



GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL
Secretaría del Medio Ambiente



Dirección General de Gestión Ambiental del Aire
Dirección de Monitoreo Atmosférico
Subdirección de Análisis

**SERIE DE ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MONITOREO ATMOSFÉRICO
DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

**EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN DE LA ZONA METROPOLITANA DEL
VALLE DE MÉXICO
A OZONO Y PARTÍCULAS MENORES A 10 MICROMETROS**

El presente trabajo es parte de la Medida 8.5 – 4 del Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México, 2002-2010. Dicha medida tiene como propósito evaluar la exposición de la población a ozono y partículas menores a 10 micrómetros presentes en la atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de México; así como la exposición en escenarios futuros de mejoramiento de la calidad del aire.

Los resultados de este trabajo, serán un insumo para estimar el número de casos de morbilidad o mortalidad evitados ante la disminución de la contaminación atmosférica y el valor económico que representa.

Participantes

Biol. Roberto Muñoz Cruz

Act. Cristina Ortuño Mojica

Geog. Vicente Pérez Núñez

Dirección de Monitoreo Atmosférico / Dirección General de Gestión Ambiental del Aire / Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal

Dr. Pablo Cicero Fernández

Universidad de Los Ángeles California (UCLA)

Agradecimientos.

Al Químico Armando Retama Hernández por el acceso a la información obtenida en campañas de monitoreo.

Mayo 2005

calidadaire@sma.df.gob.mx
<http://www.sma.df.gob.mx/simat/>

1.0 ANTECEDENTES

Los efectos en la salud de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), relacionados con la contaminación atmosférica por ozono y partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10}), se ha asociado con síntomas comunes (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 estos contaminantes un incremento de la mortalidad prematura en personas con padecimientos respiratorios o cardiovasculares previos (Rosales, 2001).

Los estudios epidemiológicos realizados en la ZMVM, señalan una asociación entre las concentraciones de ozono y el aumento en admisiones hospitalarias por crisis de asma. En el caso de las PM_{10} , se reporta una relación con el aumento de muertes en la población total y grupos vulnerables, como son niños y adultos mayores (GDF, 2002).

La gestión ambiental en la ZMVM ha centrado sus acciones en la disminución de las concentraciones de ozono y PM_{10} , para cumplir con los límites que establecen las Normas Oficiales Mexicanas de protección a la salud (NOM) (CAM, 2002). En los últimos años la tendencia de ambos contaminantes ha tenido una disminución considerable; sin embargo, durante el año 2004 se superó el límite que señala la NOM para ozono en 61% de los días del año. En el caso de las PM_{10} , el límite que establece su NOM se rebasó en el 2% de los muestreos (GDF, 2005).

La presencia de los contaminantes en la atmósfera de la ZMVM, tienen una estrecha relación con las fuentes de emisión y los fenómenos meteorológicos. Por lo anterior, durante la época seca-caliente, que comprende de marzo a mayo, se registran las concentraciones máximas anuales de ozono, en tanto que en la época seca-fría, que comprende los meses de noviembre a febrero, se presentan concentraciones elevadas de PM_{10} . A nivel regional, el Sur de esta metrópoli presenta niveles altos de ozono, mientras que en el Norte y Oriente, registran niveles altos de PM_{10} . El comportamiento de estos contaminantes a lo largo del día, señala que las concentraciones altas de ozono se presentan entre las 13:00 y las 16:00 horas, mientras que las PM_{10} presentan niveles altos por la mañana y noche (GDF, 2004). Este comportamiento del ozono y las PM_{10} , propicia que los habitantes de la ZMVM tengan una exposición diferencial por la naturaleza del contaminante y su distribución espacial.

En el PROAIRE 2002-2010, la medida 8.5-4 para la protección de la salud, señala que es necesario mejorar la estimación de la exposición humana a contaminantes atmosféricos en el presente y en el futuro, como un insumo para la estimación del impacto en la salud y los beneficios económicos asociados.

En este orden de ideas, en el presente trabajo se estima la exposición de la población de la ZMVM a ozono y PM_{10} en los últimos años, así como la exposición en escenarios futuros de reducción de ambos contaminantes, como resultado de las acciones del PROAIRE 2002-2010.

El antecedente a este trabajo se presenta en el capítulo V del PROAIRE 2002-2010 y en el estudio "Economic Valuation of Improvement of Air Quality in the Metropolitan Area of Mexico City" (IVM 2000). En esta ocasión se incorporaron mejoras técnicas, como son: el método de interpolación de datos, la definición de condiciones de frontera, la estimación por grupos de edad y la referencia geográfica a nivel de Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) que permitirá identificar con mayor precisión la población expuesta. Además se consideró, para la evaluación de PM_{10} la información generada en estaciones manuales de monitoreo, dado que estos equipos son el método de referencia para la norma de salud de este contaminante.

Los resultados obtenidos fortalecerán al sistema de indicadores propuesto en el PROAIRE 2002–2010, los cuales integran la componente ambiental y de salud para expresar gastos económicos (CAM 2002).

Las limitaciones de este trabajo en comparación con otros estudios son que no se consideró la exposición intramuros, la movilidad de la población, el tipo de transporte, el tipo de actividades que desempeña la población y el tiempo de exposición a micro ambientes. Este tipo de estudios requieren un apoyo económico mayor, debido a la necesidad de generar información (INSP 1996).

2.0 OBJETIVOS

- a) Estimar el comportamiento del ozono y las PM_{10} en la ZMVM en un escenario actual de concentraciones en el aire ambiente y en dos escenarios de reducción de concentraciones del 10 y 20%.
- b) Estimar la distribución actual de la población general en la ZMVM, por grupos de edades, y su proyección al año 2010.
- c) Estimar la exposición a ozono y PM_{10} de la población general en la ZMVM, 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%.

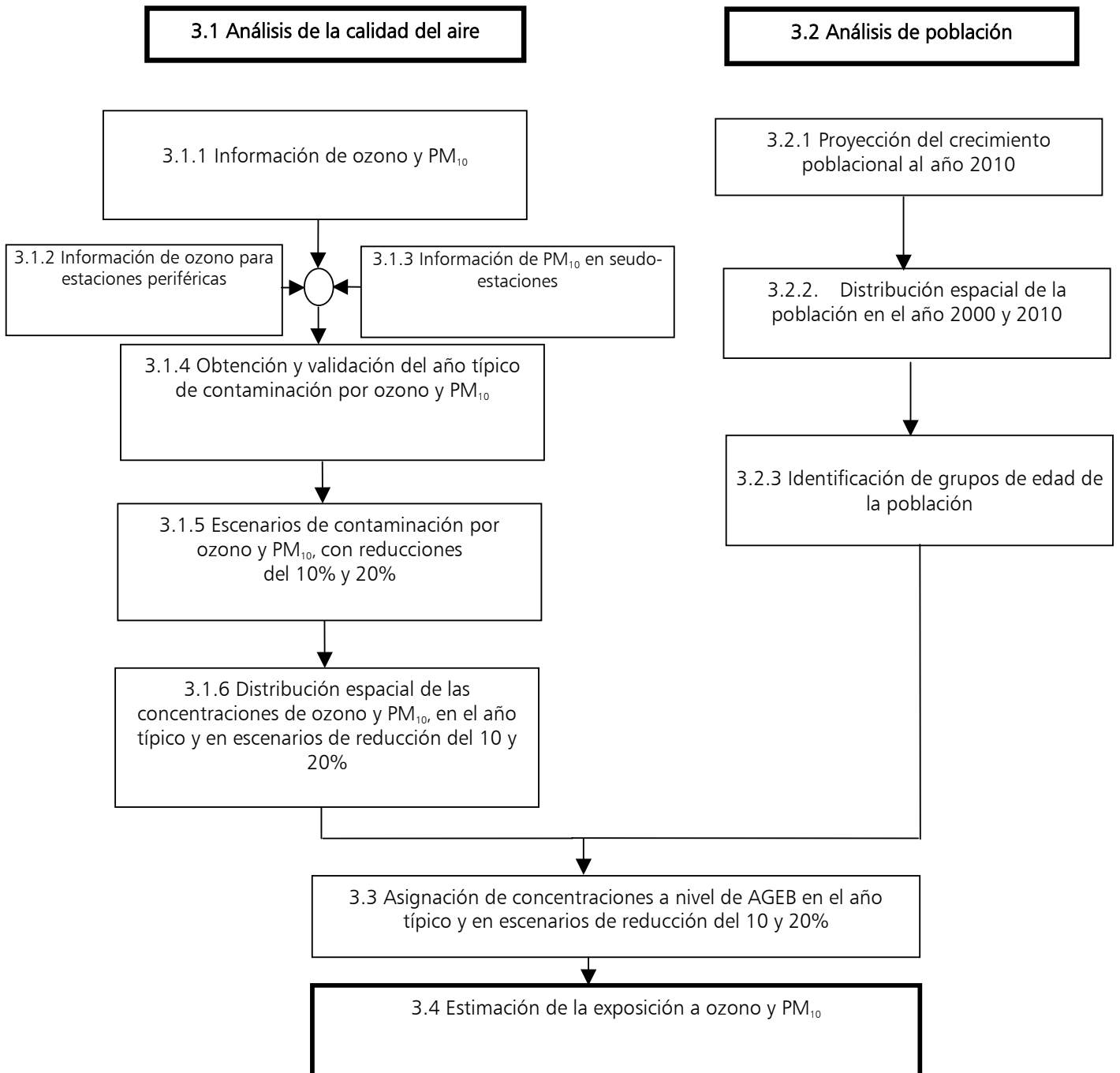
3.0 METODOLOGÍA

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, 1998). En el presente trabajo se entiende como exposición al contacto entre las concentraciones de contaminantes atmosféricos y la población que reside un área geográfica específica.

La metodología empleada en este trabajo para estimar la exposición se fundamentó en el estudio *"Human Exposure to ozone and PM_{10} in the Metropolitan Area of Mexico City using a GIS-Base"*, elaborado por Cicero et al. (2001), donde se obtuvieron indicadores de exposición poblacional a ozono y PM_{10} , en escenarios que simulan la calidad del aire actual y en el año 2010.

En el presente trabajo se consideraron dos tipos de información para estimar la exposición, por un lado la información de ozono y PM_{10} registrada en la ZMVM 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 el Esquema 1.

Esquema 1. Proceso general del modelo de exposición.



3.1 ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE.

3.1.1 Información de ozono y PM_{10} .

La información de ozono y PM_{10} empleada en este trabajo para elaborar los escenarios de exposición comprendió el período 1998 a 2002, debido a que se consideraron representativos de la calidad del aire vigente. Además permite actualizar los indicadores de exposición obtenidos en el trabajo de Cicero *et al.* (2001), quienes contemplaron información de 1995 a 1999.

En el caso del ozono se empleó la información horaria registrada por 20 estaciones automáticas del SIMAT distribuidas en la ZMVM (Mapa 1) y se seleccionó la concentración máxima diaria, de esta manera se conformaron bases de datos con 365 o 366 datos por cada estación de monitoreo y cada año.

La información de PM_{10} fue registrada en 15 estaciones manuales del SIMAT (Mapa 1) , las cuales generan 61 muestreos por año.

La ubicación geográfica de las 35 estaciones de monitoreo se realizó in situ por medio de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) e incorporadas a un Sistema de Información Geográfica (SIG).

3.1.2 Información de ozono en estaciones periféricas.

En el trabajo publicado por Cicero *et al.* (2001) se delimitaron las condiciones de frontera de calidad del aire por ozono en la ZMVM, mediante el uso de pseudo-estaciones en puntos geográficos donde no existen estaciones del SIMAT. Estos autores consideraron a las concentraciones medidas en la estación Chapingo (CHA) para asignarlas a las pseudo-estaciones y mejorar así la distribución espacial del ozono.

En este trabajo las condiciones de frontera de calidad del aire para ozono, se delimitaron con base a la información registrada en 3 campañas de investigación.

1. Río Frío (del 15 al 23 de Marzo de 2004), se localiza en el parteaguas¹ 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 ZMVM.

Los puntos geográficos donde se realizaron estas campañas se consideraron como estaciones periféricas, las coordenadas de Parres corresponden a las que tiene la estación de monitoreo Parres del SIMAT y en Cerro Catedral corresponden al Radar del Sistema Meteorológico Nacional, en el caso de Río Frío las coordenadas geográficas se aproximaron a partir del mapa de carreteras (Mapa 1).

La información de estas campañas se validó considerando el criterio de suficiencia de información²

¹ Parteaguas: 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 (Instituto Nacional de Ecología).

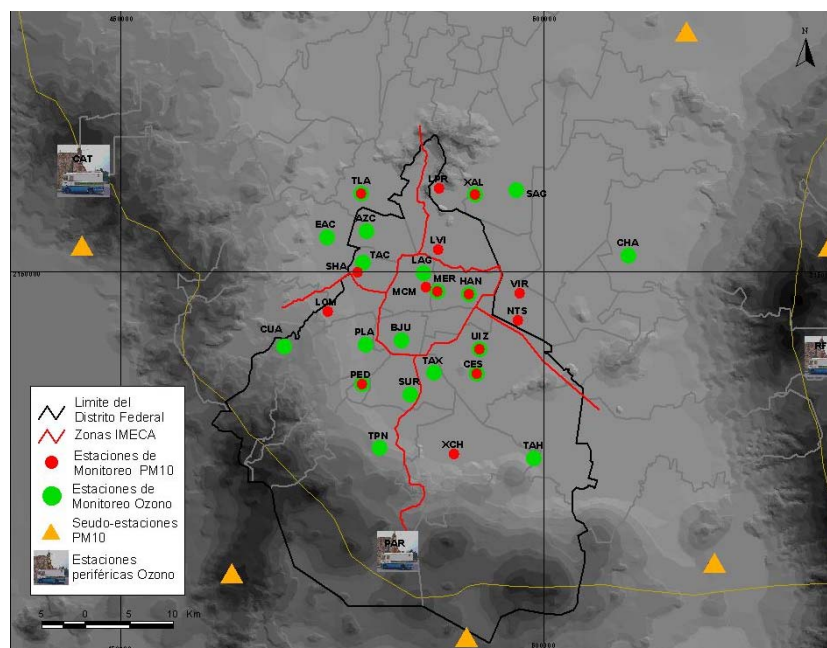
² Es decir, contar con al menos el 75% de registros válidos. En el caso de promedio horario al menos 45 minutos de información y para el dato diario al menos 18 horas.

3.1.3 Información de PM₁₀ en pseudo-estaciones.

Como se mencionó en el apartado anterior, en el trabajo publicado por Cicero *et al.* (2001) se delimitaron las condiciones de frontera de calidad del aire por PM₁₀ en la ZMVM, mediante el uso de pseudo-estaciones en puntos geográficos donde no existen estaciones del SIMAT. Estos autores consideraron las mediciones de PM₁₀ de la estación Pedregal (PED) para asignarlas a las pseudo-estaciones, dado que en esta estación se registran las concentraciones menores de PM₁₀ y definen así los límites de frontera para este contaminante.

En el presente trabajo se utilizaron pseudo-estaciones con la misma ubicación del trabajo de Cicero *et al.* (2001) y se les asociaron las concentraciones menores de PM₁₀ que se registran en la ZMVM, las cuales corresponden a la estación Pedregal (PED).

Mapa. 1 Ubicación de las estaciones de monitoreo de Ozono y PM₁₀ del SIMAT, las estaciones periféricas de Ozono y las pseudo-estaciones de PM₁₀, en la ZMVM.



3.1.4. Obtención y validación del año típico para ozono y PM₁₀.

Un año típico resume las condiciones de contaminación atmosférica de un período de años. En este trabajo se construyeron años típicos para ozono y PM₁₀ en la ZMVM, con base en las concentraciones registradas entre 1998 y 2002, los cuales se consideraron como representativos de un escenario actual de ambos contaminantes. Cicero *et al.* (2001) definieron el año típico de estos contaminantes con base en la información registrada entre 1995 y 1999.

Año típico para ozono

La obtención del año típico de ozono en cada estación se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. A partir de las bases de datos anuales de concentraciones máximas diarias (apartado 3.1.1.), se integró una base de datos para los 5 años (1998-2002). La pérdida o falta de información ocasionó que el número de registros variara entre estaciones, las estaciones con un mayor número de registros fueron Lagunilla (LAG) y Tacuba (TAC) con 1798, mientras que Santa Ursula (SUR) tuvo 821.
2. Esta base de datos se ordenó de menor a mayor magnitud y se asignó un número consecutivo. En la Tabla 1 se ilustra el caso de la estación Lagunilla (LAG).

