

Primera parte

Impactos en la salud y diagnóstico de la situación de la ZMVM en materia de contaminación atmosférica

Capítulo 1. Impactos de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población de la ZMVM

Capítulo 2. Inventarios de emisiones de la ZMVM

Capítulo 3. Diagnóstico de la situación actual de la calidad del aire en la ZMVM

Capítulo 1

Impactos de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población de la ZMVM

Este capítulo resume los principales resultados de los más recientes estudios sobre impactos de la contaminación atmosférica en la salud de la población de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y recoge algunas evidencias internacionales sobre el tema. El material presentado constituye una plataforma de sólidos argumentos científicos que ubican a los efectos negativos de dicha contaminación como un tema apremiante de la agenda metropolitana de salud pública. La solidez, el rigor científico y los alcances de los estudios referidos en el capítulo, justifican las medidas y acciones que este programa propone para mejorar la calidad del aire de la ZMVM.

Aparentemente la percepción colectiva del estado de la calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)¹, no corresponde a la gravedad de los efectos negativos que la contaminación atmosférica ha ido provocando sobre la salud de la población. Las personas que viven en la ZMVM generalmente no identifican a la contaminación como algo cercano sino como un fenómeno ajeno, que afecta a los otros pero no necesariamente a sí mismas o a otras personas de su entorno. Esto probablemente se debe a que las tendencias de los contaminantes denominados “*criterio*” se han mantenido a la baja en los últimos lustros y a que se tiene una historia de pocos episodios de contingencias ambientales, lo cual ha contribuido a generar un estado de cierta tranquilidad entre la población que no ayuda a posicionar, en su verdadera dimensión, el tema de los efectos de la contaminación del aire como un problema serio de salud pública.

Sin embargo, como se muestra en este primer capítulo los efectos de la contaminación del aire en la salud de la población de la ZMVM deben ser considerados seriamente, y al igual que en otras zonas urbanas del país, su atención merece un lugar prioritario en el diseño de las políticas públicas dirigidas a mejorar la calidad de vida en el largo plazo. Dichos efectos han sido suficientemente estudiados para algunos contaminantes, pero hay una larga lista de otros para cuyos efectos tenemos al día de hoy poca o nula evidencia científica, a pesar de que éstos sean considerados como un factor que eleva sensiblemente las tasas de mortalidad y de morbilidad en las áreas urbanas.

¹ La definición de ZMVM adoptada en este documento corresponde a la publicada en las Gacetas Oficiales de los gobiernos del Estado de México y del Distrito Federal el 23 de enero de 2006, misma que incluye a las 16 delegaciones del Distrito Federal y 59 municipios conurbados del Estado de México.

En efecto y como parte del contexto que permite ubicar adecuadamente el problema de la contaminación atmosférica, es conveniente mencionar algunos datos que entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS, WHO por sus siglas en inglés) obtienen y publican regularmente. Considérese, por ejemplo, el hecho de que esta organización estima que la contaminación del aire es responsable del 1.4 % de todas las muertes prematuras a nivel mundial y del 0.8% de los años de vida perdidos con gozo de plena salud (WHO, 2002). Con respecto a la carga regional de enfermedades debidas a la contaminación del aire la misma OMS establece que más de 2 millones de muertes prematuras al año son atribuidas a la contaminación del aire exterior urbano y a la contaminación del aire intramuros por la combustión de biomasa, y más de la mitad de esta carga corresponde a poblaciones de países en vías de desarrollo (WHO, 2002).

Como se ha mencionado, en el caso de la ZMVM es importante reconocer que las tendencias de la mayoría de los contaminantes que han sido monitoreados desde hace varios años muestran una tendencia a la baja, lo cual representa beneficios importantes a la población. Sin embargo mantenemos aún altos costos en salud, que constituyen un pasivo social importante como consecuencia de la exposición de la población a un amplio conjunto de contaminantes atmosféricos.

La estimación de los costos totales de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud es una tarea difícil, tanto por la amplitud de su tipología como por los extensos requerimientos de información y datos necesarios para los cálculos correspondientes. Su importancia ha sido reconocida y si bien su cálculo y sistematización son aspectos que forman parte de una de las medidas de este programa, vale la pena recordar que la tipología de dichos costos incluye los siguientes: los costos privados que deben pagar las personas afectadas por diversas sintomatologías en consultas médicas y medicinas, así como por las consecuencias de la disminución de su productividad laboral o escolar; los costos sociales derivados de la muerte prematura de personas afectadas gravemente, mismos que se materializan, primero, como la pérdida de las contribuciones que esas personas hacían en vida a la sociedad, y segundo, como los costos psicológicos y emocionales infligidos a familiares y amigos; los costos económicos de la pérdida de competitividad de todo tipo de organizaciones públicas y privadas, como consecuencia de la disminución de la productividad asociada a la morbilidad y que se materializa también en ausentismo y disminución de horas dedicadas a actividades productivas; y finalmente, los costos denominados *de oportunidad* de los recursos públicos, tanto humanos como materiales, que son los utilizados para atender a las personas afectadas por la contaminación atmosférica y que por lo tanto no pueden ser utilizados para atender otras necesidades importantes y apremiantes del sector salud.

1.1 Sintomatología y efectos generados por la contaminación del aire

Los contaminantes del aire tienen distinto potencial para producir daños sobre la salud humana, dependiendo del tipo de contaminante, de las propiedades físicas y químicas de sus componentes, la frecuencia, duración de exposición y su concentración, entre otros factores. De manera genérica se establece que la capacidad de un contaminante para producir un efecto en la salud depende fundamentalmente de dos factores: 1) la magnitud de la exposición y 2) la vulnerabilidad de las personas expuestas. La magnitud de la exposición está en función de la concentración del contaminante en la atmósfera, de la duración de la exposición y de su frecuencia. La vulnerabilidad de las personas expuestas es significativamente diferente, algunos grupos de población son más sensibles o vulnerables que otros a la contaminación del aire, que

obedece a factores intrínsecos, como la genética, etnia, género y edad; y a factores adquiridos como las condiciones médicas, acceso a los servicios de salud y nutrición. Los efectos en la salud pueden clasificarse en efectos agudos y, efectos crónicos sin la inclusión de cáncer y efectos cancerígenos (Kampa y Castanas, 2008).

La exposición aguda se presenta a concentraciones elevadas de contaminantes en corto tiempo, que logran ocasionar daños sistémicos al cuerpo humano. Los efectos atribuibles a la exposición aguda varían ampliamente. Algunos estudios señalan un incremento en la mortalidad debido a complicaciones respiratorias relacionadas con la exposición a partículas de diámetro pequeño, ozono y sulfatos; otros estudios informan acerca de enfermedades cardiovasculares, lo cual se considera como un efecto indirecto de la contaminación. La exposición aguda también se relaciona con enfermedades de vías respiratorias superiores e inferiores: bronquitis, neumonía y tos, entre otras (Riojas et al., 2009).

Por otra parte la exposición crónica implica concentraciones bajas de contaminantes en largos periodos. Esta exposición a pesar de que sea a niveles bajos, puede afectar a las personas con una predisposición genética o con algún problema de salud preexistente. Los efectos a la salud son similares a los mencionados por una exposición aguda. Existen informes del incremento de la mortalidad en relación con exposición crónica, aunque en la mayoría de los casos se trata de adultos con problemas respiratorios y cardiovasculares degenerativos (Cesar et al., 2001).

