estos sitios se registran datos minuto a minuto y son sensibles a eventualidades aisladas, como puede ser el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, variaciones de voltaje en la red de energía o problemas con la red de comunicaciones que establecen contacto con un centro de control que recopila la información de toda la red de monitoreo.

Para validar la información es necesario revisar las bases minuto a minuto del periodo de estudio que se va a considerar, en este caso de 2000 al 2004, e identificar información basura o señalamientos que mandan los equipos de monitoreo, como puede ser un corte en la energía, toda esta información se elimina y se consolida una base con información únicamente de concentraciones de ozono.

Esta base de datos se valida con un criterio de suficiencia de información del 75%, como primer paso se valida de manera horaria, para que una hora sea válida tiene que tener al menos el 75% de los minutos con registros, para validar un día de información se aplica el mismo criterio. La validación de la base de datos fortalece la veracidad de la información con que se trabaja.

En este trabajo se utiliza como indicador diario de la calidad del aire la concentración máxima registrada, esto permite identificar la situación crítica de exposición.

Finalmente, se consolida una base de datos en la que se tiene la información máxima diaria de cada sitio de monitoreo del año 2000 al año 2004.

En la cuadro 1.4, se presenta el numero de días que se registraron en cada estación de monitoreo; un desempeño sin perdida de días sumaría 1827 registros durante el periodo de estudio.

**Cuadro 1.4 Registros por estación de monitoreo de 2000 a 2004**

EST	REGISTROS	%	EST	REGISTROS	%
LAG	1789	97.9	CES	1769	96.8
TAC	1787	97.8	PLA	1775	97.2
EAC	1691	92.6	HAN	1708	93.5
SAG	1722	94.3	UIZ	1731	94.7
AZC	1761	96.4	BJU	1773	97.0
TLA	1703	93.2	TAX	1735	95.0
XAL	1747	95.6	CUA	1657	90.7
MER	1744	95.5	TPN	1087	59.5
PED	1796	98.3	CHA	1627	89.1
SUR	1538	84.2	TAH	1736	95.0

Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005

Adicionalmente, se consideró la información de tres campañas de monitoreo móvil para delimitar condiciones de frontera de la información de calidad del aire realizadas en el año 2004. La información se relacionó con las estaciones de monitoreo cercanas y se estimaron años típicos para estos sitios que se ubicaron y registraron información en:

1. Río Frío (del 15 al 23 de Marzo de 2004), se localiza en el parteaguas oriente de la cuenca del Valle de México.
2. Cerro Catedral (4 al 25 de Mayo de 2004), se localiza en el parteaguas oeste de la cuenca del Valle de México.
3. Parres (del 9 de Agosto al 10 de Septiembre de 2002), se localiza en la zona sur de la ZMCM.

La información de las campañas de monitoreo móvil fueron realizadas por la unidad móvil del SIMAT, esta se emplea para realizar estudios de calidad del aire en zonas donde no se tienen instaladas estaciones fijas, la información recolectada ha servido de base para la ubicación de nuevas estaciones o estudios de fuente de emisiones de contaminantes. Esta unidad registra una serie de contaminantes entre los que destacan los llamados “criterio” que son los que se utilizan para determinar la calidad del aire en ambientes urbanos.

En un trabajo publicado por *Cicero et al* (2000) se delimitaron las condiciones de frontera de calidad del aire por ozono en la ZMCM, mediante el uso de seudo-estaciones en puntos geográficos donde no existen estaciones de monitoreo. Estos autores consideraron a las concentraciones medidas en la estación Chapingo que registra las concentraciones mínimas de la ciudad, para asignarlas a las seudo-estaciones y mejorar así la distribución espacial del ozono. En este trabajo se aplicó esta metodología con el mismo objetivo utilizando la información del sitio de monitoreo Río Frío.

En total, se consideró, la información de 31 sitios; 20 estaciones de monitoreo, 3 sitios de monitoreo móvil y 8 seudo-estaciones.

**Cuadro 1.5 Sitios de Monitoreo**

Nombre	Clave	Coordenadas LATITUD	Coordenadas LONGITUD	Nombre	Clave	Coordenadas LATITUD	Coordenadas LONGITUD
Lagunilla	LAG	19°26'36"	99°08'06"	Tlalpan	TPN	19°15'22"	99°11'02"
Tacuba	TAC	19°27'18"	99°12'08"	Chapingo	CHA	19°27'45"	98°54'14"
ENEP-Acatlán	EAC	19°28'54"	99°14'35"	Tláhuac	TAH	19°14'44"	99°00'36"
San Agustín	SAG	19°31'56"	99°01'47"	Santa Ursula	SUR	19°18'49"	99°08'58"
Azcapotzalco	AZC	19°29'20"	99°11'55"	Párres	PAR	19°09'14"	99°09'49"
Tlalnepantla	TLA	19°31'42"	99°12'15"	Cerro de Catedral	CAT	19°33'18"	99°31'12"
Xalostoc	XAL	19°31'39"	99°04'35"	Río Frío	RFO	19°20'59"	98°40'00"
Merced	MER	19°25'27"	99°07'09"	Plateros	PLA	19°22'01"	99°12'00"
Pedregal	PED	19°19'29"	99°12'13"	Hangares	HAN	19°25'18"	99°05'01"
Cerro de la Estrella	CES	19°20'09"	99°04'28"	UAM-Iztapalapa	UIZ	19°21'44"	99°04'16"
Benito Juárez	BJU	19°22'17"	99°09'34"				
Taxqueña	TAX	19°20'12"	99°07'23"				
Cuajimalpa	CUA	19°21'52"	99°17'29"				

Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005

#### **1.4.2.- Identificación de un año típico de concentraciones de ozono.**

La identificación de un año típico tiene como objetivo determinar las condiciones cotidianas de exposición a ozono a las que los habitantes de la ZMCM se enfrentan en la actualidad, para lograrlo se integró una base de datos de 5 años (2000-2004), considerando el máximo diario de concentración, esta metodología se ha utilizado en investigaciones que estiman el costo de la contaminación, posteriormente se realiza un muestreo sistemático para obtener sólo 365 datos de los 5 años de información.

La obtención del año típico de ozono en cada estación, se realizó de la manera siguiente:

1. A partir de las bases de datos anuales de concentraciones máximas diarias, se integra una base de datos para los 5 años (2000-2004). La pérdida o falta de información ocasiona que el número de registros varíe entre estaciones.
2. Esta base de datos se ordena de menor a mayor magnitud y se asigna un número consecutivo.
3. Se seleccionan los 365 datos que representaran al año típico, para lo cual se establece un indicador de selección a partir de la división del número total de registros entre 365. En el ejemplo sería,  $1798 / 365 = 4.926$  (Cuadro 1.6).

4. En la base de datos se ubica el número consecutivo que corresponde al valor del indicador de selección. En el ejemplo se considera el número entero 4.
5. Posteriormente se calcula la diferencia de las concentraciones que corresponden al número consecutivo seleccionado y el siguiente número consecutivo. En el ejemplo de la cuadro 1.6 sería la diferencia entre 0.012 y 0.011.
6. El resultado de la diferencia se multiplica por la parte decimal del indicador de selección y se adiciona a la concentración seleccionada. El resultado es la primera concentración que conforma el año típico. En el ejemplo sería  $(0.001 \times 0.926) + 0.011 = 0.0119$  (Cuadro 1.6).
7. Para identificar el resto de concentraciones del año típico, se adiciona al número consecutivo seleccionado al inicio, el valor del indicador de selección y se procede a definir la siguiente concentración del año típico como se describió anteriormente.

Cuadro 1.6 Selección de un año típico de ozono en la estación LAG

Base de datos de concentraciones máximas de Ozono en el período de 2000-2004			Base del año Típico			
Consecutivo	LAG			Indicador de selección	Valor en el año típico	
1	0.008		1	4.926	0.012	
2	0.011		2	$(4.926 + 4.926) = 9.852$	0.014	
3	0.011		3	$(9.852 + 4.926) = 14.778$	0.015	
4	0.011	<p>El indicador marca 4.926, se ubica en el número consecutivo 4.</p> <p>Se calcula la diferencia de concentraciones de los números 4 y 5.</p> <p>El resultado es 0.001 y se multiplica por 0.926, la parte decimal del indicador.</p> <p>El resultado se suma a la concentración 0.011, en este caso 0.0119, que corresponde a la primera concentración del año típico.</p>	4	19.704	0.019	
5	0.012		5	24.63	0.021	
6	0.012		6	29.556	0.022	
7	0.013		7	34.482	0.023	
8	0.013		8	39.408	0.024	
9	0.013		9	44.334	0.025	
10	0.014		10	49.26	0.027	
11	0.014		11	54.186	0.027	
12	0.014		12	59.112	0.029	
13	0.015		13	64.038	0.029	
14	0.015		14	68.964	0.030	
15	0.015		15	4.926	0.031	
16	0.015		16	9.852	0.032	
17	0.016		17	14.778	0.033	
18	0.017		18	19.704	0.034	
.	.			.	.	.
.	.			.	.	.
.	.			.	.	.
1798	0.268		365	1798	0.268	

Fuente: Estimación realizada con datos de calidad del aire del Gobierno del Distrito Federal, 2005

En el caso de la información de ozono registrada en campañas de monitoreo de corto tiempo, que se emplea para definir estaciones periféricas, la obtención del año típico se realiza de la manera siguiente:

1. Considerando las fechas en que se realizaron las campañas de monitoreo, se seleccionan para el mismo período de tiempo las bases de datos de las estaciones de monitoreo del SIMAT.
2. Se obtendrán indicadores de relación entre las concentraciones de ambas bases de datos.
3. Se aplicarán los indicadores de relación a la base de datos que conforma el año típico de cada estación, la cual representará al año típico de las concentraciones registradas en el lugar de la campaña de monitoreo.

### **Validación del año típico**

La validación del año típico se realizó mediante la comparación de la similitud de los indicadores estadísticos básicos como el máximo, el promedio y la desviación estándar del periodo de estudio (2000-2004), con los que representan al año típico, adicionalmente se analizaron los percentiles (90, 75, 50 y 25), para fortalecer la validación de la información que representa el escenario actual de concentraciones de este contaminante (Cuadro1.7).

**Cuadro 1.7 Año Típico por indicadores, periodo comparativo 2000-2004.**

Clave	Periodo 2000-2004							Año Típico						
	Prom.	Des. est.	Máx	Percentiles				Prom.	Des. est.	Máx	Percentiles			
				90	75	50	25				90	75	50	25
LAG	0.104	0.040	0.223	0.156	0.133	0.103	0.076	0.104	0.040	0.223	0.156	0.133	0.103	0.076
TAC	0.108	0.044	0.244	0.168	0.138	0.105	0.075	0.108	0.044	0.244	0.168	0.138	0.105	0.075
EAC	0.097	0.039	0.247	0.152	0.124	0.091	0.068	0.097	0.039	0.247	0.153	0.124	0.091	0.068
SAG	0.088	0.032	0.212	0.131	0.106	0.083	0.066	0.088	0.032	0.212	0.132	0.106	0.083	0.066
AZC	0.108	0.043	0.271	0.167	0.138	0.104	0.076	0.108	0.043	0.271	0.167	0.138	0.104	0.076
TLA	0.089	0.037	0.220	0.142	0.113	0.083	0.062	0.089	0.037	0.220	0.142	0.113	0.083	0.062
XAL	0.080	0.035	0.222	0.128	0.103	0.075	0.053	0.080	0.035	0.222	0.128	0.103	0.075	0.053
MER	0.101	0.039	0.218	0.152	0.129	0.101	0.074	0.101	0.039	0.218	0.152	0.129	0.101	0.074
PED	0.117	0.046	0.284	0.177	0.148	0.116	0.085	0.117	0.046	0.284	0.177	0.148	0.116	0.085
CES	0.090	0.033	0.205	0.132	0.114	0.091	0.066	0.090	0.033	0.205	0.132	0.114	0.091	0.066
PLA	0.113	0.045	0.279	0.173	0.145	0.112	0.080	0.114	0.045	0.279	0.173	0.146	0.113	0.080
HAN	0.097	0.037	0.247	0.144	0.122	0.097	0.072	0.097	0.037	0.247	0.144	0.122	0.097	0.072
UIZ	0.101	0.039	0.232	0.153	0.129	0.100	0.073	0.101	0.039	0.232	0.153	0.129	0.100	0.073
BJU	0.113	0.044	0.256	0.170	0.143	0.115	0.082	0.113	0.044	0.256	0.170	0.143	0.115	0.082
TAX	0.090	0.036	0.256	0.136	0.114	0.090	0.065	0.091	0.036	0.256	0.136	0.114	0.090	0.065
CUA	0.112	0.046	0.264	0.174	0.143	0.108	0.078	0.112	0.046	0.264	0.175	0.143	0.108	0.078
TPN	0.125	0.044	0.275	0.183	0.156	0.124	0.094	0.125	0.044	0.275	0.183	0.156	0.125	0.094
CHA	0.081	0.025	0.189	0.112	0.097	0.080	0.064	0.081	0.025	0.189	0.112	0.097	0.080	0.064
TAH	0.101	0.039	0.241	0.153	0.129	0.100	0.071	0.101	0.039	0.241	0.153	0.129	0.100	0.071
SUR	0.121	0.045	0.281	0.180	0.152	0.120	0.091	0.122	0.045	0.281	0.180	0.152	0.120	0.091

Fuente: Estimación realizada con datos de calidad del aire del Gobierno del Distrito Federal, 2005

Como se muestra en la figura 1.9, el año típico representa significativamente la información registrada durante el 2000 al 2004, los indicadores señalan los mismos niveles o varían de manera poco significativa.

La información seleccionada para representar un año típico de las concentraciones de ozono en la ZMCM y que representa un escenario actual de este contaminante se concentró en una base con 365 datos por estación de monitoreo.

**Figura 1.9 Validación del Año típico comparando Promedio y Máximos del periodo 2000-2004.**



Fuente: Estimación realizada con datos de calidad del aire del Gobierno del Distrito Federal, 2005

Para identificar las condiciones de exposición se consideraron dos indicadores del año típico, en primer lugar se identificó el “Máximo” de las concentraciones en cada estación, esto permite evaluar una situación crítica de contaminación del aire o la peor situación de exposición que se podría presentar a lo largo de un año típico, a este indicador se le conoce como “Maximo Maximorum”.

El segundo indicador que se consideró fue el “Promedio de las concentraciones máximas” que permite observar cual es el comportamiento continuo de las concentraciones a lo largo del año (Cuadro 1.8).

**Cuadro 1.8 Indicadores Máximo y Promedio del Año Base por estación**

Clave Estación	Promedio	Máximo
LAG	0.104	0.223
TAC	0.108	0.244
EAC	0.097	0.247
SAG	0.088	0.212
AZC	0.108	0.271
TLA	0.089	0.220
XAL	0.080	0.222
MER	0.101	0.218
PED	0.117	0.284
CES	0.090	0.205
PLA	0.114	0.279
HAN	0.097	0.247
UIZ	0.101	0.232
BJU	0.113	0.256
TAX	0.091	0.256
CUA	0.112	0.264
TPN	0.125	0.275
CHA	0.081	0.189
TAH	0.101	0.241
SUR	0.122	0.281

Fuente: Estimación realizada con datos de calidad del aire del Gobierno del Distrito Federal, 2005

#### **1.4.3.- Distribución espacial de concentraciones de ozono en un escenario actual.**

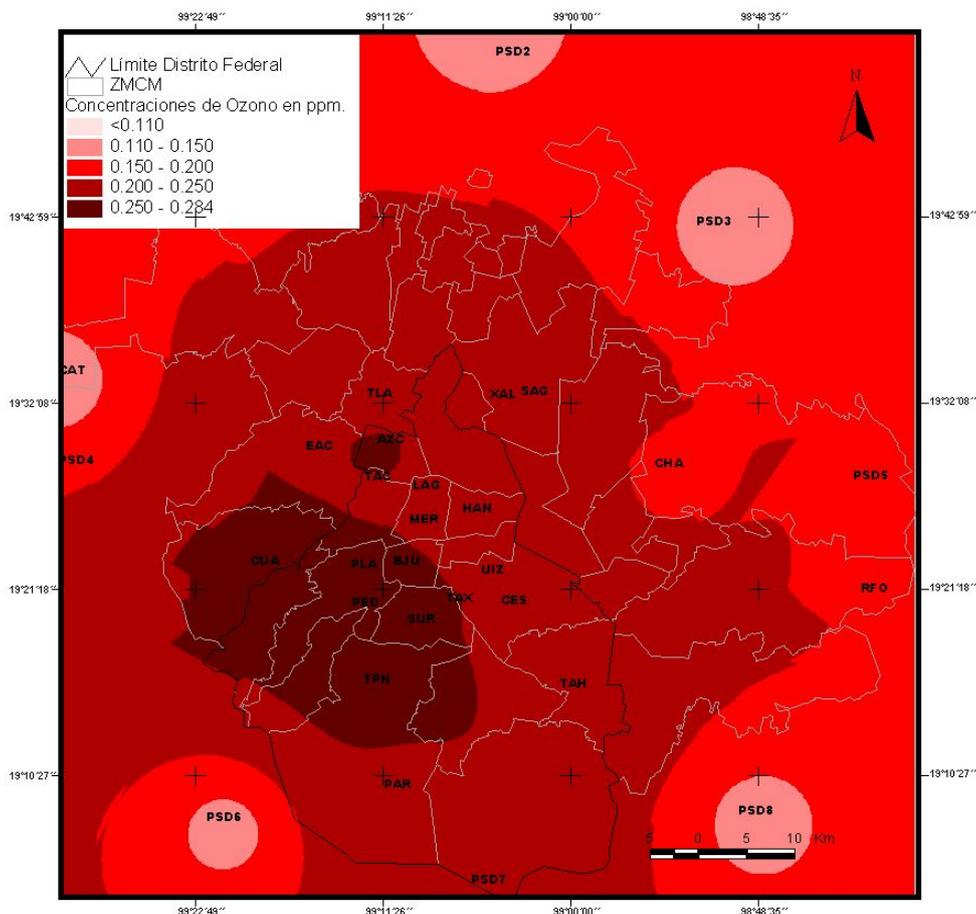
El monitoreo atmosférico en la ZMCM tiene un cobertura sólida. Sin embargo, para evaluar la exposición de la población a ozono es necesario identificar con mayor detalle las condiciones de calidad del aire a la que se exponen los habitantes de esta ciudad. Para lograrlo, se estimó la distribución de las concentraciones, lo que permite identificar las condiciones que se presentan en zonas específicas así como las características de la población que afecta.

Para estimar su distribución se interpolaron los indicadores “Máximo Maximorum” y el Promedio de los Máximos en cada una de las estaciones durante el año típico, con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica, estos dos indicadores permitirán identificar la exposición crítica y continua, respectivamente.

