

CAPÍTULO 4. EVOLUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA ZMVM

Para conocer la evolución de los contaminantes atmosféricos en la ZMVM de 1990 a 2001 y evaluar el desempeño ambiental del PICCA y el PROAIRE 1995–2000, se analizó el comportamiento de las concentraciones máximas diarias que se registran cotidianamente, por lo cual se empleó como indicador el Percentil 90. En el Anexo 4 de este documento se listan cronológicamente las principales acciones llevadas a cabo por estos programas.

OZONO, BIÓXIDO DE NITRÓGENO Y ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Los NO_x comprenden una gama de compuestos químicos que involucran al oxígeno (O₂) y al nitrógeno (N₂), como son: el óxido nítrico (NO), y el NO₂, entre otros. Este último se forma por efecto de las reacciones de oxidación del NO y se caracteriza por su color café rojizo, además de formarse en la combustión industrial y de vehículos automotores (Mugica, Figueroa, 1996). El NO₂ se disocia por la acción de la luz solar en oxígeno (muy reactivo para la formación de O₃) y NO, que al combinarse con agua produce ácido nítrico (HNO₃), óxido nítrico o bien HNO₃ y ácido nitroso (HNO₂), según la cantidad de NO que reaccione con el agua. A su vez, el HNO₃, en solución acuosa se separa en ion nitrato (NO₃⁻) y ion hidronio (H⁺), que es uno de los precursores de la acidez en el agua de lluvia (UNAM-C.C.H. Deterioro Ambiental, disponible en Internet).

Por su parte, el ozono en la troposfera es un contaminante que caracteriza a las grandes ciudades, debido a la reacción fotoquímica de NO_x y HC en presencia de radiación solar.

En el Capítulo 1 se mencionó que las principales fuentes de emisión de HC en la ZMVM, son las fuentes de área o servicios y las fuentes móviles. Las fuentes de emisión de NO_x, incluyen a las fuentes móviles (automóviles, camiones, autobuses, motores de aviones, locomotoras, etc.), fuentes fijas (industrias y termoeléctricas) y fuentes de área (hogares). Entre las acciones más importantes para su control destacan: la instrumentación y mejora del Programa de Verificación Vehicular y la ampliación del sistema de transporte público.

La evolución del O₃ en la ZMVM entre 1990 y 2001, presentó una *tendencia homogéneamente decreciente*, con un cambio promedio de 27%. Este comportamiento tuvo mayor consistencia en el período de vigencia del PROAIRE 1995–2000, dado que el decremento en la tendencia tuvo un cambio promedio de 20%. Por su parte, durante la vigencia del PICCA no hubo tendencia (Figura 12 y Tabla 18).

En el caso del NO₂, también se presentó una *tendencia homogéneamente decreciente* de 1990 a 2001, con un cambio promedio de 34%. Este comportamiento también tuvo mayor consistencia de 1995 a 2001, al presentar un cambio promedio de 23%, mientras que en el período 1990–1995 no presentó tendencia.

En la Figura 12 es notable observar que los NO_x tuvieron un comportamiento irregular entre 1990 y 2001, el análisis por períodos mostró que entre 1995 y 2001 se presentó *tendencia homogéneamente decreciente* con un cambio promedio de 1% (Tabla 18).

La *tendencia homogéneamente decreciente* de 1995 a 2001 que mostraron el O₃ y el NO₂, indica que las acciones instrumentadas en el PROAIRE 1995–2000, tuvieron una influencia favorable en la disminución de la magnitud de las concentraciones máximas diarias que se registran habitualmente en la ZMVM, al presentar un cambio porcentual en este período cercano al 20%.

Por su parte, el comportamiento irregular de los NO_x sugiere que su control aún no es suficiente; sin embargo, como se señaló en el Capítulo 3, la información histórica disponible de este gas no es del todo confiable debido a que no se validó.

Figura 12. Comportamiento del Percentil 90 anual de O₃, NO₂ y NOx en la ZMVM (1990–2001).