3. Se seleccionaron los 365 datos que representan al año típico, para lo cual se estableció un indicador de selección a partir de la división del número total de registros entre 365. En el ejemplo sería, $1798 / 365 = 4.926$ (Tabla 1).
4. En la base de datos se ubicó el número consecutivo que corresponde al valor del indicador de selección. En el ejemplo se considera el número entero 4.
5. Posteriormente se calculó la diferencia de las concentraciones que corresponden al número consecutivo seleccionado y el siguiente número consecutivo. En el ejemplo de la Tabla 1 sería la diferencia entre 0.012 y 0.011.
6. El resultado de la diferencia se multiplicó por la parte decimal del indicador de selección y se adiciona a la concentración seleccionada. El resultado es la primera concentración que conformará el año típico. En el ejemplo sería $(0.001 \times 0.926) + 0.011 = 0.0119$ (Tabla 1).
7. Para identificar el resto de concentraciones del año típico, se adicionó al número consecutivo seleccionado al inicio el valor del indicador de selección y se procedió a definir la siguiente concentración del año típico como se describió anteriormente.

Tabla 1. Selección de un año típico de ozono en la estación LAG.

Base de datos de concentraciones máximas de Ozono en el período de 1998-2002		
Consecutivo	LAG	
1	0.008	
2	0.011	
3	0.011	
4	0.011	El indicador marca 4.926 , se ubica en el número consecutivo 4. Se calcula la diferencia de concentraciones de los números 4 y 5. El resultado es 0.001 y se multiplica por 0.926, la parte decimal del indicador. El resultado se suma a la concentración 0.011, en este caso 0.0119, que corresponde a la primera concentración del año típico.
5	0.012	
6	0.012	
7	0.013	
8	0.013	
9	0.013	
10	0.014	
11	0.014	
12	0.014	
13	0.015	
14	0.015	
15	0.015	
16	0.015	
17	0.016	
18	0.017	
.	.	
.	.	
1798	0.268	

Base del año Típico		
	Indicador de selección	Valor en el año típico
1	4.926	0.012
2	$(4.926 + 4.926) = 9.852$	0.014
3	$(9.852 + 4.926) = 14.778$	0.015
4	19.704	0.019
5	24.63	0.021
6	29.556	0.022
7	34.482	0.023
8	39.408	0.024
9	44.334	0.025
10	49.26	0.027
11	54.186	0.027
12	59.112	0.029
13	64.038	0.029
14	68.964	0.030
15	4.926	0.031
16	9.852	0.032
17	14.778	0.033
18	19.704	0.034
.	.	.
.	.	.
365	1798	0.268

En el caso de la información de ozono registrada en campañas de monitoreo de corto tiempo, que se empleó para definir estaciones periféricas, la obtención del año típico se realizó de la siguiente manera³:

1. Considerando las fechas en que se realizaron las campañas de monitoreo, se seleccionaron para el mismo período de tiempo las bases de datos de las estaciones de monitoreo del SIMAT.
2. Se obtuvieron indicadores de relación entre las concentraciones de ambas bases de datos.

³ En el Anexo 3 se explica con detalle el procedimiento para obtener el año típico para estaciones periféricas.

- Se aplicaron los indicadores de relación a la base de datos que conforma el año típico de cada estación, la cual representa al año típico de las concentraciones registradas en el lugar de la campaña de monitoreo.

Año típico para PM_{10} .

La obtención del año típico para PM_{10} se realizó de la siguiente manera:

- A partir de la base de datos de muestreos de PM_{10} realizados cada 6 días entre 1998 y 2002, se ordenaron las concentraciones de cada estación de monitoreo de menor a mayor y se les asignó un valor consecutivo. El número de muestreos que se obtuvo varía dependiendo del desempeño de cada estación, Pedregal (PED) y Tlalnepantla (TLA) tuvieron 308 muestreos, mientras que Xochimilco (XCH) tuvo 36.
- Se estableció el indicador de selección para obtener el año típico. En la Tabla 2 se ilustra el caso de la estación UAM Iztapalapa (UIZ), el indicador se obtuvo dividiendo 295 (número de muestreos realizados durante el periodo del 1° de enero de 1998 al 31 de diciembre de 2002) entre 61 (número de muestreos esperados en el año). En este ejemplo es, $295/61 = 4.8$ como indicador de selección.
- La selección de muestreos para el año típico se realizó localizando el valor entero del indicador de selección en la columna de números consecutivos. En el ejemplo de la Tabla 2, se seleccionó el número consecutivo 4 y el primer valor para el año típico se definió restando esta concentración de la asignada al número consecutivo 5, posteriormente se multiplicó el resultado por la parte decimal del indicador. Finalmente se sumó a la concentración asignada al número consecutivo, en este caso 4. En el ejemplo señalado el valor del indicador sería $((18-16) * 0.8) + 16 = 17.6$
- Para definir los 61 valores que representan al año típico de muestreos de PM_{10} , se consideró el valor del indicador como base y se suma nuevamente su valor. En el ejemplo es $4.8 + 4.8 = 9.6$, posteriormente se obtuvo el valor para el año típico como se mencionó en el apartado anterior. Este procedimiento se repitió hasta contar los 61 valores.

Tabla 2. Selección del año típico para PM_{10} en la estación UIZ.

Base de datos de concentraciones máximas de PM_{10} en el período de 1998-2002			Base del año Típico		
Consecutivo	UIZ			Indicador de selección	Valor en el año típico
1	15	El indicador marca 4.8 , se ubica el en número consecutivo 4. Se calcula la diferencia de concentraciones de los números 4 y 5. El resultado es 2 y se multiplica por los decimales del indicador que es 0.8 y finalmente se suma al entero (16) y se obtiene la concentración 17.6, reduciendo decimales es 18.	1	4.8	18
2	15		2	$(4.8+4.8)=9.6$	22
3	15		3	$(9.6+4.8)=14.4$	24
4	16		4	19.2	25
5	18		5	24	27
6	19		6	28.8	28
7	20		7	33.6	29
8	21		8	38.4	30
9	21		9	43.2	32
10	22		10	48	32
11	22		11	52.8	33
12	22		12	57.6	34
13	23		13	62.4	37
14	24		14	67.2	37
15	24		15	72	39
16	25		16	76.8	39
17	25		17	81.6	41
18	25		18	86.4	42
Hasta			Hasta		
295	184		61	295	184

Validación del año típico de ozono y PM_{10} .

La validación de la representatividad del año típico, con relación al período de datos registrados entre 1998 y 2002, se realizó comparando el valor de sus promedios, desviaciones estándar y concentraciones máximas, adicionalmente se analizaron los percentiles 90, 75, 50 y 25 para fortalecer la validación.

La Tabla 3 integra los parámetros estadísticos de ozono en cada estación de monitoreo, considerando el año típico y el período 1998–2002. La similitud que hay al comparar entre estaciones sugiere que la representatividad del año típico es adecuada, de tal forma que resume de manera aceptable las condiciones de contaminación por ozono registradas entre 1998 y 2002.

En el caso de las PM_{10} , en algunas estaciones de monitoreo los promedios del año típico presentan diferencias de hasta $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en comparación de los promedios de los muestreos registrados entre 1998 y 2002 (Tabla 4). Esto indica que el año típico tiene una ligera sobrestimación.

Tabla 3. Análisis de representatividad del año típico de ozono.

Periodo 1999-2002								Año Típico						
ESTACIÓN	MAX	DESV. EST.	PROM	Percentil 90	Percentil 75	Percentil 50	Percentil 25	MAX	DESV. EST.	PROM	Percentil 90	Percentil 75	Percentil 50	Percentil 25
TAH	0.244	0.042	0.109	0.164	0.138	0.108	0.076	0.244	0.042	0.109	0.164	0.138	0.108	0.076
SUR	0.281	0.048	0.131	0.191	0.166	0.132	0.097	0.281	0.048	0.131	0.192	0.166	0.133	0.097
CUA	0.270	0.048	0.114	0.180	0.146	0.111	0.080	0.270	0.048	0.115	0.180	0.146	0.111	0.080
TPN	0.276	0.049	0.129	0.190	0.163	0.129	0.094	0.276	0.049	0.129	0.191	0.163	0.129	0.094
CHA	0.210	0.028	0.076	0.111	0.095	0.076	0.056	0.210	0.028	0.076	0.112	0.095	0.076	0.056
LAG	0.268	0.047	0.111	0.173	0.144	0.110	0.077	0.268	0.047	0.111	0.173	0.145	0.110	0.077
BJU	0.261	0.048	0.115	0.178	0.150	0.115	0.079	0.261	0.048	0.115	0.178	0.150	0.115	0.080
TAX	0.256	0.040	0.102	0.155	0.128	0.103	0.074	0.256	0.040	0.103	0.155	0.128	0.103	0.074
TAC	0.307	0.050	0.119	0.185	0.154	0.115	0.082	0.307	0.050	0.119	0.186	0.154	0.116	0.082
EAC	0.309	0.047	0.107	0.169	0.138	0.100	0.072	0.309	0.047	0.107	0.169	0.138	0.100	0.072
HAN	0.269	0.041	0.104	0.158	0.130	0.105	0.075	0.269	0.041	0.104	0.158	0.131	0.105	0.075
UIZ	0.265	0.045	0.111	0.169	0.143	0.110	0.078	0.265	0.045	0.111	0.170	0.143	0.110	0.078
CES	0.276	0.038	0.099	0.148	0.124	0.099	0.071	0.276	0.038	0.099	0.148	0.124	0.099	0.071
PLA	0.321	0.053	0.126	0.198	0.163	0.126	0.086	0.321	0.053	0.127	0.198	0.163	0.126	0.087
MER	0.279	0.044	0.108	0.165	0.138	0.109	0.077	0.279	0.044	0.108	0.165	0.138	0.109	0.077
PED	0.311	0.054	0.134	0.204	0.172	0.134	0.096	0.311	0.054	0.135	0.204	0.172	0.134	0.096
AZC	0.284	0.047	0.113	0.177	0.145	0.109	0.077	0.284	0.047	0.113	0.177	0.146	0.109	0.077
XAL	0.222	0.040	0.085	0.139	0.112	0.081	0.055	0.208	0.040	0.085	0.139	0.112	0.081	0.055
TLA	0.250	0.041	0.095	0.151	0.120	0.089	0.065	0.250	0.041	0.095	0.151	0.120	0.089	0.065
SAG	0.285	0.037	0.095	0.143	0.116	0.091	0.070	0.285	0.037	0.095	0.143	0.116	0.091	0.070
Concentraciones de ozono en partes por millón (ppm)														

Tabla 4. Análisis de representatividad del año típico de PM_{10}

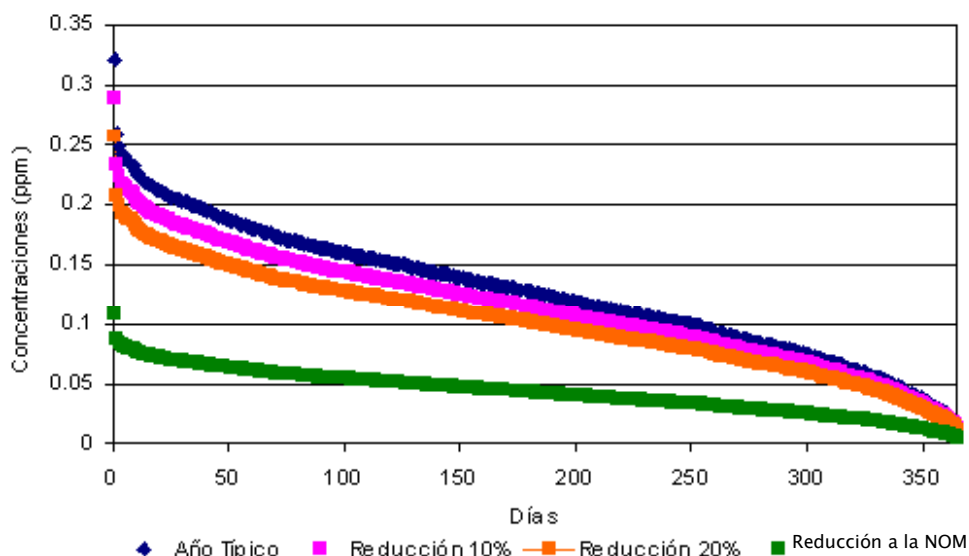
Periodo 1999-2002								Año Típico						
ESTACIÓN	MAX	DESV. EST.	PROM	Percentil 90	Percentil 75	Percentil 50	Percentil 25	MAX	DESV. EST.	PROM	Percentil 90	Percentil 75	Percentil 50	Percentil 25
LVI	138	26	53	92	68	50	33	138	27	54	92	68	50	33
VIR	525	65	149	213	177	138	110	525	70	151	214	178	139	110
HAN	176	27	56	88	66	52	39	176	28	57	88	67	52	39
XCH	236	47	98	155	128	96	58	236	48	98	155	128	97	58
UIZ	184	31	64	106	83	59	39	184	33	65	107	83	59	39
SHA	236	27	54	83	64	50	37	236	32	56	83	64	50	38
NTS	244	34	74	120	94	69	46	244	38	76	122	94	70	48
MCM	214	32	63	100	78	56	41	214	34	64	100	79	57	41
LPR	262	52	110	188	147	104	72	262	54	112	188	147	104	73
LOM	130	20	47	70	61	43	32	130	22	47	70	61	44	33
XAL	315	57	123	205	160	114	80	315	59	125	205	161	114	80
TLA	326	32	64	97	79	59	44	326	42	67	97	79	59	44
PED	144	21	44	70	56	42	29	144	23	45	70	56	42	29
MER	212	29	65	102	82	61	42	212	32	67	102	82	61	42
CES	292	38	71	111	90	64	45	292	44	73	114	90	64	45
Concentraciones de PM_{10} en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)														

3.1.5 Escenarios de contaminación por ozono y PM_{10} , con reducciones del 10 y 20%.

La evaluación de la exposición de los habitantes de la ZMVM en el futuro, tiene como supuesto fundamental que la contaminación del aire disminuirá como resultado de la efectividad en la implementación de las acciones del PROAIRE 2002-2010. Con base en este supuesto, se consideró que las concentraciones del año típico o escenario actual de ozono y PM_{10} , disminuirán en el año 2010 en 10% y 20%, incluso se contempló el posible cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en su 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. Este supuesto y los porcentajes de reducción son similares a los planteados por Cicero *et al* (2001).

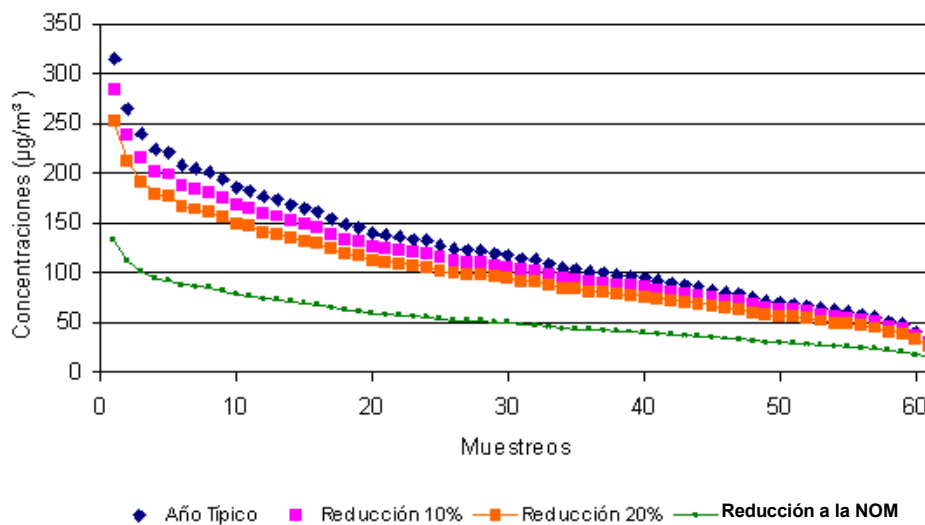
Las Gráficas 1 y 2 ilustran el comportamiento de ozono y PM_{10} en las estaciones con niveles mayores en los 3 escenarios. En el caso de la estación Plateros (PLA), el análisis del ozono en el año típico indicó que hubo una concentración máxima de 0.321 ppm y que en 250 ocasiones tuvo valores superiores 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 190 ocasiones y en el escenario del 20% se estimaron 155 ocasiones. Para el cumplimiento de la NOM, se estimó que la concentración máxima de 0.321 ppm obtenida en el año típico, debería disminuir en 66% para cumplir con el límite de 0.11 ppm. En el Anexo 1 se presentan las gráficas de las estaciones de monitoreo de ozono.

Gráfica 1. Año Típico y escenarios de reducción en la estación Plateros (PLA).



En el caso de PM_{10} , la estación de monitoreo con las concentraciones máximas en el año típico fue Xalostoc (XAL), destacando que una tercera parte de los muestreos superaron el valor del límite que establece la NOM. En la Gráfica 2 se ilustra la frecuencia acumulada de los 61 muestreos de PM_{10} obtenidos en el año típico y su comportamiento en los 3 escenarios de disminución. En el escenario de reducción del 10% la concentración máxima de PM_{10} sería $286 \mu g/m^3$ y la frecuencia de valores que superan el valor límite de la NOM sería 14, en el escenario de reducción del 20% la frecuencia sería de 10. Para el escenario de cumplimiento de la NOM se requiere reducir la concentración en un 58% para cumplir con el límite permisible. En el Anexo 2 se incorporan las gráficas de las estaciones de monitoreo de PM_{10} .