El límite de la interpolación con la que se estimó la distribución de este contaminante fue determinado por la ubicación de los sitios de monitoreo considerando como límite de frontera las pseudo-estaciones y la ubicación de

las campañas de monitoreo móvil situados en la periferia de la ciudad. En la figura 1.9 se observa la distribución de las concentraciones máximas de ozono en la ZMCM en un escenario actual donde se estima que los niveles que se presentan durante un año típico podrían llegar a 0.284 ppm en la zona sureste donde las condiciones de transporte eólico de contaminantes precursores del ozono y la intensa radiación solar son propicios para que se presenten reacciones fotoquímicas que favorecen la formación de este contaminante en la atmósfera. En el resto de la ciudad actualmente es posible que se presenten al menos una vez al año concentraciones por arriba del 0.150 ppm. Hay que considerar que el límite máximo permisible que establecen las normas oficiales de protección a la salud es de 0.110 ppm lo que evidencia el grave problema ambiental que representan estos niveles de contaminación atmosférica.

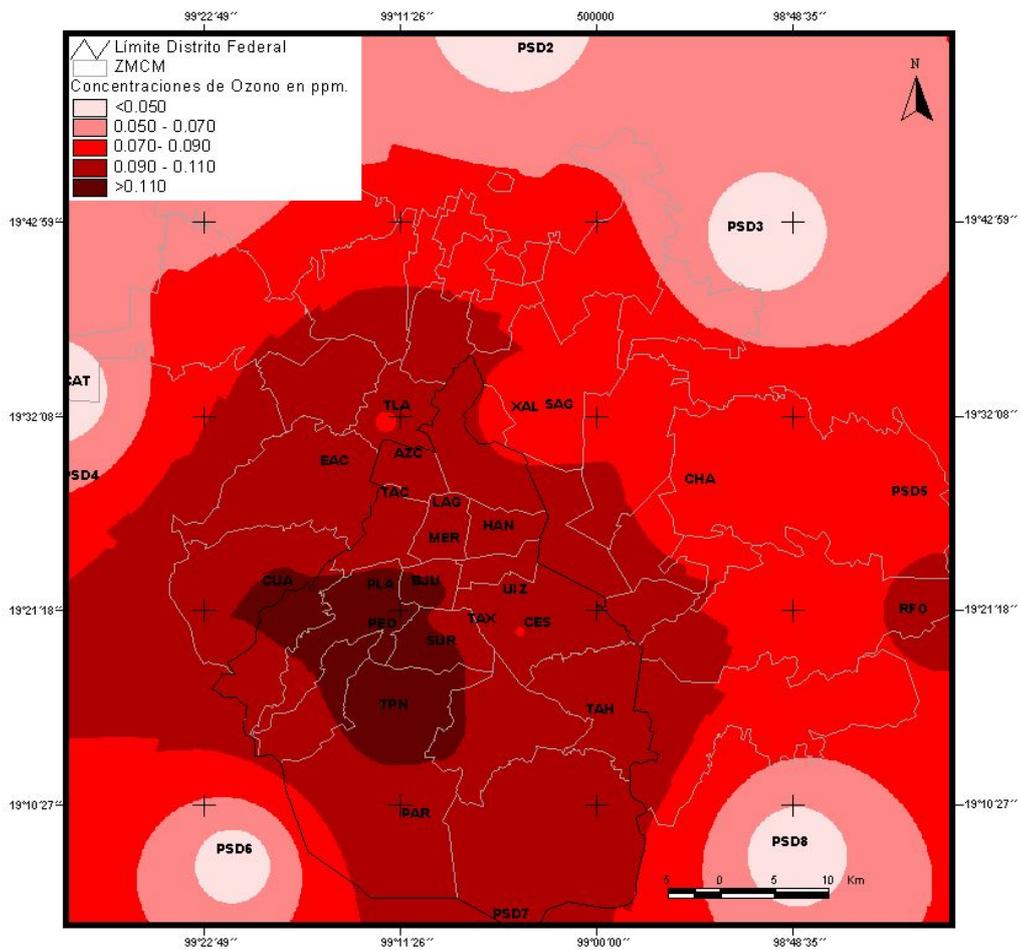
**Figura 1.9 Distribución de las concentraciones máximas de ozono en un escenario actual**



Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005 Elaboración: Vicente Pérez Núñez

La distribución de las concentraciones promedio durante un año típico permite observar que la zona suroeste presenta niveles superiores a la norma de calidad del aire, es de considerar que esta norma indica que sólo se puede exponer la población una hora al año a concentraciones por arriba de 0.110 ppm y que en esta zona es un promedio anual (Figura 1.10).

**Figura 1.10 Distribución de las concentraciones promedio de ozono en un escenario actual**



Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005 Elaboración: Vicente Pérez Núñez

## **1.5 Escenarios futuros de reducción de concentraciones**

### **1.5.1.- Escenarios futuros de reducción de concentraciones de ozono al año 2010.**

La evaluación de la exposición de los habitantes de la ZMCM en el futuro, tiene como supuesto fundamental que la contaminación del aire disminuirá como resultado de la efectividad en la implementación de las acciones desarrolladas de manera conjunta entre la población de la ciudad y el gobierno local.

Una de las razones que permite pensar en un escenario futuro de reducción es la disminución de emisión de los contaminantes precursores del ozono como los son el Dióxido de Nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Esta reducción se debe al continuo cambio de la flota vehicular que emite este tipo de contaminantes y que estará modernizándose hacia el año 2010.

Hasta 1998, el 37% de la flota vehicular total que circulaba en la ZMCM, era anterior a 1986, este tipo de autos se caracterizan por el uso de carburadores convencionales que favorecen la emisión de gases precursores, el 23.8% ya utiliza sistemas de inyección electrónica y son modelos entre 1986 y 1992, el 28.6% ya cuenta con un convertidor catalítico en modelos que van de 1992 a 1999, los sistemas electrónicos más eficientes de administración de combustible se encuentran en vehículos posteriores a 1994 y representan el 10.4%.

Entre las acciones que se han desarrollado en la última década es la aplicación de un plan general de gestión de la calidad del aire, actualmente se está aplicando el PROAIRE 2002-2010 que trabajan de manera conjunta los gobiernos del Estado de México y del Distrito Federal a través de la Comisión Ambiental Metropolitana, 2002.

Otra de las referencias que se tomaron en cuenta para proponer estos escenarios de reducción es un análisis realizado en California E.U.A. en el que se estimó la tendencia de este contaminante y se encontró un decremento del 24% en 18 años producto de estrictas medidas para reducir sus precursores (*California Air Recourses Borrada, 1999*).

Con base en este supuesto, se consideró que las concentraciones del año típico o escenario actual de ozono, disminuirán en el año 2010 en 10% y 20%, incluso se contempla el posible cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en su Norma Oficial Mexicana (NOM) de salud. La disminución de ambos contaminantes en cada estación de monitoreo en los 3 escenarios, se estimó de forma lineal a partir de las concentraciones del año típico.

En el cuadro 1.9 se presenta la reducción de las concentraciones Promedio y Máximas del Año Típico en un 10 y 20% en cada una de las estaciones de monitoreo.

**Cuadro 1.9 Escenarios de Reducción**

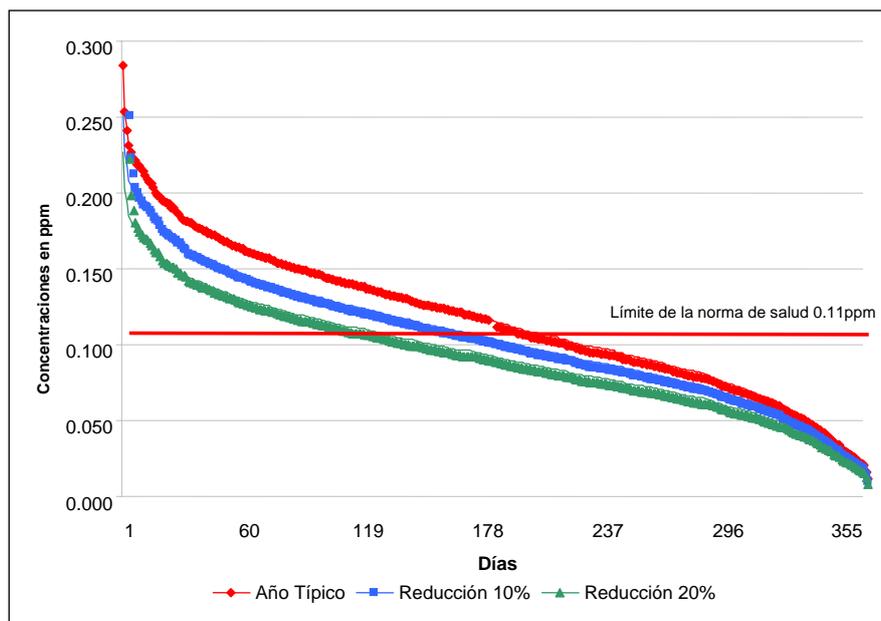
Clave Est	Escenario Actual		Escenarios futuros de reducción			
	Promedio	Máximo	Promedio en en ppm		Máximo en ppm	
			Reducción 10%	Reducción 20%	Reducción 10%	Reducción 20%
LAG	0.104	0.223	0.094	0.083	0.201	0.178
TAC	0.108	0.244	0.097	0.087	0.220	0.195
EAC	0.097	0.247	0.088	0.078	0.222	0.198
SAG	0.088	0.212	0.079	0.070	0.191	0.170
AZC	0.108	0.271	0.097	0.087	0.244	0.217
TLA	0.089	0.22	0.080	0.071	0.198	0.176
XAL	0.08	0.222	0.072	0.064	0.200	0.178
MER	0.101	0.218	0.091	0.081	0.196	0.174
PED	0.117	0.284	0.106	0.094	0.256	0.227
CES	0.09	0.205	0.081	0.072	0.184	0.164
PLA	0.114	0.279	0.102	0.091	0.251	0.223
HAN	0.097	0.247	0.087	0.078	0.222	0.198
UIZ	0.101	0.232	0.091	0.081	0.209	0.186
BJU	0.113	0.256	0.102	0.091	0.230	0.205
TAX	0.091	0.256	0.082	0.073	0.230	0.205
CUA	0.112	0.264	0.101	0.089	0.238	0.211
TPN	0.125	0.275	0.112	0.100	0.247	0.220
CHA	0.081	0.189	0.073	0.065	0.170	0.151
TAH	0.101	0.241	0.091	0.081	0.217	0.193
SUR	0.122	0.281	0.110	0.097	0.253	0.225

Fuente: Estimación realizada con datos de calidad del aire del Gobierno del Distrito Federal, 2005

La Figura 1.11 ilustra el comportamiento de ozono en la estación con niveles mayores en los 3 escenarios. En el caso de la estación Pedregal (PED), el análisis del ozono en el año típico indicó que hubo una concentración máxima de 0.284 ppm y que en 197 ocasiones tuvo valores superiores al límite de la NOM.

En el escenario de reducción del 10%, se estimó que el valor del límite de la NOM se superó en 161 ocasiones y en el escenario del 20% se estimaron 120 ocasiones. Para el cumplimiento de la NOM, se estimó que la concentración máxima de 0.284 ppm obtenida en el año típico, debería disminuir en 61.5% para cumplir con el límite de 0.11 ppm.

**Figura 1.11. Escenarios de Reducción Estación Pedregal del año típico**



Fuente: Estimación realizada con datos de calidad del aire del Gobierno del Distrito Federal, 2005

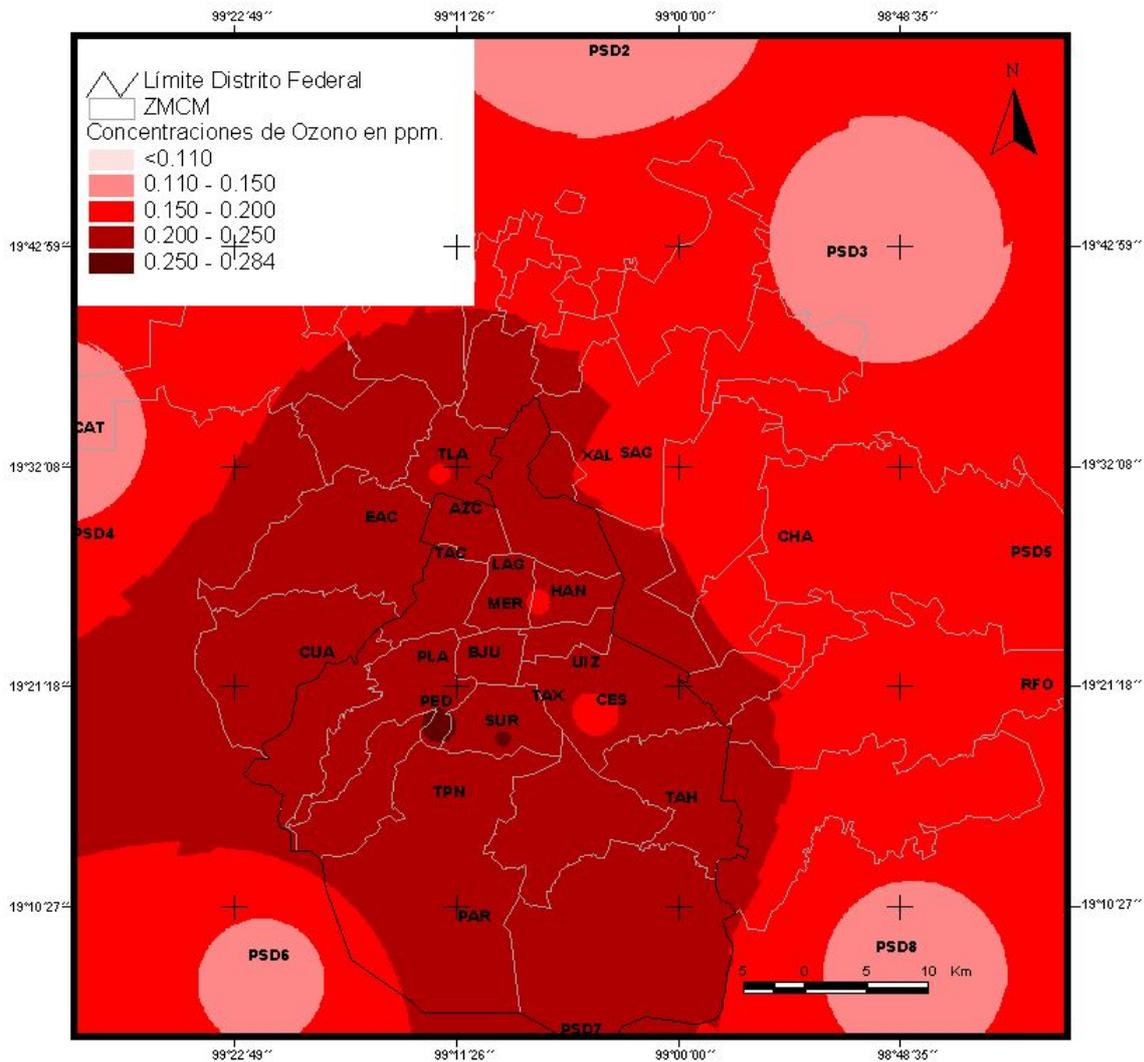
### 1.5.2.-Distribución espacial de concentraciones de ozono en escenarios de reducción al año 2010.

La distribución de las concentraciones en los escenarios de reducción permite estimar el comportamiento del ozono si se lograra reducir los niveles actuales. En este trabajo se consideran dos escenarios de reducción uno 10% y otro del 20%, como resultado de las acciones y la mejora en el parque vehicular de la ciudad (Ver 1.5).

En el caso de las concentraciones máximas que se estima que se podrían presentar con estos escenarios de reducción, se observa en la distribución espacial de las concentraciones (Figura 1.12) que con un decremento del 10%, las concentraciones superiores a 0.250 ppm sólo se presentarían en las cercanías de la estación Pedregal (Pedregal). Sin embargo, las

concentraciones superiores a 0.200 ppm se presentarían por lo menos una vez al año en el Distrito Federal; en el caso del Estado de México, las concentraciones máximas que se podrían presentar estarían por debajo de este nivel, ya que la influencia de los vientos dominantes en la ciudad disminuyen la posibilidad de su formación en la atmósfera (figura 1.12).

**Figura 1.12 Distribución de las concentraciones máximas de ozono en un escenario de reducción del 10%.**

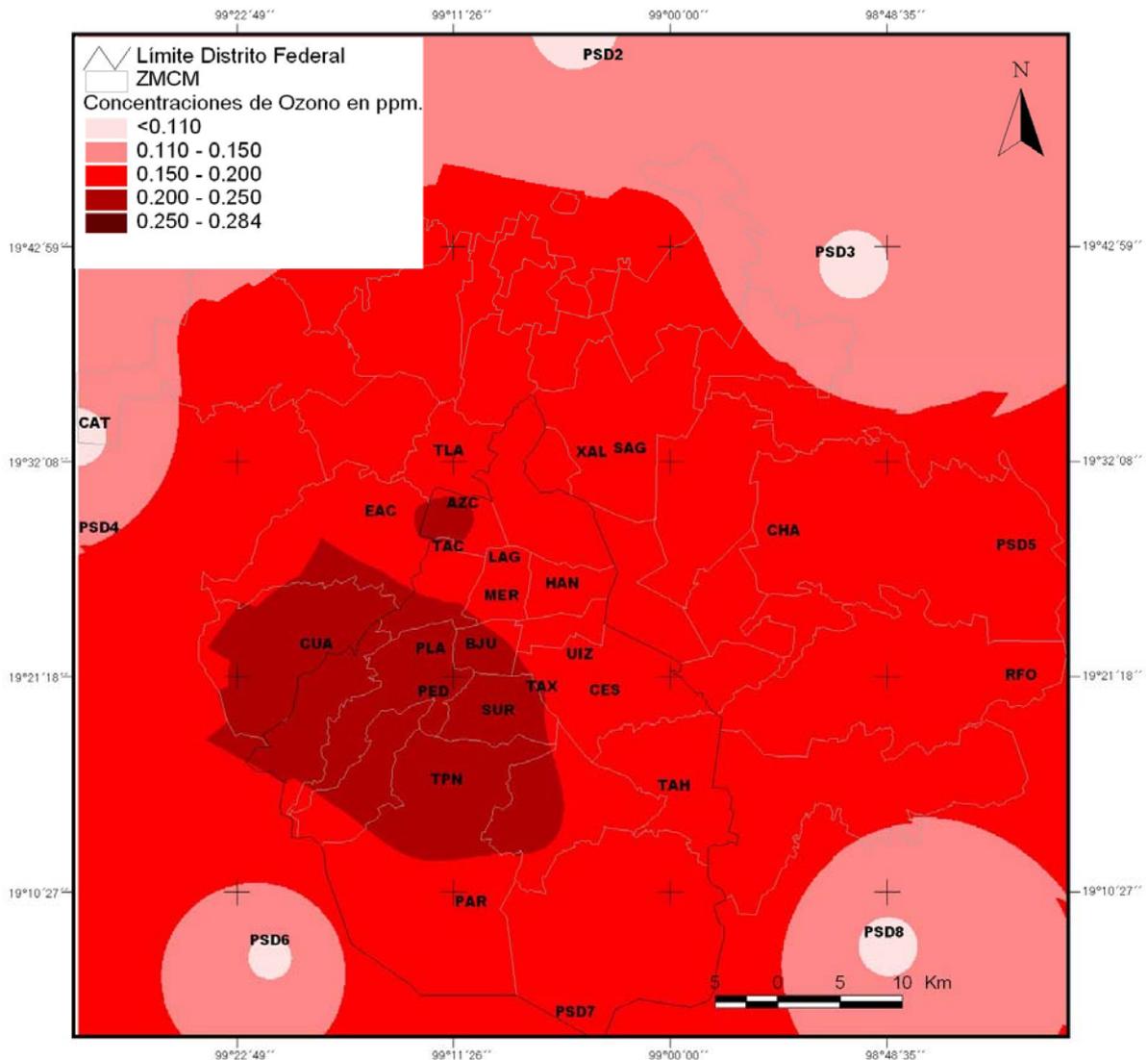


Fuente: Elaboración: Vicente Pérez Núñez con base en información de la Secretaría del Medio Ambiente, 2005

Con la reducción del 20%, se estima que la posibilidad que se presenten concentraciones por arriba de 0.250 ppm se anula. Sin embargo, en el suroeste de la ciudad al menos una vez al año se estiman niveles superiores a 0.200 ppm. En la figura 1.13, se observa que aun con esta reducción sólo en las

estaciones situadas en la periferia se lograrían condiciones dentro de la norma de salud, en toda la ZMCM se estima que el cumplimiento de esta norma sólo se lograría con una reducción más agresiva aproximadamente del 60%.

