

CAPÍTULO 5. ESTADO DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM, EFECTOS ASOCIADOS A LA SALUD

Como se mencionó en el Capítulo 1, la disminución de los niveles de contaminación del aire tiene como propósito principal salvaguardar la salud de la población, debido a la toxicidad que tienen la mayoría de los contaminantes. La importancia de conocer los efectos que tiene un ambiente deteriorado en la salud, radica en la necesidad de llevar a cabo acciones para proporcionar a la población una calidad de vida apropiada y satisfacer su derecho a un ambiente limpio.

Para los habitantes de la ZMVM los síntomas de la exposición a la contaminación del aire, como el dolor torácico pulmonar, la tos, el dolor de cabeza o los malestares respiratorios en la garganta, son bien conocidos. Sin embargo, el nivel de afectación puede ser más grave y depende de la frecuencia y duración de la exposición, el tipo de contaminante y su concentración, el lugar, la hora y día de la semana, la temperatura y el clima. Además, la susceptibilidad individual varía dependiendo de la predisposición genética, la edad, el estado de nutrición, la presencia y severidad de afecciones cardíacas y respiratorias, el uso de medicamentos o la actividad física. Los niños menores de 5 años, las personas de la tercera edad (mayores de 65 años) y las personas con enfermedades respiratorias o con asma, constituyen la población con mayor riesgo a la exposición de contaminantes (CAM, 2002, disponible en Internet).

El tipo de exposición depende del tiempo y la concentración del contaminante. Una exposición aguda se presenta cuando el individuo se expone a concentraciones elevadas de contaminantes durante corto tiempo y una exposición crónica se presenta cuando el individuo se expone en el largo plazo a concentraciones relativamente bajas.

OZONO

Exposición de corto plazo

En la Tabla 6 del apartado de *Efectos* del Capítulo 1 se listan los trastornos asociados con la exposición a O_3 , destacando la mortalidad prematura asociada con la exposición a concentraciones altas. Esto ocurre principalmente en personas con padecimientos cardiovasculares y/o respiratorios, uno y cinco días después de la exposición (CAM, 2002, disponible en Internet).

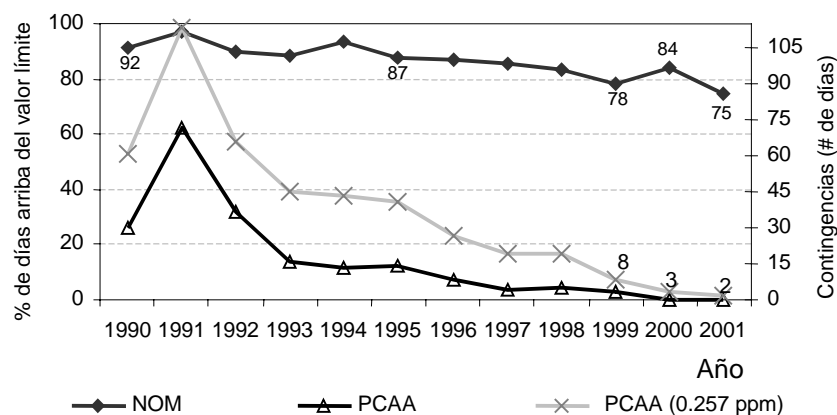
La Norma Oficial Mexicana (NOM) 020–SSA1–1993, establece como límite para evaluar la calidad del aire con respecto al O_3 y proteger la salud de la población susceptible, una concentración máxima de 0.110 ppm, para no ser rebasada más de una hora, una vez al año cada tres años. Estas características permiten su empleo como un indicador de exposición aguda, referido como el porcentaje de días al año en que se rebasa el límite señalado.

En la Figura 16 se observa que el porcentaje de días con concentraciones superiores al límite de la NOM muestra una tendencia paulatina a la disminución en el período de 1990 a 2001. Así, durante 1990, en nueve de cada diez días se rebasó el límite de 0.11 ppm, mientras que en 2001 sólo se rebasó en siete de cada diez, de hecho este último año registró el mayor número de días con una calidad del aire Buena²².

Como se mencionó en el Capítulo 1, no obstante que aún se presenta un alto porcentaje de días con concentraciones máxima de O_3 por arriba de la NOM, la disminución de la intensidad de sus concentraciones máximas ha motivado que no se instrumente el PCAA desde el 15 de octubre de 1999. En la Figura 16 se observa que la instrumentación del PCAA ha disminuido considerablemente de 1991 a 2001, incluso si este programa se hubiera instrumentado con un límite más estricto que el actual (0.257 ppm, equivalente a 220 puntos del IMECA), hubiera sido necesario instrumentarlo sólo en dos ocasiones durante 2001.

²² Estos porcentajes difieren de la información que proporciona el IMECA, ya que este índice se genera con información preliminar que no considera el desempeño posterior de las estaciones.

Figura 16. Porcentaje de días por arriba del valor límite de la NOM de O₃ y número de días con instrumentación del PCAA e instrumentación de un PCAA definido en 0.257 ppm (equivalente a 220 puntos del IMECA), durante el período 1990–2001.