Los resultados obtenidos en estudios recientes demuestran que la exposición aguda y crónica a la contaminación del aire se asocia con el incremento de la mortalidad y morbilidad debido a diferentes causas: por problemas cardiovasculares y respiratorios (Samet y Krewski, 2007; Romieu et al., 2008), por su relación con algunos tipos de cáncer, con efectos reproductivos y con efectos neurológicos (Curtis et al., 2006). Las exposiciones a la contaminación del aire durante el embarazo y durante los períodos tempranos de la vida se han asociado con nacimiento prematuro, retraso en el crecimiento intrauterino, bajo peso al nacer, síndrome de muerte temprana y mortalidad infantil (Maisonet et al., 2004; Lacasana et al., 2005; Curtis et al., 2006; Wigle et al., 2007; Kampa y Castanas, 2008), así como efectos en la salud de grupos vulnerables como niños asmáticos en la ZMVM (Barraza et al., 2008; Romieu et al., 2008; Hernández et al., 2009; Rojas et al., 2007; Escamilla et al., 2008).

Los síntomas por exposición a la contaminación del aire se manifiestan principalmente en la disminución de la capacidad respiratoria, incremento en la frecuencia de enfermedades respiratorias crónicas y agudas, aumento de ataques de asma e incremento de casos de enfermedades cardíacas. Esto se debe a que los pulmones son el órgano de choque para todos los contaminantes del aire. Cuando las células de las vías aéreas del pulmón se inflaman, se reduce la habilidad del sistema respiratorio para combatir infecciones y eliminar partículas extrañas, lo que aumenta el riesgo en la salud de las personas que padecen, por ejemplo, asma, enfisema pulmonar o bronquitis crónica.

En este sentido, la bibliografía indica que los mecanismos mediante los cuales algunos contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono (CO) y el ozono (O₃) provocan efectos cardiovasculares, como la insuficiencia cardíaca, siguen siendo estudiados y a la fecha no están del todo claros.

Antes de pasar a la descripción específica de los efectos sobre la salud por contaminante en la ZMVM, se presenta la Tabla 1.1.1 que retoma información publicada

por el Institute for Environmental Studies con relación a datos de funciones de exposición-respuesta.

Tabla 1.1.1. Funciones exposición-respuesta para la población general por exposición a ozono y PM₁₀

Indicadores	Porcentaje de cambio por cada 10 ppb de ozono, concentración horaria.	Porcentaje de cambio por cada 10 µg/m ³ de PM ₁₀ , promedio diario.
Admisión en hospitales		
Respiratoria	3.76	1.39
Cardio-cerebrovascular	0.98	0.60
Falla congestiva del corazón	-	1.22
Visitas a la sala de emergencia		
Respiratoria	3.17	3.11
Días de actividad restringida		
Total (adultos)	-	7.74
Días laborales perdidos (adultos)	-	7.74
Total (niños)	-	7.74
Días laborales perdidos de mujeres	-	7.74
Días de actividad restringida menor		
Total (adultos)	2.20	4.92
Efectos en Asmáticos		
Ataques de asma	2.45	7.74
Tos sin flema (niños)	-	4.54
Tos con flema (niños)	-	3.32
Tos con flema y uso de bronquodilatador	-	10.22
Algunos síntomas respiratorios (niños)	0.66	-
Síntomas respiratorios menores	0.23	-
Síntomas respiratorios		
Síntomas en vías respiratorias superiores	1.50	4.39
Síntomas en vías respiratorias inferiores	2.20	6.85
Sibilancias	1.32	-
Bronquitis aguda	-	11.0
Morbilidad crónica		
Bronquitis crónica, casos adicionales	-	3.60
Tos crónica, prevalencia (niños)	-	0.30
Mortalidad por medición longitudinal		
Total	-	3.84
Mortalidad por medición transversal		
Total	0.59	1.01
Infantil	-	3.52

Fuente: Cesar et al., 2000.

En la tabla aparecen los incrementos porcentuales observados en diversos indicadores, como admisiones hospitalarias, días de actividad restringida o sintomatología diversa, ante aumentos en las concentraciones de ozono y PM₁₀.

Resalta el hecho de que en la mayoría de los indicadores, los efectos negativos de los incrementos en la concentración de PM₁₀ son mayores que los correspondientes al ozono. En especial resulta preocupante, como se demostrará en las páginas siguientes, los impactos de las partículas sobre la tasa de mortalidad de la población.

1.2 Efectos de las partículas sobre la salud

En cuanto a la toxicidad de las partículas, ésta depende por un lado de su composición química y en consecuencia de la fuente de emisión, y por otro del tamaño, ya que éste determina qué tanto penetrarán al árbol bronquial (Quénel et al., 2003). Las partículas de un diámetro superior a 10 micrómetros son filtradas por la nariz y son deglutidas, las partículas de 3 a 10 micrómetros de diámetro se depositan principalmente en la tráquea y los bronquios y alteran la respuesta inflamatoria alveolar regulada por los macrófagos ante el virus sincitial respiratorio, una causa frecuente de pulmonía viral en los niños (Romieu y Korc, 2002). Las partículas menores a 3 micrómetros llegan en gran cantidad a los alvéolos (Quénel et al., 2003). Las partículas que penetran al epitelio alveolar inician un proceso de inflamación pulmonar, se presentan igualmente cambios inflamatorios sistémicos afectando la coagulación de la sangre, lo cual puede obstruir los vasos sanguíneos, provocando angina o hasta infarto al miocardio (Kampa y Castanas, 2008).

Partículas PM₁₀ y PM_{2.5}

Las partículas se han asociado asimismo con el aumento de síntomas de enfermedades respiratorias, la reducción de la función pulmonar, el agravamiento del asma y con muertes prematuras por afecciones respiratorias y cardiovasculares (WHO, 2001), la mortalidad infantil (APHEIS, 2002) y el ausentismo escolar en niños (CAM, 2002).

En este sentido, la bibliografía indica que los mecanismos propuestos mediante los cuales algunos contaminantes, entre ellos las partículas respirables, provocan efectos cardiovasculares, como la insuficiencia, son los siguientes (Riojas et al., 2006):

- Alteraciones en los canales de calcio de los miocardiocitos.
- Isquemia miocárdica, ya que el incremento en los aerosoles ácidos irrita las vías respiratorias y provoca broncoespasmo agudo, edema pulmonar, hipoxemia e incremento en la demanda de oxígeno.
- Inflamación y disfunción endotelial.
- Alteraciones en el sistema nervioso autónomo.