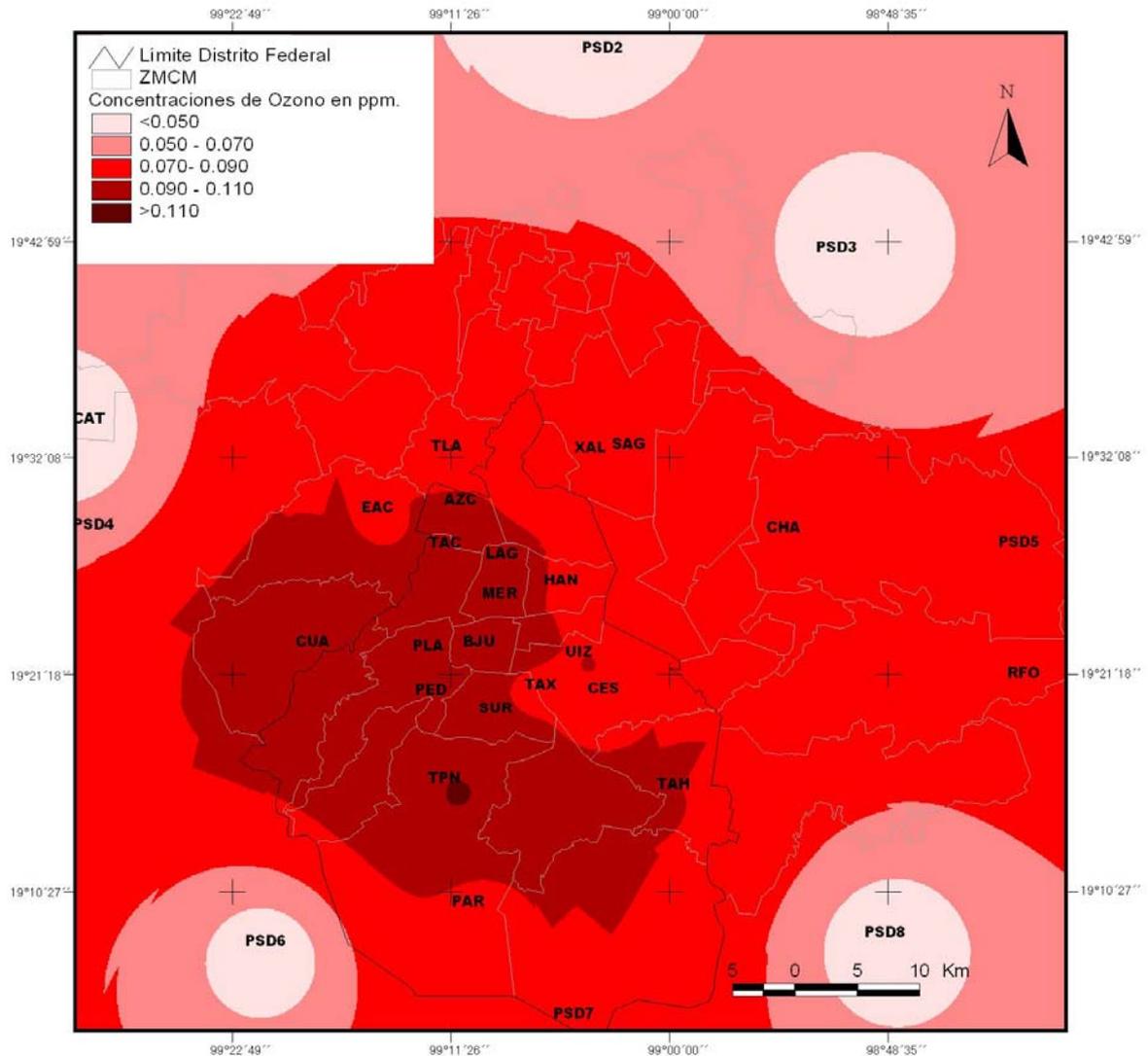
**Figura 1.13 Distribución de las concentraciones máximas de ozono en un escenario de reducción del 20%.**



Fuente: Elaboración: Vicente Pérez Núñez con base en información de la Secretaría del Medio Ambiente, 2005

En el escenario de reducción donde se contempla el promedio máximo de las concentraciones de ozono para estimar la exposición continua, se observó que con la disminución del 10%, las concentraciones por arriba de 0.110 ppm disminuyeron considerablemente y sólo se presentan en las cercanías de la estación Tlalpan (TPN). En la figura 1.14, se identifica que en el Distrito Federal se presentan condiciones menos favorables de calidad del aire que en el Estado de México al menos para este contaminante.

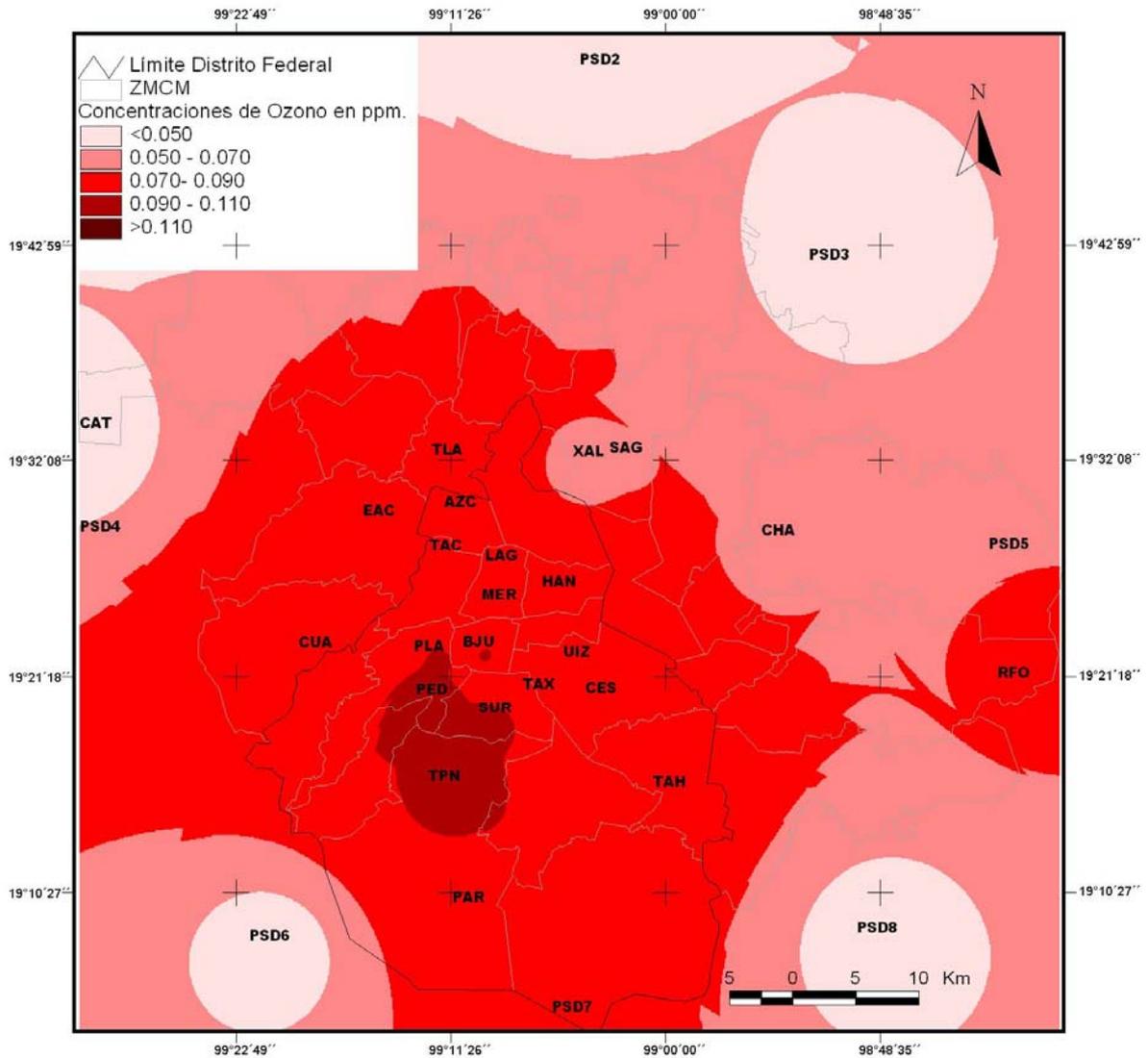
**Figura 1.14 Distribución de las concentraciones promedio de ozono en un escenario de reducción del 10%.**



Fuente: Elaboración: Vicente Pérez Núñez con base en información de la Secretaría del Medio Ambiente, 2005

Con la reducción de las concentraciones en un 20% para este indicador se identificó que las concentraciones por arriba de 0.110 ppm ya no se presentarían y que las concentraciones entre 0.090 y menores a 0.110 sólo se ubicarían en la zona suroeste de la ciudad. Es de señalar que el resto de la ciudad presentaría concentraciones por debajo de 0.090 ppm, lo que implica una significativa mejoría en la calidad del aire y en la calidad de vida de la población (figura 1.15).

**Figura 1.15 Distribución de las concentraciones promedio de ozono en un escenario de reducción del 20%**



Fuente: Elaboración: Vicente Pérez Núñez con base en información de la Secretaría del Medio Ambiente, 2005

Finalmente, se asignó un valor de concentración a cada Área Geoestadística Básica (AGEB), promediando los valores obtenidos de la distribución espacial del ozono para los escenarios actual y futuro de reducción de concentraciones, que se estimaron dentro de la delimitación de cada AGEB, esto permitirá relacionarlo con la información de población contenida en el Capítulo 2.

## **Capítulo 2 - Dinámica de la Población en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México**

*La organización del espacio es un acontecimiento para responder a las  
necesidades de la comunidad local, del mosaico constituido por el espacio  
bruto diferenciado.*

*Pierre George, 1970*

## **Capítulo 2 Dinámica de la Población en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México**

### **2.1 Dinámica del poblamiento de la Ciudad de México 1900-2000.**

El segundo componente para evaluar la exposición es la población, ya que sobre ésta se ven reflejados los daños que pueden causar la presencia de contaminantes en la atmósfera.

Para evaluar esta componente es necesario revisar la dinámica del crecimiento de la ciudad. En la actualidad, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es una de las concentraciones urbanas más grandes en el mundo y desde la época prehispánica ha sido el centro de la vida social, política y económica de la región.

La dinámica del crecimiento de la población del Distrito Federal y su Zona Metropolitana se puede explicar en cuatro grandes periodos en el siglo pasado: primera etapa 1900-1930, formación y crecimiento de la ciudad central; segunda etapa 1930-1950, bases para el crecimiento metropolitano; tercera etapa 1950-1970, proceso metropolitano, y cuarta etapa 1970-2000, transición demográfica.

El crecimiento poblacional que se presentó durante el Siglo XX es particularmente acelerado, en los inicios del siglo pasado (1900) el número de habitantes en esta ciudad era de 300 mil, y la superficie urbana en la que se desarrollaba apenas superaba las 2 mil hectáreas. Después de la Revolución, en 1930 se tenía ya un registro de mas de 1 millón de personas. En términos generales, la característica de esta etapa es que el área urbana casi se circunscribe a los límites del área central, hasta que en 1930 la ciudad inicia su expansión hacia fuera del núcleo central (*Unikel, 1978*).

En la década de los treinta se presenta el inicio del segundo periodo de crecimiento demográfico y de expansión física del área urbana, la ciudad ocupó el territorio de las delegaciones Coyoacán y Azcapotzalco, lo cual representa un proceso de desconcentración de comercios y servicios del centro a la periferia intermedia de la ciudad.

En la segunda etapa de este proceso urbano, el crecimiento poblacional de las delegaciones que se encontraban fuera del centro fue superior, con tasas por arriba del 5.4% anual y llegó al 10.4% a final de la década de los 40.

Es de destacar que durante esta época se promulga la primera Ley de Población en México (1936), en la que se pretende disminuir las tasas de mortalidad, así como fomentar el crecimiento natural de la población

Para la tercera etapa, el proceso de urbanización que se estaba dando en la capital del país se favoreció por el auge económico de la post guerra. En 1950, la población llegaba a 3 millones de personas y comenzaba a conformarse la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, con la integración de Tlalnepantla a la dinámica urbana, más tarde en la década de los 60 se integrarían Naucalpan, Chimalhuacan y Ecatepec, en los que se desarrolló de manera importante la actividad industrial.

Para la década de los 60, la superficie urbanizada ya superaba las 40 mil hectáreas y el número de habitantes superaba los 5 millones, la expansión urbana comenzaba a absorber pequeños pueblos ubicados en la periferia de la ciudad como: Cuajimalpa, Tlalpan y Xochimilco y, para 1970, Milpa Alta, en este año la población era de 8.5 millones.

Entre las décadas de los 60 y 70 el proceso de conurbación avanzaba y se integraban los municipios de Netzahualcóyotl, La Paz, Atizapán de Zaragoza, Tultitlán, Coacalco, Cuautitlán y Huixquilucan en donde las tasas de crecimiento poblacional alcanzaron el 14% anual. Adicionalmente durante este periodo la migración de otros estados de la República se incrementó significativamente por la oferta de trabajo de las nuevas industrias situadas principalmente en los municipios conurbados del Estado de México.

La década de los 80 es sin duda el periodo de crecimiento más importante ya que se duplicó la población respecto a la década pasada, esto también provocó la demanda de servicios urbanos, así como una fuerte presión por demanda de viviendas, ésto consolidó el proceso de metropolización con 21 municipios del Estado de México, durante este periodo uno de cada diez habitantes del país vivían en esta capital.

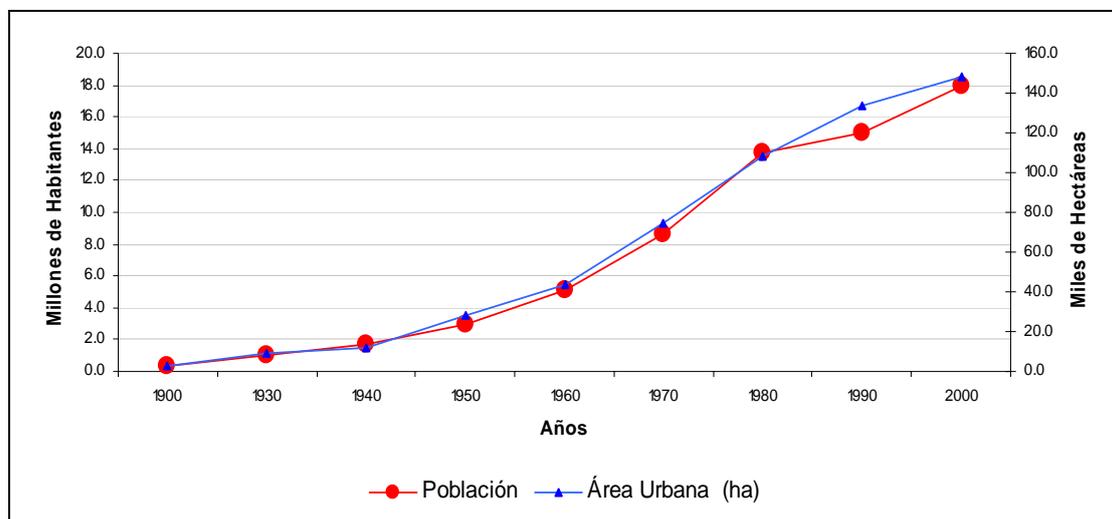
La dinámica urbana desencadenó en la ocupación de territorios anteriormente utilizados para la agricultura, principalmente en el sur del Distrito Federal. El impacto ecológico no solo se presentó en el suelo, la necesidad de transporte dentro de la ciudad también significó altos niveles de concentración de contaminantes atmosféricos provocando una fuerte crisis ambiental.

Para 1990, la población llegó a los 15 millones de habitantes, y ya eran 28 los Municipios que se consideran parte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en una superficie superior a las 130 mil hectáreas, hay que destacar que a partir de esta década el crecimiento poblacional ha disminuido considerablemente. Sin embargo, la demanda de servicios se ha acelerado, un ejemplo de esto es que el 76% de las viviendas construidas fueron sobre suelo de conservación (PNUMA 2002).

En 1995, el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) encontró que el crecimiento de la ciudad continuaba. Sin embargo, se identificó que las delegaciones centrales del Distrito Federal (Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Benito Juárez y Venustiano Carranza) presentaban una tasa de crecimiento negativa.

Para el año 2000, el número de habitantes la ZMCM superan los 17 millones y la superficie identificada como área urbana llega a las 147 mil hectáreas que comprenden las 16 Delegaciones del Distrito Federal y 36 Municipios del Estado de México (Figura 2.1).