Gráfica 2. Año Típico y escenarios de reducción en la estación Xalostoc (Xal).



3.1.6 Distribución espacial de las concentraciones de ozono y PM_{10} , en el año típico y en los escenarios de reducción del 10 y 20%.

Finalmente se simuló la distribución espacial del ozono y las PM_{10} , lo que permite estimar concentraciones de ambos contaminantes en regiones donde no se cuenta con estaciones de monitoreo. Esta actividad se realizó con la información del año típico o escenario actual y los escenarios de reducción de 10 y 20%, para lo cual se obtuvieron dos indicadores de calidad del aire para ambos contaminantes, la concentración máxima (*máximo maximorum*) y el promedio. La concentración máxima permite simular la distribución espacial de concentraciones críticas, mientras que el segundo de estos indicadores permite simular las concentraciones que se presentan de forma cotidiana.

Esta simulación se elaboró mediante interpolación por medio de Sistemas de Información Geográfica⁴, empleando el método Kriging en su modalidad lineal. El área de interpolación se estableció con base a la cobertura de las estaciones de monitoreo. Cimorelli *et al* (2001) emplean este tipo de herramienta para la estimación de la distribución espacial del ozono en el noroeste de los Estados Unidos (10).

3.2 ANÁLISIS DE POBLACIÓN.

Este análisis consistió en ubicar geográficamente a la población que habita en la ZMVM, con la finalidad de asignarles a cada Área Geográfica Básica (AGEB), la estimación de las concentraciones de ozono y PM_{10} obtenidas mediante la interpolación en el apartado 3.1.6. Esta forma de asociar a la población con contaminantes atmosféricos no considera su movilidad, esto supone que las personas permanecen en el lugar donde residen.

El supuesto mencionado puede considerarse como una de las deficiencias técnicas del presente trabajo; sin embargo, el análisis de la exposición por grupos de edad permite tener una estimación para sectores de la población con movilidad limitada y alta vulnerabilidad, como son los niños y las personas de la tercera edad. Otra aportación de este trabajo es la estimación de la

⁴ En este trabajo se utilizó el software comercial ArcView 3.2, con la extensión Spatial Analyst y la extensión Kriging Interpolator 3D.

exposición al nivel de AGEB. Cicero *et al.* (2001) realizaron sus estimaciones para la población general y al nivel de delegación o municipio.

La AGEB 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. Las AGEBS se dividen en rurales y urbanas, estas últimas son un área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas (generalmente de una a 50), perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo sea principalmente habitacional, industrial, de servicios o comercial. Se asigna a áreas geográficas de localidades con una población igual o mayor a 2,500 habitantes, o que sea cabecera municipal independientemente del número de habitantes, de acuerdo con el último censo (INEGI 2000).

En el presente trabajo se desagregó la información poblacional a nivel de AGEB, para cada delegación del Distrito Federal (DF) o municipios conurbados 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 DF y MCEM (2000).

3.2.1 Proyección del crecimiento poblacional al año 2010.

A partir de la base de datos desagregada por AGEB se calculó el número de habitantes que concentra actualmente la ZMVM; así como los que concentran las 16 delegaciones del D.F. y los 27 municipios conurbados del Estado de México⁵ (Tabla 4).

Posteriormente se proyectó el crecimiento poblacional al año 2010 con base a las tasas de crecimiento del Consejo Nacional de Población (CONAPO)⁶. Esto con la finalidad de estimar la exposición poblacional en función de los escenarios futuros de reducción de la contaminación por ozono y PM₁₀. Esta proyección se realizó para cada AGEB y se integró al nivel de la ZMVM, el DF y los MCEM (Tabla 4).

Tabla 4. Población de la ZMVM en el año 2000 y su proyecciones al año 2010.

	Población en el año 2000	Proyección de población para el año 2010
ZMVM	16,702,578	17,100,026
DF	8,427,235	8,586,491
MCEM	8,275,304	8,513,556

3.2.2 Distribución espacial de la población en el año 2000 y 2010.

A partir de la información poblacional de la ZMVM desagregada por AGEB, se realizó un análisis de distribución poblacional en el año 2000 y en el año 2010. Para este análisis, la información por AGEB se integró al nivel de delegación o municipio en un mapa digital, lo que permitió tener una visión espacial de los cambios de la distribución poblacional entre el año 2000 y 2010. Esta simulación se elaboró por medio de Sistemas de Información Geográfica⁷.

3.2.3 Identificación de grupos de edad de la población.

La desagregación de la información poblacional en grupos de edad, permitió estimar la exposición de las personas con menor movilidad o que permanecen más tiempo en el área de residencia, por lo

⁵ Considerando la distribución de los sitios de monitoreo y la disponibilidad de información poblacional.

⁶ El Consejo Nacional de Población presenta una proyección poblacional por municipios y localidad del 2000 al 2030, las tasas de crecimiento por delegación se aplicaron proporcionalmente a nivel de AGEB.

⁷ En este trabajo se utilizó el software comercial ArcView 3.2, con la extensión Spatial Analyst y la extensión Kriging Interpolator 3D.

que pueden tener una mayor probabilidad de exponerse a la contaminación del aire. El daño a la salud de las personas debido a la contaminación atmosférica, se incrementa en las personas menores a 14 años y las personas mayores a 65 años (GDF, 2002).

Los grupos de edad se definieron conforme la clasificación del CONAPO (Tabla 5), el número de personas para cada uno de los grupos de edad se identificó a nivel de AGEB, tanto en el año 2000 y como en el año 2010. Las proyecciones de crecimiento poblacional del CONAPO para cada uno de los grupo de edad, permitió estimar la estructura de la población en el futuro.

Tabla 5. Definición de grupos de edad.

Grupo de Edad	Población que representa
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

3.3 ASIGNACIÓN DE CONCENTRACIONES DE OZONO Y PM₁₀ AL NIVEL DE AGEB EN EL AÑO TÍPICO Y EN LOS ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DEL 10 Y 20%.

A partir de los resultados del apartado 3.1.6, donde se simuló la distribución espacial del ozono y las PM₁₀ en la ZMVM considerando los indicadores concentración máxima y el promedio, se estimaron concentraciones de ambos contaminantes en la delimitación espacial de cada AGEB, lo que permitió integrar la información de contaminación atmosférica por ozono y PM₁₀, a la misma escala que la información poblacional.

La estimación de las concentraciones de ozono y PM₁₀ conforme la delimitación espacial de cada AGEB⁸ requirió el empleo del Sistema de Información Geográfica. A la base de datos de 4,531 AGEBS con datos de la población general y por grupos de edad en el año 2000 y su crecimiento en el año 2010, se agregó la concentración de ozono y PM₁₀ estimada con los indicadores de concentración máxima y promedio. Esta base de datos fue el insumo principal para la estimación de la exposición.

3.4 ESTIMACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN DE LA ZMVM A OZONO Y PM₁₀, EN EL AÑO TÍPICO Y EN LOS ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DEL 10 Y 20%.

La estimación de la exposición de la población al nivel de AGEB, se obtuvo por medio de la ponderación de las concentraciones de ozono y PM₁₀ asignadas a estas áreas geográficas, con la población total.

La exposición se estimó con los 2 indicadores de contaminación atmosférica (concentración máximo y promedio), en los escenarios de contaminación atmosférica actual y en los escenarios futuros de reducción del 10 y 20% en el año 2010.

⁸ En el apartado 3.1.6 se realizó la distribución de los contaminantes en la ZMVM, esta distribución se generó con una malla de puntos que estima la concentración a cada 100 metros, para asignar una concentración a un AGEB se promediaron los puntos que caen dentro del mismo.

La estimación de la exposición se realizó por medio de la siguiente ecuación:

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

Donde:

Epca = exposición de la población a concentraciones de contaminantes

ca_i = indicador de contaminación atmosférica (concentración máxima o promedio)

p_i = población del AGEB i

N= número de AGEBS considerados

Ejemplo

Para estimar la exposición a PM₁₀ en la delegación Benito Juárez, se consideran las 102 AGEBS que integran esta demarcación, con su población y su concentración promedio. La estimación de la exposición se calculó de la siguiente manera:

1. Multiplicar la población por la concentración promedio de PM₁₀ en cada AGEB.
2. Sumar el resultado de la multiplicación de todos los AGEBS.
3. Dividir el resultado anterior entre la población total de la delegación.

	AGEB	Población en el año 2000	PM ₁₀ (µg/m³)	Población x concentración de PM ₁₀
1	9014041-6	2606	55	143330
2	9014043-5	5002	54	270108
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
102	9014042-0	4603	54	248562
		Σ= 356346		Σ= 19590772

$$Epca = \frac{\sum pob * concentración}{pobtot.} \quad Epca = \frac{19590772}{356346} = 55$$

4. La estimación de la exposición a PM₁₀ en la delegación Benito Juárez durante el año 2000 sería de 55 µg/m³.

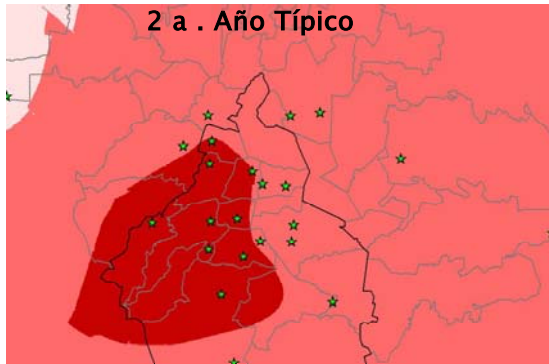
Los resultados de la exposición para cada uno de los 4,531 AGEBS se incorporaron a la base de datos, posteriormente se integraron al nivel de delegación y municipio, Distrito Federal y Estado de México, y al nivel de la ZMVM.

4.0 RESULTADOS

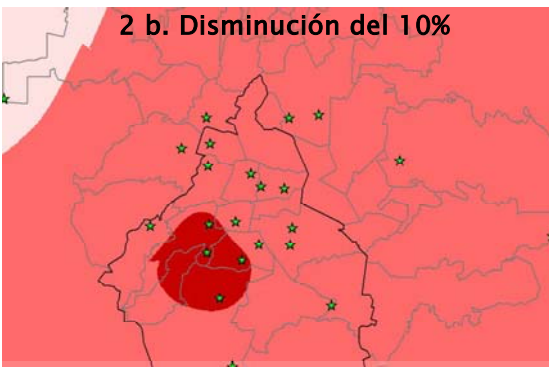
4.1 COMPORTAMIENTO DEL OZONO Y LAS PM_{10} EN LA ZMVM, EN UN ESCENARIO ACTUAL Y EN ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DE CONCENTRACIONES DEL 10 Y DEL 20%.

4.1.1 Ozono.

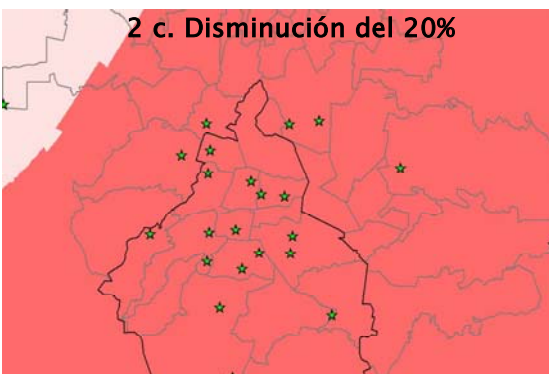
Mapa 2. Distribución espacial de las concentraciones promedio de ozono en la ZMVM en un escenario actual y de reducción del 10 y 20%.



La distribución espacial del promedio de las concentraciones máximas diarias de ozono, obtenidas en el escenario actual de contaminación atmosférica, indica que la región que comprende el Oeste y Suroeste del D.F., y parte de los municipios de Naucalpan y Huixquilucan del Estado de México, presentan concentraciones con valores superiores a 0.11 ppm, el límite permisible que señala la NOM (Mapa 2a). Esto indica que durante el período de años que representa el año típico, se registraron cotidianamente concentraciones que afectan la salud de los habitantes de esta región.



La disminución del 10% en las concentraciones máximas diarias de ozono, provoca una disminución considerable de la región geográfica donde el promedio supera el valor de 0.11 ppm, la cual comprende en este caso parte de las delegaciones Coyoacán, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan (Mapa 2b).



En el caso de la reducción del 20%, los resultados indican que en toda la ZMVM prevalecen valores inferiores al valor del límite de protección a la salud (Mapa 2c).

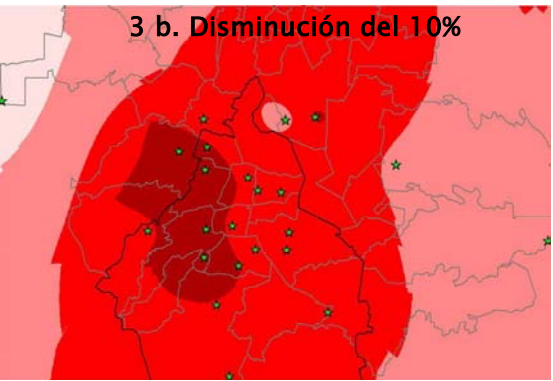
Concentraciones de ozono
en ppm

0.02 - 0.05
0.05 - 0.11
>0.11

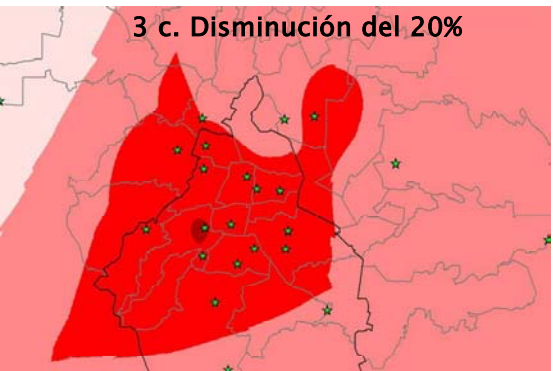
Mapa 3. Distribución espacial de las concentraciones máximas de ozono en la ZMVM en el escenario actual y de reducción del 10 y 20%.



Por su parte, la distribución espacial de la mayor concentración de ozono obtenida durante el año típico en cada estación de monitoreo, permite inferir que en toda la ZMVM se presentó al menos un día con concentraciones críticas para la salud de sus habitantes (Mapa 3a), ya que éstas sobrepasan el valor del límite permisible en la NOM. Como en el análisis anterior, el área que comprenden las regiones oeste y suroeste del Distrito Federal tendrían los mayores valores.



Aún con una disminución del 10 y 20% en las concentraciones máximas diarias de ozono, la mayor parte de la ZMVM presenta al menos en un día concentraciones que superan el valor de 0.11 ppm que señala la NOM (Mapa 3b y 3c).

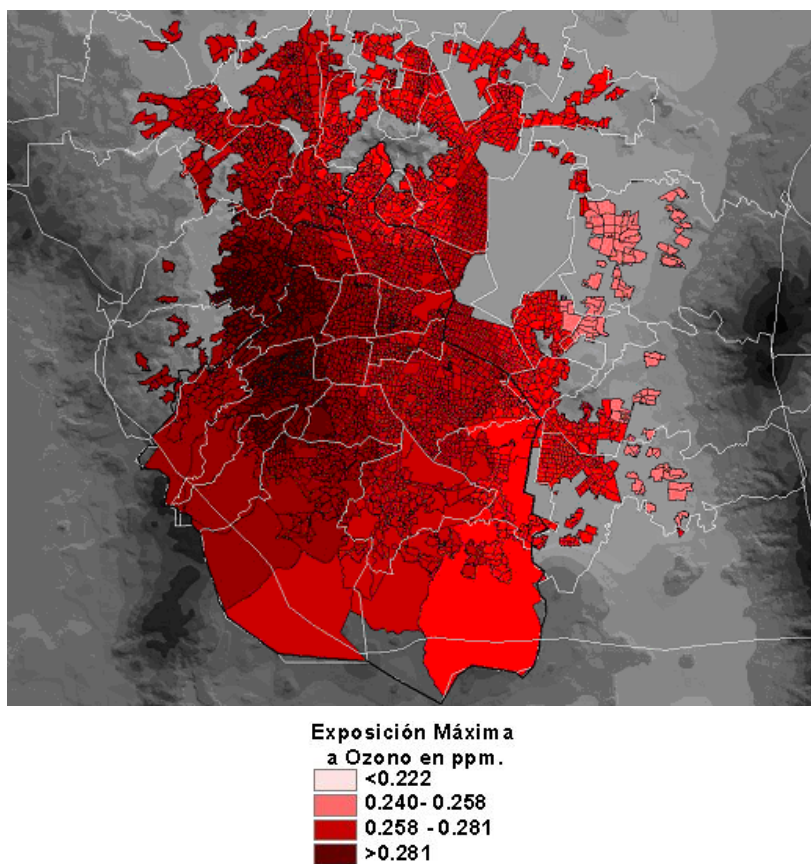


Concentraciones de ozono
en ppm

0.100 - 0.150
0.150 - 0.200
0.200 - 0.250
0.250 - 0.300
0.300 - 0.350

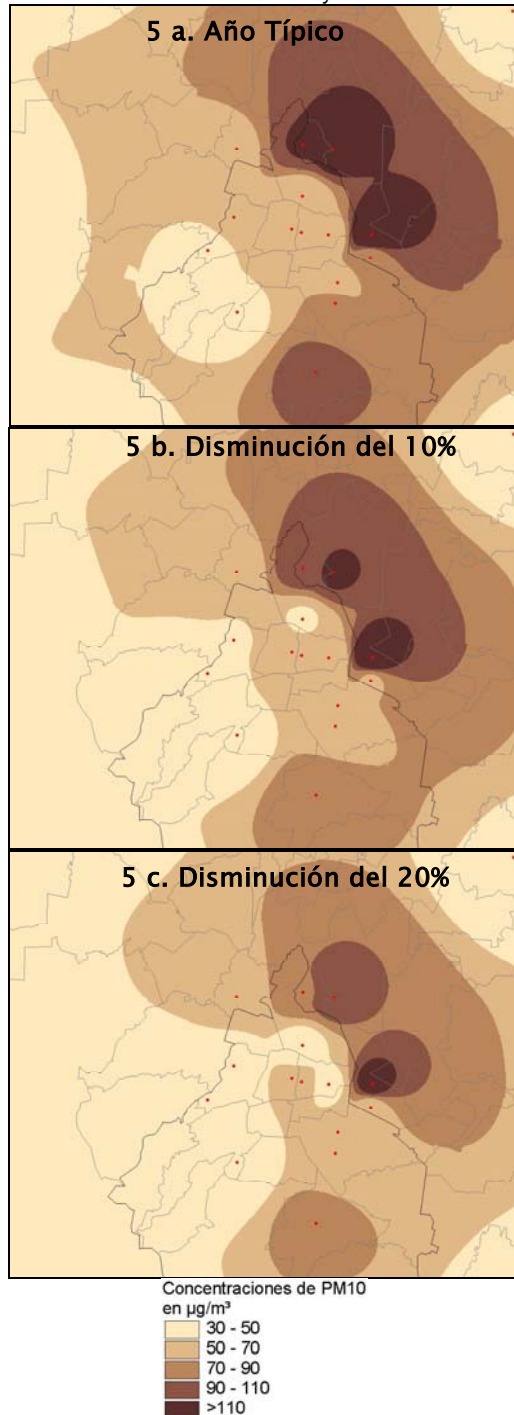
Finalmente, la asignación de un valor de concentración máxima de ozono a cada AGEB de la ZMVM, permitió estimar la exposición de la población y por grupos de edad (Mapa 4).