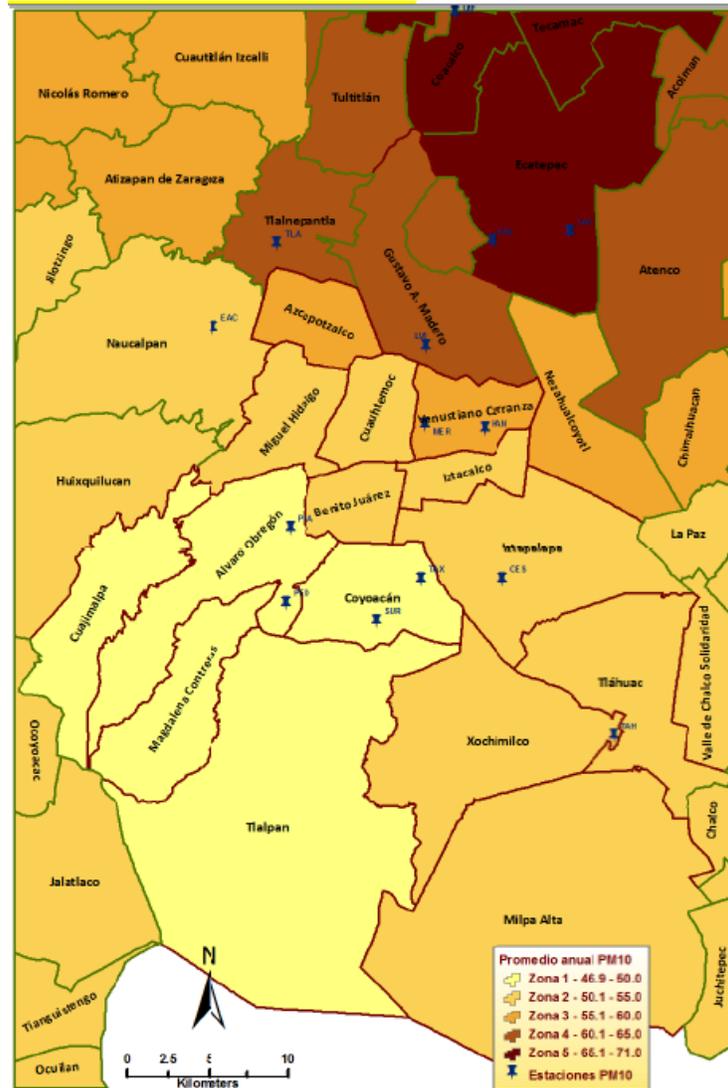
En uno de los estudios más recientes, realizado por el Instituto Nacional de Salud Pública (Riojas et al., 2009), se hizo una estimación de la población expuesta a PM₁₀ en los alrededores de las estaciones de monitoreo del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT). Para ello, la distribución espacial de los contaminantes se obtuvo mediante mapas de contorno, creados a partir del cálculo del promedio del periodo de referencia, de 2005². En este ejercicio, el indicador representa una estimación de la exposición promedio de la población de cada AGE³, esto es, de la concentración media ponderada por población, tomando en cuenta las edades de la población y relaciones concentración-respuesta (FCR).

² El indicador utilizado es el *promedio ponderado por población*, con base en las metodologías utilizadas por el INE en México y por los departamentos de Salud y de Medio Ambiente y Vivienda de Cataluña, España.

³ Área Geoestadística Básica, definida por el INEGI. La población considerada para estas estimaciones está basada en los datos del Censo de Población y Vivienda del año 2000.

En el Mapa 1.2.1 se muestra la distribución de las concentraciones de PM₁₀ para las cinco zonas establecidas en el estudio, destacándose la zona noreste por una concentración elevada, misma que va disminuyendo en dirección suroeste.

Mapa 1.2.1. Distribución de la concentración de PM₁₀ en las cinco zonas identificadas, con base en valores promedio anuales para 2005



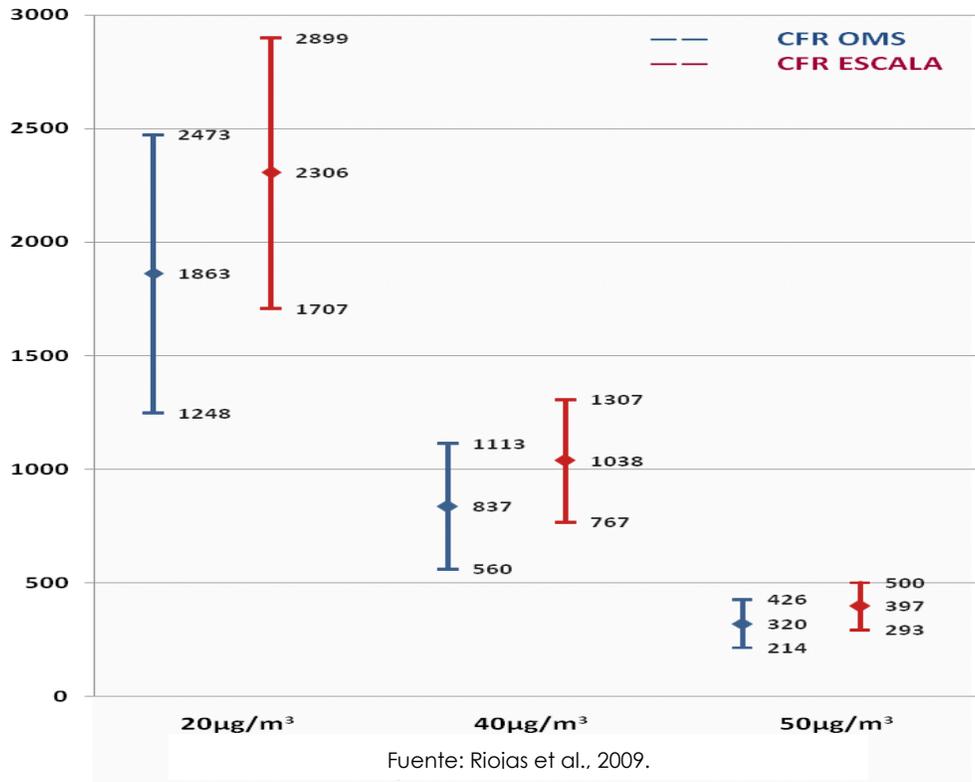
Fuente: Riojas et al., 2009.

Cabe hacer notar que el uso progresivo de sistemas de información geográfica para estimar los efectos espaciales y demográficos de la concentración de contaminantes, será una herramienta cada vez más útil para precisar los efectos de la contaminación atmosférica sobre grupos específicos de población y para avanzar en el diseño de políticas públicas que permitan mejorar la calidad del aire de manera más eficiente y eficaz.

Tomando uno de los indicadores convencionales de estimación de los beneficios obtenidos de la reducción de contaminantes, que es el número de muertes evitables

para diferentes niveles de reducción, se cuenta con resultados contundentes. La Gráfica 1.2.1 muestra el número de muertes evitables por año considerando la mortalidad total de corto plazo, bajo diferentes escenarios de reducción en las concentraciones de PM₁₀ en la ZMVM y usando funciones de concentración-respuesta estimadas de dos fuentes, las de la OMS y las del proyecto ESCALA⁴.

Gráfica 1.2.1. Muertes evitables por año (mortalidad total-corto plazo) bajo diferentes escenarios de concentración de PM₁₀



Como se puede observar, la gráfica anterior indica que si el promedio anual de PM₁₀ cumpliera cabalmente la norma actual mexicana de 50 µg/m³, se evitarían 400 muertes de corto plazo en la ZMVM. Si se cumpliera con la norma europea de 40 µg/m³ se evitarían cerca de 1,000 muertes en la ZMVM. Y, si la reducción de los contaminantes llegase hasta los niveles establecidos por la OMS y la EPA, esto es, a los 20 µg/m³, se podrían evitar 2,300 muertes (Tabla 1.2.1).

⁴ Estudio de Salud y Contaminación del Aire en Latinoamérica (ESCALA). Proyecto multicéntrico que incluye a la ZMVM y cuyo objetivo es examinar la asociación entre la exposición a la contaminación del aire exterior y algunas causas de mortalidad en las siguientes ciudades de América Latina: Zona Metropolitana del Valle de México, Monterrey y Toluca para el caso de México, Sao Paulo, Río de Janeiro y Porto Alegre en el caso de Brasil, y Santiago, Temuco y Concepción en el caso de Chile para el periodo 1997-2005.