**Figura 2.1 Crecimiento de la ZMCM y su población 1900-2000**

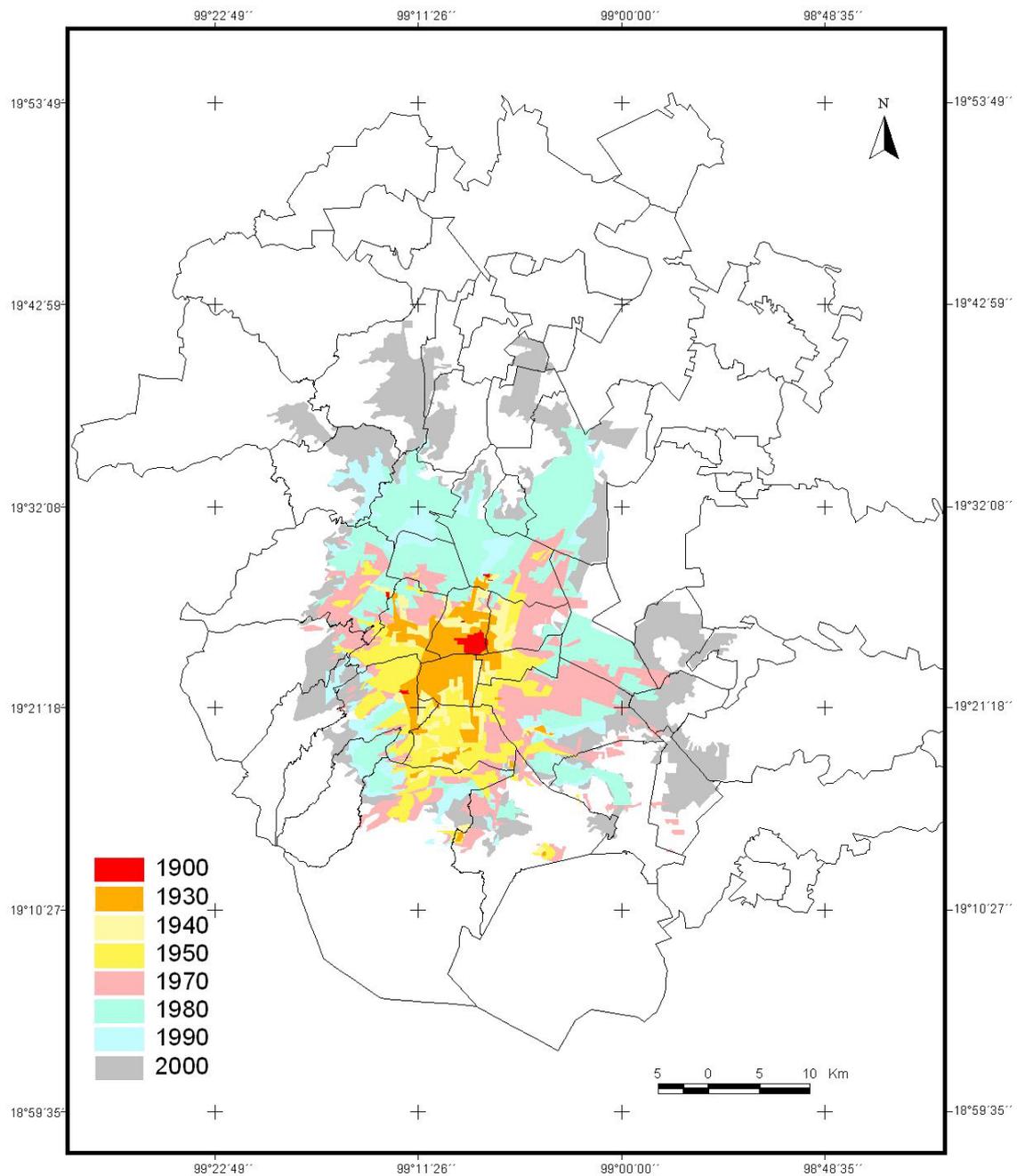


Fuente: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2000

En la actualidad se considera que la mitad de la población de la Zona Metropolitana de la Ciudad México vive en el Distrito Federal y la otra mitad en los municipios conurbados del Estado de México, que en estudios de dinámica urbana se ha llegado a integrar hasta 58 municipios (SEDESOL, 2006).

En la figura 2.2 se presenta el crecimiento espacial que ha presentado la ZMCM desde 1900 hasta el año 2000, en la que se puede observar el acelerado proceso de conurbación con los municipios del Estado de México y la tendencia hacia una Megalópolis futura con ciudades de otros estados como Puebla, Pachuca o Querétaro.

**Figura 2.2 Crecimiento urbano de la ZMCM 1900-2000**



Fuente: Geo Ciudad de México- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2003 Elaborado por Vicente Pérez Núñez

El crecimiento urbano en esta década se presenta en varias directrices; por un lado, continúa el crecimiento y consolidación de asentamientos irregulares, en el año 2000 se registraron más de 1800 de los cuales fueron regularizados 868 y, por otro lado, el crecimiento sobre ejes carreteros como Querétaro, Puebla y Pachuca donde si bien existen asentamientos irregulares también se han desarrollado conjuntos habitacionales con los servicios urbanos requeridos (Figura 2.3).

Figura 2.3 Crecimiento urbano sobre ejes carreteros  
"Ixtapaluca Estado de México"



Fuente: Servidor de Mapas Google Earth -2006

## ***2.2 Distribución espacial de la población.***

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México se ha caracterizado por un cambio en la distribución territorial de su población, originalmente el centro de la ciudad fue la zona que agrupaba la mayor densidad, en 1950 las delegaciones céntricas como Benito Juárez, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza concentraban el mayor número de habitantes, especialmente la delegación Cuahutémoc la cual concentraba el 34% de la población total de la ciudad y en su conjunto estas cuatro delegaciones representaban el 79% de la población de la ciudad.

La periferia de la ciudad en estos años estaba conformada por delegaciones como Azcapotzalco, Gustavo A. Madero y Álvaro Obregón que difícilmente llegaban al 15% del total de los habitantes.

Para la década de los 60 comenzó un cambio importante, ya que la población fue buscando nuevos sitios para vivir en la periferia y las delegaciones que en la década pasada representarían el 79% de la población total de la población sólo representarían el 58%.

Esta tendencia del abandono del centro de la ciudad continua en el década de los 70 donde se integran las delegaciones Iztacalco e Iztapalapa las cuales se convirtieron en receptoras preferenciales de la gente que venía de las zonas céntricas. Para la década de los 80 y principios de los 90, las delegaciones vecinas del centro comenzaron a presentar el mismo proceso de expulsión, delegaciones como Azcapotzalco, Gustavo A. Madero e Iztacalco tuvieron tasas de crecimiento bajas, en contraste las delegaciones de la periferia como Cuajimalpa, Milpa Alta, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco tuvieron un importante crecimiento poblacional. En este periodo se consolidó la delegación Iztapalapa y para 1990 ya vivían en esta demarcación 2 de cada 10 habitantes de la ciudad.

En el caso de los municipios conurbados del Estado de México, el crecimiento se vio favorecido por esta expulsión del centro de la ciudad y la constante migración hacia esta ciudad de habitantes de otras entidades, en la década de los 80 se consolidaron municipios como Nezahualcoyotl y Cuautitlán.

A partir de la década de los 90, la presión por demanda de vivienda provocó la invasión de zonas de alto riesgo o zonas protegidas por su valor ecológico, que fueron cediendo por la presión de actores sociales y políticos. Al sur, delegaciones como Tlahuac, Milpa Alta o Xochimilco, continuaron con un crecimiento significativo. En el caso de los municipios del Estado de México uno de los ejemplos más importantes de la consolidación urbana, es el municipio de Chalco.

La distribución de la población en la actualidad se estima en este trabajo considerando la información obtenida del Censo General de Población y Vivienda 2000, esta información se obtuvo a nivel de Área Geoestadística Básica o AGEB, que es la base del Marco Geoestadístico Nacional diseñado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), con el propósito de captar, organizar, analizar, representar y almacenar la información estadística que generan los censos y encuestas que realiza.

Esta información se integró a un Sistema de Información Geográfica (SIG), para su manejo y se resumió a nivel de delegación o municipio para su mejor comprensión.

En el Figura 2.4 se presenta la distribución territorial de la población en el año 2000, en esta imagen, se puede observar que la tendencia de despoblamiento del centro de la ciudad ha continuado. En el Distrito Federal, la delegación que presenta el mayor número de habitantes es Iztapalapa donde viven cerca de un millón 800 mil personas, otra delegación que supera el millón de habitantes es Gustavo A. Madero.

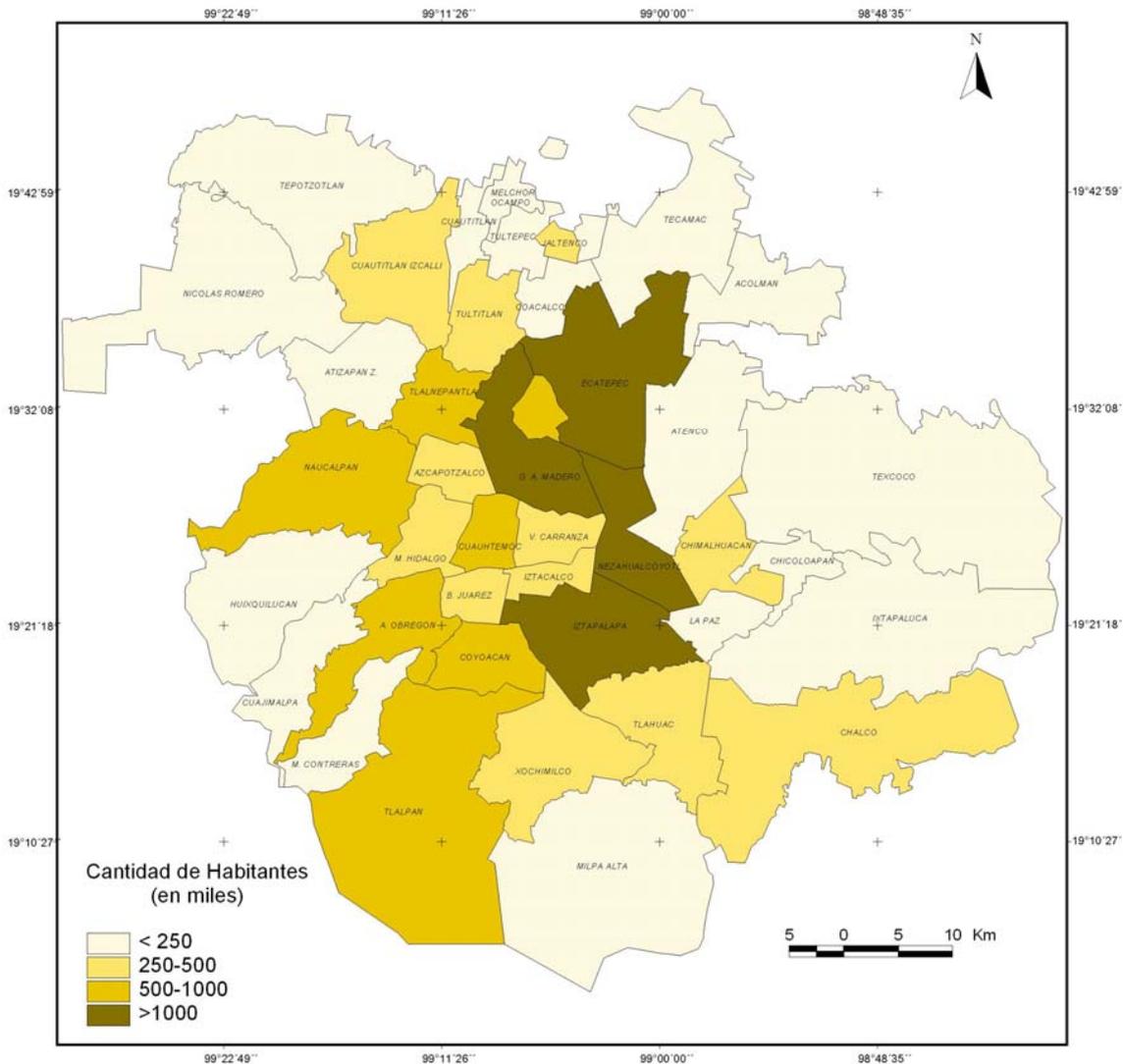
En el centro se observan delegaciones con población menor a los 500 mil habitantes, una de las consecuencias de este despoblamiento del centro de la ciudad es la sobre oferta de servicios, en la actualidad se están aplicando diversos programas de reactivación de la vivienda en estas delegaciones, generalmente enfocados a desarrollos habitacionales por arriba de la llamada vivienda de interés social, hasta desarrollos de alto nivel adquisitivo.

En el caso de las delegaciones del sur (Tlalpan, Xochimilco, Álvaro Obregón), hay que considerar que la población se concentra al norte de las mismas, en el sur de estas demarcaciones se encuentran las zonas de reserva ecológica de la ciudad y existe una gran presión para transformarlas en nuevos asentamientos urbanos.

En el caso del estado de México, los municipios donde se concentra un mayor número de habitantes son: Nezahualcoyotl y Ecatepec con más de un millón de personas. Al este de la ZMCM se encuentran los municipios de Naucalpan y Tlalnepantla con poblaciones cercanas al millón de habitantes; en estos municipios se destaca la consolidación del equipamiento urbano.

Los municipios con una menor cantidad de habitantes se encuentran en la periferia de la ZMCM.

**Figura 2.4 Distribución territorial de la población en el año 2000.**



Fuente: INEGI, 2000

En este trabajo se identificó la distribución actual de la población, este análisis consistió en ubicar geográficamente a la población que habita en la ZMCM, con la finalidad de asignarles la estimación de las concentraciones de ozono obtenidas mediante la interpolación presentada en el capítulo 1.

La información poblacional se desagregó a nivel de AGEB, para cada delegación del Distrito Federal (DF) o municipio conurbado del Estado de México (MCEM), esto implicó conformar una base de datos con 4,531 AGEBS, desagregados por población total y grupos de edad. La información para integrar esta base de datos provino del Censo General de Población y Vivienda 2000, Sistema de Consulta de Información Censal – SCINCE - para el Distrito Federal y el Estado de México (2000).

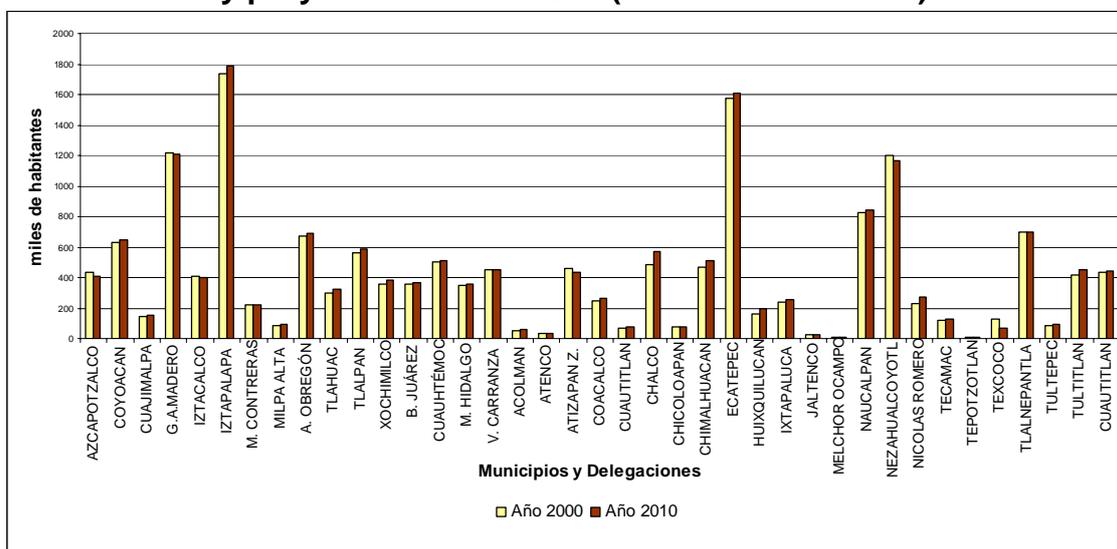
### 2.3 Proyección de la población al año 2010.

Con el fin de obtener un escenario futuro de exposición fue necesario estimar la población que estaría expuesta a condiciones futuras de calidad del aire, para lograrlo, en este trabajo se utilizaron las proyecciones presentadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2004), en la que se estima la población año por año del 2001 al 2030, en el presente trabajo se seleccionó la información correspondiente al año 2010, para confrontarlo con la calidad del aire estimada dentro del *PROAIRE 2000-10* y de la cual se construyen escenarios en el capítulo 1.

Para obtener estas proyecciones a nivel de AGEBS se aplicó la tasa de crecimiento municipal, estimada por CONAPO de manera lineal, la metodología es utilizada por esta organización para análisis de diversos estudios demográficos.

Los resultados se obtuvieron a nivel de AGEBS, esto permite confrontarlo de manera directa con los datos de calidad del aire mediante un SIG, finalmente la información se presenta a nivel delegación o municipio para facilitar su comprensión.

**Figura 2.5 Población por delegación o municipio año 2000 y proyección al año 2010 (Miles de habitantes)**



Fuente: INEGI, 2000 y CONAPO, 2004

En la figura 2.5 se presenta la población por delegación o municipio en el año 2000 así como una estimación a esta escala para el año 2010, en esta imagen se puede observar que el crecimiento es variable y se observa que en el DF, el crecimiento es menos significativo que en los municipios del estado de México

a excepción de Nezahualcoyotl que presenta un ligero decremento en su población.

Los programas de población del Distrito Federal establecen un plan de trabajo en el que la meta es aumentar ligeramente el crecimiento poblacional sin descuidar una distribución geográfica adecuada de la población, la cual está establecida de manera organizada en el Programa General de Desarrollo Urbano.

#### ***2.4 Identificación de grupos de población vulnerables y grupos de riesgo***

Una de las características de este trabajo es la identificación de grupos de población vulnerable, en el escenario actual y en un escenario futuro, esto permitirá establecer cuántas personas de estos grupos están expuestas a condiciones adversas para su salud por la calidad del aire que respira.

Un grupo vulnerable se define como aquellas personas que por sus características intrínsecas (edad, salud, etc) no pueden hacer frente a una adversidad sin ver afectada su estabilidad.

Dentro de este grupo vulnerable se considera en este trabajo a los adultos mayores de 65 años y a los niños menores de 15 años, que en amplias investigaciones sobre los efectos de la contaminación atmosférica han presentado síntomas de manera rápida. Se ha encontrado que en este grupo de individuos se exacerban síntomas como bronquitis, asma o enfermedades cardíacas.

Las razones generales de estos síntomas se deben en gran medida a la incapacidad de los sistemas inmunológicos de los individuos dentro de estos rangos de edades a contrarrestar la toxicidad del ambiente, en el caso de los adultos mayores el deterioro del organismo impide generar los agentes protectores para esta situación adversa y en el caso de los niños la formación de su sistema de defensa no está preparado para tal adversidad.

Generalmente estos grupos tienen poco contacto con concentraciones directas de ozono ya que cotidianamente se mantienen en interiores, pero existe otro grupo de individuos que si bien no son tan vulnerables si presentan un alto riesgo.

El grupo de alto riesgo está constituido por individuos que se encuentran entre edades mayores a 15 años y los menores a 65, estos individuos representan generalmente la población económicamente activa, que son, personas que circulan diariamente por la ciudad, que se transportan hacia sus trabajos o actividades diarias.

Estas personas permanecen como mínimo 4 horas en exteriores, independientemente de su actividad, este tiempo de exposición aumenta el riesgo que se presenten efectos en salud por el contacto con concentraciones de contaminantes atmosféricos.

En este trabajo se identificaron 6 grupos de edad, para el escenario actual representado por la información poblacional del año 2000 y para el escenario futuro representado por el año 2010.

Estos grupos se han utilizado en investigaciones sobre calidad del aire y efectos a la salud realizados en la Universidad de California en los Estados Unidos.

En el cuadro 2.1 se presentan estos grupos y una asociación con el tipo de población que representa.

**Cuadro 2.1 Definición de grupos de edad**

<b>Grupo de edad</b>	<b>Población que representa</b>
Población menor a 1 año	Maternal
Población de 1 a 5 años	nivel pre-escolar
Población de 6 a 11 años	nivel primaria
Población de 12 a 14 años	nivel secundaria
Población de 15 a 64 años	población económicamente activa
Población de 65 años en adelante	adultos mayores

Fuente: GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2005

Al observar la composición de la población se identifica que en general el número de habitantes crecerá 10.25% del año 2000 al 2010 y que su estructura por grupos de edades cambiará.