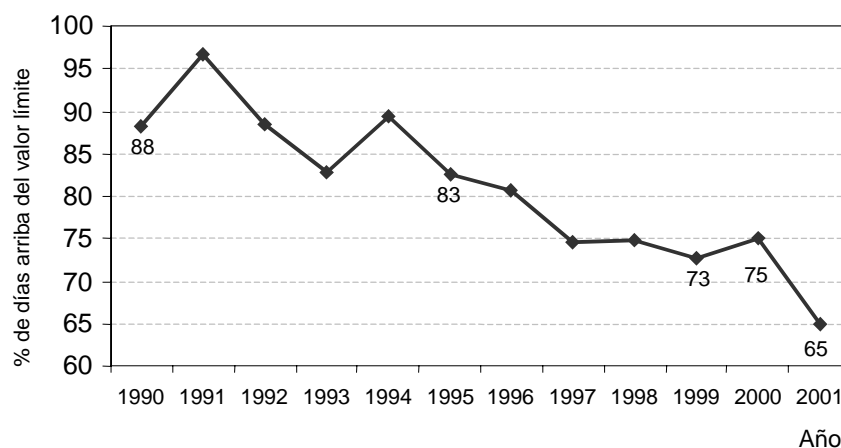
La Tabla A22 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

Exposición durante períodos continuos de 8 horas

Ante la necesidad de proteger la salud de la población de la ZMVM de los efectos ocasionados por una exposición a períodos de tiempo prolongados, se realizó un proyecto de modificación a la NOM-020-SSA1-1993, añadiendo como límite de protección una concentración de 0.080 ppm (promedio móvil de 8 horas), la cual no debe excederse anualmente tomando como base el quinto máximo anual²³.

Lo anterior, permite emplear el número de días en que se rebasan estos límites como indicador de exposición a períodos de tiempo más prolongados. En la Figura 17 se observa que la calidad del aire ha mejorado con respecto a este tipo de exposición, al considerar el límite que propone el proyecto de modificación a la NOM, en 1990 se hubiese excedido aproximadamente en ocho de cada diez días y en el 2001 solo en seis de cada diez días.

Figura 17. Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible para los promedios móviles de O₃ en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A23 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

Distribución espacial de la exposición promedio diaria

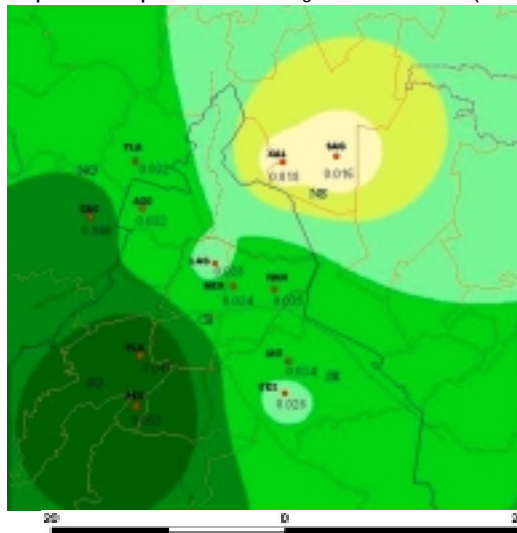
Los resultados del apartado anterior, muestran la necesidad de estimar con mayor detalle el grado de exposición de la población de la ZMVM en relación a su lugar de residencia. Por esta razón,

²³ Se considera que el valor de 0.080 ppm para O₃, podrá excederse hasta el 1.09% de los días del año, es decir, 4 de 365 días.

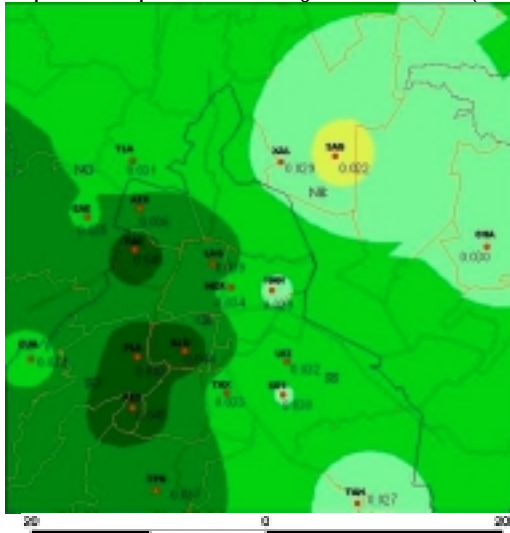
se realizó un análisis de la distribución espacial del O₃, considerando el indicador de exposición promedio²⁴ (definido en el Capítulo 3).

Los resultados de este análisis en 1990, 1995, 2000 y 2001 (Mapas 2 al 5) señalan que hubo una disminución significativa en los valores altos de este indicador en toda la ZMVM y que en la actualidad tiene una distribución más homogénea. En 1990 la exposición más alta por encima del límite permisible, fue de 0.053 ppm en el suroeste de la ZMVM, mientras que en 2001 fue de 0.032 ppm.