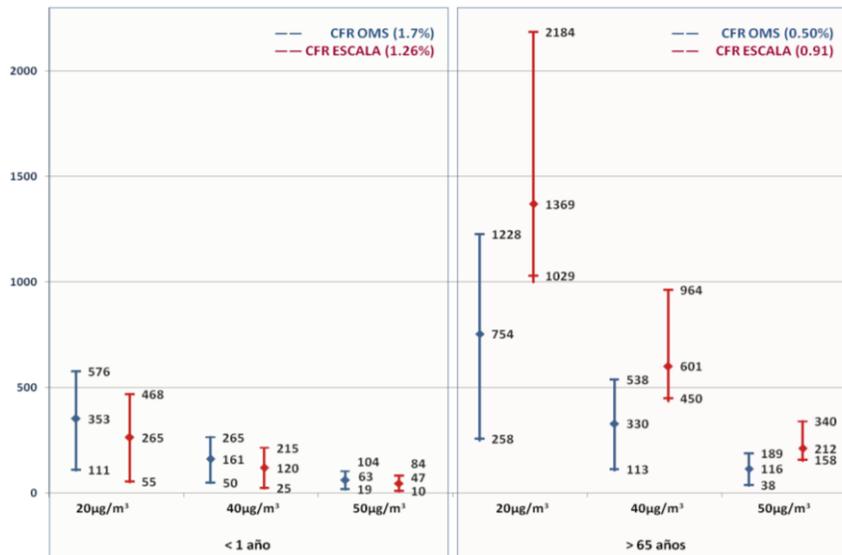
Tabla 1.2.1. Muertes totales evitables por año, en el corto plazo, para todas las edades en la zona de estudio

Total zona de estudio	CFR WHO (0.6 %)			CFR ESCALA (0.745 %)			
	Escenarios	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tasa mortalidad: 4.75 por mil Concentración: 56.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Población: 18'419,138	Promedio	1,863	837	320	2,306	1,038	397
	IC bajo	1,248	560	214	1,707	767	293
	IC alto	2,473	1,113	426	2,899	1,307	500

Fuente: Riojas et al., 2009.

Al realizar la estimación por grupos de edad se observa que el mayor número de muertes evitables se encuentra en el grupo de más de 65 años en el cual se podrían evitar cerca de 600 muertes en la ZMVM bajo un escenario de reducción del promedio anual de PM_{10} a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ utilizando los estimadores de ESCALA. En el caso de los menores de 1 año de edad, se estima que las muertes evitadas son de aproximadamente 150 por año, como se puede observar en la Gráfica 1.2.2.

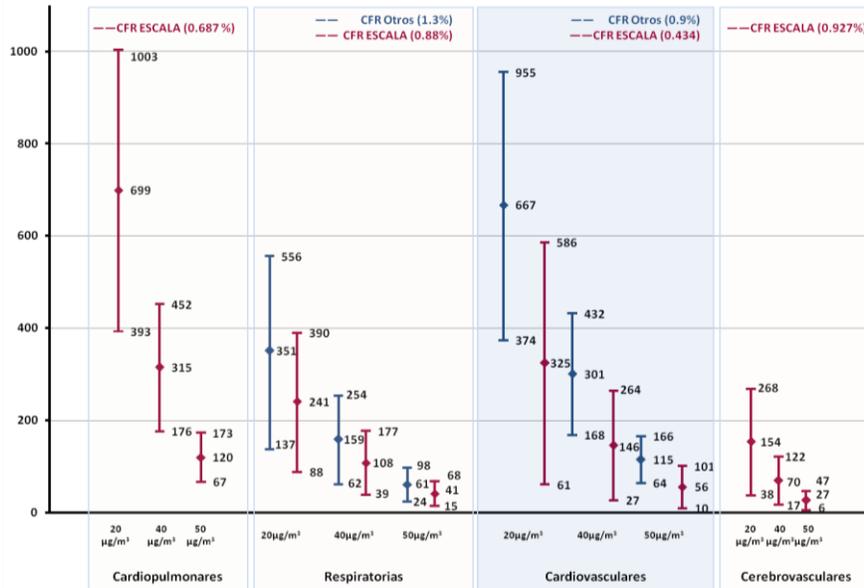
Gráfica 1.2.2. Muertes evitables por año en la ZMVM, mortalidad por grupos específicos de edad en el corto plazo, bajo diferentes escenarios de concentración de PM_{10}



Fuente: Riojas et al., 2009.

Si se considera la clasificación que agrupa a los efectos por mecanismos específicos, se observa en la Gráfica 1.2.3 que los mayores beneficios en términos de muertes evitables corresponden al grupo de padecimientos cardiopulmonares.

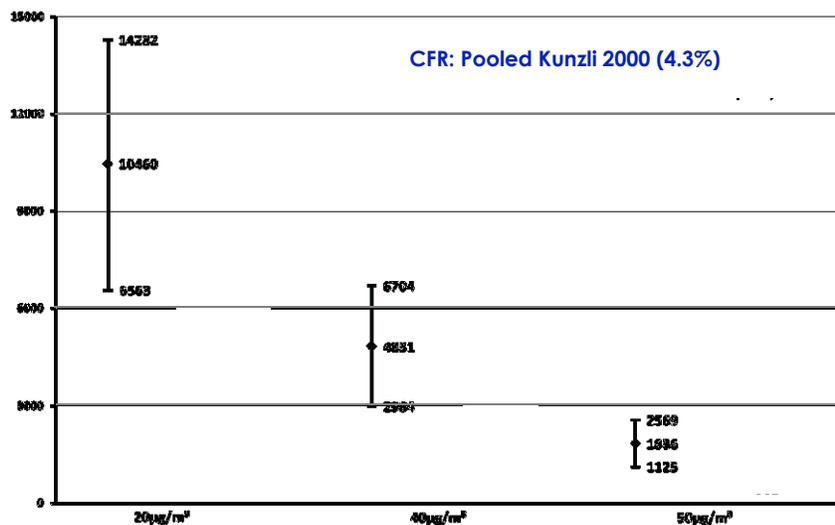
Gráfica 1.2.3. Muertes evitables por año en la ZMVM, mortalidad por causas específicas en el corto plazo, bajo diferentes escenarios de concentración de PM₁₀



Fuente: Riojas et al., 2009.

En cuanto a la estimación de las muertes evitables en el largo plazo para mayores de 30 años de edad, la Gráfica 1.2.4 indica que aproximadamente el 40% de los 4,831 (para el grupo que aparece en el rango de los 40 µg/m³) se materializa en el primer año, el resto incluye las muertes por patologías crónicas que se evitarán después del primer año.

Gráfica 1.2.4. Muertes evitables por año en la ZMVM, mortalidad mayores de 30 años en el largo plazo, bajo diferentes escenarios de concentración de PM₁₀ en la ZMVM



Fuente: Riojas et al., 2009.

Dado que es improbable que la contaminación atmosférica disminuya de forma inmediata, se espera que las variaciones de mortalidad, morbilidad y hospitalizaciones también se produzcan de manera gradual (Kunzli y Perez, 2007). Observar y monitorear estos beneficios graduales es mucho más difícil que evaluar los cambios debidos a una reducción inmediata y drástica de la contaminación atmosférica. Además, pueden aparecer nuevos factores de riesgo o variaciones en los perfiles de riesgos existentes que, más adelante, interfieran en los beneficios esperados de largo plazo. Todo ello hace que las incertidumbres relativas a los impactos y beneficios a largo plazo sean mayores que las que afectan a aquéllos de corto plazo (Kunzli y Perez, 2007). Estas consideraciones permiten estimar que alrededor de un 40% del total de muertes atribuibles ocurren en el primer año (Kunzli y Perez, 2007). Bajo este modelo, de las 10,460 muertes evitables a largo plazo en la población de más de 30 años en la ZMVM (Tabla 1.2.2), 4,200 muertes se evitarían en el primer año y el resto se evitarían durante los siguientes 4 años.