En el año 2010, la población con edades entre uno y 14 años disminuirá en proporción a la del año 2000, lo cual se puede asociar con el cambio en el número de hijos que se desean en la actualidad (Figura 2.6).

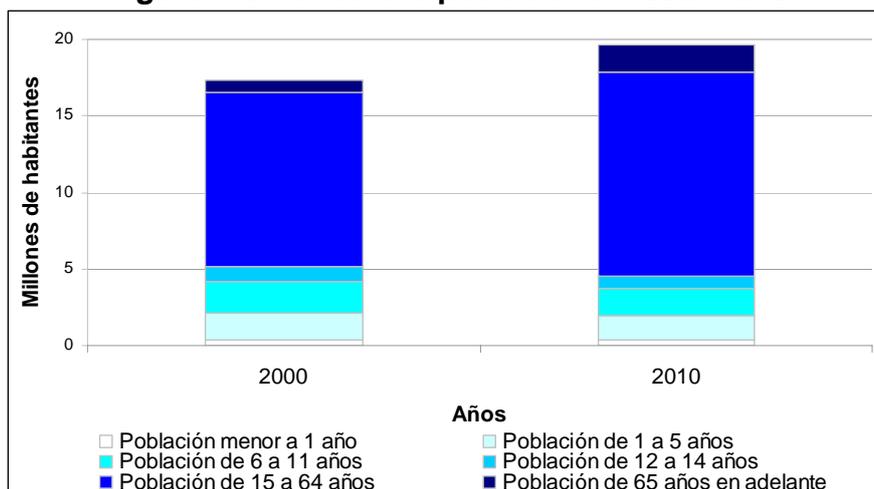
La población con edades entre 15 y 64 años (población económicamente activa), se mantendrá estable en proporción a la población total.

En el caso de la población de la tercera edad (mayores de 65 años) que representa actualmente un 4% de la población total, para el año 2010 representará un 9%, esto significa que más de 1 millón y medio de habitantes presentarán estas características para este año, lo que implica una serie de requerimientos entre los que destacan, servicios médicos especializados, planes de jubilación y un ambiente menos adverso, por otra parte se puede observar que la población que tendrá que solucionar estos problemas se reducirá hacia el futuro y será principalmente la población económicamente activa (Figura 2.6).

La estimación de la población por grupos de edad se realizó a nivel de AGEBS, considerando las tasas de crecimiento publicadas por CONAPO (2000) en el que se caracterizan grupos de edades para cada entidad del Distrito Federal y del Estado de México.

Esta información se integró a la base de datos donde se caracteriza la concentración de ozono al mismo nivel.

**Figura 2.6 Estructura poblacional 2000- 2010**



Fuente : INEGI, 2000 –CONAPO, 2000

## **2.5 Estimación de la distribución espacial de la población al año 2010**

La distribución espacial de la población en un escenario futuro se realizó con la ayuda de un Sistema de Información Geográfica en el que se representó mediante un mapa el número de habitantes por AGEBS para el año 2010, la



Venustiano Carranza tendrán una tasa de crecimiento negativa, que indican que, la población saldrá de estas delegaciones, dejando el centro de la ciudad.

Para las delegaciones del sur de la ciudad, se estima un crecimiento entre el 10 y el 20% para el 2010, la principal presión que tendrá este incremento será sobre áreas naturales protegidas, en la actualidad existe una serie de programas de vigilancia para estas zonas las cuales brindan los llamados Servicios Ambientales a la Ciudad de México, en el caso de la Delegación Magdalena Contreras, este crecimiento supera el 20%.

La zona con mayor crecimiento poblacional se encuentra en los municipios conurbados del Estado de México, principalmente en la zona este de la ZMCM, la tasa de crecimiento en esta zona es superior al 20% en relación al año 2000; En municipios como Atenco, Chimalhuacan, Chicoloapan, o Chlaco, este es particularmente alto, favorecido por el continuo desarrollo habitacional a lo largo de la carretera México-Puebla.

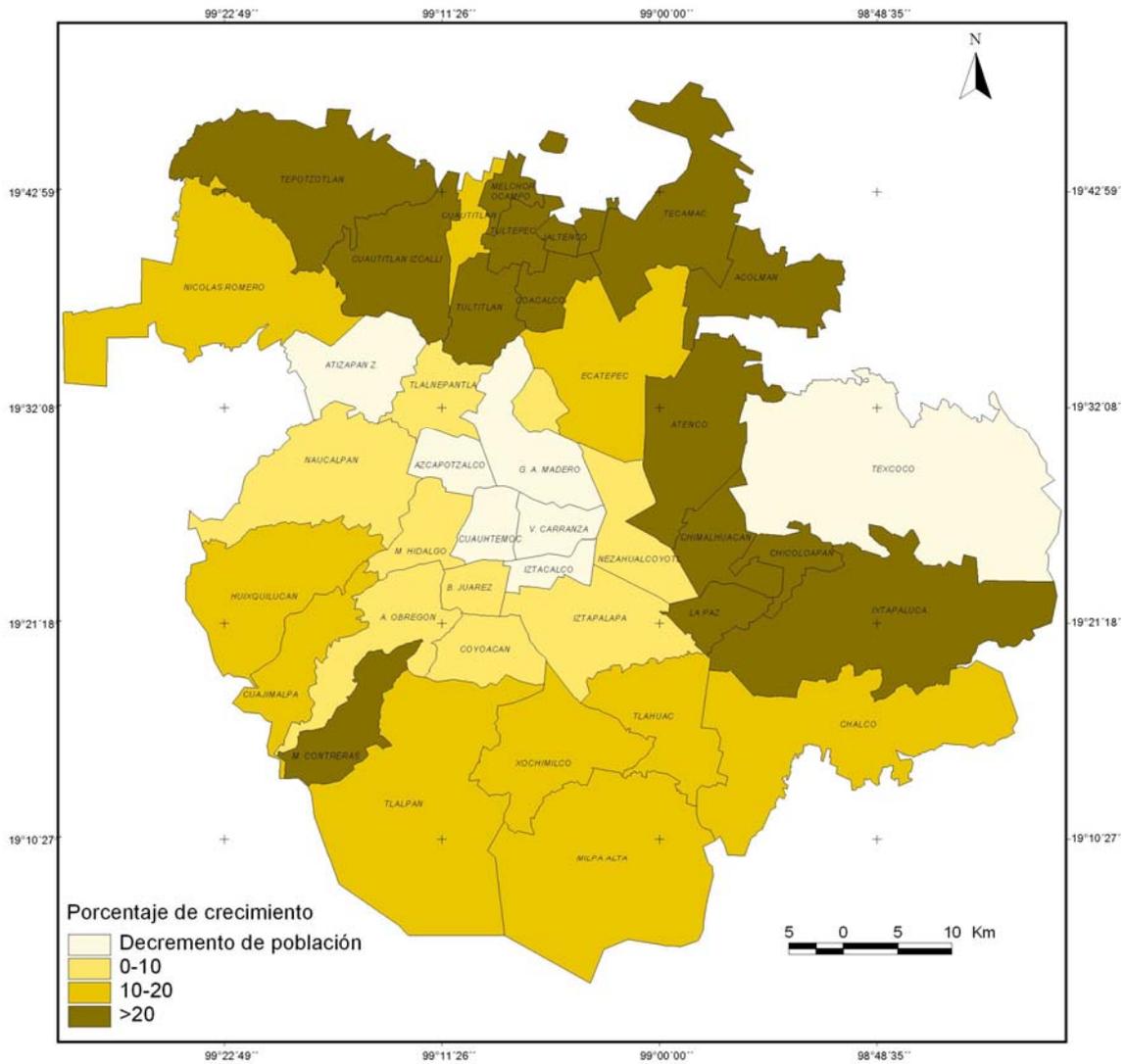
El municipio con la mayor tasa es Ixtapaluca con un 47% en relación al año 2000. Este municipio se ha visto favorecido en los últimos años con la construcción de viviendas de interés social de bajo costo y facilidades para su adquisición, adicionalmente en estas zonas habitacionales se han introducido servicios urbanos como drenaje, o agua al mismo tiempo que su construcción, contraponiéndose a la antigua forma de ocupar nuevos espacios en la periferia de la ciudad, en la que se invadía y ocupaba y después se demandaba una regularización urbana.

La zona norte de la ciudad también presenta un crecimiento superior al 20%, municipios como Cuahutitlan Izcalli, Coacalco, Tultitlan, entre otros se estima que tengan un porcentaje similar. En esta zona, la presión del espacio habitacional será sobre las zonas industriales instaladas desde el siglo pasado.

Como se ha mencionado anteriormente, el crecimiento de la ZMCM refleja un proceso que va hacia la integración urbana de las ciudades cercanas, conformando una Megalópolis conformada por la ciudad de Puebla, Cuernavaca, Querétaro, Pachuca, Toluca y la Ciudad de México (Figura 2.8).

En el capítulo 3, se analizará la información poblacional contenida en este Capítulo y la información de calidad del aire contenida en el capítulo 1 para estimar la exposición de la población a ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

**Figura 2.8 Tasa de crecimiento poblacional 2000-2010.**



Fuente: INEGI, 2000 – CONAPO, 2000

**Capítulo 3 - Evaluación de la exposición de la población a ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.**

*“El método geográfico apunta, repitámoslo, al análisis de un trozo de espacio concreto, es decir, a la búsqueda de todas las formas de relaciones y de combinaciones que pueden existir entre la totalidad de los diversos elementos en presencia”*

*Jacqueline Beaujeu Garnier, 1971*

### ***Capítulo 3 - Evaluación de la exposición de la población a ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.***

#### **3.1 Definición y estimación de la exposición**

El impacto de la contaminación atmosférica en la salud pública se ha evaluado por medio de la exposición que tienen los individuos a elementos tóxicos en la atmósfera y sus consecuencias.

La exposición puede interpretarse como el resultado del contacto entre un elemento y un individuo (Gutiérrez, 1997). También puede expresarse como el producto del tiempo que un individuo permanece en un lugar donde existen concentraciones de un contaminante (Santos, 1996).

En este trabajo se plantea como exposición, el contacto entre las concentraciones de contaminantes atmosféricos y la población que reside un área geográfica específica.

El contacto mencionado es variable y depende de una serie de factores atribuibles a las características en que los individuos enfrentan esta situación, características intrínsecas como la edad o el estado de salud así como las condiciones económicas y otras externalidades que pueden hacer que los individuos estén más o menos vulnerables.

Uno de los factores determinantes en la estimación de la exposición es la inhalación, los estudios han demostrado que la calidad del aire en exteriores es significativamente diferente a la que se presenta en interiores; así como el patrón de actividades de los individuos determina la cantidad que inhala, en este trabajo sólo se estima la exposición a ozono en exteriores, considerando la información del SIMAT.

Desde el punto de vista de la Gestión del Riesgo, se comienza a abordar el tema y se ha encontrado que el riesgo se compone de dos elementos; la amenaza, compuesta por el posible impacto y la frecuencia con que los individuos enfrentan concentraciones de contaminantes en la atmósfera y la vulnerabilidad de los individuos (GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, 2005).

La modelación de la exposición ha considerado en otras investigaciones variables complejas como: las horas de trabajo, el tipo de actividades laborales, el tipo y número de viajes que se realizan, información hospitalaria así como el impacto económico de la exposición en variables como: costo de los

medicamentos, número de días laborables perdidos, bajas de producción, entre otros.

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, se han desarrollado trabajos similares en los que se integran organizaciones internacionales como el Banco Mundial, la Organización Panamericana de la Salud y en Centro de Investigaciones para el desarrollo de Canadá, que en conjunto con el gobierno local (ECOURS, 2001), realizaron una valoración económica del mejoramiento de la calidad del aire. En esta investigación, destaca el incremento en las tasas de mortalidad por la exposición a contaminantes atmosféricos así como la importancia de una reducción en los niveles de concentraciones, otra de las consideraciones en esta investigación fue el cálculo de los días laborables perdidos por este problema ambiental, los resultados fueron publicados en revistas internacionales y por el gobierno de la ciudad con el fin de evaluar el costo y beneficio de la reducción de contaminantes en la atmósfera.

En otras palabras, la determinación de la exposición a contaminantes atmosféricos está condicionada tanto al contacto de los individuos y la contaminación como a las características de los mismos.

El modelo de exposición utilizado en este trabajo considera dos tipos de información, por un lado la calidad del aire en la ZMCM (capítulo 1) y por otro lado el número de habitantes caracterizado por grupos de edad (capítulo 2). Se realizó a nivel de áreas geoestadísticas básicas (AGEB), delimitadas por el INEGI. Esta escala se seleccionó con el fin de proporcionar la información a un nivel detallado, donde las acciones locales puedan disminuir el impacto de la contaminación; los resultados se resumieron a nivel delegación o municipio para su mejor comprensión.

La exposición se estimó con los 2 indicadores de contaminación atmosférica (concentración máxima y promedio). El primero de éstos permite inferir la exposición de la población respecto a las concentraciones que se presentan cotidianamente, de esta manera se puede hablar de la exposición promedio para cada habitante ante la presencia habitual de ciertas concentraciones de ozono. El segundo de estos indicadores permite inferir la relación con respecto a la exposición en los días en que se registran las concentraciones mayores de ozono, o los días con concentraciones críticas.

La exposición se planteó en un escenario de contaminación atmosférica actual y en dos escenarios futuros de reducción del 10 y 20% para el año 2010.

Finalmente, la exposición se obtuvo mediante un promedio ponderado de las concentraciones en cada AGEB por su población, este procedimiento se resume en la ecuación siguiente:

$$E_{pca} = \frac{\sum_{i=1}^N (ca_i * p_i)}{\sum_{i=1}^N p_i}$$

Donde:

- E<sub>pca</sub>*** = Exposición de la población a concentraciones de contaminantes
- ca<sub>i</sub>*** = Indicador de contaminación atmosférica (máxima o promedio)
- p<sub>i</sub>*** = Población del AGEB *i*
- N*** = Número de AGEBS considerados

Esta metodología ha sido utilizada originalmente por *Cicero et al 2000* en la estimación de exposición a partículas menores a 10 micrómetros en la ZMCM, así como en trabajos desarrollados por el gobierno local en la que se calcula el posible beneficio económico de la reducción de la contaminación ambiental.

Hay que señalar que una de las características de este modelo es no considerar la movilidad de la población ya que la información poblacional está referida al lugar de residencia de los habitantes, que el INEGI considera para sus conteos.

Es importante tener presente que la exposición a ozono no determina por sí misma la calidad del aire ni los posibles efectos de la contaminación ambiental sobre la población, hay que considerar que existe una gama extensa de contaminantes en la atmósfera, como se mencionó anteriormente.

En ambientes urbanos, se evalúan las partículas suspendidas de diferentes tamaños conocidas como PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y en algunas ciudades de los Estados Unidos las PM<sub>1</sub>.

Recientemente, se han realizado estudios del impacto de la exposición a partículas y a ozono, de manera independiente ya que estos dos contaminantes suelen correlacionarse espacial y temporalmente, lo que dificulta evaluar, de manera, directa los efectos de manera conjunta. Los estudios realizados de esta manera se han hecho en laboratorios con ambientes controlados; algunos estudios han logrado establecer un efecto aditivo de estos dos contaminantes comunes en ambientes urbanos; finalmente otros estudios han optado por sumar los efectos para determinar el impacto a la salud por la exposición, esto conlleva a una sobreestimación en dichos efectos a la salud pública.

### **3.2 Efectos en salud por exposición a ozono.**

En la actualidad, se considera al ozono como uno de los contaminantes con los mayores niveles de exposición en la ZMCM. Las consecuencias de este contacto entre los individuos que habitan esta ciudad y las altas concentraciones hacen necesaria una evaluación constante de los efectos en la población, ya que este contaminante es altamente oxidante y afecta a los tejidos vivos, se asocia con diversos padecimientos en la salud humana.

Los individuos que viven en zonas donde se registran regularmente concentraciones altas de ozono, presentan diversos síntomas, como: irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración profunda, dolor subesternal, opresión en el pecho, malestar general, debilidad, náusea y dolor de cabeza. Por otra parte, los daños por exposición a ozono dependen de la sensibilidad de cada individuo y del tipo de exposición.

Los resultados de estudios epidemiológicos en la Ciudad de México y otras ciudades con problemas de contaminación, indican que sus poblaciones son propicias al desarrollo temprano de enfermedades respiratorias crónicas.

La Organización Mundial de la Salud recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 0.05 a 0.10 partes por millón (ppm) por hora, cada tres años.

La Norma Oficial Mexicana de ozono establece como límite de protección a la salud, una concentración de 0.11 ppm promedio de una hora, la cual puede rebasarse una vez al año en un período de tres años.

Entre los grupos de la población con mayor susceptibilidad por exposición a concentraciones de ozono destacan:

1.- Niños y adultos mayores. Debido a la susceptibilidad de su sistema inmunológico estos grupos se consideran como los más vulnerables a los efectos del ozono, ya sea por la posibilidad de desarrollar alguna enfermedad debido a una exposición de largo plazo o por muerte prematura. Algunos estudios demuestran que la función respiratoria de los niños que realizan actividades físicas al aire libre disminuye de manera reversible cuando las concentraciones ambientales de ozono oscilan entre 0.12 y 0.20 ppm.

2.- Personas con enfermedades respiratorias.- La exposición a ozono puede empeorar el estado de salud de personas que padecen enfermedades pulmonares crónicas, tales como el enfisema y la bronquitis. No existe evidencia de que el ozono cause estas enfermedades; sin embargo, estas personas sienten los efectos del ozono antes que personas consideradas sanas. Entre los que padecen enfisema, la exposición a concentraciones entre 0.100 y 0.150 ppm provoca una disminución en el consumo y cantidad de oxígeno arterial. En personas asmáticas se presentan ataques en días con concentraciones superiores a 0.13 ppm.

3.- Personas que realizan actividades al aire libre.- Los adultos saludables que realizan ejercicio o trabajo al aire libre se consideran un grupo potencial de padecer los efectos causados por el ozono, sobre todo los debidos a una exposición a corto plazo o exposición aguda. Algunas personas consideradas sanas pueden ser más susceptibles al ozono en comparación de otras.

La exposición a concentraciones de 0.050 ppm provoca disminución de la capacidad pulmonar. En situaciones de exposición por períodos de 8 horas a concentraciones de 0.03 ppm de ozono, cualquier persona, aún las consideradas sanas, presentan irritación nasal y de garganta; los fumadores presentan dificultad para respirar y agotamiento. En los atletas la exposición a concentraciones de 0.300 ppm durante una hora, reduce su condición física, provoca tos e irritación del aparato respiratorio. En la actualidad se continúa evaluando los efectos que trae la exposición a este contaminante los daños en la salud aún a niveles de concentración menores.

La exposición continua se ha asociado con un incremento del 20% en el riesgo por enfermedad respiratoria, en concentraciones superiores a 0.130 ppm

y 40%, con la presencia de temperaturas menores a 5.1°C (*Gutierrez et al 1997*). En la Ciudad de México, se ha encontrado una relación con el decremento en la capacidad respiratoria en concentraciones de 0.070 ppm.

Un estudio realizado a 271 niños asmáticos en Connecticut y Massachussets en EUA, señala que a concetraciones de 0.059 ppm se incrementa en un 34% la dificultad para respirar y un 47% en el uso de medicamentos de crisis, como lo son los bronquio dilatadores.