Mapa 4. Concentraciones máximas de ozono al nivel de AGEB en un escenario actual.



4.1.2 PM₁₀.

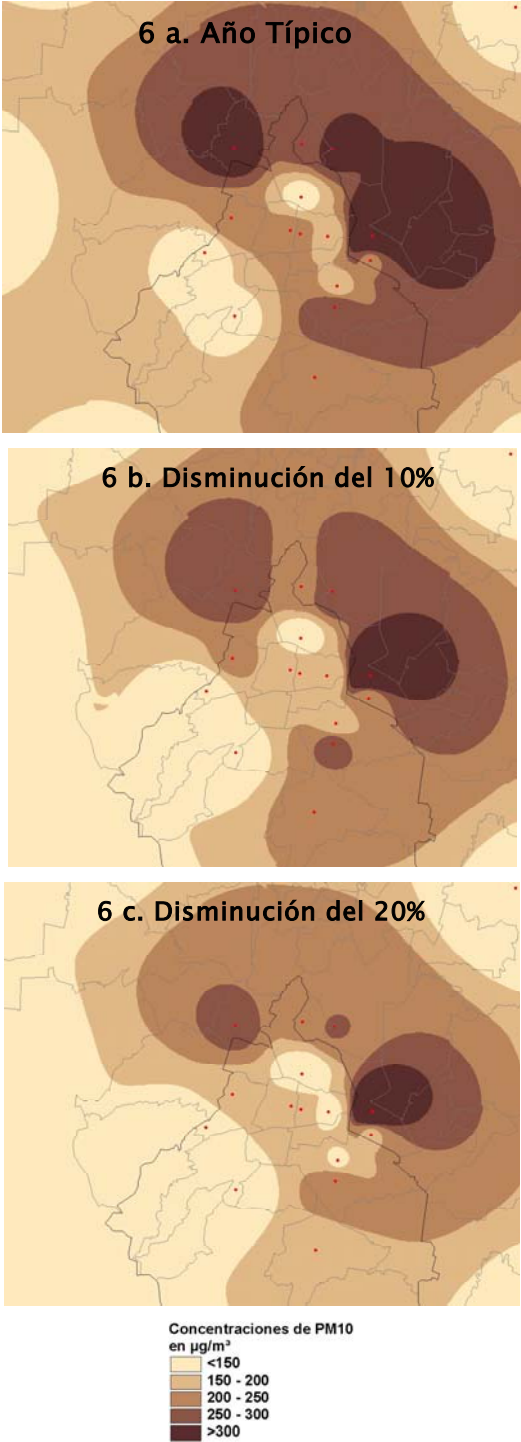
Mapa 5. Distribución espacial de las concentraciones promedio de PM₁₀ en la ZMVM en un escenario actual y de reducción del 10 y 20%.



La distribución espacial del promedio de las concentraciones de PM₁₀ en el escenario actual, indica que en la mayor parte de la ZMVM se supera el valor del límite anual de protección a la salud que establece la NOM (Mapa 5a) y que en la región que comprende los municipios de Netzahualcoyotl y Ecatepec este valor prácticamente se duplica.

Los resultados de los escenarios de reducción indican que a pesar de que las concentraciones de PM₁₀ disminuyan en un 10% o en un 20%, es considerable la región de la ZMVM con valores superiores a 50 µg/m³, manteniéndose la región que abarcan los municipios mencionados con los niveles altos de este contaminante (Mapas 5b y 5c).

Mapa 6. Distribución espacial de las concentraciones máximas de PM₁₀ en la ZMVM en el escenario actual y de reducción del 10 y 20%.

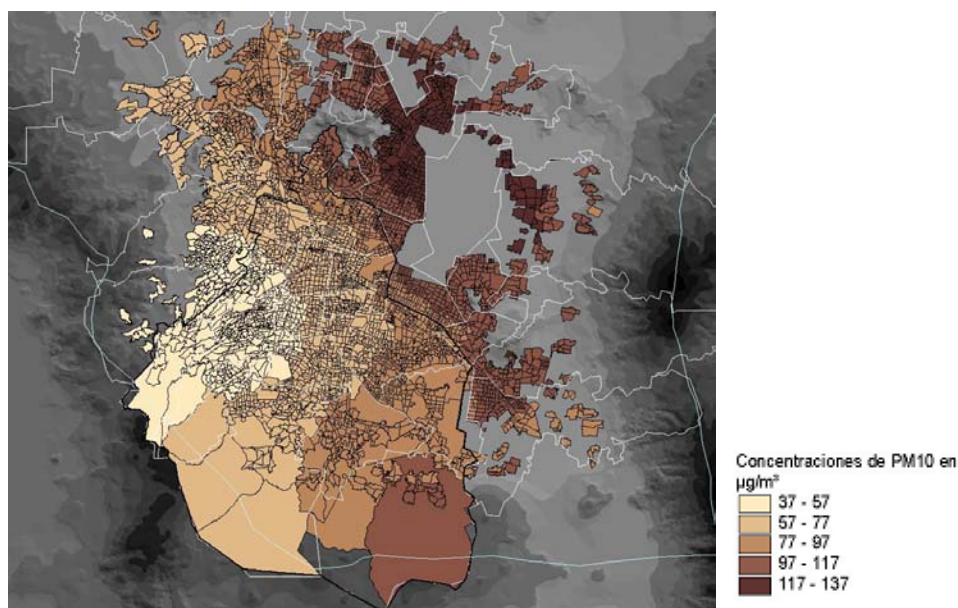


Al analizar la distribución espacial de las concentraciones máximas de PM₁₀, se puede caracterizar al Oriente, al Norte y al Sureste, como una región de la ZMVM donde al menos en un día del año se registran concentraciones superiores a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que ponen en riesgo la salud humana (Mapa 6a).

La reducción del 10 y 20% en este tipo de concentraciones, muestra que la extensión de esta región se mantiene similar, siendo el área que ocupa el municipio Netzahualcoyotl la que presenta las mayores concentraciones (Mapa 6b y 6c).

Para concluir el análisis de exposición a PM_{10} , se asignaron los promedio y las concentraciones máximas a cada AGEB de la ZMVM para ponderarlo con la información poblacional a esta escala. De la misma manera se estimó la exposición en los escenarios de reducción del 10 y del 20%, para ambos indicadores. En el mapa 7 se muestra como ejemplo la asignación del promedio de PM_{10} por AGEB.

Mapa 7. Asignación de concentraciones promedio de PM_{10} al nivel de AGEB.



4.2 DISTRIBUCIÓN ACTUAL DE LA POBLACIÓN TOTAL Y POR GRUPOS DE EDADES EN LA ZMVM Y SU PROYECCIÓN AL AÑO 2010.

El análisis de los resultados de población en el año 2000 (Mapa 8), muestra que las delegaciones o municipios con un mayor número de habitantes se encuentran hacia el Oriente y Noreste, donde se han consolidado colonias que en el pasado conformaban asentamientos irregulares o con escasa urbanización⁹.

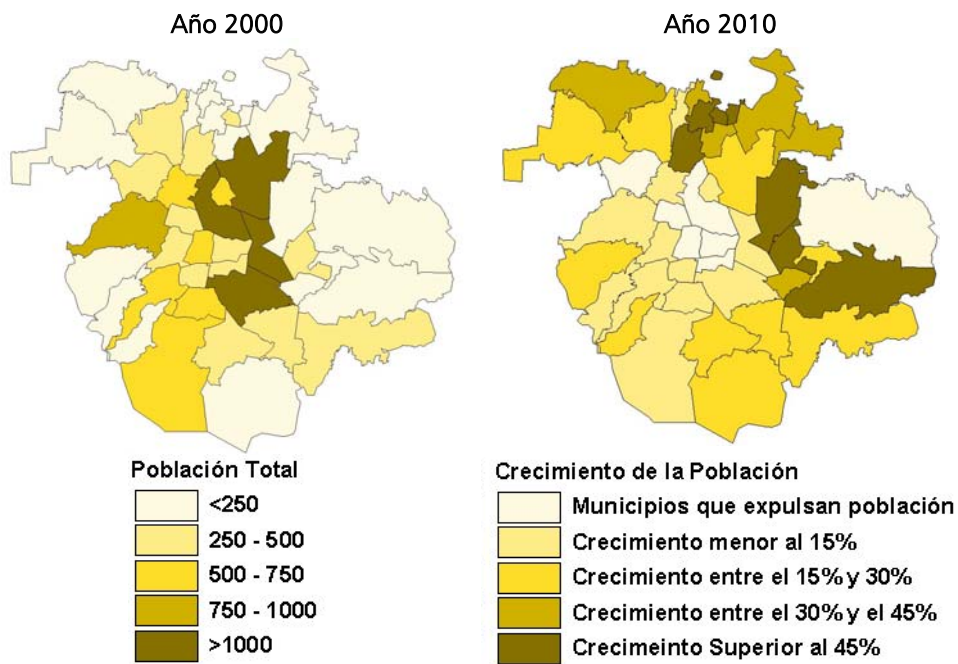
El crecimiento de la población para el año 2010 será mayor en los MCEM que se localizan en el Oriente de la ZMVM, donde se desarrollan actualmente complejos habitacionales de interés social. Se estima que el crecimiento de municipios como Ixtapaluca o Atenco superará el 80% respecto al año 2000 (Mapa 8).

En general se estima que la población crecerá 10.25% del año 2000 al 2010 y que su estructura por grupos de edades cambiara. En el año 2010 la población de niños menores a un año, 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 (Gráfica 3).

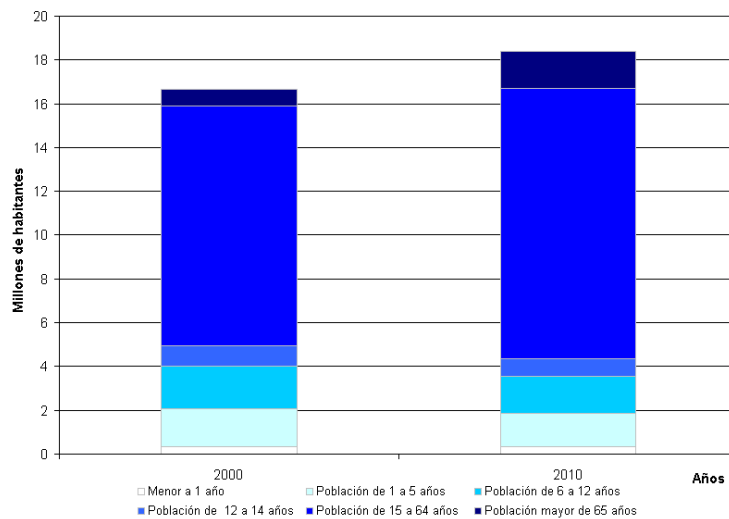
Con relación a la población con edades entre 15 y 64 años (población económicamente activa), esta mantendrá su proporción con respecto a la población total. La población de la tercera edad (mayores de 65 años) que representa actualmente un 4% de la población total, en el año 2010 representará un 9%.

⁹ En el Anexo 4 se presenta la población por delegación o municipio al año 2000 y su proyección al 2010.

Mapa 8. Distribución espacial de la población en la ZMVM por delegación y municipio en el año 2000 y porcentaje de crecimiento al 2010.



Gráfica 3. Estructura de la población por grupo de edades en la ZMVM en los años 2000 y 2010.



4.3 EXPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN GENERAL Y POR GRUPOS DE EDADES EN LA ZMVM, EN EL ESCENARIO ACTUAL DE CONTAMINACIÓN POR OZONO Y PM₁₀, Y EN ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DE CONCENTRACIONES EN EL AÑO 2010 DEL 10 Y 20%.

La estimación de la exposición humana se realizó tomando en cuenta los dos indicadores de contaminación atmosférica, el promedio y la concentración máxima. El primero de estos permite inferir la exposición de la población con respecto de 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 o PM₁₀. El segundo de estos indicadores permite inferir con relación a la exposición en los días en que se registran las concentraciones mayores de cada contaminante, es decir los días con concentraciones críticas.

4.3.1 Exposición de la población general a ozono en la ZMVM.

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 acabo los censos poblacionales.

Debido a la dificultad que implica presentar la información al nivel de AGEB, ésta se presenta de forma agregada al nivel de la ZMVM, el Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México (MCEM). 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 %. (Tabla 6). En el anexo 4 se presentan los resultados al nivel de delegación o municipio.

Tabla 6. 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%
ZMVM	0.102 ppm	0.085 ppm	0.075 ppm	0.260 ppm	0.234 ppm	0.208 ppm
DF	0.111 ppm	0.092 ppm	0.082 ppm	0.270 ppm	0.243 ppm	0.216 ppm
MCEM	0.094 ppm	0.087 ppm	0.077 ppm	0.249 ppm	0.224 ppm	0.199 ppm

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 0.111 ppm, ligeramente superior al valor que define la NOM de este contaminante (0.110). Como se observó en los resultados parciales, la distribución de este contaminante no es homogénea en la ZMVM, por lo que en regiones como el Oeste y el Suroeste se incrementa considerablemente esta concentración de exposición. En el caso de los MCEM, el valor de concentración de 0.094 ppm, indica que la exposición a concentraciones superan cotidianamente el valor de la mitad del límite permisible (0.055 ppm). Comparativamente, Cicero *et al.* (2001) obtuvieron una concentración de exposición de 0.114 ppm al nivel de la ZMVM, mientras que en este trabajo fue de 0.102 ppm, esto sugiere que la mejora de la calidad del aire en la ZMVM conlleva una disminución del riesgo de exposición.

La estimación de la exposición a concentraciones de ozono en el año 2010 al nivel de la ZMVM, 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, muestra que al menos en un día del escenario actual la población de la ZMVM 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 0.270 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 se señaló que las concentraciones máximas de ozono que se registran en la actualidad se tienen que reducir en 66% para alcanzar el valor del límite que señala la NOM.

4.3.2 Exposición por grupos de edad a ozono en la ZMVM.

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 de 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 NOM (Tabla 7).

El análisis de la situación de grupos vulnerables¹⁰, indica que en el escenario actual cerca de 500,000 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 ZMVM y se estima que en el escenario de reducción del 10% de las concentraciones de ozono, conllevaría que 190,000 personas de este grupo de edad estuvieran expuestas cotidianamente a concentraciones que oscilan alrededor 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 disminuir así los costos de tratamiento de enfermedades asociadas. (Tabla 7).

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 ZMVM. Los resultados de este trabajo muestran que actualmente cerca de 8 millones de personas de este grupo se exponen cotidianamente a concentraciones superiores a 0.11 ppm y una reducción del 10% en las concentraciones, implica que el número de personas sería de 1.18 millones (Tabla 7).