Tabla 1.2.2. Muertes evitables a largo plazo en personas mayores de 30 años como resultado de la reducción de PM₁₀ (Por zonas de la ZMVM presentadas en el Mapa 1.2.1)

ZONA	CFR Pooled Kunzli 2000 (4.3%)			
	Escenarios	20 µg/m ³	40 µg/m ³	50 µg/m ³
Total zona de estudio				
Tasa mortalidad: 9.27 por mil	Promedio	10,460	4,831	1,836
Concentración: 55.93 µg/m ³	IC bajo	6,563	2,984	1,125
Población: 8'105,538	IC alto	14,282	6,704	2,569
Zona 1				
Tasa mortalidad: 9.30 por mil	Promedio	1,451	670	255
Concentración: 48.30 µg/m ³	IC bajo	910	414	156
Población: 1'121,079	IC alto	1,981	930	356
Zona 2				
Tasa mortalidad: 9.61 por mil	Promedio	4,022	1,858	706
Concentración: 52.96 µg/m ³	IC bajo	2,523	1,147	433
Población: 3'008,479	IC alto	5,491	2,578	988
Zona 3				
Tasa mortalidad: 9.18 por mil	Promedio	2,350	1,086	413
Concentración: 56.82 µg/m ³	IC bajo	1,475	671	253
Población: 1'839,053	IC alto	3,209	1,507	577
Zona 4				
Tasa mortalidad: 9.95 por mil	Promedio	1,640	757	288
Concentración: 61.02 µg/m ³	IC bajo	1,029	468	176
Población: 1'185,301	IC alto	2,239	1,051	403
Zona 5				
Tasa mortalidad: 7.54 por mil	Promedio	1,000	462	175
Concentración: 66.28 µg/m ³	IC bajo	627	285	108
Población: 951,626	IC alto	1,365	641	246

Fuente: Riojas et al., 2009.

Utilizando las FCR de ESCALA relativas a mortalidad total, los datos de poblaciones de 2005 y los datos de concentraciones de PM₁₀ ponderados por población de acuerdo con los registros reportados por la red de monitoreo atmosférico se estimó que se evitaron 1,928 muertes en la ZMVM en el periodo 1997 a 2005 (Tabla 1.2.3).

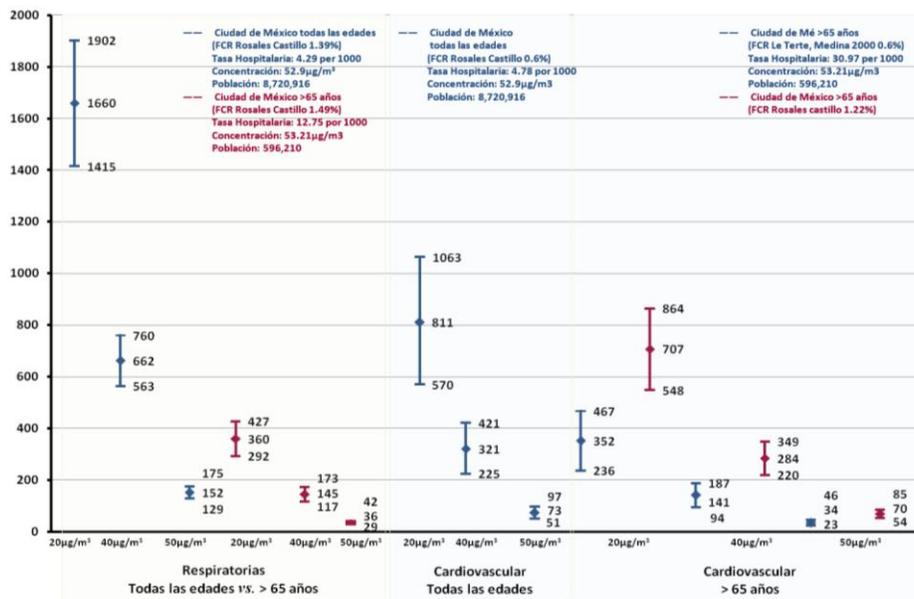
Tabla 1.2.3. Estimación del número de muertes evitadas por reducción de PM₁₀, 1997-2005

Periodo	Muertes evitadas
1998-1999	1410 (IC 95%: 1043-1776)
1999-2000	65 (IC 95%: 48-82)
2000-2001	65 (IC 95%: 48-82)
2001-2002	65 (IC 95%: 48-82)
2003-2004	323 (IC 95%: 238-407)
1997-2005	1928 (suma de muertes evitadas en el periodo)

Nota: En los años no incluidos en la tabla, no hubo muertes evitadas, puesto que las concentraciones no disminuyeron o aumentaron.

Las hospitalizaciones causadas por exposición a PM₁₀ también disminuirían para grupos susceptibles de la población, como el de los ancianos (Riojas et al., 2009).

Gráfica 1.2.5. Hospitalizaciones evitables por causas respiratorias para PM₁₀ en la ZMVM



Fuente: Riojas et al., 2009.

Con relación a la contaminación por metales pesados unidos a las partículas se ha observado una serie de efectos, tales como: taquicardia, incremento de la presión sanguínea y anemia debido al efecto inhibitorio de la hematopoyesis, además de un incremento en los niveles de triglicéridos, neurotoxicidad, daños al riñón tales como una disfunción inicial tubular evidenciada por un incremento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, el cual progresa en un decremento del ritmo de filtración glomerular (Krewski y Rainham, 2007).

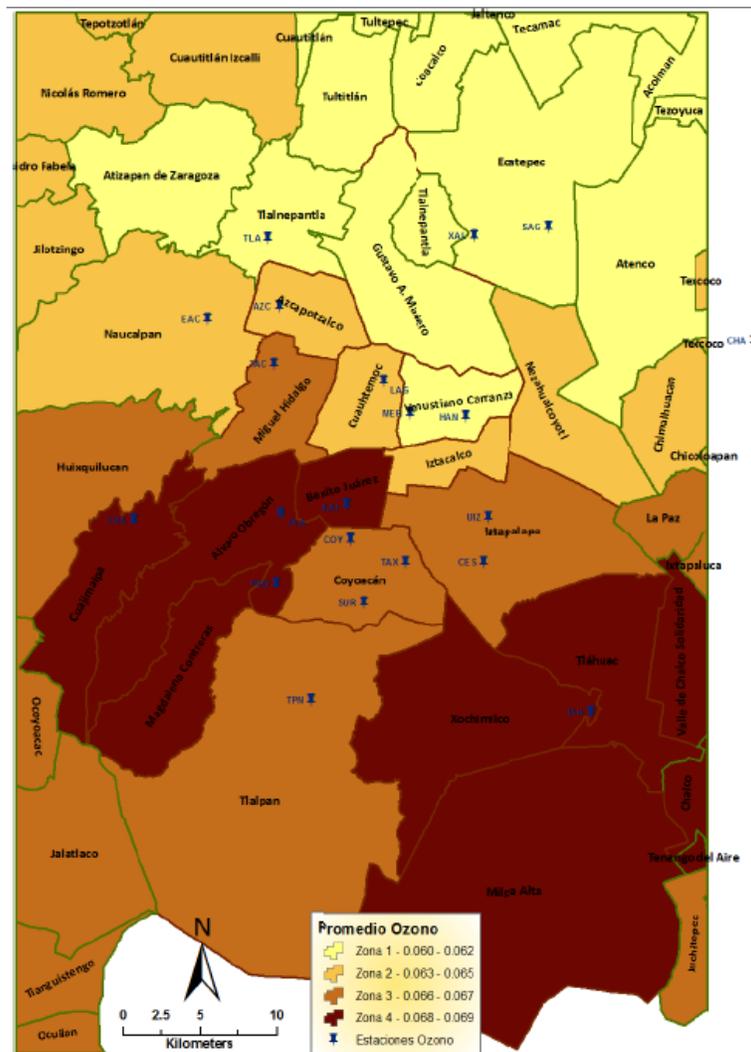
Por otro lado, los compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que componen las partículas pueden provocar efectos genotóxicos, aunque no está claro todavía en qué grado (Kampa y Castanas, 2008).