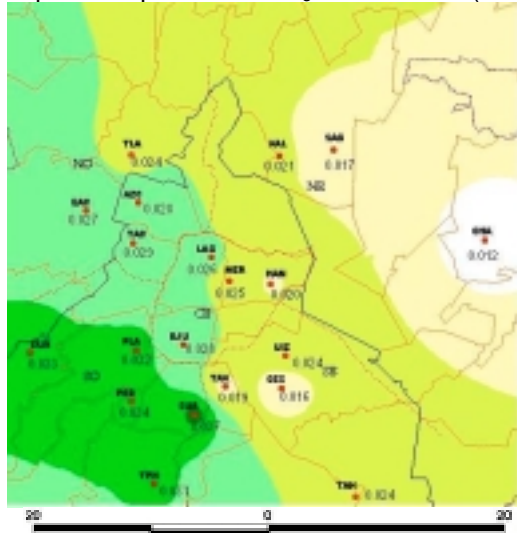
Mapa 2. Distribución espacial de la exposición promedio a O₃ en la ZMVM (1990).



Mapa 3. Distribución espacial de la exposición promedio a O₃ en la ZMVM (1995).



Mapa 4. Distribución espacial de la exposición promedio a O₃ en la ZMVM (2000).



Mapa 5. Distribución espacial de la exposición promedio a O₃ en la ZMVM (2001).



Respecto de las regiones de mayor riesgo para la población, destaca la región que comprende a las delegaciones Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Coyoacán, Tlalpan y Cuajimalpa. Sólo en 1995 la región que comprende las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco,

²⁴ Para elaborar los mapas espaciales de exposición promedio se consideró la información de todas las estaciones de monitoreo, es decir, sin tomar en cuenta su desempeño histórico. Con la finalidad de tener una cobertura adecuada de la ZMVM y minimizar los errores al momento de interpolar. El número de estaciones consideradas en cada mapa se indica a continuación:

	1990	1995	2000	2001
O ₃	12	19	20	20
PM10	5	5	12	12

representó un mayor riesgo. En 2001 la homogeneidad de los valores de este indicador, dificultó la conformación de regiones de mayor riesgo; sin embargo, las delegaciones Benito Juárez, Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Coyoacán, Tlalpan y Magdalena Contreras, destacaron por tener los valores más altos. En la región aledaña a la estación SUR se obtuvo el valor más alto de éste indicador (0.032 ppm).

Los resultados indican que los niveles de O_3 que se registran actualmente en la ZMVM, aun representan un riesgo para la salud de la población, ya sea por una exposición de corto tiempo o una exposición por períodos de horas prolongados, a concentraciones que superan los límites recomendables. El riesgo que representa la presencia de este contaminante es mayor en el suroeste de la ciudad, lo que resulta preocupante para grupos de la sociedad que se exponen durante tiempos prolongados al aire libre o que permanecen en estas regiones la mayor parte del tiempo, como es el caso de niños y personas de la tercera edad.

Es necesario reforzar e instrumentar acciones tendientes a la disminución y control de los precursores del O_3 , ya que aun se desconocen los efectos que tiene en la salud una exposición crónica a concentraciones altas de este contaminante. En la medida de que estas acciones tengan un impacto sobre la calidad del aire, la exposición promedio mostrará una tendencia a la baja y se presentaran menos días con concentraciones por encima de los límites permisibles, lo cual será un buen indicador de protección de la salud para la población.

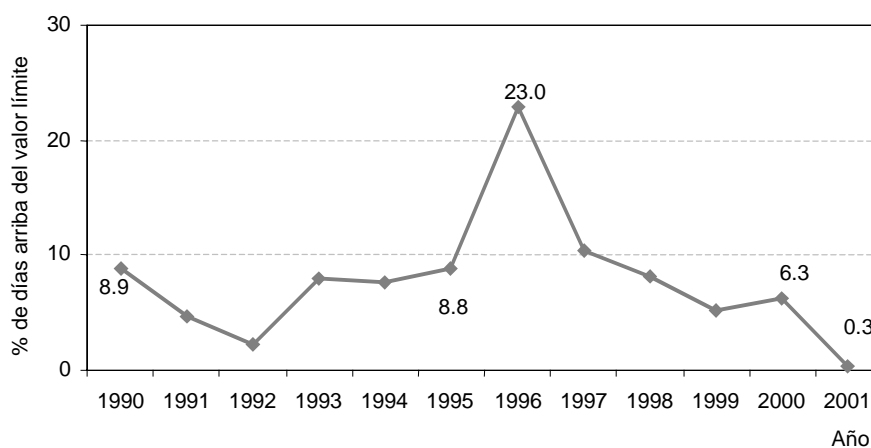
BIÓXIDO DE NITRÓGENO

La población expuesta a concentraciones elevadas de este contaminante presenta enfermedades de las vías respiratorias y disminución de la presión arterial. La exposición a concentraciones bajas durante períodos prolongados puede provocar irritación pulmonar y bronquitis (OPS, 1979; INSP *et al*, 1996). Sin embargo la literatura muestra que el daño provocado por este contaminante no es consistente, pues mientras algunos investigadores han encontrado efectos otros no.