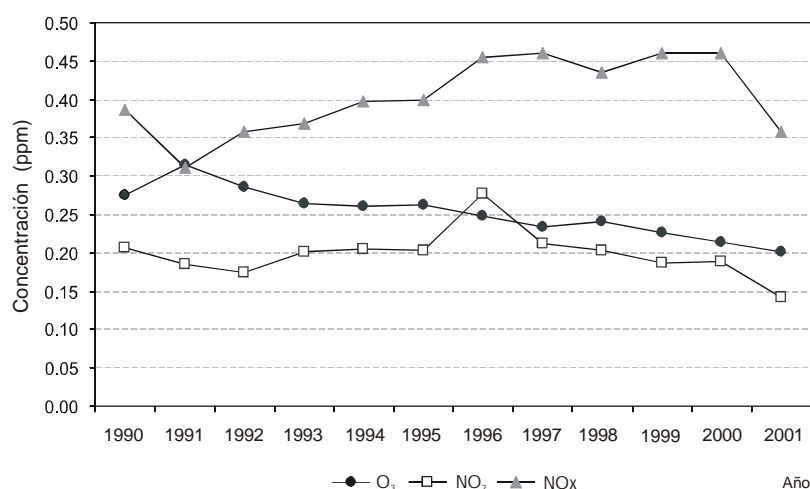


Tabla 18. Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para O₃, NO₂ y NOx.

	O ₃	NO ₂	NOx
Período 1990 a 2001			
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí
Tendencia	Sí	Sí	No
Porcentaje de cambio	-27	-34	
Período 1990 a 1995			
Homogeneidad	Sí	No	Sí
Tendencia	No		No
Porcentaje de cambio			
Período 1995 a 2001			
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí
Tendencia	Sí	Sí	Sí
Porcentaje de cambio	-20	-23	-1

PARTÍCULAS SUSPENDIDAS TOTALES, PARTÍCULAS MENORES A 10 MICRÓMETROS, PLOMO EN PST Y EN PM₁₀

Las PST son fragmentos diminutos de materia sólida o líquida, cuyo tamaño oscila entre 0.3 y 50 micrómetros de diámetro, pueden provenir del polvo, hollín, ceniza, cemento o polen. A su vez, existen partículas más pequeñas denominadas PM₁₀, cuyo tamaño fluctúa entre 2.5 y 10 micrómetros. Entre los elementos que contienen las partículas, destacan por su toxicidad los metales pesados (Revista de Derecho Ecológico, 2002, disponible en Internet), como es el caso del mercurio y plomo (Aldape F. *et al*, 1991; Lehih University, 2002, disponible en Internet).

En la ZMVM la erosión del suelo es la fuente principal de PM₁₀, así como los vehículos que usan diesel (camiones de 3 o más toneladas, tractocamiones y autobuses) y los autos particulares. Durante la aplicación del PICCA y el PROAIRE 1995–2000, se instrumentaron diversas acciones tendientes a evitar la erosión de los suelos, tales como la reforestación, conservación y protección de áreas naturales. En el caso del transporte que emplea diesel, entre 1990 y 2001 se redujo el contenido de azufre de este combustible, además se retiró del mercado el combustóleo industrial. Así mismo, el contenido de Pb en la gasolina se redujo sustancialmente a lo largo de este período, actualmente se distribuye solamente gasolina sin Pb (Anexo 4).

En la Figura 13 se observa que las concentraciones de PST tuvieron una disminución considerable durante la gestión del PICCA y que posteriormente su comportamiento ha sido irregular; sin embargo, es notable que las concentraciones registradas en 2001 son significativamente menores a las que se registraron en 1991. Debido a este comportamiento irregular no se identificó la presencia de tendencia, a pesar de que en todas las estaciones este comportamiento fue homogéneo.

En el caso de las PM₁₀, el comportamiento de las concentraciones máximas registradas anualmente, no presentó una variación considerable entre 1990 y 2001, por lo que no se identificó tendencia. Como se observa en la Tabla 19, el resultado de la prueba de homogeneidad indica que este comportamiento se presentó en todas las estaciones de monitoreo.