1.3 Efectos del ozono sobre la salud

El ozono afecta particularmente a los pulmones, penetrando al epitelio alveolar e iniciando un proceso de inflamación pulmonar (Kampa y Castanas, 2008). Una exposición crónica al ozono reduce la función pulmonar y provoca síntomas respiratorios como tos, flemas y sibilancias, los cuales pueden agravar el asma, el enfisema e incluso el cáncer de pulmón.

Los estudios epidemiológicos realizados en la ZMVM (Mapa 1.3.1) han encontrado evidencia que asocia al O_3 con un incremento en las tasas de mortalidad (CAM, 2002), en las visitas a salas de emergencia por asma (CAM, 2002) y por infecciones respiratorias (Evans et al., 2002) así como en los síntomas de padecimientos de las vías respiratorias altas (Borja et al., 2000). Además, el ozono también es responsable de ciertas complicaciones respiratorias en niños asmáticos y de la aparición de patrones de variabilidad en la frecuencia cardiaca en adultos mayores.

Mapa 1.3.1. Distribución espacial de la concentración de ozono en la ZMVM, 2005



Nota: Media aritmética de los máximos promedios móviles de 8 horas de cada día del año 2005.

Fuente: Riojas et al., 2009.

El total de muertes evitables por año relativas a la disminución de la concentración promedio de ozono para la ZMVM varía de acuerdo al estimador utilizado. En el caso del estimador de ESCALA una reducción en la concentración de ozono a 50 ppb evitaría cerca de 400 muertes en la ZMVM (Tabla 1.3.1).

Tabla 1.3.1. Muertes evitables por año bajo diferentes escenarios de reducción en las concentraciones de O₃ para toda la zona de estudio

Zona	CFR Ito y De León (0.53%)				CFR ESCALA (0.326)		
	Escenarios	50 ppb	60 ppb	Disminución 5%	50 ppb	60 ppb	Disminución 5%
ZMVM							
Tasa mortalidad: 4.75 por mil Concentración: 63.76 ppb Población: 18'419,138	Promedio	631	173	147	389	107	90
	IC bajo	441	121	102	219	60	51
	IC alto	796	218	185	559	153	130
Zona 1							
Tasa mortalidad: 4.50 por mil Concentración: 60.93 ppb Población: 6'404,612	Promedio	165	14	46	102	9	28
	IC bajo	116	10	32	57	5	16
	IC alto	209	18	58	146	12	41
Zona 2							
Tasa mortalidad: 5.03 por mil Concentración: 63.79577 ppb Población: 6'426,114	Promedio	233	64	54	144	40	33
	IC bajo	163	45	38	81	22	19
	IC alto	295	81	68	207	57	48
Zona 3							
Tasa mortalidad: 4.80 por mil Concentración: 66.21163 ppb Población: 4'271,592	Promedio	123	47	25	76	29	16
	IC bajo	86	33	18	43	16	9
	IC alto	155	60	32	109	42	22
Zona 4							
Tasa mortalidad: 4.33 por mil Concentración: 67.840 ppb Población: 2'572,692	Promedio	104	46	20	64	28	12
	IC bajo	73	32	14	36	16	7
	IC alto	131	58	25	92	41	18

Fuente: Riojas et al., 2009.

Al igual que para PM₁₀ el mayor número de muertes evitables se encuentra en el grupo de mayores de 65 años, para el cual conforme al estimador de ESCALA se evitarían en la ZMVM cerca de 300 muertes al año bajo el escenario de reducción a 50 ppb,

evitando asimismo alrededor de 140 muertes por causas cardiopulmonares, 90 por cardiovasculares y 30 por cerebro vasculares (Tablas 1.3.2 y 1.3.3).

De acuerdo a la normatividad vigente, en el período 1997- 2005 se evitaron alrededor de 800 muertes, esto resulta importante dada la tendencia histórica en la concentración de ozono y sus precursores, lo que implica que intervenciones más eficientes en la reducción y control de emisiones de este contaminante implicarían reducciones aún más importantes en la mortalidad derivada de la exposición.

Tabla 1.3.2. Muertes evitables por año bajo diferentes escenarios de reducción en las concentraciones de O₃ por tipo de causa

PARA TODA LA ZONA DE ESTUDIO						
	CFR OMS			CFR ESCALA		
	50 ppb	60 ppb	Disminución 5%	50 ppb	60 ppb	Disminución 5%
Total	613 (441-796)	173 (121-218)	147 (102-185)	389 (219-559)	107 (60-153)	90 (51-130)
> 65 años	541 (201-887)	150 (56-246)	126 (47-207)	294 (195-393)	81 (54-108)	68 (45-91)
Por causas cardiopulmonares > 65 años	SD	SD	SD	141 (70-212)	39 (19-58)	33 (16-49)
Por causas respiratorias	SD	SD	SD	126 (6-246)	35 (2-68)	29 (1-57)
Por causas cardiovasculares en > 65 años	SD	SD	SD	89 (28-150)	25 (8-41)	21 (6-35)
Por causas cerebro vasculares > 65 años	SD	SD	SD	30 (1-58)	8 (0-16)	7 (0-13)

Cardiopulmonar: respiratoria + cardiovascular + 160-170, 174-182

Cerebro vascular: 160-169

Respiratoria: J00-J32, J37, J40-J46, J68, J80, J84-J90

Cardiovascular: I10-I33, I40-I50

SD: Sin datos.

Tabla 1.3.3. Estimación del número de muertes evitadas por O₃ 1997-2005

Periodo	Muertes evitadas
1997-1998	57 (IC 95%: 32-81)
1998-1999	142 (IC 95%: 80-203)
2000-2001	255 (IC 95%: 143-366)
2001-2002	57 (IC 95%: 32-81)
2002-2003	28 (IC 95%: 16-41)
2003-2004	255 (IC 95%:143-366)
1997-2005	794

Nota: En los años no incluidos en la tabla, no hubo muertes evitadas, puesto que las concentraciones no disminuyeron o aumentaron.

Si se redujera la concentración de los promedios máximos móviles al año de O₃ a 50 ppb, se podrían evitar cerca de 2,000 hospitalizaciones al año por causas respiratorias y 430 por causas cardiovasculares en la población de la ZMVM (Tabla 1.3.4).