Al analizar el escenario con la concentración máxima de ozono, es notable que en la actualidad al menos en un día 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% en el año 2010, es notable que 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.

¹⁰ Individuos que por las características intrínsecas de su edad son propensos a sufrir daños.

Tabla 7. Población de la ZMVM 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 mayor de 65 años (millones)
Promedio								
Año 2000	≤ 0.110	4.317	0.076	0.384	0.448	0.217	2.926	0.265
Año típico	>0.110	12.102	0.247	1.330	1.330	1.458	0.694	7.852
Año 2010	<0.110	16.584	0.268	1.409	1.541	0.735	11.154	1.477
Reducción 10%	>0.110	1.787	0.062	0.124	0.156	0.076	1.184	0.186
Año 2010	<0.110	18.371	0.330	1.533	1.697	0.811	12.338	1.663
Reducción 20%	>0.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Máximo								
Año 2000	> 0.110	16.703	0.328	1.739	1.936	0.926	10.952	0.783
	> 0.233	16.579	0.327	1.733	1.930	0.923	10.875	0.778
Año típico	> 0.281	3.510	0.063	0.326	0.367	0.176	2.371	0.207
	> 0.355	1.485	0.028	0.146	0.161	0.076	0.993	0.081
Año 2010	>0.110	18.371	0.330	1.533	1.697	0.811	12.338	1.663
	>0.233	11.599	0.217	0.900	1.040	0.503	7.738	1.201
Reducción 10%	>0.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	>.110	18.371	0.330	1.533	1.697	0.811	12.338	1.663
Año 2010	>0.233	1.335	0.021	0.103	0.116	0.054	0.914	0.126
Reducción 20%	>0.281	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

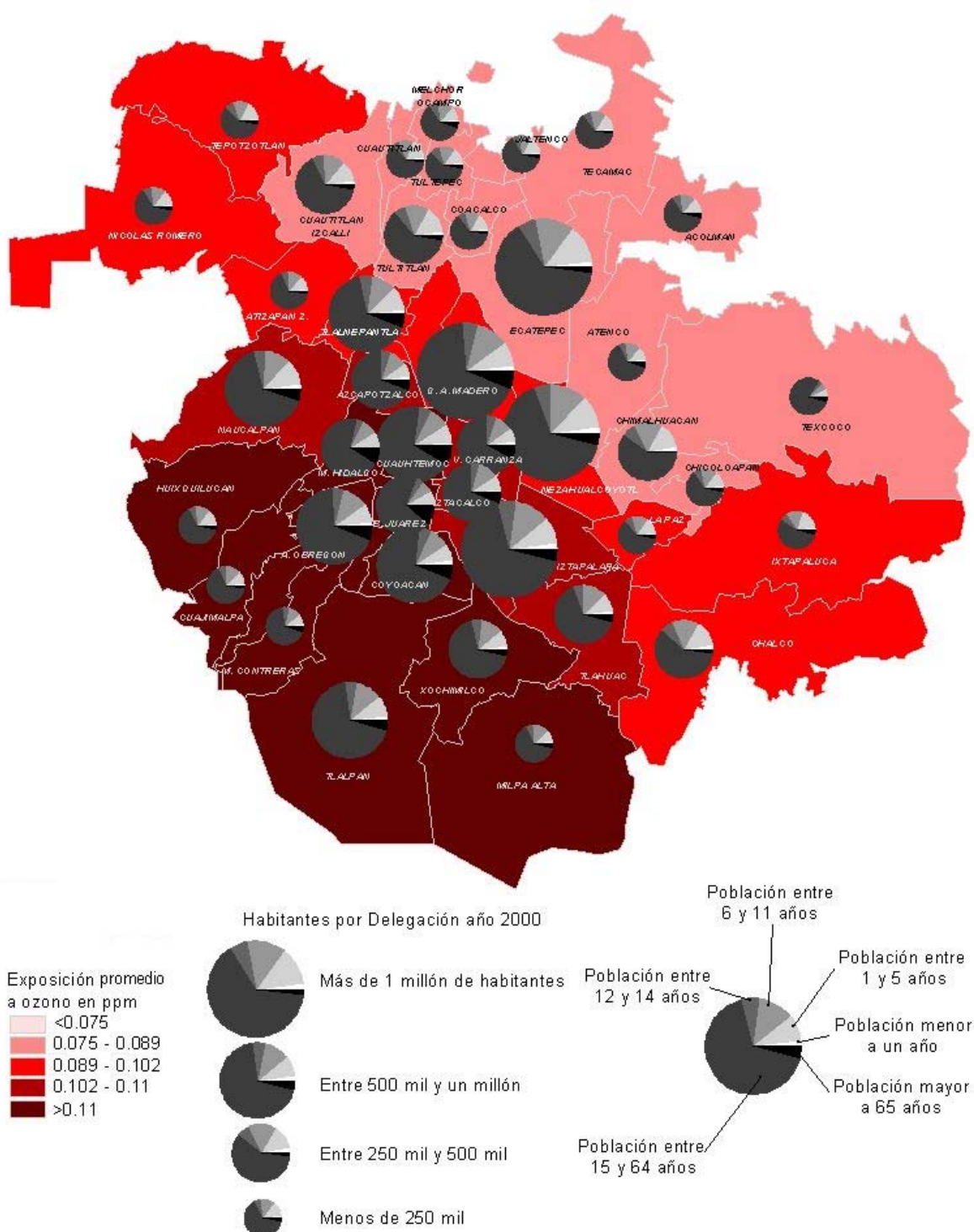
4.3.3 Exposición a ozono en delegaciones y municipios de la ZMVM por grupos de edad.

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, Talpan 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 también presenta concentraciones cotidianas de ozono cercanas al valor señalado, la estructura de su población en 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 (Mapas 9 y 10).

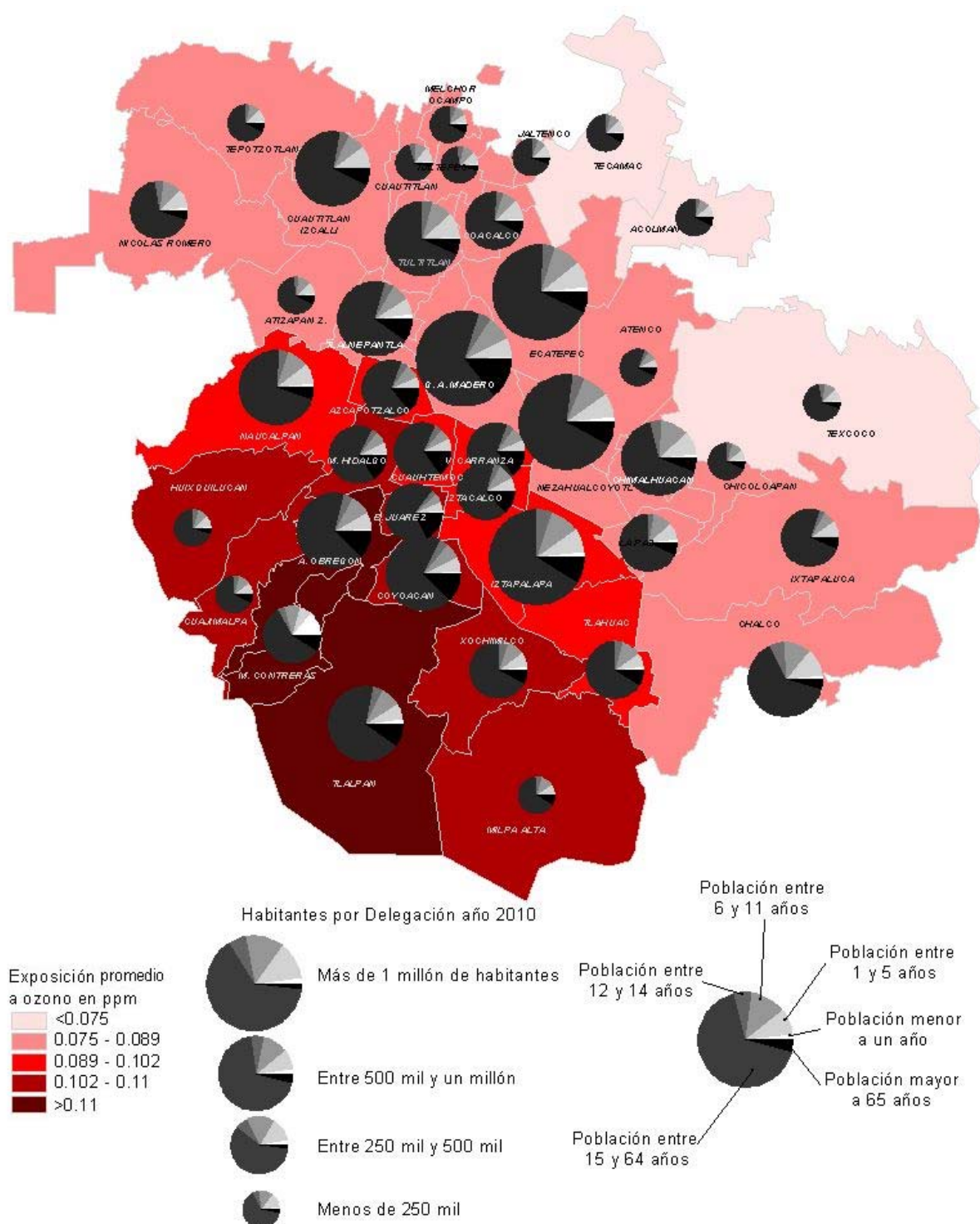
Al disminuir las concentraciones en un 10% al año 2010, la población de las delegaciones Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Talpan, continuarían exponiéndose cotidianamente a concentraciones que superan el valor de 0.11 ppm (Mapa 10). En estas delegaciones se estima que los grupos vulnerables, agrupando 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 el caso de la delegación Magdalena Contreras, se estiman concentraciones cotidianas cercanas a 0.11 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 (Mapa 11).

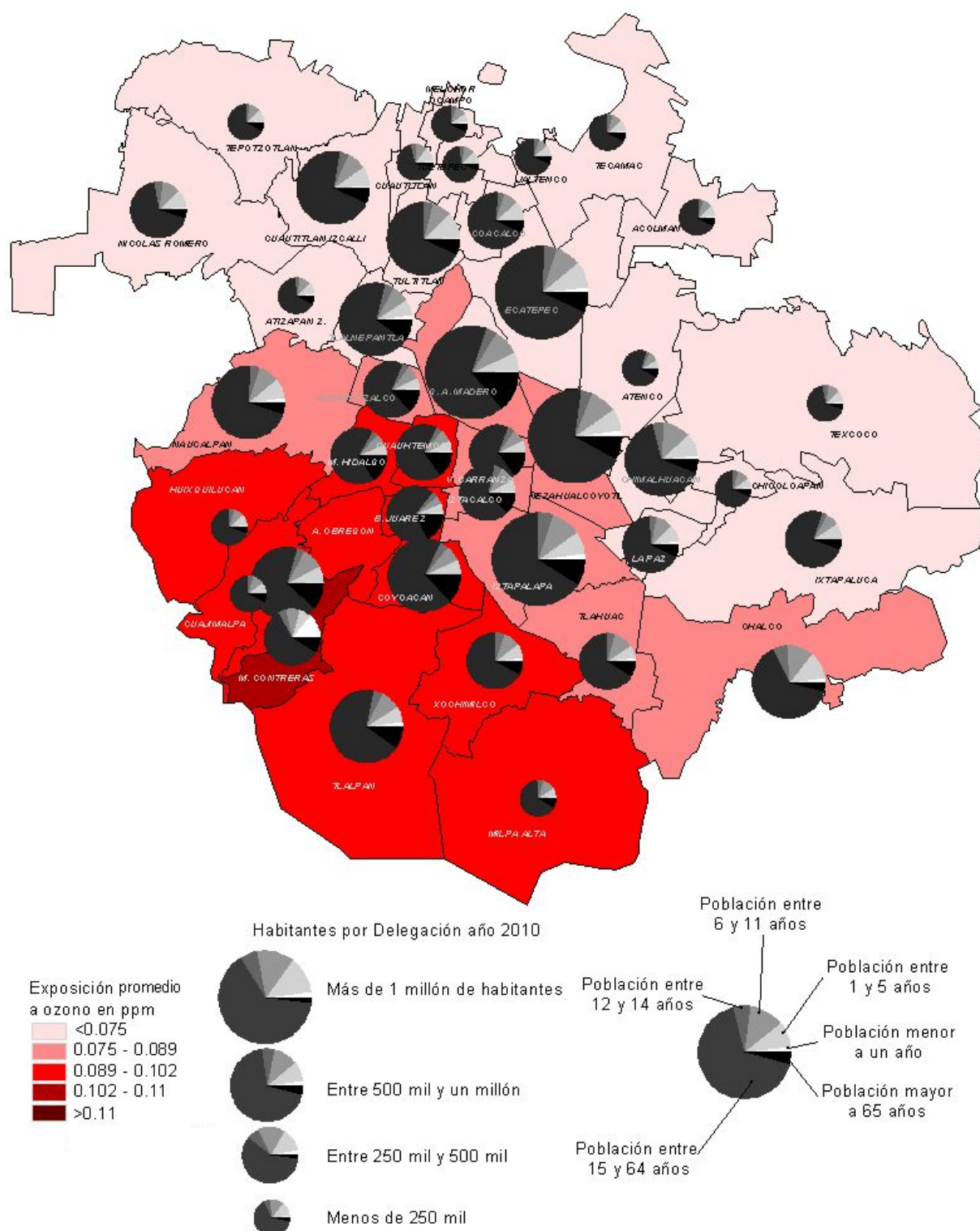
Mapa 9. Exposición promedio a ozono por grupos de edad, en el escenario actual de contaminación por delegación y municipio.



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



Mapa 11. Exposición promedio a ozono por grupos de edad, en un escenario de reducción del 20% al año 2010, por delegación y municipio.



4.3.4 Exposición de la población a PM₁₀ en la ZMVM.

Al igual que en el análisis de la exposición a ozono, la estimación de la exposición a PM₁₀ es una aproximación ponderada de la cantidad de contaminante (promedio y máximo) a que se exponen las personas que habitan en cada una de las AGEBS. Así mismo, la información de exposición se presenta de forma agregada al nivel de la ZMVM, el Distrito Federal y los municipios conurbados del Estado de México, en el escenario actual de contaminación atmosférica y los escenarios de reducción del 10 y 20 % al año 2010 (Tabla 8). El anexo 4 integra los resultados de exposición a PM₁₀ al nivel de delegación o municipio.

El análisis de resultados en el ámbito geográfico de la ZMVM indica que en la actualidad sus habitantes se expone cotidianamente a concentraciones que fluctúan alrededor de los 83 µg/m³. Esta concentración de exposición puede compararse con el valor límite anual que establece la NOM para exposición crónica¹¹, definido en 50 µg/m³. Es notable que la magnitud de la concentración de exposición en los MCEM (95 µg/m³), prácticamente duplica el valor del límite mencionado de la NOM.

La concentración de exposición promedio a PM₁₀ en el futuro, ante posibles reducciones de sus niveles del 10 o 20%, indica que en la ZMVM aún se rebasaría el valor que la NOM establece como límite para exposición crónica. En el escenario de reducción del 20% en los MCEM, la concentración de exposición superaría en 16.4 µg/m³ el valor de la NOM, mientras que en el DF el excedente sería de 6.8 µg/m³ (Tabla 8).

Tabla 8. Exposición a PM₁₀ en el escenario actual y de reducción 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%
ZMVM	83 µg/m ³	74.7 µg/m ³	66.4 µg/m ³	242 µg/m ³	218 µg/m ³	194 µg/m ³
DF	71 µg/m ³	63.9 µg/m ³	56.8 µg/m ³	218 µg/m ³	196 µg/m ³	174 µg/m ³
MCEM	95 µg/m ³	85.5 µg/m ³	76 µg/m ³	265 µg/m ³	239 µg/m ³	212 µg/m ³

El análisis de la exposición a PM₁₀ por medio de las concentraciones máximas del escenario actual de contaminación, indica que al menos en un día la población de la ZMVM se expone de forma ponderada a concentraciones que alcanzaron una magnitud de 242 µg/m³, mientras que en los MCEM llegó a 265 µg/m³. Estos resultados contrastan considerablemente con el valor de 150 µg/m³ que la NOM define como límite de protección ante exposición aguda en 24 horas (Tabla 8).

Cuando se estima esta concentración máxima en los escenarios de reducción para el año 2010, se observa que aún con una disminución del 20% en los niveles actuales, la concentración de exposición superaría el valor del límite señalado, siendo mayor su magnitud en los MCEM (212 µg/m³). Como se indicó en los escenarios de contaminación atmosférica, la posibilidad de que en el año 2010 las concentraciones máximas de PM₁₀ tengan niveles inferiores a los que señala la NOM, requiere que estas disminuyan al menos en un 58%.

¹¹ Se produce en periodos prolongados de tiempo ante concentraciones relativamente bajas y que pueden causar efectos dañinos en la salud.