Otro estudio realizado en Los Angeles, EUA, indica una relación entre concentraciones de 0.56 ppm y el aumento de emergencias médicas por asma.

Estudios en América Latina han señalado que en concentraciones de 0.053 ppm se puede predecir un decremento del 2% en el volumen expiratorio forzado en un segundo y un decremento de 7.4% en el flujo máximo de expiración media, ambas representan dificultades al respirar.

El posible impacto de las concentraciones a largo plazo sobre la salud no es claro aún. Sin embargo, existen señales que indican una disminución en el desarrollo y funcionamiento de la capacidad pulmonar, los resultados recientes de *Schwartz et al (1994)*, sugieren estos efectos en personas que viven en áreas donde el promedio anual de las concentraciones exceden las 0.040 ppm.

Estudios más estrictos indican que la simple presencia de este contaminante en la el aire que respira la población es un peligro para la salud.

Algunos estudios significativos se presentan en el cuadro 3.1:

**Cuadro 3.1 Ozono y sus posibles efectos en salud.**

Niveles de Ozono (ppm)	Efectos en la salud
0.080 - 0.152	En un estudio realizado por <i>Romieu et al 1997</i> se reportó un incremento del 20% el riesgo por enfermedad respiratoria por una exposición continua a concentraciones superiores a <b>0.130 ppm</b> y 40% con la presencia de temperaturas menores a 5.1°C . En México se ha declarado como límite máximo de protección a la norma <b>0.080 ppm</b> .
0.065 - 0.079	En México se ha encontrado que concentraciones de <b>0.070 ppm</b> provocan un decremento en la tasa de flujo pico expiatorio e incremento en síntomas respiratorios ( <i>Martinez et al</i> ).
0.054 - 0.064	<i>Weisel et al (1995)</i> encontró una relación entre concentraciones de ozono arriba de 0.060ppm y emergencias por padecimientos relacionados con asma.
0.041 - 0.053	Estudios en América Latina han señalado que en concentraciones de <b>0.053 ppm</b> se puede predecir un decremento del 2% en el volumen expiatorio forzado en un segundo y un decremento de 7.4% en el flujo máximo de expiración media, que representan ambas dificultades al respirar ( <i>Castillejos 1992</i> ).
<= 0.040	El posible <b>impacto</b> de las concentraciones sobre la salud a largo plazo no es claro aún, sin embargo existen señales que indican una disminución en el desarrollo y funcionamiento de la capacidad pulmonar, los resultados recientes de <i>Schwartz et al 1994</i> sugieren estos efectos en personas que viven en áreas donde el promedio anual de las concentraciones exceden las <b>0.040 ppm</b> .

### **3.3 Exposición a ozono en un escenario actual.**

Uno de los estudios que han servido de referencia y antecedente a este trabajo es conocido como *“Ecosistema urbano y salud de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México” (ECOURS 2000)*, en el que se estimó la exposición personal de la población con el promedio de las concentraciones máximas de ozono, los resultados arrojaron una exposición personal de 0.114 partes por millón (ppm), este estudio consideró la información de calidad del aire entre 1995 y 1999, esta información representa la exposición cotidiana a la que estuvo expuesta la población en este periodo de tiempo.

Otra investigación realizada por el gobierno local determinó que la exposición máxima a la que se podría enfrentar la población sería de 0.260 ppm, esto quiere decir que en un escenario con la peor calidad del aire la población podría enfrentar concentraciones de este nivel que si se compara con el límite máximo permisible que establece la norma de protección a la salud (0.110 ppm) podremos ver que la rebasa al doble y un poco más.

En este trabajo se construyó un escenario actual que caracteriza los últimos 5 años de información de las concentraciones de ozono en la ZMCM, de esta manera se identificó un año típico de las concentraciones máximas (capítulo 1), esta información se ponderó con la información poblacional del Censo de Población y Vivienda 2000 del INEGI (capítulo 2).

El resultado de este promedio ponderado nos permite observar la exposición a la que se enfrenta la población en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en dos parámetros específicos; el primero se refiere a la exposición habitual la cual, en términos de salud pública, es la amenaza que enfrenta de manera habitual la totalidad de la población, la segunda de estas condiciones es la máxima, esto nos permite identificar condiciones de contaminación extrema.

Una de las características de este trabajo radica en la posibilidad de conocer la estructura poblacional de la ZMCM a un nivel detallado (AGEBS), con esta clasificación por grupos de edad, podemos además de estimar la exposición, conocer el número de individuos que presentan características intrínsecas como la edad, que pueden determinar su grado de vulnerabilidad ante la contaminación atmosférica.

Esta información podría ser de utilidad si se toma en cuenta a la hora de asignar recursos en caso de una emergencia ambiental, como lo puede ser una contingencia ambiental. Los servicios de salud y de emergencia tendrían una herramienta para ubicar a la población con alto nivel de vulnerabilidad.

### **3.4 Estimación de la exposición a ozono en dos escenarios futuros de reducción de concentraciones.**

En el presente trabajo se plantean dos escenarios futuros de reducción al año 2010, una de las razones para elegir este año es la culminación del PROAIRE 2000-2010 el cual ha dirigido las bases para la implementación de medidas de reducción de contaminantes.

La exposición se obtiene aplicando la formula presentada en el apartado 3.1, en la que se obtiene un promedio ponderado de las concentraciones por habitante, al igual que en escenario actual, se calculó la exposición con dos indicadores, el promedio y las concentraciones máximas para obtener condiciones cotidianas y de máxima exposición.

Al evaluar la exposición en escenarios futuros y caracterizar a la población por grupos de edad, el presente trabajo podría servir como una herramienta de planeación para tener un panorama sobre las condiciones de exposición en el año 2010, de esta manera se podrían establecer mecanismos de atención médica para la población vulnerable así como estimar los costos de la contaminación evaluando los posibles gastos producto no solo de la atención médica, si no por el impacto general que podría presentarse por una exposición alta.

Este tipo de metodología se ha aplicado en ciudades con altos niveles de concentración de ozono como la ciudad de Los Ángeles EUA., en México se han realizado evaluaciones a diferentes escalas, en el año 2000 el gobierno de la ciudad estimó que para el año 2010 con la reducción de concentraciones de ozono y partículas PM10 en un 10% evitarían 3300 admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias , esta estimación se realizó con información de calidad del aire, indicadores demográficos y registros hospitalarios (ECOURS 2000). Desde el año 2004 el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias trabaja en la captura de información detallada de sus pacientes regulares, la

base de datos resultante proveerá de elementos para relacionar la contaminación del aire con los efectos a la salud.

#### 4. Resultados

Los resultados de exposición a ozono obtenidos en este trabajo, son una aproximación ponderada de la cantidad de contaminante (promedio y máximo ) a que se exponen las personas que habitan en un punto geográfico determinado, en este caso las AGEBS que emplea el INEGI para llevar a cabo los censos poblacionales.

Debido a la dificultad que implica presentar la información al nivel de AGEB, esta se presenta de forma agregada al nivel de la ZMCM, el Distrito Federal (D.F.) y los Municipios Conurbados del Estado de México (MCEM) (Anexo), la base de datos original se obtuvo a nivel de AGEB.

Para estos ámbitos geográficos se desagrega la información de exposición a ozono en el escenario actual de contaminación atmosférica y escenarios de reducción al año 2010 del 10 y 20 %. (Cuadro 4.1). En el anexo 1 se presentan los resultados al nivel de delegación o municipio.

**Cuadro 4.1. Exposición a ozono en el escenario actual y en escenarios de reducción del 10 y 20 % al año 2010.**

	Promedio			Máximo		
	Escenario actual	Al año 2010 con reducción del 10%	Al año 2010 con reducción del 20%	Escenario actual	Al año 2010 con reducción del 10%	Al año 2010 con reducción del 20%
ZMCM	0.088 ppm	0.079 ppm	0.072 ppm	0.212 ppm	0.191 ppm	0.174 ppm
DF	0.094 ppm	0.084 ppm	0.077 ppm	0.222 ppm	0.199 ppm	0.182 ppm
MCEM	0.075 ppm	0.067 ppm	0.061 ppm	0.183 ppm	0.164 ppm	0.150 ppm

Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México (2005) y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2000)

Los resultados del escenario actual con el promedio de ozono, indican que la región que abarca el DF presenta cotidianamente concentraciones que oscilan alrededor de 0.094 ppm, ligeramente por debajo al valor que define la Norma Oficial Mexicana de salud para este contaminante (0.110).

Como se observó en los resultados parciales (Capítulo 1), la distribución de este contaminante no es homogénea en la ZMCM, por lo que en regiones como el Oeste y el Suroeste se incrementa considerablemente la exposición a concentraciones de este contaminante. En el caso de los MCEM, el valor de concentración de 0.075 ppm, indica que la exposición a concentraciones supera cotidianamente el valor de la mitad del límite permisible (0.055 ppm).

Comparativamente, en el trabajo desarrollado por *Cicero et al. (2000)* obtuvieron una concentración de exposición de 0.114 ppm al nivel de la ZMCM, mientras que en este trabajo fue de 0.088 ppm, esto sugiere que la mejora de la calidad del aire en la ZMCM conlleva a una disminución del riesgo de exposición.

La estimación de la exposición a concentraciones de ozono en el año 2010 al nivel de la ZMCM, indica que aún si las concentraciones máximas diarias disminuyeran entre 10% y 20%, se presentarían concentraciones que superan cotidianamente el valor de la mitad del límite permisible (0.055 ppm).

Los resultados de exposición a ozono en un escenario de concentraciones críticas (máximo), muestra que al menos en un día del escenario actual, la población de la ZMCM se expone a concentraciones que duplican el valor del límite de la NOM (0.11 ppm), en el caso del D.F. esta concentración máxima llega a ser de 0.222 ppm.

Al disminuir las concentraciones de ozono entre 10% y 20% en el año 2010, al menos en un día presentarían concentraciones que superan considerablemente el límite referido.

En el análisis parcial de contaminación atmosférica (capítulo 1), se identificó que las concentraciones máximas de ozono que se registran en la actualidad se tendrían que reducir en 61.3% para alcanzar el valor del límite que señala la Norma de protección a la salud.

#### **4.1 Exposición por grupos de edad a ozono en la ZMCM.**

La desagregación de la población por grupos de edad permite inferir sobre la cantidad de personas que tienen un mayor riesgo por exposición, considerando las actividades habituales de su edad y la región geográfica donde habitan.

Los resultados al disminuir hasta 20% los niveles actuales de ozono, radica en que prácticamente ningún habitante estaría expuesto cotidianamente a concentraciones superiores al valor que señala la Norma de protección a la salud.

El análisis de la situación de grupos vulnerables, indica que en el escenario actual al menos mil personas mayores a 65 años se exponen cotidianamente a concentraciones de ozono que superan en promedio un valor de 0.11 ppm. En el año 2010, este grupo de edad representará un 9% de la

población de la ZMCM y se estima que en el escenario de reducción del 10% de las concentraciones de ozono, contribuiría a que sólo 800 personas de este grupo de edad estuvieran expuestas cotidianamente a concentraciones por arriba de 0.11 ppm.

En el caso de la población infantil, también se estima una disminución considerable de individuos con posibilidad de exponerse a niveles de ozono que en promedio oscilan alrededor de 0.11 ppm. Aunque el tiempo de exposición al aire libre de estos dos grupos puede considerarse corto, la importancia de reducir este contaminante en la atmósfera implica una mejor calidad de vida para los grupos vulnerables y bajar así los costos de tratamiento de enfermedades asociadas.

En el caso de la población con edades entre 15 y 64 años, ésta se expone más tiempo debido a que las actividades que realiza son generalmente fuera de su domicilio. Hay que considerar que aún desempeñándose en lugares cerrados, el tiempo de recorrido hacia sus actividades generalmente es superior a una hora en la ZMCM.

Los resultados de este trabajo muestran que actualmente cerca de 19 mil personas de este grupo se exponen cotidianamente a concentraciones superiores a 0.110 ppm, con una reducción del 10% en las concentraciones, el número de personas sería menor a mil (Cuadro 4.2).

**Cuadro 4.2 Población de la ZMCM por grupos de edad, expuesta a ozono en el escenario actual de contaminación y de reducción del 10 y 20% al año 2010**

Escenarios	ppm	Población total (millones)	Población menor a 1 año (millones)	Población de 1 a 5 años (millones)	Población de 6 a 11 años (millones)	Población de 12 a 14 años (millones)	Población de 15 a 64 años (millones)	Población 65 años y mas (millones)
Promedio								
Año 2000 Actual	≤ 0.110	16.636	0.328	1.737	1.933	0.924	10.933	0.782
	>0.110	0.028	0.001	0.003	0.003	0.002	0.019	0.001
Año 2010 Reducción 10%	<0.110	18.34	0.33	1.53	1.69	0.81	12.32	1.66
	>0.110	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Año 2010 Reducción 20%	<0.110	18.37	0.33	1.53	1.70	0.81	12.34	1.66
	>0.110	-	-	-	-	-	-	-
Máximo								
Año 2000 Año típico	> 0.110	16.664	0.328	1.739	1.936	0.926	10.951	0.783
	> 0.233	8.555	0.158	0.802	0.933	0.449	5.745	0.469
	> 0.281	0.029	0.000	0.002	0.002	0.001	0.020	0.003
	> 0.355	0.015	0.000	0.001	0.001	0.001	0.010	0.002
Año 2010 Reducción 10%	>0.110	18.37	0.33	1.53	1.70	0.81	12.34	1.66
	>0.233	8.24	0.17	0.64	0.74	0.36	5.47	0.87
	>0.281	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Año 2010 Reducción 20%	>.110	18.37	0.33	1.53	1.70	0.81	12.34	1.66
	>0.233	2.45	0.07	0.17	0.21	0.10	1.63	0.26
	>0.281	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México, (2005) y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2000).

Al analizar el escenario con la concentración máxima de ozono, es notable que en la actualidad al menos en un día al año se presentan concentraciones de ozono que duplican el valor de 0.11 ppm (>0.233 ppm), al cual se expone la población de todos los grupo de edad.

Ante una eventual disminución del 20% para el año 2010, cerca de 1.6 millones de personas mayores a 65 años se pueden exponer a concentraciones superiores a 0.233 ppm al menos en un día.

#### **4.2 Exposición a ozono en delegaciones y municipios de la ZMCM por grupos de edad.**

El análisis espacial de los resultados de la exposición a ozono, identificando la densidad poblacional por grupos de edad y delegación y municipio, indica que en Álvaro Obregón, Tlalpan y Coyoacán, las cuales concentran entre 500,000 y un millón de habitantes, se presentan de forma cotidiana concentraciones que oscilan alrededor de 0.11 ppm.

En delegaciones como Benito Juárez, que presenta altas concentraciones de ozono, la estructura de su población hacia el futuro provoca que exista un mayor riesgo para los grupos vulnerables, ya que la población de personas mayores de 65 años representan en la actualidad el 11.6% de su población y se estima que para el año 2010 represente el 17.3% de la población de esta delegación (Figuras 4.1 y 4.2).

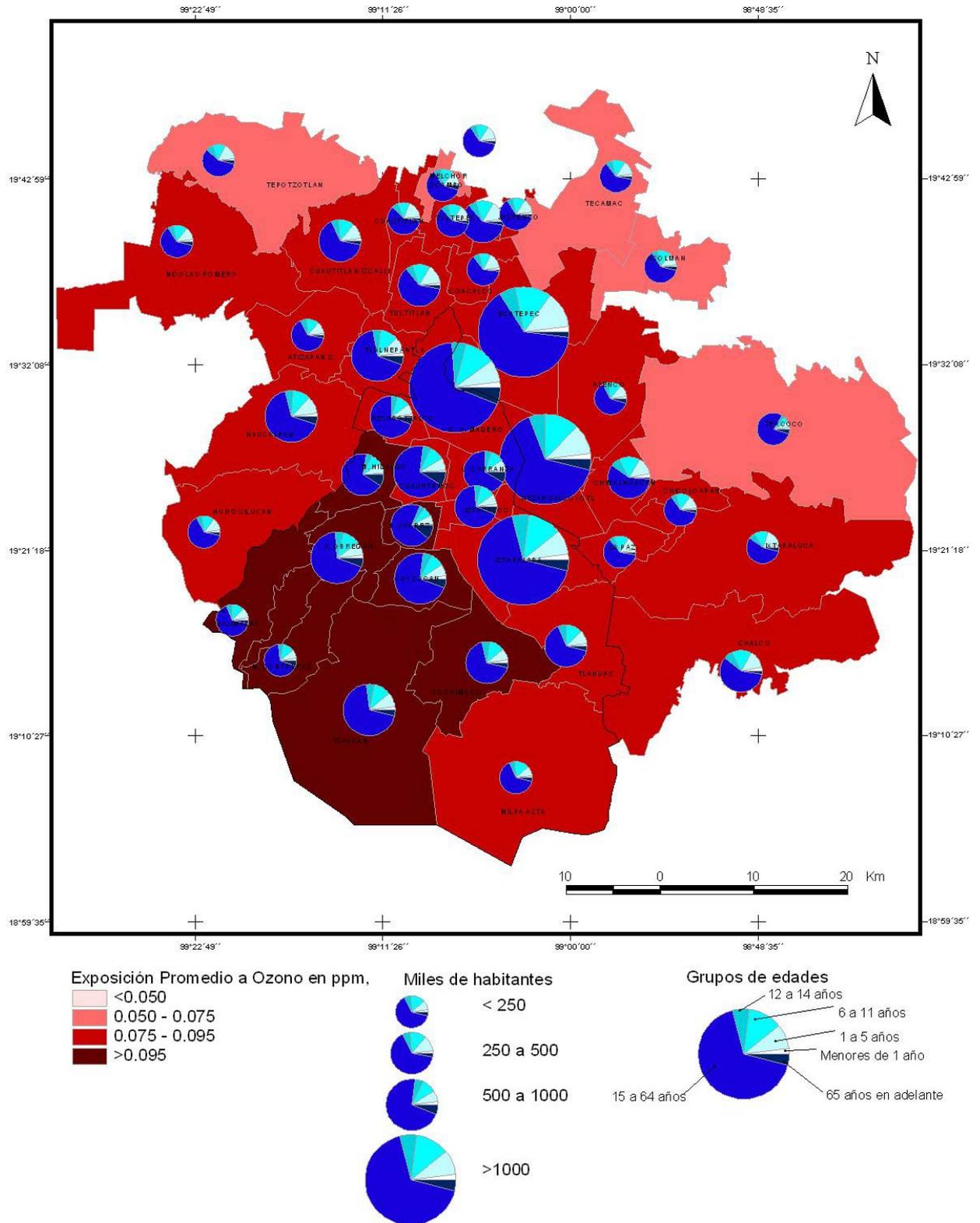
Al disminuir las concentraciones en un 10% al año 2010, la población de las delegaciones Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan, estarán exponiéndose cotidianamente a concentraciones entre 0.075 y 0.095 ppm que en estudios sobre efectos de la exposición a ozono se señala un impacto a la población vulnerable (Figura 4.2).

En estas delegaciones, se estima que los grupos vulnerables, agrupando a los menores de 14 años y los adultos mayores de 65 años, representan respectivamente, el 32.8, 42 y 31.8 % de su población total.