De acuerdo con la NOM-022-SSA1-1993, el NO_2 no debe rebasar una concentración de 0.210 ppm en una hora, una vez al año, como protección a la salud de la población susceptible. El porcentaje de días al año en que se supera el valor de la norma se puede utilizar como un indicador de exposición aguda.

El análisis de la información mostró que el límite que establece la NOM en general no se rebasó en más del 10% de los días de 1990 a 2001 (a excepción de 1996 que se rebasó el 23% de días al año), sobresaliendo el hecho de que 2001 tuvo el menor porcentaje de excedencias, tan sólo un día en todo el año. (Figura 18).

Figura 18. Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de NO_2 para la NOM en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A25 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS

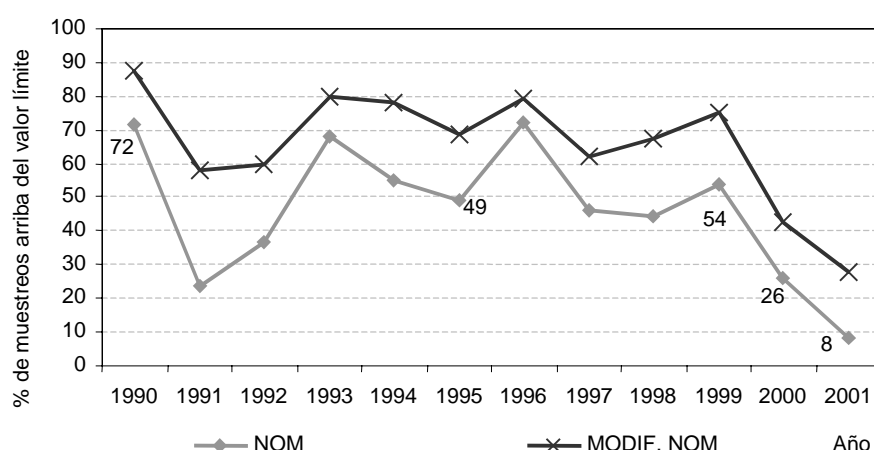
Exposición a concentraciones en períodos de 24 horas y en períodos anuales

En la ZMVM las PM₁₀ se consideran como el segundo contaminante criterio de importancia, en la Tabla 6 del Capítulo 1 se listan las enfermedades asociadas con el aumento de sus concentraciones, así como las causas de mortalidad (INSP *et al*, 1996; Borja-Aburto *et al* 1997; Borja-Aburto *et al* 1998; Loomis, D. *et al* 1999; Castillejos *et al* 2000; Jiménez C. B., 2001; Molina T. and Molina J., 2002)

La NOM-025-SSA1-1993 de salud ambiental establece dos límites para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a las PM₁₀, el primero de estos es de 150 µg/m³ en 24 horas, y el segundo de 50 µg/m³ como media aritmética anual. El proyecto de modificación a esta norma contempla reducir a 120 µg/m³ el límite de 24 horas. Nuevamente se empleó el porcentaje de muestreos al año en que se rebasó la norma de 24 horas, como un indicador de exposición aguda. Mientras que el límite anual que establece la NOM, se empleó como indicador de exposición crónica.

En la Figura 19 se observa una variación considerable del porcentaje anual de muestreos que superan el límite de la NOM. Destacan 1991 y 2001 como los años con mejor calidad del aire en términos de protección a salud, de hecho en 2001 sólo el 8% de los muestreos rebasaron el límite marcado por la NOM. Al emplear el límite que propone el proyecto de modificación a la NOM, en 2001 se hubieran presentado valores más altos en el 28% de los muestreos.

Figura 19. Porcentaje de muestreos al año por arriba del valor límite permisible de PM₁₀ para la NOM en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A26 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

Los resultados del promedio anual de PM₁₀ como indicador de exposición crónica²⁵, señalan una problemática general, ya que después de 1995 a penas una estación cumple con el límite de 50 µg/m³. En este análisis destaca el decremento del 51% que tuvo este indicador de 1990 a 2001 (Tabla 23).