4.3.5 Exposición por grupos de edad a PM₁₀ en la ZMVM.

Al desagregar la población de la ZMVM por grupos de edad para cada uno de los indicadores de contaminación de PM₁₀, se identifica la cantidad de personas de los grupos que pueden tener un mayor riesgo por exposición, sobre todo por las actividades habituales que realizan y la región geográfica donde habitan.

Los resultados en el escenario actual de contaminación por PM₁₀ en la ZMVM, muestra que cerca de 5.55 millones de personas pertenecientes a grupos vulnerables, esto es, personas mayores a 65 años y personas menores a 14 años, se exponen a concentraciones que superan de forma cotidiana el valor de 50 µg/m³ que la NOM refiere como límite de exposición crónica (Tabla 9).

Al disminuir las concentraciones de PM₁₀ en 10% para el año 2010, el número de personas perteneciente a grupos vulnerables que se expondrían cotidianamente a concentraciones que superan en promedio al valor de 50 µg/m³, disminuiría a 5.38 millones y en caso de la reducción del 20% disminuiría a 4.84 millones de personas. Esta situación implica que aún con las disminuciones planteadas, el riesgo por exposición a PM₁₀ será considerable en el futuro, sobre todo para las personas pertenecientes a estos grupos.

El análisis de las concentraciones máximas de PM₁₀ que se registran en la ZMVM, muestra que aún con disminuciones del 10 y 20% la mayoría de la población que comprende cada grupo de edad se expondría, al menos en un día, a concentraciones que superan el valor que señala la NOM (150 µg/m³). Un ejemplo es la población con edad entre 15 y 64 años, la población económicamente activa, ya que a pesar de las reducciones del 10 y 20%, el número de personas expuestas a una concentración mayor a 150 µg/m³, supera los 10 millones (Tabla 9).

Tabla 9. Población de la ZMVM por grupos de edad, expuesta a PM₁₀ en el escenario actual de contaminación y de reducción del 10 y 20% al año 2010.

Escenarios	µg/m ³	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 mayor de 65 años (millones)
Promedio								
Escenario actual	≤ 50	0.448	0.009	0.045	0.052	0.025	0.300	0.018
	> 50	16.249	0.319	1.694	1.883	0.901	10.648	0.764
Año 2010 Reducción 10%	< 50	1.993	0.059	0.152	0.172	0.081	1.336	0.192
	> 50	16.378	0.270	1.381	1.525	0.729	11.002	1.470
Año 2010 Reducción 20%	< 50	3.670	0.086	0.266	0.298	0.143	2.471	0.406
	> 50	14.693	0.244	1.267	1.398	0.667	9.861	1.255
Máximo								
Escenario actual	≤ 150	0.216	0.004	0.017	0.021	0.011	0.148	0.016
	> 150	16.450	0.324	1.720	1.911	0.914	10.779	0.764
	> 270	3.256	0.065	0.351	0.384	0.182	2.140	0.134
	> 300	1.150	0.024	0.123	0.139	0.065	0.751	0.049
	> 355	0.372	0.008	0.040	0.046	0.021	0.241	0.015
Año 2010 Reducción 10%	≤ 150	0.883	0.014	0.060	0.075	0.037	0.590	0.107
	> 150	17.488	0.316	1.473	1.622	0.774	11.748	1.555
	> 270	1.273	0.021	0.101	0.114	0.053	0.874	0.110
	> 300	0.546	0.009	0.044	0.051	0.023	0.374	0.046
	> 355	0.193	0.003	0.015	0.018	0.008	0.133	0.016
Año 2010 Reducción 20%	≤ 150	2.096	0.041	0.145	0.179	0.087	1.396	0.248
	> 150	16.275	0.288	1.388	1.518	0.724	10.942	1.415
	> 270	0.524	0.008	0.042	0.049	0.022	0.358	0.044
	> 300	0.276	0.005	0.022	0.025	0.011	0.190	0.023
	> 355	0.070	0.001	0.006	0.007	0.003	0.048	0.006

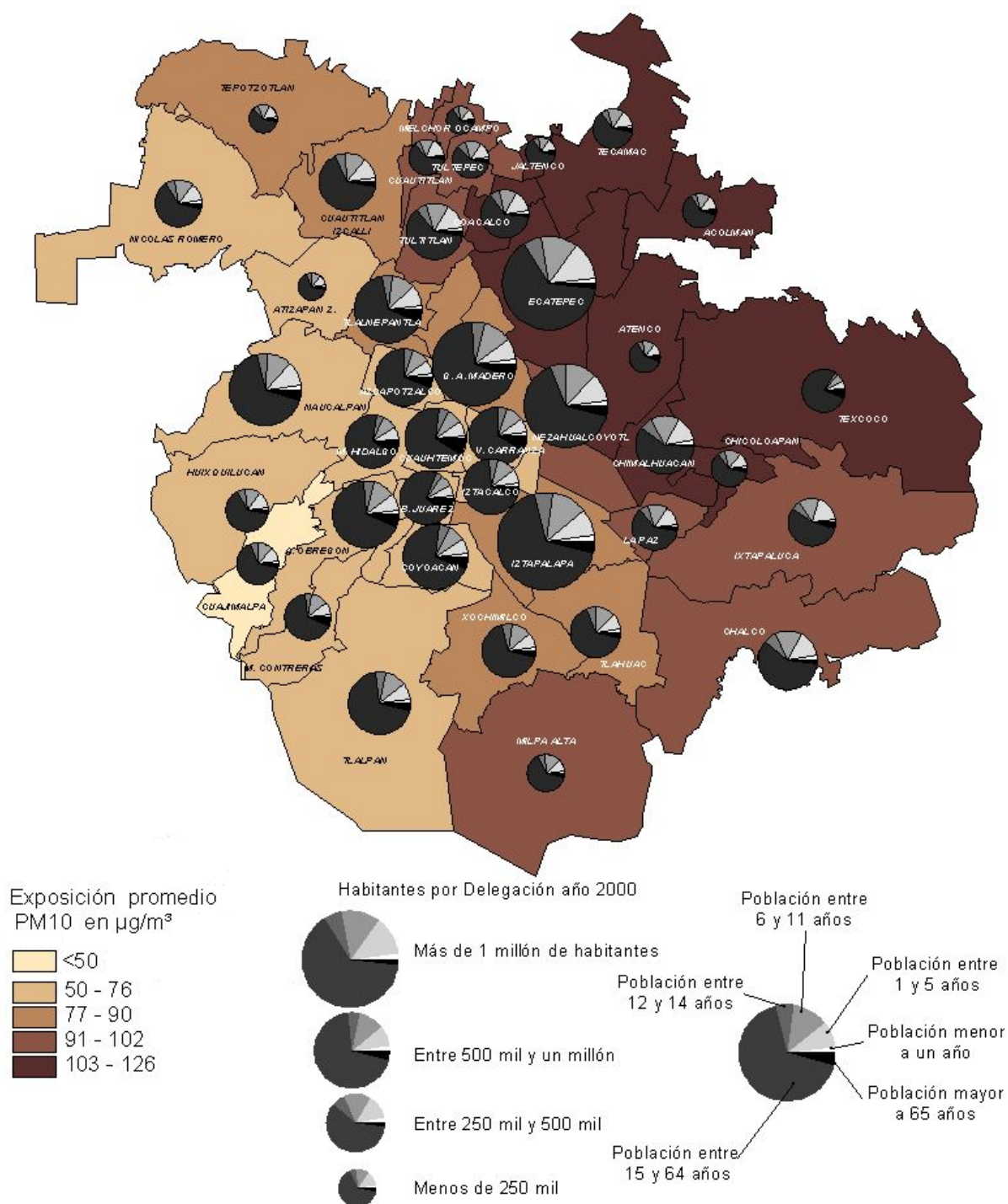
4.3.6 Exposición a PM_{10} en delegaciones y municipios de la ZMVM por grupos de edad.

Al analizar los resultados de la exposición de la población a las concentraciones cotidianas de PM_{10} en el año 2000, al nivel de delegación o municipio, se identifica que en Ecatepec hay más de un millón de habitantes y se presentan los mayores valores de concentraciones de este contaminante (Mapa 12).

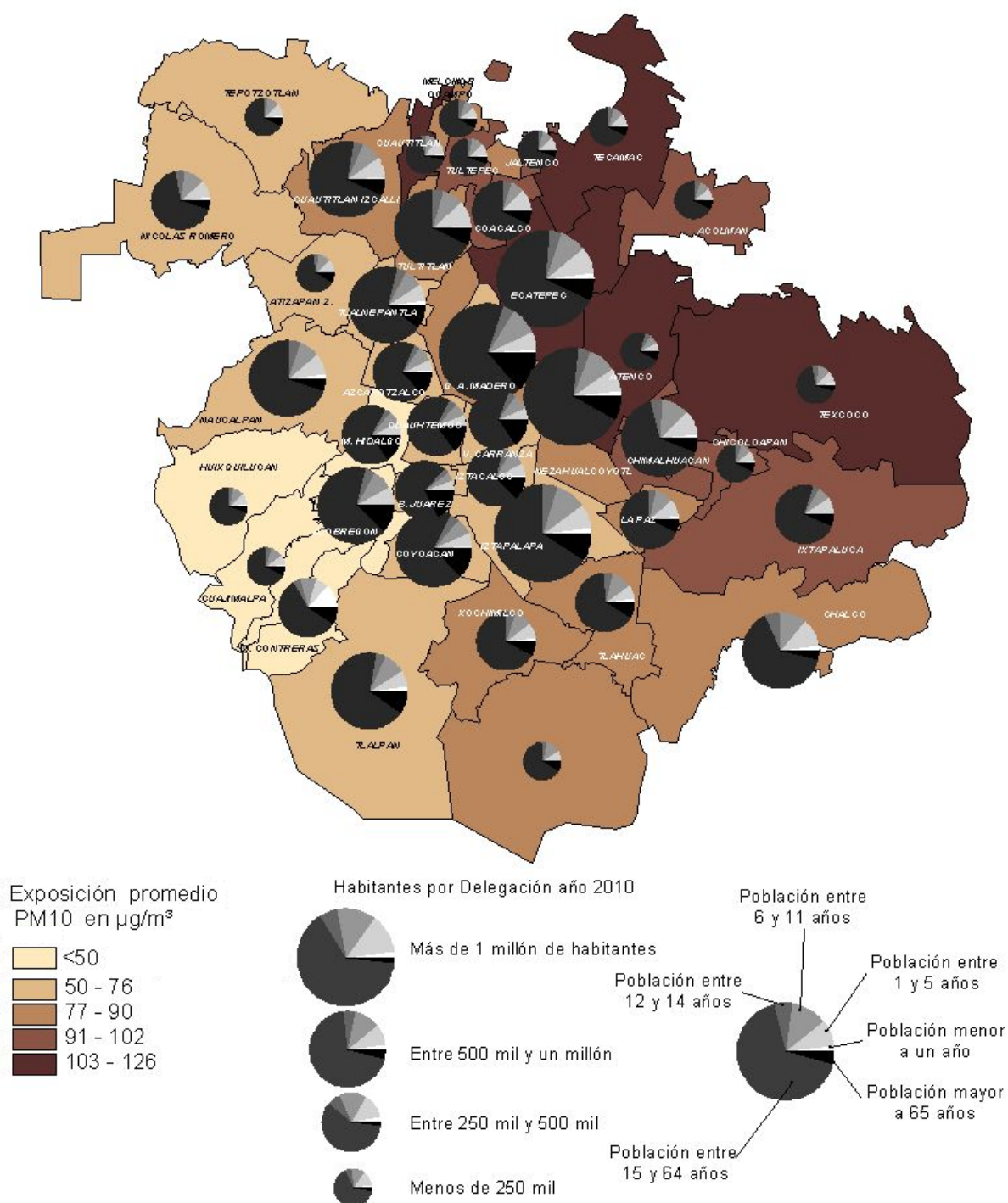
En los municipios Chimalhuacán, Atenco, Ecatepec o Chicoloapan, localizados al Noreste de la ZMVM, las concentraciones cotidianas de PM_{10} fluctúan entre 103 y 126 $\mu g/m^3$. Estos municipios se caracterizan por tener un porcentaje elevado de personas que pertenecen a los grupos vulnerables, como son las personas mayores a 65 años y los menores a 14 años. Solamente en la delegación Cuajimalpa se obtuvo un promedio menor al valor que define la NOM, lo que implica que posiblemente el riesgo sea menor para sus habitantes (Mapa 12).

A pesar de que en el año 2010 se disminuyeran en 10% las concentraciones de PM_{10} , el valor de su exposición cotidiana continuaría rebasando los 50 $\mu g/m^3$ que señala la NOM como límite, principalmente en los MCEM localizados al Norte de la ZMVM, en los cuales aumentará la población mayor a 65 años. Al disminuir en esta magnitud las concentraciones de PM_{10} , la población de las delegaciones Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Miguel Hidalgo, así como el municipio de Huixquilucan, tendrán concentraciones promedio por debajo del valor que señala la NOM como límite, en teoría habría una menor afectación en la salud de sus habitantes debido a niveles altos de partículas. Al disminuir en 20% las concentraciones de PM_{10} , además de las delegaciones y municipios mencionados, en Cuauhtémoc, Benito Juárez y Naucalpan se alcanzarían una exposición cotidiana con valores menores a 50 $\mu g/m^3$ (mapa 14).

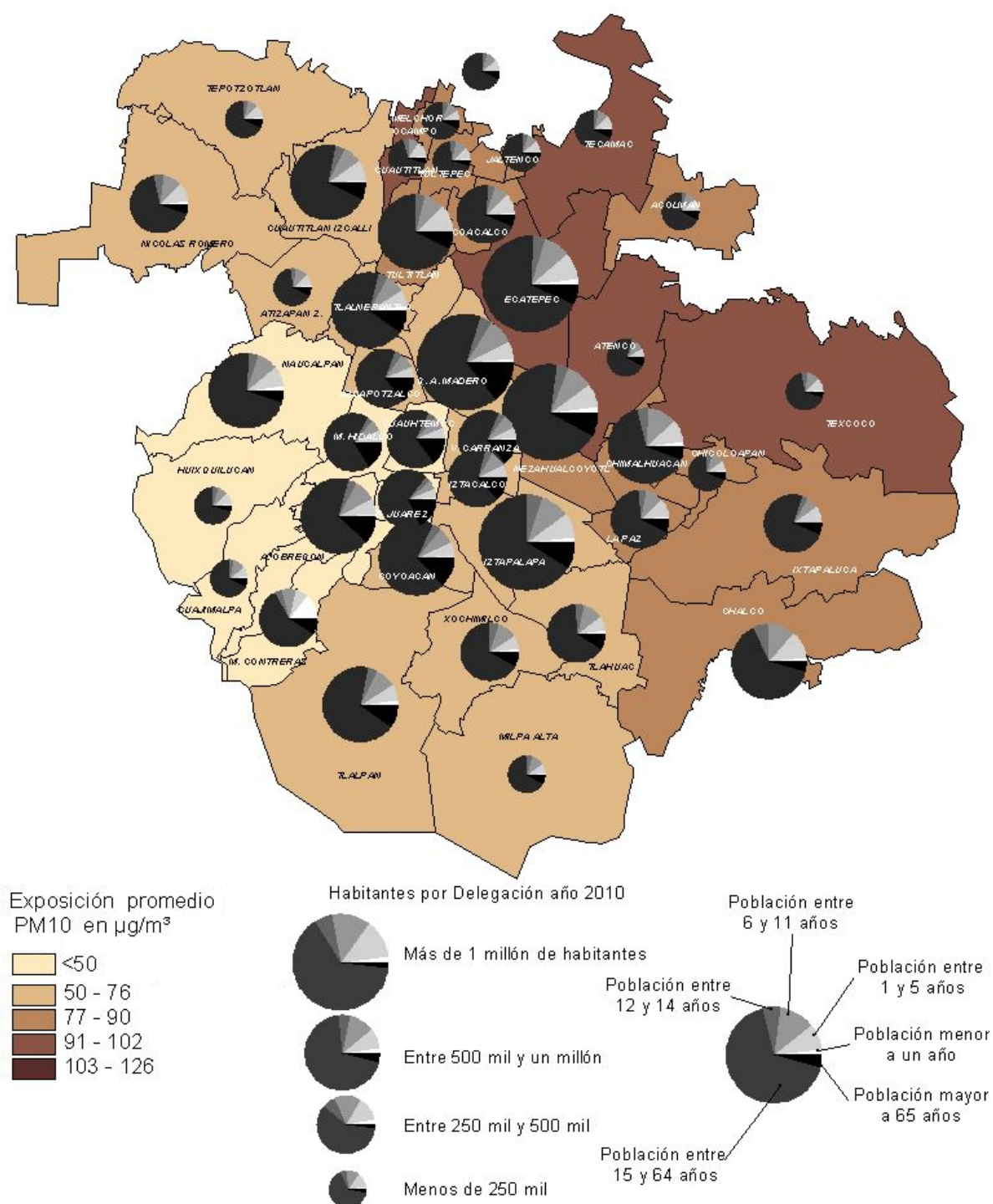
Mapa 12. Exposición promedio a PM_{10} por grupos de edad, en un escenario actual de contaminación por delegación y municipio.