En el escenario de reducción de ozono del 20% en el 2010, se aprecia una disminución considerable del valor de la concentración “promedio” que se presenta en todas las delegaciones y municipios. En las delegaciones Magdalena Contreras, Tlalpan, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, se estiman concentraciones cotidianas cercanas a 0.082 ppm, y que cerca del 32.8% de

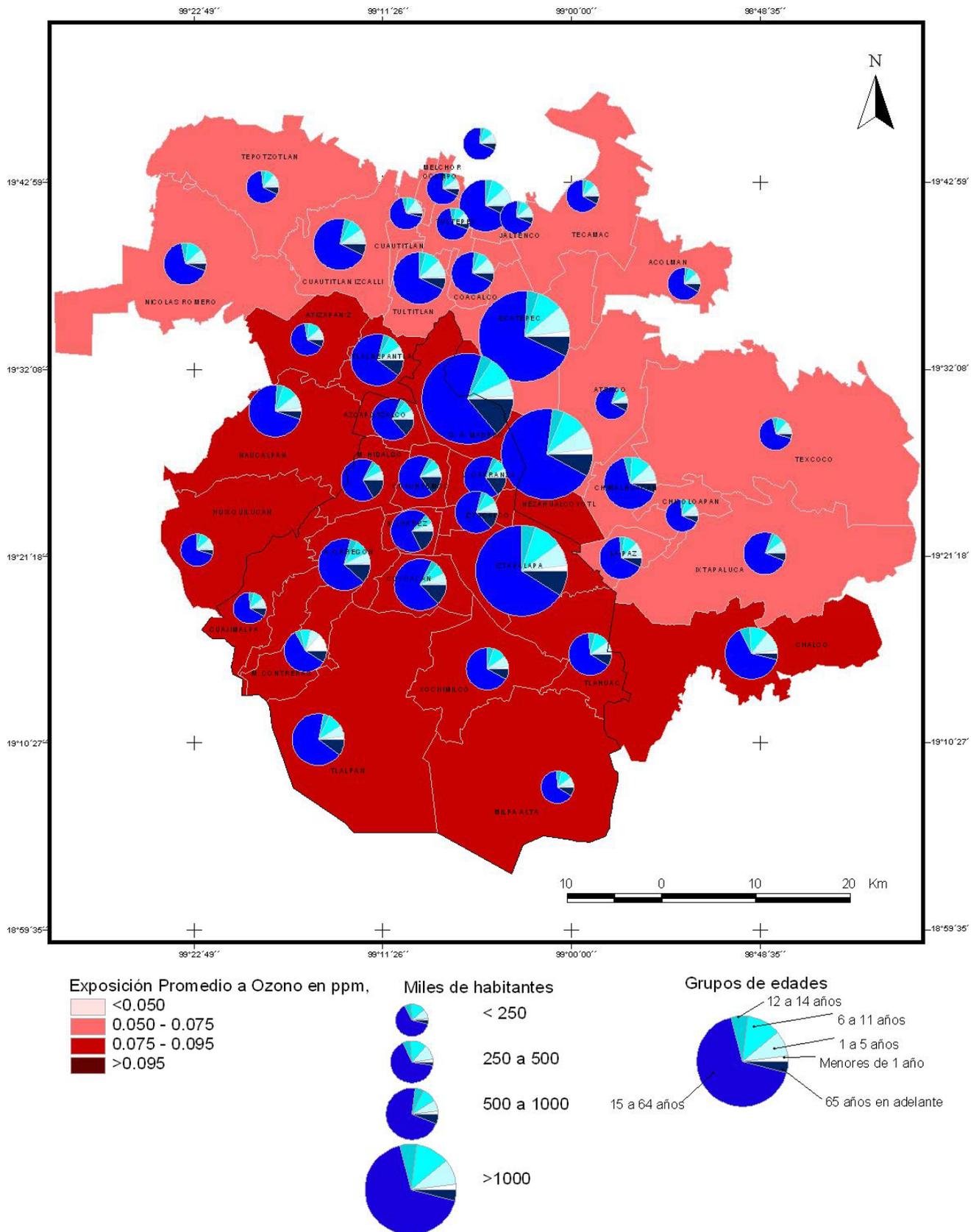
la población total tendrá entre 0 y 14 años y el 9.2% será mayor a 65 años (Figura 4.3).

**Figura 4.1 Exposición promedio a ozono por grupos de edad, en el escenario actual de contaminación por delegación y municipio.**



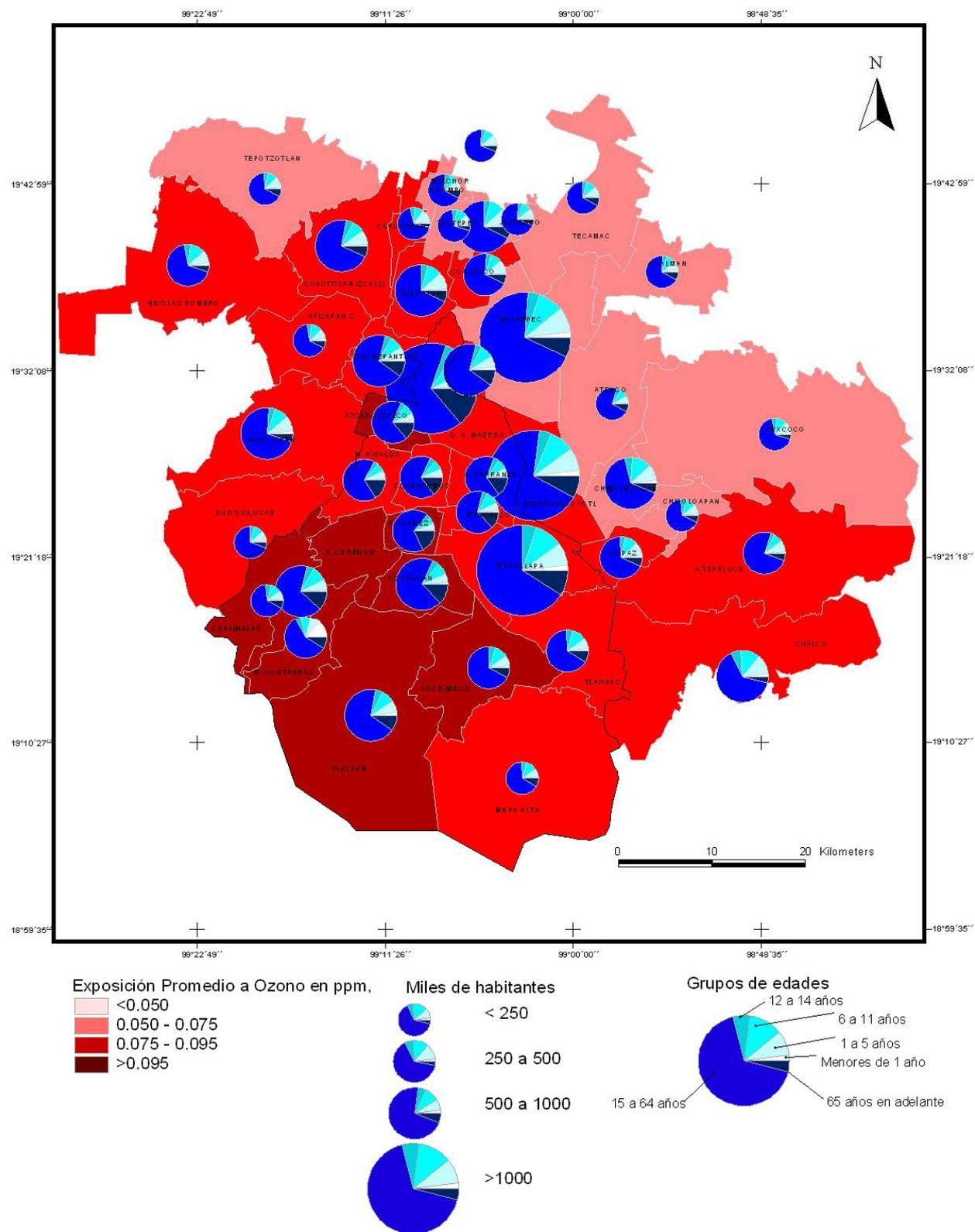
Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México, (2005) y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2000).

**Figura 4.2. Exposición promedio a ozono por grupos de edad, en un escenario de reducción del 10% al año 2010, por delegación y municipio.**



Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México, (2005) y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2000).

**Figura 4.3 Exposición promedio a ozono por grupos de edad, en un escenario de reducción del 20% al año 2010, por delegación y municipio.**



Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México, (2005) y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2000).

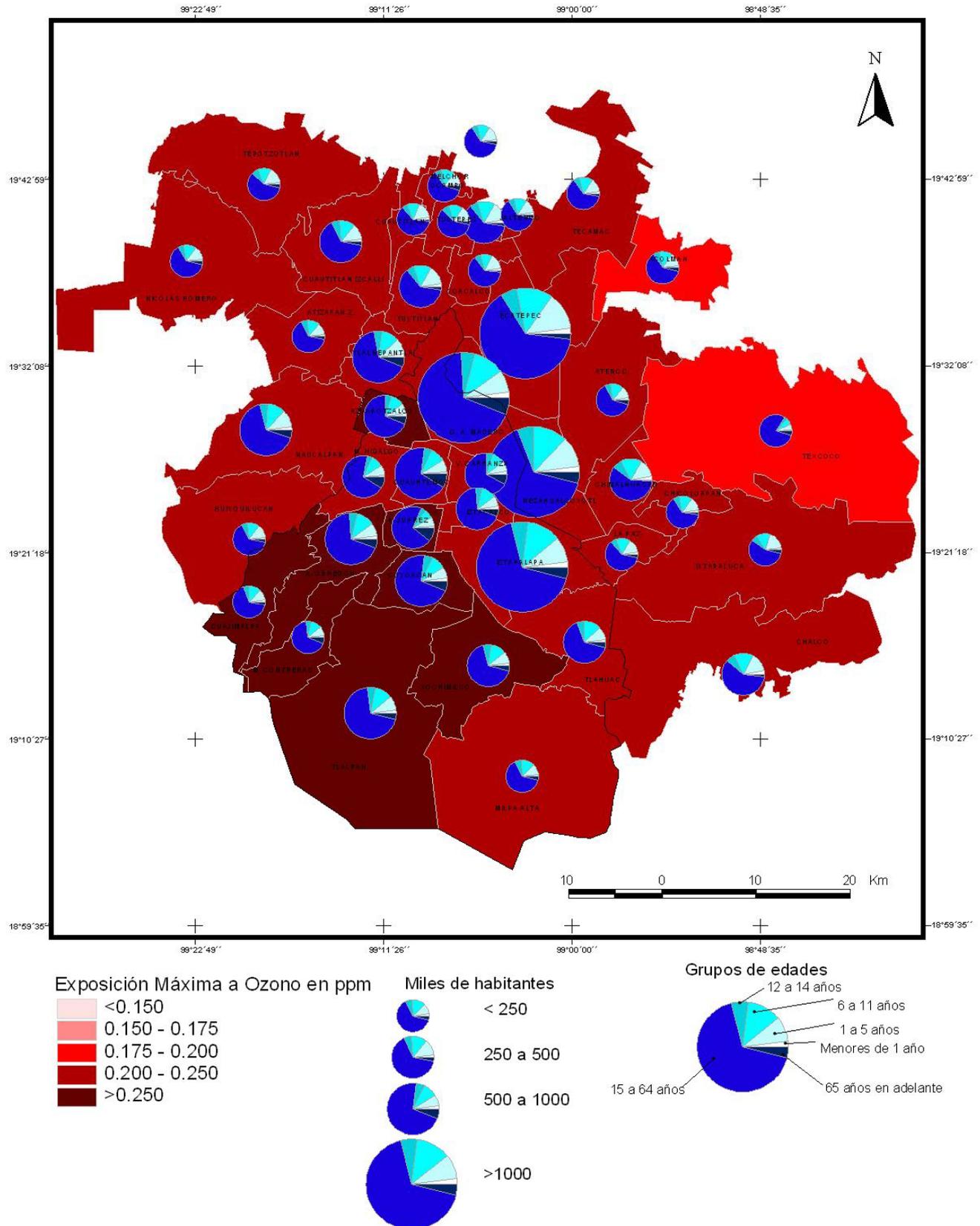
En el caso de la exposición Máxima que se presenta en un escenario actual, los resultados obtenidos indican que en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, las concentraciones podrían llegar por lo menos a 0.175 ppm en cualquier parte de la ciudad, lo que señala la importancia de la reducción de las emisiones de contaminantes precursores del ozono.

La zona sur oeste presenta los niveles más altos de exposición máxima, llegando a niveles superiores a 0.250 ppm, duplicando el nivel establecido por la norma de protección a la salud. Como se mencionó anteriormente, la Delegación Benito Juárez presenta un alto porcentaje de población vulnerable que está expuesta a concentraciones en este nivel, lo que aumenta la posibilidad de que se presenten emergencias medicas relacionadas con crisis respiratorias o cardiacas producto de un ambiente adverso (figura 4.4).

Con la reducción del 10% en las concentraciones de ozono al año 2010 la posibilidad de que se presenten días con concentraciones por arriba de 0.250 ppm desaparecería, sin embargo al menos un día del año existiría la posibilidad de que se presenten concentraciones superiores a 0.150 ppm, con esta reducción la población que habita la zona oriente de la ciudad donde se estima que la menor a 15 años aumentará y estaría expuesta a concentraciones máximas por debajo de 0.200 ppm. Es importante destacar que el crecimiento urbano de la ZMCM apunta hacia esta zona, lo que hace necesaria una estrecha vigilancia de las condiciones de la calidad del aire que se presentara hacia el año 2010 (Figura 4.5).

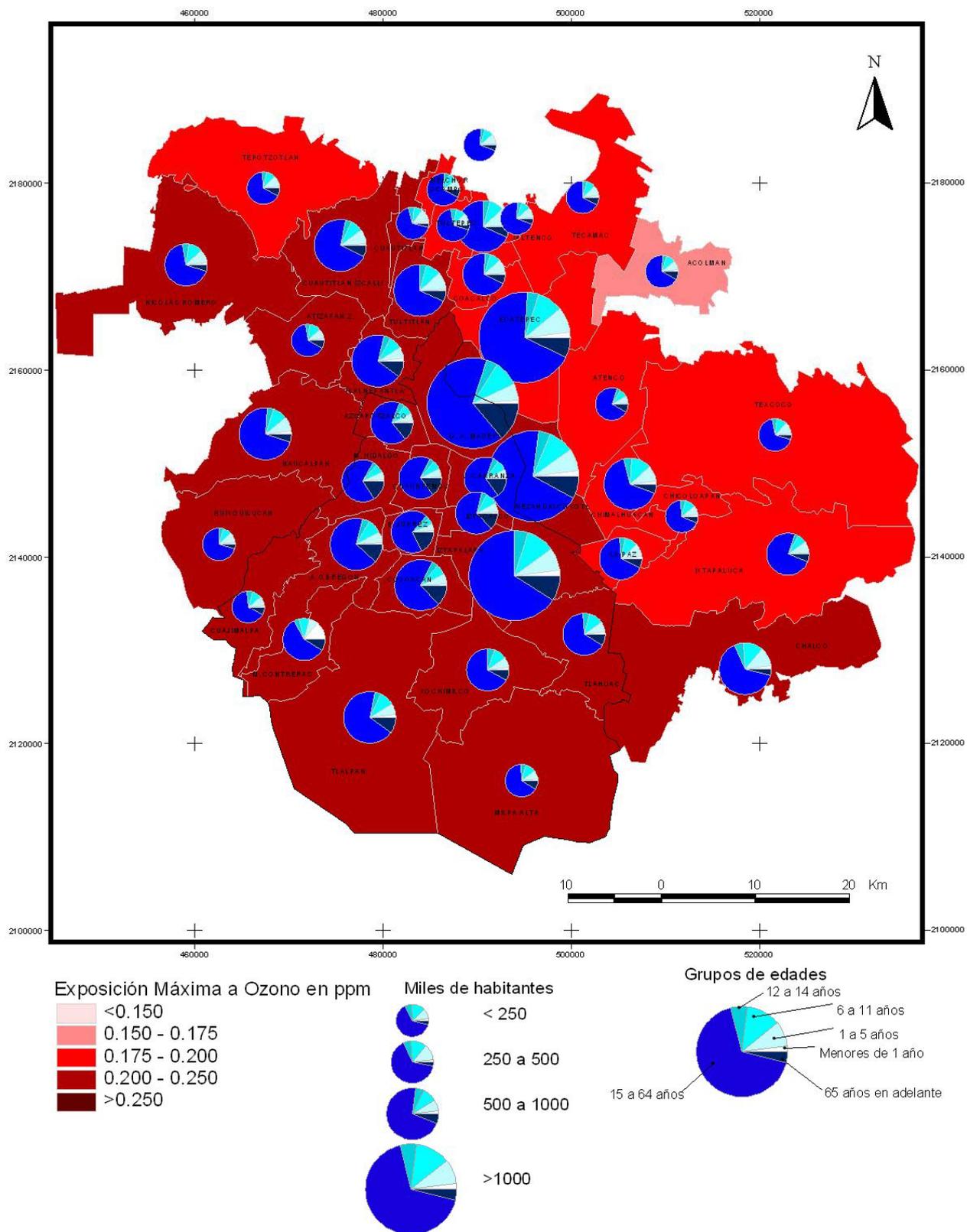
En el escenario planteado con una reducción del 20% los resultados indican que las Delegaciones con más de un millón de habitantes como lo son Iztapalapa y Gustavo A Madero así como los Municipios de Nezahualcoyotl y Ecatepec podrían estar expuestos a concentraciones cercanas a 0.200 ppm al menos una vez al año, en este escenario la zona sureste continúa siendo la que presenta los mayores niveles de concentración y la población vulnerable estará principalmente compuesta por personas mayores de 65 años, ésto nos permite estimar el tipo de servicios médicos que podrían ser requeridos por la población en esta zona de la ciudad hacia el año 2010 (Figura 4.6).