Tabla 23. Promedio aritmético anual (µg/m³) de muestreos de PM₁₀ en la ZMVM (1990–2001).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
MÁXIMO	187	127	139	188	163	155	191	155	144	159	125	95
MÍNIMO.	64	62	50	58	55	50	46	38	52	43	44	42
# ESTAC cumplen con la NOM	0	0	0	0	0	1	2	1	0	1	1	1

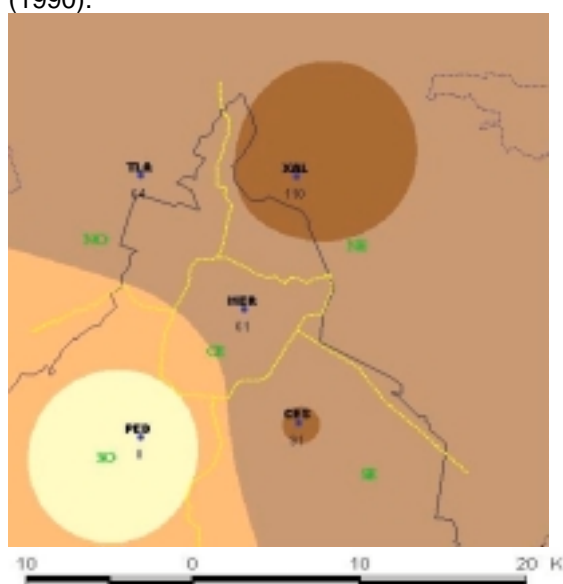
²⁵ El promedio anual de PM₁₀ se obtuvo para cada una de las estaciones de la ZMVM (Tabla 10 del Capítulo 3), estos promedios se comparan con el límite permisible de exposición crónica y se cuantifica el total de estaciones que no lo exceden. Los promedios anuales de PST, Pb, SO₂ y NO₂, se calcularon de igual manera.

Distribución espacial de la exposición promedio anual

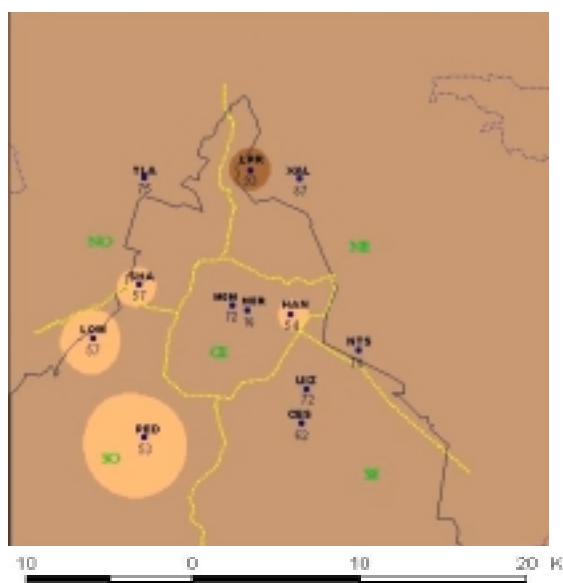
El análisis espacial de las PM₁₀ con el indicador de exposición promedio para 1990, 1995, 2000 y 2001 (Mapas 6 al 9), ilustra también la mejora de la calidad del aire en relación a este contaminante, siendo notable que el valor de este indicador en 2001 fue *prácticamente cero* en la mayor parte de la ZMVM. Esta mejora también se observa al comparar la máxima exposición promedio, que pasó de 110 µg/m³ en 1990 a 64 µg/m³ en 2001. Esto evidentemente tiene repercusiones positivas para la salud de los habitantes de la ciudad

Así mismo, la región que comprende los municipios de Ecatepec y Nezahualcóyotl, presenta mayor el riesgo para la salud de sus habitantes ya que tiene los valores más altos de este indicador. Por su parte, la región que comprende las delegaciones Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan y Coyoacán, se destaca por presentar los niveles más bajos de PM₁₀.

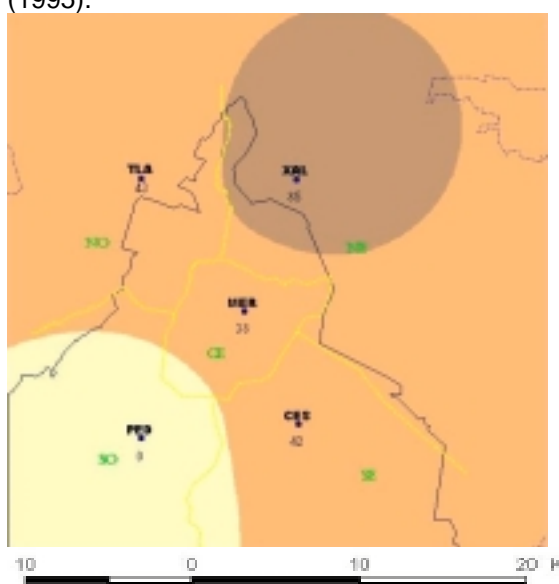
Mapa 6. Distribución espacial de la exposición promedio a PM₁₀ en la ZMVM (1990).



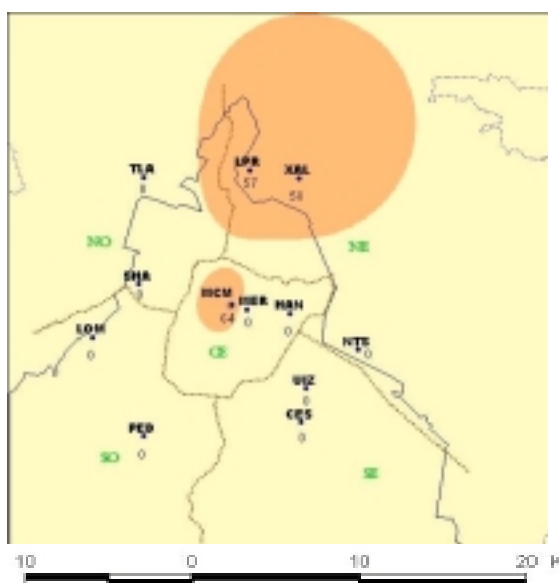
Mapa 8. Distribución espacial de la exposición promedio a PM₁₀ en la ZMVM (2000).