Tabla 1.3.4. Hospitalizaciones evitables por tipo de causa ante diversos escenarios de reducción de las concentraciones de O₃

Hospitalizaciones evitables por causas respiratorias por año				
Zona	Escenarios	50 ppb	60 ppb	Dism.5%
Todas edades				
CFR Rosales-Castillo (3.76%) Tasa hospit: 4.29 por mil Concentración: 64.93 µg/m ³ Población: 8'720,916	Promedio	2,000	672	440
	IC bajo	249	82	54
	IC alto	3,608	1,232	809
Mayores de 65 años				
CFR Rosales-Castillo (2.83%) Tasa mortalidad: 12.75 por mil Concentración: 64.7 µg/m ³ Población: 596,210	Promedio	302	98	67
	IC bajo	185	60	41
	IC alto	416	135	93
Hospitalizaciones evitables por causas cardiovasculares por año				
Todas edades				
CFR Rosales-Castillo (0.7%) Tasa mortalidad: 4.78 por mil Concentración: 52.96 µg/m ³ Población: 8'720,916	Promedio	430	142	93
	IC bajo	185	61	40
	IC alto	612	203	133

Fuente: Riojas et al., 2009.

Es importante mencionar que los beneficios presentados en estas tablas y gráficas se estimaron con base en dos efectos reversibles de la contaminación sobre la salud, a saber, las muertes evitables y las hospitalizaciones. No se han incorporado episodios tales como el incremento de enfermedades respiratorias agudas de las vías superiores, los cuales son en su mayoría casos ambulatorios que no llegan a convertirse en hospitalizaciones. Sin embargo y como se mencionó en la primera parte de este capítulo, estos costos incluyen costos de oportunidad, costos privados para familias y empresas, así como costos asociados tanto a la pérdida de productividad laboral y escolar como costos relativos a la pérdida de competitividad de todo tipo de organizaciones económicas y sociales.

1.4 Efectos del monóxido de carbono sobre la salud

Los efectos agudos del CO reducen la disponibilidad de oxígeno y pueden afectar el funcionamiento de diferentes órganos, especialmente al cerebro y al corazón por ser más sensibles al oxígeno, lo cual provoca dificultades para concentrarse, bajos reflejos y confusión (Kampa y Castanas, 2008). El CO puede afectar las funciones mentales y el estado de alerta aun en exposición a bajas concentraciones. Los síntomas clásicos de la intoxicación por CO son: dolores de cabeza y mareos, cuando los niveles de carboxi hemoglobina (COHb) se sitúan entre 10 y 30%; dolor de cabeza severo, cuando dichos niveles suben de 30%, y riesgo considerable de coma y muerte, cuando las concentraciones de COHb se ubican por arriba del 40% (Romieu y Korc, 2002).

En cuanto a la relación entre CO y PM_{2.5} con la variabilidad de la frecuencia cardiaca, se ha encontrado que en pacientes con padecimientos isquémicos del corazón la exposición a estos contaminantes está significativamente asociada a alteraciones de la regulación autónoma cardiaca (Riojas et al., 2006).

1.5 Efectos del dióxido de nitrógeno sobre la salud

El NO₂ es un gas poco soluble, irritante y oxidante que puede alcanzar los bronquiolos y los alvéolos (Quénel et al., 2003). Después de exposiciones a NO₂ se presentan síntomas como irritación de nariz y garganta, seguidos de bronco-constricción y disnea, especialmente en individuos asmáticos y se incrementa la susceptibilidad a infecciones respiratorias (Kampa y Castanas, 2008). La exposición crónica a este contaminante puede disminuir las defensas contra infecciones respiratorias.

1.6 Efectos del dióxido de azufre sobre la salud

La respuesta del organismo a concentraciones elevadas de SO₂ se manifiesta por síntomas como tos, irritación de nariz y garganta, seguidos de bronco-constricción y disnea, especialmente en individuos asmáticos; estos síntomas se ven agravados si la exposición se da en combinación con ejercicio físico (Quénel et al., 2003; Kampa y Castanas, 2008).

1.7 Efectos de los compuestos orgánicos volátiles sobre la salud

En años recientes se han incrementado los estudios sobre las mezclas complejas de contaminantes atmosféricos, como por ejemplo los compuestos orgánicos volátiles, que además de su función como precursores de la formación de ozono y otros oxidantes son motivo de especial preocupación debido a la alta toxicidad de algunos de ellos en los seres humanos. Entre ellos, hay un grupo que en particular es de gran importancia por sus efectos tanto cancerígenos como no cancerígenos, formado por el benceno, el tolueno, el etil-benceno y el xileno (BTEX). Los estudios toxicocinéticos de estos compuestos indican que hay una buena absorción por la vía inhalatoria y pueden ocasionar daño neurológico a través de cambios físicos y químicos en las membranas del sistema nervioso (Wallace, 1990). La exposición al benceno está asociada adicionalmente con efectos hematotóxicos no cancerígenos incluyendo anemia aplásica, así como efectos cancerígenos, leucemia mieloblástica aguda ocasionada vía la acción de metabolitos reactivos, así como los efectos neurológicos agudos críticos compartidos por los cuatro compuestos BTEX y el efecto crónico único del benceno (hematotóxico/inmunotóxico/carcinogénico). Por lo cual es importante desarrollar un programa continuo y de amplia cobertura de monitoreo atmosférico de compuestos orgánicos volátiles (COV), así como una normatividad para estos compuestos tóxicos que permita evaluar el riesgo sanitario al que se encuentran expuestos los habitantes de la ZMVM.

1.8 Efectos de los hidrocarburos aromáticos policíclicos sobre la salud

Otro grupo importante de compuestos asociados a la materia orgánica presente en las partículas del aire ambiente, son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Son compuestos semivolátiles que se forman por la fusión de dos o más anillos bencénicos, son insolubles en agua, se adsorben en las partículas atmosféricas y son posiblemente los principales responsables de la producción de cáncer (Freudenthal y Jones, 1976) y de mutaciones (De Marini et al., 1994; De Marini et al., 1996). Por ello, los HAP han sido considerados como marcadores de la calidad del aire en términos del riesgo que implica su presencia, debido a su mutagenicidad y carcinogenicidad (De Raat et al., 1987, De Raat et al., 1988; Muñoz et al., 2001), aunque la identificación de los compuestos responsables de efectos en la salud es una línea de investigación que se encuentra en pleno desarrollo.

La razón por la que se ha enfocado la atención en estos compuestos, es debido a que varios de ellos se consideran cancerígenos, principalmente los de cinco anillos (Dichut et al., 2000). Los HAP se producen por un proceso pirolítico durante la combustión incompleta de combustibles fósiles (Sanderson y Farant, 2000). Debido a que se reconoce su potencial riesgo a la salud, se han realizado diversos estudios sobre la presencia de estos compuestos en atmósferas urbanas (Caricchia et al., 1999; Harrison et al., 1996; Rocha et al., 1999; Castellano et al., 2003).

1.9 Efectos de la temperatura en las concentraciones de ozono y las consecuencias en la salud humana

En el contexto de la preocupación sobre cambio climático en México se han empezado a realizar estudios sobre los cambios de temperatura en las grandes ciudades y las repercusiones asociadas a ciertos padecimientos, principalmente en grupos vulnerables.

En uno de los estudios más recientes realizados para la ZMVM, relativo al efecto de la temperatura y su interacción con el ozono sobre las admisiones hospitalarias en grupos poblacionales vulnerables⁵, los autores evaluaron los efectos de los cambios en el clima, en los niveles de contaminación por ozono y sus consecuencias en la salud de la población de la ZMVM con datos de las admisiones hospitalarias de 1998 al 2007. Se analizaron series de tiempo de datos de salud, contaminación y clima de la ZMVM para el periodo que va de enero de 2000 a diciembre de 2002.