Mapa 13. Exposición promedio a PM_{10} por grupos de edad, en un escenario de reducción del 10% al año 2010, por delegación y municipio.



Mapa 14. Exposición promedio a PM₁₀ por grupos de edad, en un escenario de reducción del 20% al año 2010, por delegación y municipio.



5.0 LIMITACIONES

Las limitaciones técnicas que presenta este trabajo radican en la ausencia de indicadores sobre movilidad de la población, de ahí que se contemplará como supuesto que las personas permanecen en el AGEB que el censo de población identifica como su lugar de vivienda. En estudios con modelos de exposición la incorporación de la movilidad es importante, ya que las dosis de contaminantes que recibe un individuo está asociado con sus actividades.

6.0 CONCLUSIONES

- En un escenario actual o año típico de contaminación por ozono, en el que se resumen las concentraciones registradas en el periodo 1998-2002, se estimó que la exposición cotidiana de los habitantes de la ZMVM es de 0.102 ppm. Esto significa que en los últimos años la población se expone diariamente, en promedio, a una concentración máxima de ozono cercana a este valor, mientras que las concentraciones de una exposición crítica alcanzan valores de 0.260 ppm.
- Al estimar la concentración de exposición considerando los ámbitos geográficos del DF y los MCEM, se obtuvieron indicadores de 0.111 ppm y 0.094 ppm, respectivamente. Al evaluar la situación del DF, se encuentra que en delegaciones como Álvaro Obregón, Tlalpan y Coyoacán del Suroeste, el valor de la concentración cotidianamente supera valores mayores a 0.110 ppm, lo que podría implicar un mayor riesgo para los habitantes de esta región. En el caso de la exposición crítica esta zona podría presentar valores de concentración de 0.293 ppm al menos una vez al año.
- Con relación al número de habitantes expuestos a concentraciones que superan el valor de 0.11 ppm, que refiere la norma de salud como límite máximo permisible, se estima que 12.1 millones de habitantes de la ZMVM se exponen cotidianamente a concentraciones de ozono superiores, de los cuales 4.4 millones son niños menores de 14 años y 500 mil son personas mayores de 65 años.
- En el Suroeste del DF se presentan las mayores concentraciones de ozono en la ZMVM, esta región también se caracteriza por tener una estructura poblacional donde grupos vulnerables, como los habitantes mayores de 65 años, alcanzan el 4% de la población total.
- Al simular un escenario para el año 2010 donde las concentraciones de ozono disminuyen 20%, se estima que éstas tendrían cotidianamente un valor de 0.075 ppm al nivel de la ZMVM y que la concentración crítica sería de 0.208 ppm.
- En este escenario de reducción de 20% de las concentraciones de ozono para el año 2010, se estima que la exposición cotidiana en el DF sería de 0.082 ppm y en los MCEM de 0.077 ppm.
- En el escenario de reducción del 20% de las concentraciones de ozono, el total de los habitantes cotidianamente estarán expuestos a niveles por de bajo de 0.11ppm, sin embargo continuaría la posibilidad de presentarse durante el año al menos un día en que se supere este valor.
- En el caso de las PM₁₀, se estima que en la actualidad las concentraciones cotidianas de exposición al nivel de la ZMVM oscilan alrededor de 83 µg/m³.
- Al desagregar la información por entidad federativa, se estima que al nivel del DF la concentración cotidiana de exposición de PM₁₀ es de 71 µg/m³ y de 95 µg/m³ en los MCEM.

Al considerar el límite de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la norma anual de PM_{10} , como una referencia para contrastar estos resultados, se aprecia que en los MCEM prácticamente se duplica este valor.

- En el escenario actual se estima que la concentración máxima a la que podría exponerse la población de la ZMVM es de $242 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al menos una vez al año.
- Los resultados del número de personas expuestas, indican que cerca de 16.25 millones de habitantes de la ZMVM se exponen cotidianamente a concentraciones de PM_{10} por arriba del valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de los cuales el 35% son menores de 14 años o mayores de 65 años es decir de grupos vulnerables.
- El Noreste de la ZMVM es donde se presentan los mayores niveles de exposición a PM_{10} , esta región se caracteriza por tener una estructura poblacional con una importante proporción de menores de 15 años; especialmente en los municipios Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Ixtapaluca, Ecatepec y Chicoloapan.
- En un escenario de reducción del 20% de las concentraciones de PM_{10} en la ZMVM para el año 2010, se estimó que la exposición cotidiana sería a concentraciones cercanas a $66.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y concentración máxima de exposición anual sería de $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Al simular una disminución del 20% en las concentraciones de PM_{10} , se estimó que para el año 2010 la exposición cotidiana en el DF sería de $56.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los MCEM.
- En este escenario de reducción de PM_{10} , se estima que 14.69 millones de personas continuarían expuestas cotidianamente a concentraciones que superan el valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de los cuales 3.58 millones serían menores a 14 años y 1.26 millones mayores a 65 años.

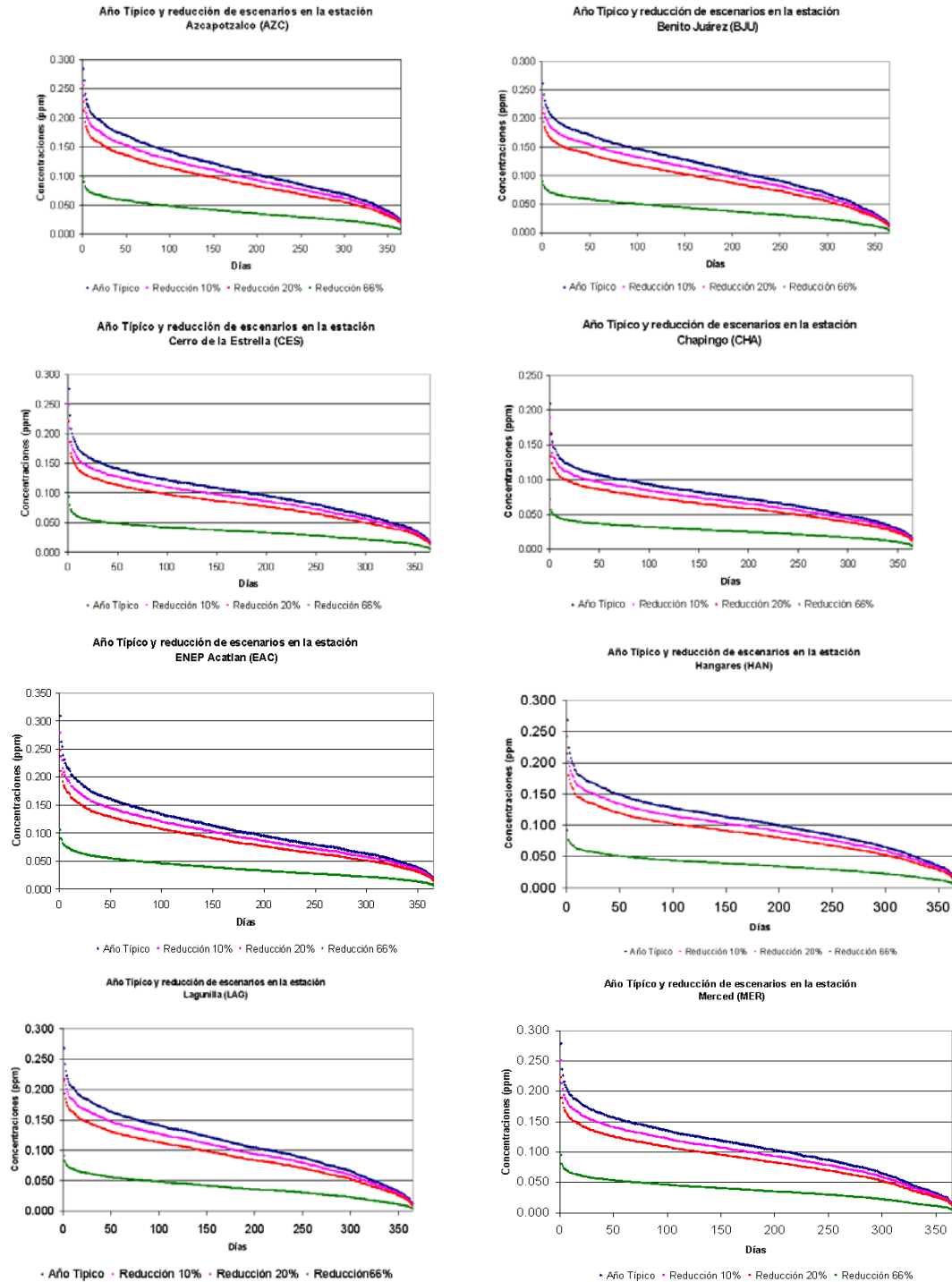
7.0 BIBLIOGRAFÍA

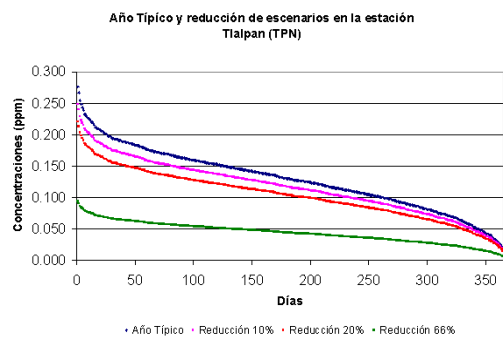
- CAM (GDF, SEMARNAT, SSA, GEM), "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010", GDF, 2002.
- CAM (GDF, SEMARNAT, SSA, GEM), "Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 1995-2000", GDF, 1996.
- ECOURS, "Ecosistema Urbano y Salud de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México", Ed. Acuario, 2001.
- GDF, "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, 2004.
- GUTIERREZ H., Romieu I., Corey G y Fortoul T, "Contaminación del Aire y Riesgos para la Salud", Ed. Manual Moderno, México, 1997.
- INSP. "Evaluación de las Tendencias de exposición temporal y espacial a contaminantes atmosféricos en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.", INSP, 1996.
- IVM, CENSA, CAM, PAOH y EHS-UCLA, "Economic Valuation of Air Quality in the Metropolitan Area of México City.", Comisión Ambiental Metropolitana y Banco Mundial, 2000.
- JOHNSON T., Capel J. y McCoy M, "Estimation of exposures experienced by urban residents using a probabilistic version of NEM and population data.", E.U.A. EPA, 1996.
- MOLINA M. y Molina L, "Air Quality in the México Megacity." Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, E.U.A., 2002.
- CIMORELLI A., "Air quality data: Spatial Data Analyst workshop" E.U.A., 2001.

- ROSALES. , "Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos.", Salud Pública de México Vol 43 No 6, 2001.
- SANTOS C., Rojas L., Rosas I., "Modelaje de exposición a partículas en población general y riesgo de enfermedad respiratoria", Gaceta Médica Mexicana Vol 134 No. 4, 1998.
- GDF.. "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, 2005.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática "Manual de Normas para la Actualización de la Cartografía www.inegi.gob.mx consultado en diciembre de 2004. Censal".

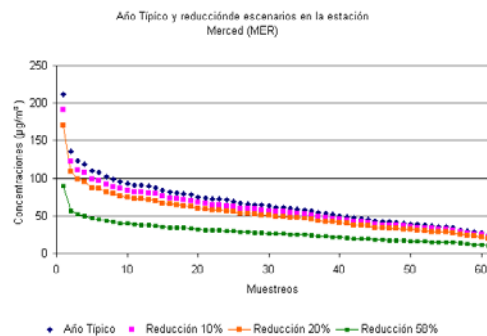
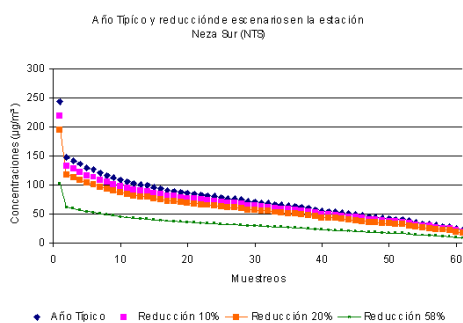
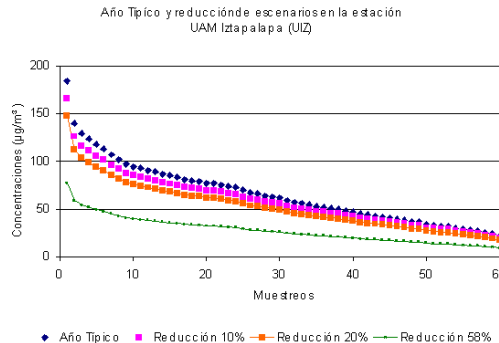
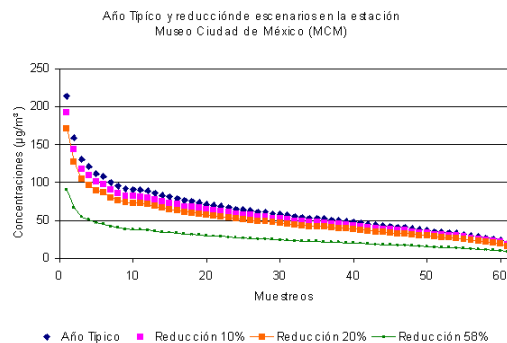
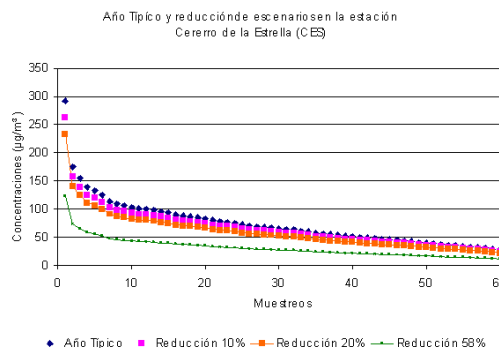
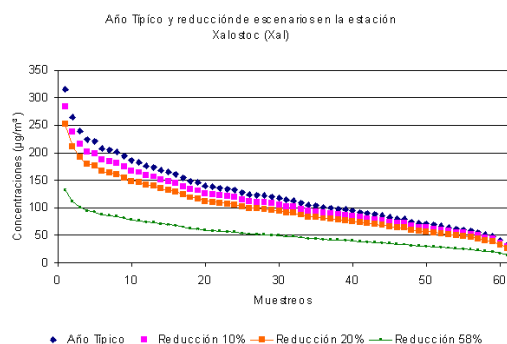
ANEXOS

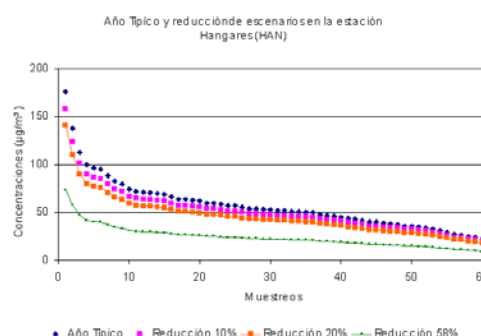
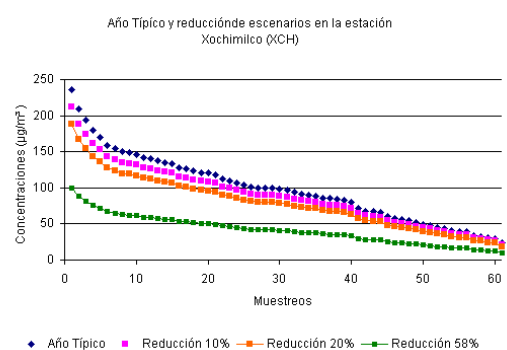
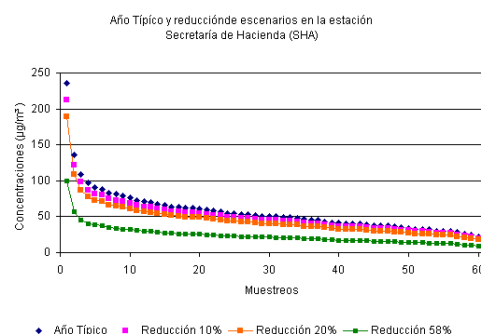
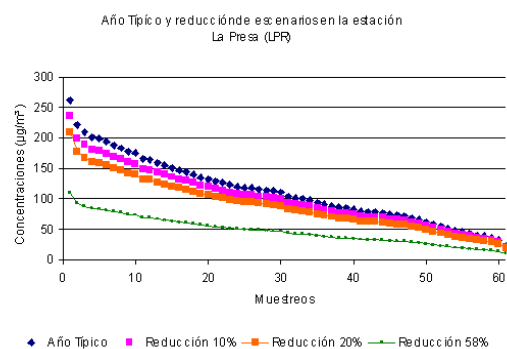
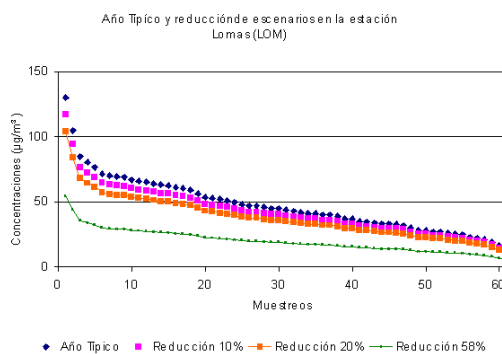
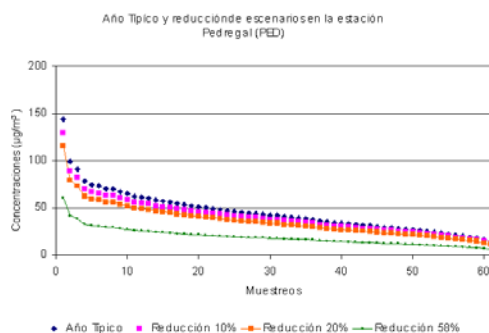
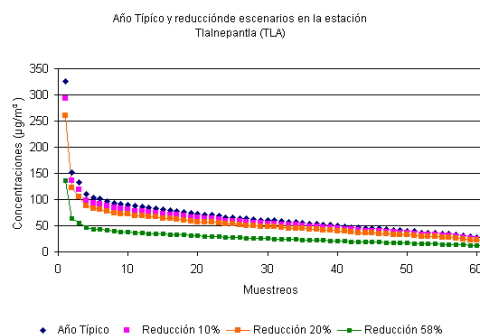
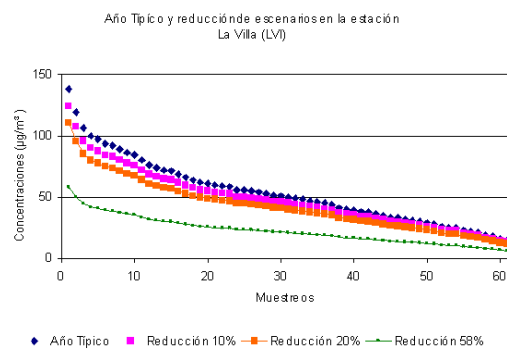
ANEXO 1. AÑO TÍPICO EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE OZONO Y ESCENARIOS DE REDUCCIÓN.