Mapa 7. Distribución espacial de la exposición promedio a PM₁₀ en la ZMVM (1995).



Mapa 9. Distribución espacial de la exposición promedio a PM₁₀ en la ZMVM (2001).



En el análisis de tendencia del Capítulo 4 se recomendó reforzar las acciones y medidas para que garanticen una disminución continua de las PM₁₀, ya que no hubo indicios de tendencia en el período 1990 – 2001, sin embargo, al realizar un análisis referente a la exposición, a valores por arriba del valor límite permisible, el valor de los indicadores empleados señala una disminución significativa de las PM₁₀ como inductor de efectos en la salud. No obstante, el análisis con el indicador de exposición crónica (promedio anual) mostró la importancia de los niveles altos de PM₁₀ en ciertas localidades donde se rebasa el límite de 50 µg/m³ y el análisis espacial con el indicador de exposición promedio muestra que la región que comprende los municipios de Ecatepec y Nezahualcóyotl es donde la población está expuesta a concentraciones más altas.

Por lo anterior, llevar a cabo acciones que incidan sobre las fuentes de emisión de PM₁₀ que se presentan en esta región de la ZMVM, disminuiría la presencia de concentraciones extremas que inciden sobre el comportamiento de este contaminante cuando se realizan evaluaciones a nivel metropolitano, además de que se alcanzarían niveles de calidad del aire mejor para la salud de sus habitantes. Este decremento también permitiría cumplir con estándares más estrictos que los actuales.

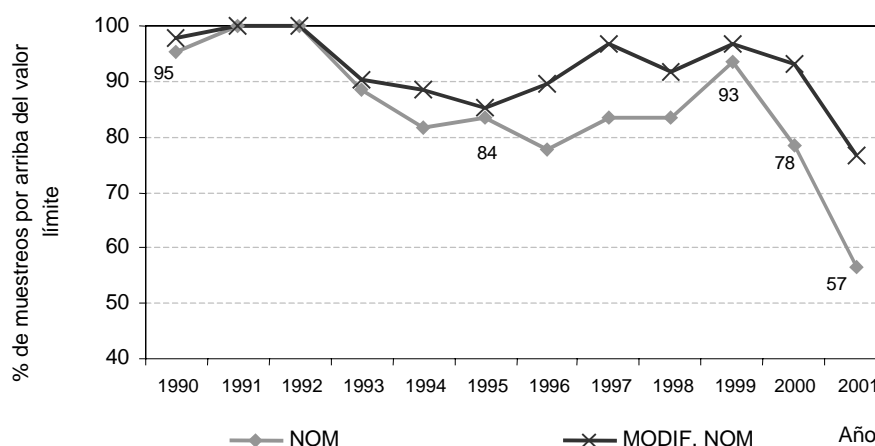
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES

La NOM–024–SSA1–1993, señala como límites para evaluar la calidad del aire ambiente con respecto a las PST, concentraciones de 260 µg/m³ en 24 horas y 75 µg/m³ como media aritmética anual para evaluar la exposición crónica. El proyecto de modificación de la NOM, contempla reducir el límite de 24 horas a 210 µg/m³.

Por sus características, en este trabajo se emplearon estos límites como indicadores de exposición aguda y crónica, en el primer caso se consideró el porcentaje de muestreos con concentraciones mayores al límite permisible establecido en la NOM actual y en la del proyecto de modificación. En el caso de exposición crónica se consideró como indicador el promedio anual.

En la Figura 20 se observa que el porcentaje de muestreos que exceden los 260 µg/m³ ha disminuido paulatinamente de 1990 a 2001, destacando este último año por tener el menor porcentaje, ya que aproximadamente cinco de cada diez muestras rebasaron el límite mencionado. Con el límite que se propone en el proyecto de modificación a la NOM, la relación de muestreos fuera de norma en 2001 hubiera sido siete de cada diez.

Figura 20. Porcentaje de muestreos al año por arriba del valor límite permisible de PST para la NOM en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A28 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

El análisis realizado con el indicador de exposición crónica referido a la NOM, señala que a pesar de la disminución paulatina que han tenido las concentraciones de este contaminante desde 1990, la exposición durante períodos de tiempo prolongados representa aún un riesgo para la salud.

En la Tabla 24 se observa esta situación, tanto con el valor máximo como con el mínimo de este indicador.