**Figura 4.4 Exposición Máxima a ozono por grupos de edad, en el escenario actual de contaminación por delegación y municipio.**



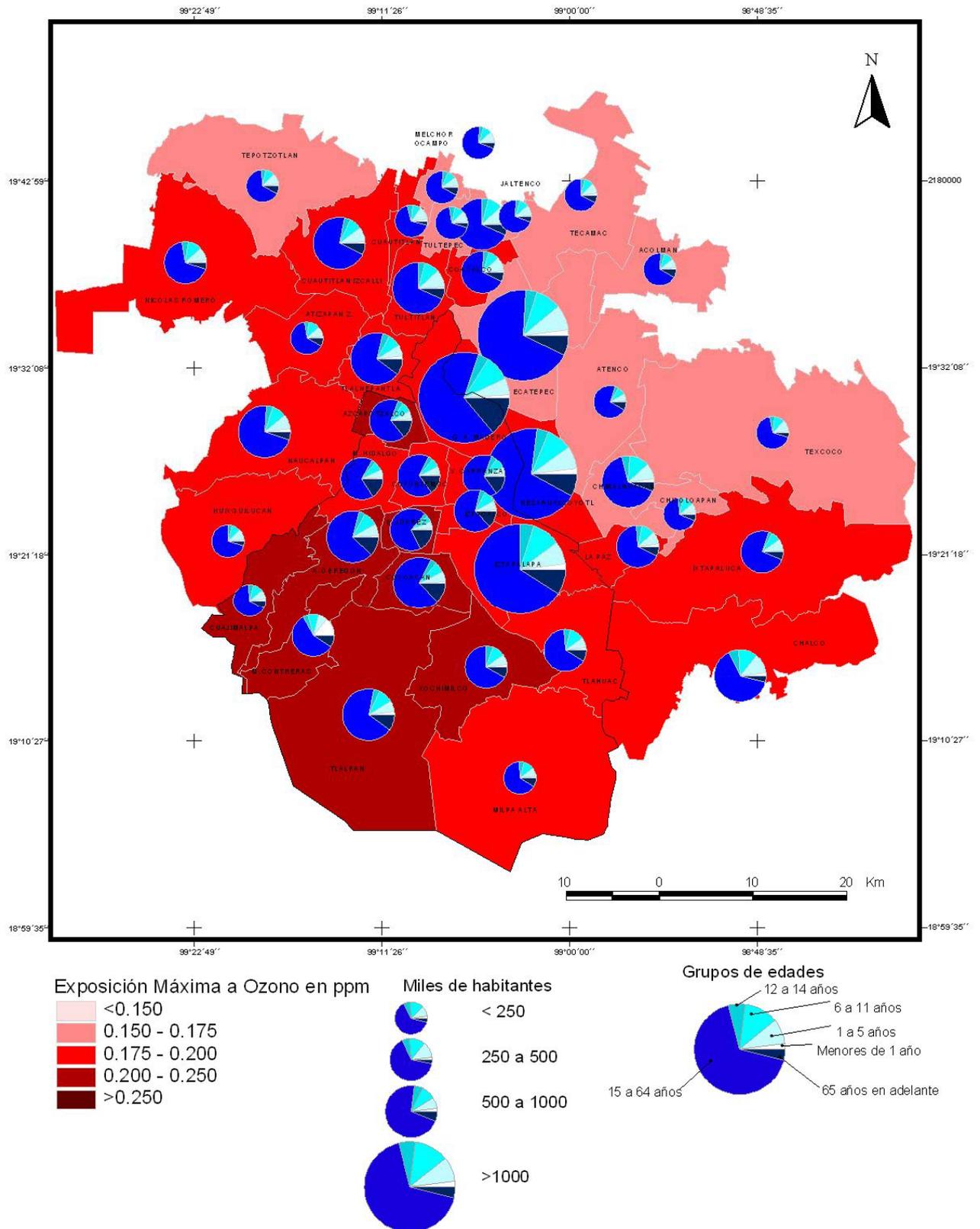
Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México (2005) y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2000)

**Figura 4.5. Exposición Máxima a ozono por grupos de edad, en un escenario de reducción del 10% al año 2010, por delegación y municipio.**



Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México (2005), y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2000)

**Figura 4.6. Exposición Máxima a ozono por grupos de edad, en un escenario de reducción del 20% al año 2010, por delegación y municipio.**



Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México, (2005) y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (2000)

## Conclusiones

La contaminación del aire en la ZMCM es un problema que se ha presentado desde la década de los 40. Para la década de los 80, este problema se volvió alarmante, llegando a niveles que triplicaban los límites establecidos por los organismos internacionales de protección a la salud. La calidad de aire en la actualidad ha mejorado de manera significativa pero de ninguna manera suficiente.

Uno de los principales contaminantes que se identifican en esta ciudad es el ozono, que es un gas altamente oxidante que degrada el organismo agravando síntomas cardiacos y respiratorios. Este contaminante sobrepasó el límite de protección a la salud en el 60% de los días del año 2005.

En la evaluación de la exposición a este contaminante realizada en este trabajo se identificó que actualmente la población está en contacto de manera cotidiana a 0.088 ppm, este nivel es significativamente alto ya que se han detectado daños a la salud en individuos expuestos continuamente a 0.040 ppm. Es importante señalar que en la actualidad al menos un día al año se presentan concentraciones superiores a las 0.212 ppm, lo que duplica la norma de salud que establece un límite máximo permisible de 0.110 ppm en una hora una vez al año, lo anterior indica la gravedad de este problema ambiental.

En la actualidad, 16.5 millones de personas en la ZMCM están expuestas a concentraciones por arriba de las normas de salud, la amenaza que representa para los habitantes la calidad del aire que respira es variable e impacta de manera significativa a grupos vulnerables como los adultos mayores a 65 años que en la actualidad representan el 4% de la población.

El costo de exponer a la población vulnerable a condiciones adversas para su salud se ve reflejado en la demanda de atención médica especializada, en la actualidad existen organismos internacionales que señalan un incremento en las emergencias de pacientes asmáticos con el incremento en las concentraciones de ozono.

Las medidas para disminuir este contaminante en la atmósfera ha funcionado de manera significativa, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, es necesario valorar los beneficios de continuar con la reducción de los niveles que se presentan. En este trabajo, se identificó que si lograra una disminución del 10% la exposición continua sería de 0.079 ppm que significaría cumplir con la norma de salud establecida en México, con una reducción del 20% este indicador sería de 0.072 ppm.

El beneficio directo que tendría la población sería una mejora en la calidad del aire que respira, lo que mejoraría su calidad de vida de manera considerable y evitaría el uso de recursos económicos para enfrentar una enfermedad agravada por las condiciones ambientales.

Es importante considerar que la dinámica de la población en la ciudad se ha modificado considerablemente, tanto de manera espacial como en su estructura misma, actualmente se ve un marcado crecimiento de la zona oriente de la ciudad principalmente en los Municipios Conurbados del Estado de México así como en la delegación Iztapalapa, por otra parte se identifican tasas de crecimiento negativas hacia el centro de la ciudad; la estructura poblacional indica un importante crecimiento de la población mayor a 65 años ya que se estima que para el año 2010 ésta representará el 9% de la población total.

En este sentido, es importante señalar que si se continuara con la calidad del aire actual, la demanda de atención médica se incrementaría considerablemente por el aumento de este grupo vulnerable. Un caso muy particular es la Delegación Benito Juárez, que tiene el porcentaje más alto de personas mayores de 65 años de edad y que se incrementará hacia el año 2010; esta delegación está ubicada al centro-sur del Distrito Federal donde actualmente las concentraciones son particularmente altas.

El escenario de reducción planteado en el presente trabajo hacia el año 2010 permite identificar los beneficios que tendrían los habitantes al disminuir las concentraciones de este contaminante, principalmente en el caso de los

grupos vulnerables como los mayores a 65 años. Este beneficio se refleja claramente en cuanto a la exposición cotidiana ya que al menos en este caso se cumpliría la norma de salud. Sin embargo, estudios recientes han detectado daños en el organismo humano a partir de concentraciones por debajo de esta norma, en cuanto a la exposición máxima que podría enfrentar la población. La reducción de las concentraciones tendría que ser superior al 60%, lo que señala que las acciones para mejorar la calidad del aire deben de continuar con propuestas más agresivas para la reducción de las emisiones a la atmósfera.

Los costos asociados a la contaminación atmosférica pocas veces se han evaluado, las variables son complejas. Sin embargo, los resultados obtenidos en trabajos similares al presente han sido utilizados como base principal de valoraciones económicas al respecto. Esta información ayudaría a establecer planes preventivos tanto en la implementación de acciones para disminuir las concentraciones de contaminantes, estimando el valor de la inversión y el beneficio que traería por la reducción de recursos aplicados a resolver problemas de salud relacionados con la contaminación del aire. Por otra parte, la identificación de los grupos vulnerables puede ayudar a desarrollar acciones de emergencia en situaciones de crisis ambiental.

Para lograr la reducción planteada en este trabajo es necesario continuar los planes de reducción de la contaminación del aire, como lo son los programas de verificación vehicular o el programa hoy no circula, así como la mejora en los servicios de transporte público, de manera que se vuelvan atractivos para la población que en la actualidad emplea su vehículo para desarrollar sus actividades diarias.

Por otra parte, es necesario revisar las normas de salud sobre la exposición a contaminantes atmosféricos ya que en diversos estudios se han encontrado repercusiones por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en ellas.

Hay que destacar que el estudio aquí presentado sólo considera uno de los contaminantes con mayor presencia en la atmósfera de la ciudad. Sin embargo, las concentraciones de partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros presentan, de igual manera, niveles considerablemente peligrosos para la salud de los habitantes, principalmente en la zona norte y oriente, donde la presencia de fuentes fijas como las Zonas Industriales y la presencia de fuentes naturales

de partículas como el ex lago de Texcoco, son una continua amenaza para la salud de la población y que observando las proyecciones poblacionales presentadas por CONAPO y referidas en este trabajo se presentará un aumento superior al 42% en el número de habitantes del 2000 al 2010. Por esta razón, es necesario desarrollar un trabajo similar al que aquí se presenta para evaluar la gravedad de la presencia de las partículas suspendidas en la aire y los beneficios de la reducción en la emisión de éstas.

Finalmente, el uso de la información sobre la calidad del aire y las características particulares de la población permiten estimar mediante el análisis espacial el impacto que tiene la contaminación de aire en la actualidad y los beneficios de la mejora de la calidad del aire hacia el futuro.

## ***Bibliografía General***

- BEAUJEU-GARNIER J.** 1971 "*La Géographie: méthodes et perspectives*", Paris, Masson.
- BLAIKIE**, Cannon y Wisner. 1996. "Vulnerabilidad Entorno social, político y económico de los desastres". Editorial La Red.
- CALIFORNIA AIR RESOURCES BOARD.** 1999. "The 1999 California Almanac of Emissions and Quality of air ".
- CARDENAS J.** 1998. "Definición de un marco teórico para comprender el concepto del desarrollo sustentable". Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Chile.
- CISERO P.** 2000. "Human exposure to Ozone and PM10 in the metropolitan area of México City using a GIS-BASE methology". Universidad de California.
- COMISIÓN AMBIENTAL METROPOLITANA.** 2002. (GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL, SEMARNAT, SSA, GEM). 2002. "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010".
- Ecosistema Urbano y Salud (ECOURS).** 2001. "Ecosistema Urbano y Salud de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México". Ed. Acuario México D.F.
- Environmental Protection Agency.** 1998. Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems Volume II: Part 1, Ambient Air Quality Monitoring Program. Quality System Development.
- GARCIA C.** 1984. "La geografía de los riesgos". Editorial Geocrítica, Barcelona España.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.** 2004<sup>a</sup>. "Informe del Estado de la Calidad y Tendencias 2003 para la Zona Metropolitana del Valle de México." Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión Ambiental del Aire.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.** 2004<sup>b</sup>. "Hacia la Agenda XXI de la Ciudad de México." Editorial Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente, Fundación Friederich Stftung.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL.** 2005. "Informe del Estado de la Calidad y Tendencias 2004 para la Zona Metropolitana del Valle de México." Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Gestión Ambiental del Aire.
- GEORGE, Pierre.** 1970. "Geografía económica". Ariel. Barcelona.
- GUTIERREZ H., Romieu I., Corey G y Fortoul T.** 1997. "Contaminación del Aire y Riesgos para la Salud". Ed. Manual Moderno. México.

- HARDOY**, J. E., Mitlin, Satterthwaite. 1992. "Environmental Problems in Third World Cities. Earthscan Publications: London.
- Instituto Nacional de Ecología** 2005. "Delimitación entre cuencas hidrológicas. Teóricamente es una línea imaginaria que une los puntos de máximo valor de altura relativa entre dos laderas adyacentes pero de exposición opuesta". INE.
- Instituto Nacional de Salud Pública**. 1996. "Evaluación de las Tendencias de exposición temporal y espacial a contaminantes atmosféricos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México." INSP.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática**. 2000. "Censo General de Población y Vivienda 2000" Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México.
- JAIMES**., M. 2004. "Análisis de la tendencia y comparación de la contaminación atmosférica por ozono para la Ciudad de México y Los Angeles, California, EUA" Tesis de Maestría UNAM.
- JOHNSON**, Capel, McCoy. 1996. "Estimation of ozone exposures "Experienced by urban residents using a probabilistic version of NEM and 1990 population data" . EPA-USA Estados Unidos.
- LOYOLA** E.,Castillo S. 2002. "Los Sistemas de Información Geográfica como herramienta para monitorear las desigualdades de salud" . Public Health.
- MASKREY** A. 1993. "Los desastres no son naturales." Editorial La Red.
- MOLINA** M. y Molina L. 2002. "Air Quality in the México Megacity." Massachussets Institute of Technology, Cambridge, MA, EUA.
- PNUMA**. 2003. "Geo Ciudad de México, Una visión del sistema urbano ambiental" Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Centro Geo, México D.F.
- PROAIRE**. 2000. "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México" Comisión Ambiental Metropolitana, GDF.
- ROSALES**. 2001. "Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos". Revista: Salud Pública de México / vol.43, no.6, noviembre-diciembre de 2001.
- SANTOS** C., Rojas L., Rosas I. 1996. "Modelaje de exposición a partículas en población general y riesgo de enfermedad respiratoria". Gaceta Médica Mexicana Vol 134 No.4.
- SANTOS** M. 1993. "Análisis del Sistema Mundo y de la Economía Mundial". Anales de Geografía de la Universidad Complutense nº 13. Ed. U.Complutense. Madrid.

**SCHWARTZ J.** 1994. "PM 10 Ozone, and Hospital admissions for the Elderly in Minneapolis St-Paul". Minnesota. Archives of Environmental Health.

**SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL DISTRITO FEDERAL.** 2005. "Evaluación de la exposición de la población de la Zona Metropolitana del Valle de México a ozono y partículas menores a 10 micrómetros" GDF.

**UNIKEL, L.**1978. El desarrollo urbano de México. México, El Colegio de México, segunda edición.

**WILCHES G.** 1998. Auge, caída y levantada de Felipe Pinillo, mecánico y soldador "Guía de la red para la gestión local del riesgo" Editorial La Red.

### Sitios Internet

**ARAGO Ángel.** 2005. "Guía Temática de Ecología y Medio Ambiente Impacto Ambiental" <http://www.lablaa.org/ayudadetareas/biologia/biolo59.htm>  
Consultada en noviembre 2005 Consultada en Enero de 2005.

**CONAPO.** 2004. "Página oficial del Consejo Nacional de Población" <http://www.conapo.gob.mx/> Consultada entre Noviembre de 2004 a Marzo de 2005.

**DARO.** 2005. "Protocolo de Kyoto Antecedentes y actualidad" <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia14/HTML/articulo02.htm>  
Consultada en noviembre 2005.

**EPA.** 2005 "Página oficial de Environmental Protection Agency " [www.epa.gov](http://www.epa.gov)  
Consultada en mayo de 2005.

**SMADF.** 2005 "Página Electrónica del SIMAT". Gobierno del Distrito Federal, Secretaría del Medio Ambiente México D.F. [www.sma.df.gob.mx/simat/](http://www.sma.df.gob.mx/simat/)  
Consultada en noviembre 2005.

**INEGI.** 2005. "Página oficial del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática". [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx) Consultada en marzo 2005.

**National Park Service.** 2003. "Estimating air pollutions in the parks using GIS" <http://www2.nature.nps.gov/air/> . Consultada en junio 2005.

**REYNAUD Alain.** 2005. "El Mito de la Unidad de la Geografía" Revista de Geografía Y Ecología <http://geobuzon.fcs.ucr.ac.cr/elmito.htm> Consultada en julio 2006.

**Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).** 2006. Página official: <http://www.sedesol.gob.mx/subsecretarias/desarrollourbano/cometah/coordinacion.htm> Consultada en julio 2006.

## Anexo

Exposición por Delegación/Municipio a Ozono en un escenario actual y en dos escenarios de reducción del 10 y 20% hacia el año 2010

DEL/MUN	Exposición cotidiana actual	Exposición Máxima actual	Exposición cotidiana reducción 10%	Exposición máxima reducción 10%	Exposición cotidiana reducción 20%	Exposición máxima reducción 20%
AZCAPOTZALCO	0.094	0.252	0.085	0.227	0.075	0.202
COYOACAN	0.098	0.265	0.088	0.238	0.078	0.211
CUAJIMALPA	0.101	0.264	0.091	0.238	0.081	0.211
G. A. MADERO	0.086	0.232	0.078	0.209	0.069	0.186
IZTACALCO	0.091	0.239	0.082	0.215	0.073	0.191
IZTAPALAPA	0.088	0.232	0.080	0.209	0.071	0.185
M. CONTRERAS	0.103	0.271	0.093	0.243	0.082	0.216
MILPA ALTA	0.092	0.242	0.083	0.218	0.073	0.194
A.OBREGON	0.101	0.271	0.091	0.244	0.081	0.217
TLAHUAC	0.090	0.238	0.081	0.214	0.072	0.190
TLALPAN	0.104	0.268	0.094	0.241	0.083	0.214
XOCHIMILCO	0.096	0.252	0.087	0.227	0.077	0.202
B. JUÁREZ	0.099	0.255	0.089	0.229	0.079	0.204
CUAUHTÉMOC	0.094	0.232	0.085	0.209	0.075	0.186
M. HIDALGO	0.096	0.249	0.087	0.224	0.077	0.199
V. CARRANZA	0.090	0.233	0.081	0.210	0.072	0.186
ACOLMAN	0.068	0.192	0.061	0.173	0.054	0.154
ATENCO	0.079	0.212	0.070	0.189	0.062	0.168
ATIZAPAN Z.	0.087	0.237	0.078	0.213	0.070	0.190
COACALCO	0.080	0.221	0.072	0.199	0.064	0.176
CUAUTITLAN	0.081	0.223	0.073	0.201	0.065	0.179
CHALCO	0.085	0.226	0.077	0.203	0.068	0.181
CHICOLOAPAN	0.080	0.211	0.072	0.190	0.064	0.168
CHIMALHUACAN	0.083	0.218	0.075	0.196	0.066	0.175
ECATEPEC	0.078	0.218	0.070	0.196	0.063	0.174
HUIXQUILUCAN	0.089	0.236	0.079	0.209	0.070	0.186
IXTAPALUCA	0.083	0.220	0.075	0.198	0.067	0.176
JALTENCO	0.076	0.213	0.069	0.192	0.061	0.170
MELCHOR OCAMPO	0.075	0.212	0.068	0.191	0.060	0.170
NAUCALPAN	0.092	0.250	0.083	0.225	0.074	0.200
NEZAHUALCOYOTL	0.087	0.230	0.078	0.207	0.069	0.184
NICOLAS ROMERO	0.081	0.224	0.073	0.202	0.065	0.179
TECAMAC	0.071	0.201	0.064	0.181	0.057	0.161
TEPOTZOTLAN	0.071	0.201	0.064	0.181	0.057	0.161
TEXCOCO	0.075	0.198	0.067	0.177	0.059	0.157
TLALNEPANTLA	0.084	0.232	0.076	0.209	0.068	0.186
TULTEPEC	0.077	0.216	0.070	0.194	0.062	0.173
TULTITLAN	0.083	0.227	0.074	0.204	0.066	0.182
CUAUTITLAN IZCALLI	0.083	0.227	0.074	0.205	0.066	0.182

Fuente: Estimación realizada con la información del Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México. (2005) y la información poblacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2000)