ANEXO 2. AÑO TÍPICO EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE PM₁₀ Y ESCENARIOS DE REDUCCIÓN DEL 10 Y 20% Y REDUCCIÓN A LA NORMA.





ANEXO 3. CONSTRUCCIÓN DEL AÑO TÍPICO PARA LAS ESTACIONES PERIFÉRICAS

Como se menciona en el documento, la información de las estaciones periféricas de ozono son producto de una campaña de investigación, por esta razón el período de monitoreo se reduce a los días que duran estas campañas en diversos sitios de la ZMVM.

Ejemplo:

En la estación periférica Río Frío ubicada sobre el parteaguas en la zona Oriente de la ZMVM se monitoreo del 15 al 23 de marzo de 2004, después de la validación de este período se obtuvo la siguiente información:

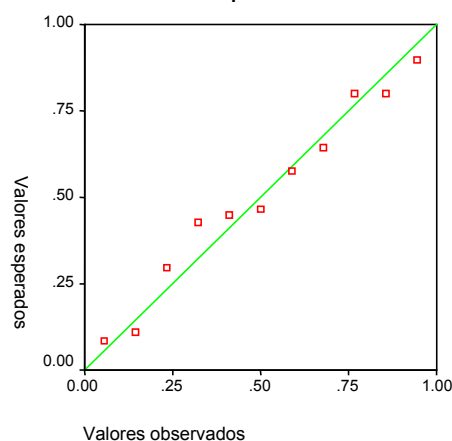
Fecha	Ozono	Horas
16/03/2004	0.05042373	24
17/03/2004	0.07708475	22
18/03/2004	0.06625424	20
19/03/2004	0.0799322	24
20/03/2004	0.04516949	24
21/03/2004	0.04445763	23
22/03/2004	0.08311864	24
23/03/2004	0.07247458	24
24/03/2004	0.09027119	19
25/03/2004	0.09028814	22
26/03/2004	0.06867797	23

Para construir un año típico se obtuvo la relación entre las estaciones de monitoreo periféricas y las estaciones del SIMAT cercanas por medio de una regresión lineal múltiple.

Se realizó una selección de estaciones para obtener el mejor ajuste de la regresión utilizando la información del mismo período. En el caso de la estación Río Frío se seleccionaron Tláhuac (TAH), San Agustín (SAG) y Cerro de la Estrella (CES).

Regresión

Variable dependiente Río Frío



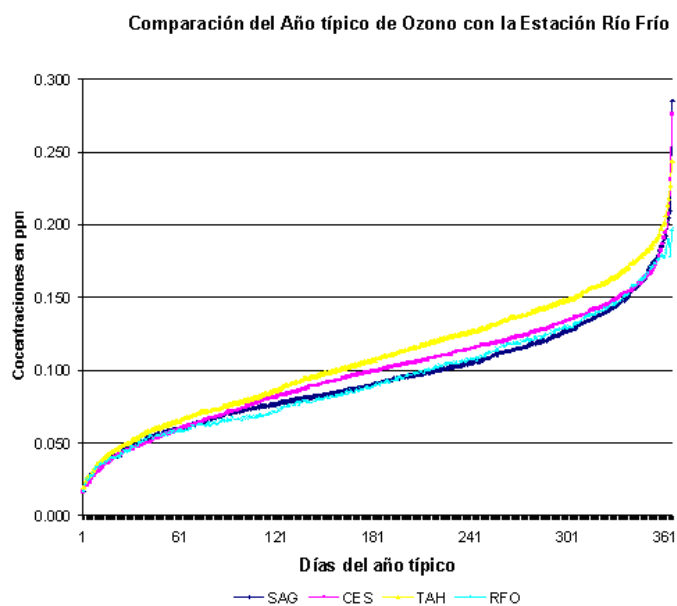
El resultado de esta regresión se aplicó a los 365 datos del año típico en las estaciones seleccionadas. De esta manera se obtienen los valores de Río Frío. Los resultados de la regresión se presentan en la siguiente tabla:

Río Frío RFO	
R ²	0.82630763
Residual	0.00049303
R ² Ajustada	0.75186804
Error estimado	0.00839246
(b) Ordenada al origen	-0.00255965
(m1) TAH	1.41070168
(m2) SAG	0.62883629
(m3) CES	-1.1744731

Para calcular los valores en el año típico se sustituye la siguiente formula:

$$RFO = b + m1TAH + m2SAG + m3CES$$

En la siguiente gráfica se observan los valores del año típico para las estaciones cercanas a Río Frío y los datos de esta estación obtenidos de la estimación con las estaciones vecinas.



ANEXO 4. POBLACIÓN TOTAL Y GRUPOS DE EDAD POR DELEGACIÓN Y MUNICIPIO

Delegación / Municipio	Población Total		Población menor a un año		Población de 1 a 5 años		Población de 6 a 11 años		Población de 12 a 14 años		Población de 15 a 64 años		Población mayor de 65 años	
	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010	2000	2010
AZCAPOTZALCO	433799	401562	7209	5388	33789	25239	43489	32481	21594	16125	297603	269588	30115	52741
COYOACÁN	630411	648888	10012	8197	46367	37960	57948	47432	29348	24024	445025	448364	41711	82911
CUAJIMALPA	146728	168470	3015	2844	16183	15265	17560	16559	8287	7818	96309	111173	5374	14811
G. A. MADERO	1213356	1147351	22180	17177	95773	74129	129851	100510	63630	49256	823593	762624	78329	143655
IZTACALCO	404318	382893	7003	5385	32800	25253	42557	32770	20166	15527	274047	254312	27745	49646
IZTAPALAPA	1736810	1869614	36533	32769	157581	141346	210944	189219	101365	90920	1160516	1241875	69871	173485
M. CONTRERAS	217322	273931	4323	38905	20250	18217	24581	22115	11790	10604	145392	158833	10986	25257
MILPA ALTA	88703	111462	2066	2089	8579	8673	12205	12344	5579	5641	56375	72026	3899	10689
A. OBREGÓN	674511	708499	12292	10568	56005	48158	73600	63282	35554	30574	459448	475874	37612	80043
TLÁHUAC	297376	371989	6916	7192	29807	31012	38956	40537	17881	18607	193616	243415	10200	31226
TLALPAN	565690	638136	10481	9590	48888	44753	62141	56890	30656	28075	388186	434954	25338	63874
XOCHIMILCO	357329	431301	7318	7215	33276	32792	42702	42086	21003	20697	237656	287325	15374	41186
B. JUÁREZ	356346	363166	4132	3157	25720	19618	25683	19595	13208	10076	249877	247959	37726	62761
CUAUHTÉMOC	504810	499884	7554	5873	41188	32035	47060	36599	23768	18483	342897	333475	42343	73419
M. HIDALGO	347610	350265	5023	3940	28477	22373	29611	23259	15080	11841	238324	235311	31095	53541
V. CARRANZA	455037	413952	7769	5738	35725	26409	47197	34891	23208	17153	306222	272345	34916	57416
ACOLMAN	54514	74593	1227	1156	6850	6444	7003	6590	3257	3065	33615	50582	2562	6756
ATENCO	30548	54663	682	730	3549	3815	4065	4358	1877	2006	19088	39385	1287	4369
ATIZAPÁN Z.	458234	141222	9306	8579	55392	51049	55832	51442	27102	24972	297194	4606	13408	574
COACALCO	247755	354102	4536	4536	37395	37394	29078	29075	14270	14270	155065	244293	7411	24534
CUAUTITLÁN	67166	76759	1438	1303	11180	10146	7775	7065	3853	3504	40817	51079	2103	3662
CHALCO	484942	570896	12236	11887	69062	67093	72730	70651	34075	33103	285731	367577	11108	20585
CHICOLOAPAN	75342	95513	1759	1654	9508	8943	10172	9569	4878	4590	46729	64181	2296	6576
CHIMALHUACÁN	466016	686600	12269	13519	63621	70121	72454	79851	33091	36470	275585	449595	8996	37044
ECATEPEC	1578331	1916126	34451	30416	199440	176199	198336	175261	95531	84435	1003444	1316575	47129	133240
HUIXQUILUCAN	159184	198215	3156	3080	21071	20580	18574	18144	8853	8650	102180	137930	5350	9831
XTAPALUCA	237955	451529	5745	5272	43810	40197	33765	30981	14904	13675	134429	332483	5302	28921
JALTENCO	21650	34154	402	451	3096	3483	2680	3016	1246	1401	13730	24024	496	1779
MELCHOR OCAMPO	9762	14079	236	236	1192	1189	1314	1311	641	638	5990	9598	389	1107
NAUCALPAN	827918	844521	16677	13065	92898	72783	94984	74417	42671	33430	543746	599412	36942	51414
NEZAHUALCÓYOTL	1199889	1210490	25194	18631	127072	93964	143789	106329	66199	48960	783769	831343	53866	111263
NICOLÁS ROMERO	227283	273133	4823	4634	29309	28156	30651	29447	14495	13931	141041	184351	6964	12614
TECAMAC	117838	158669	2511	2456	16406	16049	15210	14879	7107	6952	72713	106826	3891	11507
TEPOTZOTLÁN	12037	16724	278	263	1880	1776	1596	1507	794	750	7034	11008	455	1420
TEXCOCO	128574	67919	1349	1241	7876	7219	7673	7036	3493	3203	101716	45388	6467	3832
TLALNEPANTLA	699947	769242	12986	16958	73341	56753	77573	60033	36610	28328	465271	532418	34166	74752
TULTEPEC	83715	130838	1869	2064	11953	13209	11893	13145	5459	6033	50379	88324	2162	8063
TULTITLÁN	417384	615128	8666	9161	63635	67242	54744	57853	25531	26978	254862	417140	9946	36754
CUAUTITLÁN IZCALLI	432150	557050	7850	7111	52774	47761	51047	46206	26337	23832	282072	395032	12070	37108

ANEXO 5. EXPOSICIÓN A OZONO Y PM₁₀ POR DELEGACIÓN Y MUNICIPIO EN UN ESCENARIO ACTUAL Y DE REDUCCIÓN AL AÑO 2010.

Delegación o Municipio	Exposición a ozono en ppm						Exposición a PM ₁₀ en µg/m³.					
	Exposición Crítica (Año 2000)	Exposición Promedio (Año 2000)	Exposición Crítica año 2010 con 10% de Reducción	Exposición Crítica 2010 con 20% de Reducción	Exposición Promedio 2010 con 10% de Reducción	Exposición Promedio 2010 con 20% de Reducción	Exposición Crítica (Año 2000)	Exposición Promedio (Año 2000)	Exposición Crítica año 2010 con 10% de Reducción	Exposición Crítica 2010 con 20% de Reducción	Exposición Promedio 2010 con 10% de Reducción	Exposición Promedio 2010 con 20% de Reducción
AZCAPOTZALCO	0.282	0.111	0.254	0.226	0.100	0.089	256	65	230	59	205	52
COYOACÁN	0.278	0.119	0.250	0.223	0.107	0.095	219	65	197	58	175	52
CUAJIMALPA	0.289	0.117	0.260	0.231	0.106	0.094	202	49	182	44	162	39
G. A. MADERO	0.259	0.097	0.234	0.208	0.087	0.078	221	87	199	78	177	69
IZTACALCO	0.268	0.107	0.241	0.214	0.096	0.086	203	70	183	63	163	56
IZTAPALAPA	0.266	0.103	0.239	0.212	0.093	0.083	229	79	206	71	183	64
M. CONTRERAS	0.289	0.129	0.260	0.231	0.116	0.103	191	54	172	49	152	43
MILPA ALTA	0.257	0.113	0.232	0.206	0.102	0.091	224	94	202	85	179	75
A. OBREGÓN	0.293	0.125	0.264	0.235	0.113	0.100	175	51	157	46	140	41
TLÁHUAC	0.259	0.106	0.233	0.207	0.095	0.084	239	90	216	81	192	72
TLALPAN	0.282	0.128	0.254	0.225	0.115	0.103	214	67	192	61	171	54
XOCHIMILCO	0.266	0.117	0.240	0.213	0.105	0.093	230	85	207	77	184	68
B. JUÁREZ	0.281	0.115	0.253	0.225	0.104	0.092	231	58	208	52	185	46
CUAUHTÉMOC	0.279	0.112	0.251	0.223	0.101	0.090	224	62	202	56	179	49
M. HIDALGO	0.291	0.118	0.262	0.233	0.107	0.095	227	56	204	51	181	45
V. CARRANZA	0.268	0.105	0.241	0.214	0.095	0.084	191	70	172	63	153	56
ACOLMAN	0.240	0.080	0.216	0.192	0.072	0.064	268	108	241	97	214	86
ATENCO	0.240	0.086	0.216	0.192	0.076	0.068	268	126	241	113	214	101
ATIZAPÁN Z.	0.269	0.094	0.242	0.215	0.084	0.075	255	76	230	68	204	61
COACALCO	0.256	0.085	0.231	0.205	0.077	0.068	251	106	226	95	201	84
CUAUTITLÁN	0.230	0.077	0.268	0.238	0.090	0.080	251	95	226	86	201	76
CHALCO	0.244	0.098	0.219	0.195	0.088	0.078	244	98	220	88	196	78
CHICOLOAPAN	0.240	0.085	0.216	0.192	0.076	0.068	256	108	231	97	205	86
CHIMALHUACÁN	0.246	0.089	0.221	0.197	0.080	0.071	280	110	252	99	224	88
ECATEPEC	0.251	0.089	0.226	0.201	0.080	0.071	280	118	252	106	224	94
HUIXQUILUCAN	0.293	0.115	0.263	0.234	0.103	0.092	185	50	166	45	148	40
XTAPALUCA	0.239	0.092	0.216	0.192	0.083	0.074	245	102	221	92	196	82
JALTENCO	0.253	0.084	0.227	0.202	0.075	0.067	251	109	226	98	201	87
MELCHOR OCAMPO	0.261	0.086	0.235	0.209	0.077	0.069	251	96	226	87	201	77
NAUCALPAN	0.291	0.110	0.262	0.233	0.099	0.088	222	57	200	51	178	45
NEZAHUALCÓYOTL	0.261	0.098	0.235	0.209	0.088	0.078	312	100	281	90	250	80
NICOLÁS ROMERO	0.271	0.094	0.244	0.217	0.084	0.075	245	76	221	68	196	60
TECAMAC	0.243	0.082	0.219	0.194	0.074	0.066	265	114	239	103	212	91
TEPOTZOTLÁN	0.265	0.090	0.238	0.212	0.081	0.072	241	78	217	70	193	62
TEXCOCO	0.233	0.078	0.209	0.186	0.070	0.062	266	117	236	100	210	89
TLALNEPANTLA	0.262	0.094	0.236	0.210	0.085	0.076	284	83	255	75	227	67
TULTEPEC	0.259	0.085	0.233	0.207	0.077	0.068	251	101	226	91	201	81
TULTITLÁN	0.259	0.087	0.233	0.207	0.078	0.070	252	98	227	88	202	78
CUAUTITLÁN IZCALLI	0.205	0.069	0.306	0.272	0.103	0.092	249	88	224	79	199	70