Tabla 24. Promedio aritmético anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de muestreos de PST en la ZMVM (1990–2001).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
MÁXIMO	639	957	702	433	413	375	365	405	431	466	369	277
MÍNIMO	125	130	91	108	101	100	109	92	156	140	127	97

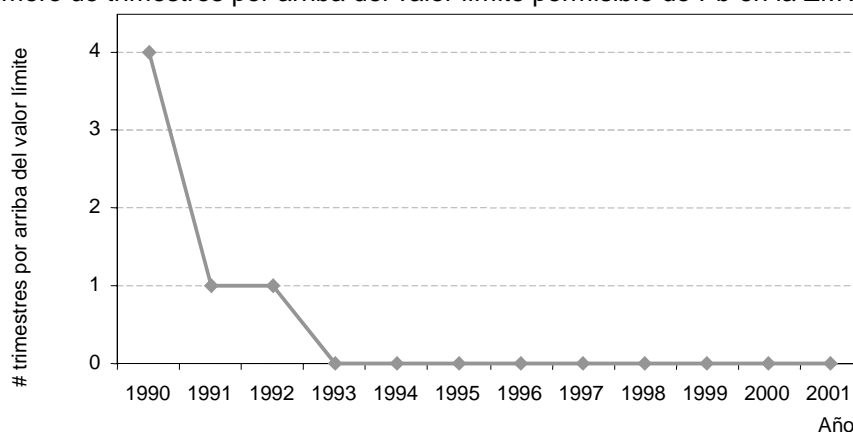
El análisis detallado de la información mostró que esta situación es particularmente grave en ciertas regiones de la ZMVM. Entre 1990 y 1992 los promedios anuales más altos correspondieron a la estación TAX (entre 630 y 960 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y desde 1993 corresponden a la estación XAL (entre 270 y 470 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Al igual que las PM_{10} , el control de las PST en localidades donde se rebasan los indicadores como el de exposición crónica, disminuiría la presencia de concentraciones extremas que influyen en las evaluaciones a nivel metropolitano y permitiría alcanzar niveles adecuados para la salud de sus habitantes. Además, se podrán cumplir estándares de PST más estrictos que los actuales.

PLOMO EN PST

La absorción de Pb en el organismo humano se realiza principalmente por las vías respiratorias y, en segundo término, por la ingesta de alimentos. Se ha demostrado que entre el 30 y 50% del Pb que llega a los alvéolos pasa a la circulación sanguínea, mientras que por vía digestiva los adultos absorben entre un 10 y 15%, en los niños la absorción llega a ser de un 50%. Dentro del organismo²⁶, el Pb circula libremente por la sangre y se acumula progresivamente, por lo que muchos de los efectos asociados no se reflejan inmediatamente. Los niños son el grupo etéreo más susceptible a los efectos del Pb, debido a que su cerebro y sistema nervioso está en desarrollo. Este contaminante puede provocar una reducción del coeficiente intelectual, hiperactividad y problemas de comportamiento. En los adultos la presencia de niveles bajos de Pb puede provocar hipertensión, afección de los riñones, hígado y el sistema reproductivo. En mujeres embarazadas el Pb puede traspasar la barrera placentaria y afectar al producto (IMSS, UAEMex, 2001; Alianza Contra el Envenenamiento por Plomo, 1998). En México actualmente la principal fuente de Pb es por vía digestiva, por el uso de loza vidriada con Pb, sin embargo, anteriormente eran las gasolinas.

El límite permisible de Pb en el país es una concentración de 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, como promedio trimestral. Este límite, se puede utilizar como indicador de efectos en salud, al considerar el número de trimestres al año en que se rebasa el promedio de 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El comportamiento de este indicador (Figura 21) muestra que la presencia de Pb en la atmósfera de la ZMVM no representa un riesgo para la salud desde 1994 al evaluarlo con la NOM.

Figura 21. Número de trimestres por arriba del valor límite permisible de Pb en la ZMVM (1990–2001).



²⁶ Aproximadamente el tiempo de llegada a la sangre es de un mes, de cinco meses en los tejidos y de veinte a veintisiete años en los huesos.