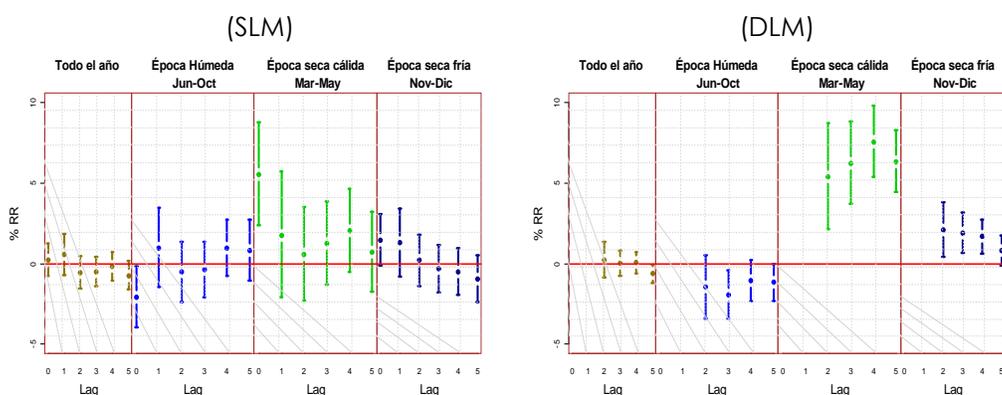
Los datos provienen del sistema automatizado de ingresos hospitalarios (SAIH) que es una base de datos de todos los hospitales de la Secretaría de Salud tanto a nivel federal como a nivel estatal, en la cual se registran los motivos de atención de pacientes hospitalizados, clasificadas de acuerdo al Código Internacional de Enfermedades (CIE). Se estima que en el sistema se registran más del 90% de las hospitalizaciones de la Secretaría de Salud (SSA).

Para fines del estudio se analizó el comportamiento de los datos ambientales y de salud en tres estaciones del año: seca caliente que comprende los meses de marzo a mayo, húmeda que comprende los meses de junio a octubre y seca fría, de noviembre a febrero. La gráfica siguiente muestra el porcentaje de cambio de riesgo de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en el grupo de menores de 5 años, por el aumento de 1° C de la temperatura máxima diaria con dos modelos: el de riesgo simple (SLM) y el de riesgo acumulado (DLM).

Si bien se observa que con el uso de los dos modelos de riesgo, el simple (SLM) y el de riesgo acumulado (DLM), los riesgos de admisiones hospitalarias son mayores en la temporada seca-cálida, los autores comentan que los resultados del trabajo no son concluyentes en lo que se refiere a los impactos de la temperatura en los grupos y períodos de estudio, lo cual deja abierta la puerta para continuar con este tipo de investigaciones.

⁵ H. Riojas Rodríguez, M. Hurtado Díaz, A. Brito Hernández y J.L. Texcalac Sangrador. Efecto de la temperatura y su interacción con el ozono sobre las admisiones hospitalarias en la Ciudad de México de 1998 al 2007: grupos poblacionales vulnerables. Centro Virtual de Cambio Climático de la Ciudad de México (CVCCCM), Universidad Nacional Autónoma de México y Gobierno del Distrito Federal, 2009.

Gráfica 1.9.1. Porcentaje de cambio de riesgo de admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias en el grupo de menores de 5 años, por el aumento de 1° C de la temperatura máxima diaria



Fuente: Riojas et al., 2009.

1.10 Comentarios finales

Una parte de la evidencia científica presentada en este capítulo, es un resumen de los resultados más representativos de los estudios recientes para la ZMVM sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de la población. En ese contexto es necesario destinar más recursos para avanzar en la comprensión de los efectos de contaminantes que no han sido suficientemente estudiados sobre la salud de la población en general y sobre grupos específicos de riesgo en lo particular.

Como complemento de lo anterior seguirá siendo importante tomar en cuenta los estudios realizados en otras ciudades del mundo, si bien hechos en condiciones distintas, pero que llaman la atención sobre diversos efectos atendibles de la contaminación en la salud de la población. Por ejemplo, el estudio denominado Harvard Study (Pope, et al., 2009) ha encontrado que como resultado de la disminución gradual de los niveles de contaminación del aire en 51 ciudades de los Estados Unidos durante los años 80 y 90, se ha alcanzado un aumento en la esperanza de vida de su población de aproximadamente 5 meses; o el estudio de la APHEIS⁶ que se refiere a partículas menores de 2.5 micrómetros y que documentó que la reducción de la exposición crónica a niveles de 15 microgramos por metro cúbico incrementaría la esperanza de vida de la población entre un mes y más de dos años.

Finalmente, sobra decir que el consenso entre especialistas nacionales e internacionales es unánime en el sentido de ubicar y mantener el problema de la contaminación atmosférica como un asunto prioritario de salud pública, lo cual en el caso de México debe pasar por la revisión de las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes. La última tabla de este capítulo (Tabla 1.10.1) muestra las diferencias entre las normas mexicanas y las utilizadas en la Unión Europea y en los Estados Unidos, así como las sugeridas por organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud. La reducción de esas diferencias es un pendiente que se retoma como parte de la primera estrategia de este programa para mejorar la calidad del aire en la ZMVM 2011-2020.

⁶ APHEIS-3 (Air Pollution and Health: A European Information System), Monitoring the Health Effects of Air Pollution in Europe, www.apheis.org/index.html.

Tabla 1.10.1. Normas, directivas y criterios de calidad del aire de México, de la Unión Europea y de los Estados Unidos de América, así como los valores guía sugeridos por la Organización Mundial de la Salud

Contaminante	Período promedio de exposición	Unidades	Valores límite						
			México			Unión Europea	US-EPA	EPA California	OMS
			NOM vigente	Exposición aguda (frecuencia máxima aceptable)	Exposición crónica (concentración y tiempo promedio)				
PST	24 hr	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Modificación a la NOM-025-SSA-1993	210 (A)	-	-	-	-	-
PM ₁₀	Anual	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Modificación a la NOM-025-SSA-1993		50 (promedio aritmético/año)	40	-	20	20
	24 hr	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		120 (A)		50	150	50	50
PM _{2.5}	Anual	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Modificación a la NOM-025-SSA-1993		15 (promedio aritmético/año)	25	15	12	10
	24 hr	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		65 (A)		40	35	35	25
O ₃	MDPM 8 hr	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ppm	Modificación a la NOM-020-SSA1-1993	157 (QMA)	-	120	147	137	100
	1 hr	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ppm		0.08 216 (NVA) 0.11		0.06 - -	0.075 - -	0.07 180 0.09	0.05 - -
CO	MDPM 8 hr	(mg/m^3) ppm	NOM-021-SSA1-1993	12.6 (A)	-	10	10	10	-
	1 hr	(mg/m^3) ppm		11 - -		9 40 35	9 40 35	9 23 20	10 30 -
SO ₂	8 hr	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ppm	NOM-022-SSA1-2010	524 (2A)	66 0.025 (promedio aritmético/año)	-	80	-	-
	24 hr	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ppm		0.2 288 (A) 0.110		- 125 0.047	0.03 365 0.14	- 105 0.04	- 20 0.007
NO ₂	Anual	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ppm	NOM-023-SSA1-1993	-	-	40	100	57	40
	1 hr	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ppm		- 395 (A) 0.21		- 200 -	0.053 - -	0.030 339 0.18	- 200 -
Pb	-	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NOM-026-SSA1-1993	-	1.5 (promedio aritmético/trimestre)	0.5	1.5	1.5	0.5

MDPM: máximo diario de promedios móviles; QMA: quinto máximo en un año; NVA: ninguna vez al año; A: una vez al año; 2A: dos veces al año.