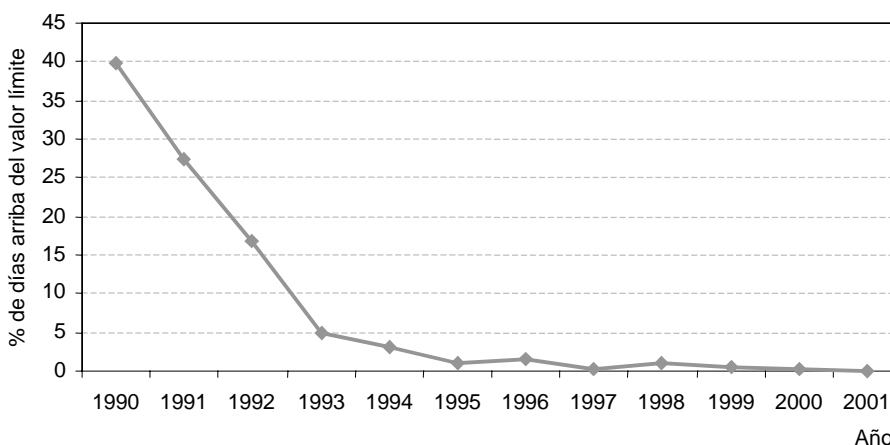
MONÓXIDO DE CARBONO

Los niños, ancianos, personas con problemas de nutrición y personas con tipos de hemoglobina anormal²⁷, son los grupos de la población más susceptibles a la exposición a CO. Sus efectos se reflejan como cansancio, disminución de la percepción visual, destreza manual y habilidad para el aprendizaje. Su acumulación en áreas cerradas puede provocar la muerte por insuficiencia cardíaca o pérdida de la conciencia, ya que el CO se liga a la hemoglobina formando la carboxihemoglobina, que evita que el oxígeno pueda llegar a órganos tan importantes como el sistema nervioso central (SNC) y el corazón. El monóxido de carbono tiene una afinidad 210 veces mayor que el oxígeno con la hemoglobina (INSP *et al*, 1996).

La NOM-021-SSA1-1993 especifica que la concentración de CO, como contaminante atmosférico, no debe rebasar una concentración de 11 ppm, como promedio móvil de 8 horas.

Al considerar como indicador el porcentaje de días del año que rebasan este límite, los resultados indican que desde 1994 la NOM se rebasa en menos del 5% de los días del año, mientras que en 1990 se excedía cerca del 40% de los días. (Figura 22). Estos resultados señalan la importancia de las acciones que se han llevado a cabo; que repercute en la protección de la salud de la población, sobre todo aquella que es más susceptible.

Figura 22. Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de CO para la NOM en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A27 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

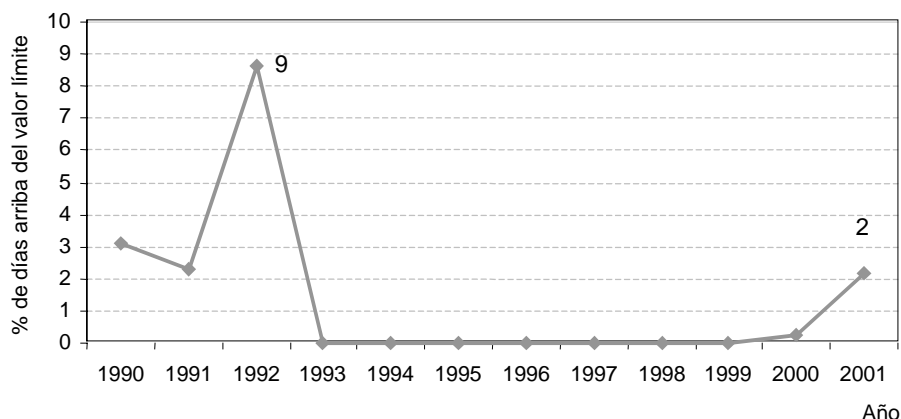
BIÓXIDO DE AZUFRE

La exposición a SO₂ provoca enfermedades respiratorias y aumento de síntomas, anomalías en la defensa pulmonar, agravación de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes (CNDH, 1992). La NOM-022-SSA1-1993, señala como límite máximo aceptable una concentración de 0.130 ppm, durante 24 horas, una vez al año y 0.030 ppm como promedio anual.

Este límite permiten definir como indicador de exposición aguda al porcentaje de días del año en que se rebasa el valor normado y al promedio anual como indicador de exposición crónica. Los resultados de la exposición de 24 horas, indican que durante 2001 hubo un incremento considerable del porcentaje de días con excedencias (Figura 23).

²⁷ La hemoglobina anormal es la enfermedad que afectan la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.

Figura 23. Porcentaje de días al año por arriba del valor límite permisible de SO₂ para la NOM en la ZMVM (1990–2001).



La Tabla A24 del Anexo 6 contiene los datos de este análisis.

Con relación a la exposición crónica a SO₂, durante 2000 y 2001 se obtuvieron promedios anuales máximos que superaron el límite establecido en la NOM. Estos promedios correspondieron a la estación TLA. (Tabla 25).

Tabla 25. Promedio aritmético anual (ppm) de SO₂ en la ZMVM (1990–2001).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
MÁXIMO	0.069	0.081	0.072	0.032	0.025	0.023	0.020	0.020	0.018	0.019	0.030	0.036
MÍNIMO	0.040	0.037	0.025	0.012	0.015	0.013	0.012	0.010	0.009	0.008	0.010	0.010
# ESTAC que exceden la NOM	11	11	11	2	0	0	0	0	0	0	1	1

En el Capítulo 4 se mencionó la necesidad de instrumentar acciones inmediatas de vigilancia, sobre todo en el norte de la ZMVM donde se han registrado eventos extraordinarios de este contaminante en los últimos dos años del análisis. Esto refuerza la recomendación anterior, dado que su presencia puede representar un riesgo para la salud de la población, ya sea por exposición durante períodos de 24 horas o por exposición crónica.