En contraste con los resultados antes mencionados, el Pb contenido en PST y en PM₁₀ disminuyó considerablemente de 1990 a 2001, de tal forma que en ambos casos tuvo *tendencia homogéneamente decreciente*. Para PST el cambio promedio en este período fue de 93% y para PM₁₀ de 95%. Cabe resaltar que esta reducción fue mayor de 1990 a 1995 que de 1995 a 2001 (Tabla 19).

Los resultados de PST sugieren que a pesar de haber presentado sus niveles históricos más bajos en 2001, aún no se logra su control, sobretodo por las fluctuaciones que presentó entre 1996 y el 2000, por lo que es necesario reforzar las acciones para su control y disminución. Es importante señalar que durante la instrumentación del PICCA se logró una disminución significativa de sus concentraciones. En el caso de las PM₁₀, los resultados indican que aún persisten concentraciones extremas que evitan definir un comportamiento favorable, por lo que se necesita revisar el enfoque que han tenido las acciones instrumentadas, en cuanto al tipo de fuente de emisión a controlar. En forma contraria, los resultados del análisis de tendencia realizados para el Pb contenido en PST y en PM₁₀, sugieren que las acciones llevadas a cabo para su disminución y control han sido adecuadas.

Figura 13. Comportamiento del Percentil 90 anual de PST, PM₁₀, Pb–PST y Pb–PM₁₀ en la ZMVM (1990–2001).

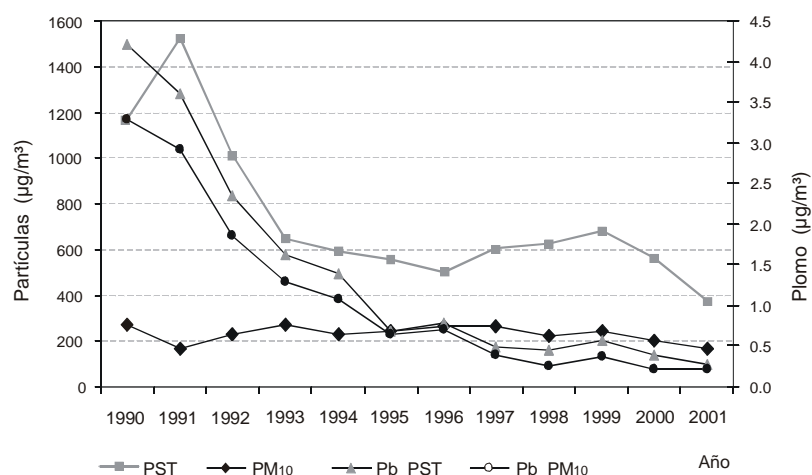


Tabla 19. Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para PST, PM₁₀, Pb–PST y Pb–PM₁₀.

	PM ₁₀	PST	Pb(PST)	Pb (PM ₁₀)
Período 1990 a 2001				
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí	Sí
Tendencia	No	No	Sí	Sí
Porcentaje de cambio			-93	-95
Período 1990 a 1995 ¹				
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí	Sí
Tendencia	No	No	Sí	Sí
Porcentaje de cambio			-82	-83
Período 1995 a 2001				
Homogeneidad	Sí	Sí	Sí	Sí
Tendencia	No	No	Sí	Sí
Porcentaje de cambio			-63	-74

MONÓXIDO DE CARBONO

El CO es un gas inodoro e incoloro, se produce por combustión de carbón u otros combustibles como: gas, gasolina, queroseno, petróleo o madera. En el Capítulo 1 se mencionó que en la ZMVM la principal fuente de emisión de CO son las fuentes móviles, en orden de importancia destacan los autos particulares, vehículos tipo Pick-up, camiones de carga a gasolina, microbuses y taxis. Entre las acciones gubernamentales encaminadas a su disminución y control, se encuentran la introducción de gasolinas oxigenadas y de convertidores catalíticos, el programa Hoy No Circula y la Verificación Vehicular. Estos programas se modernizaron entre 1990 y 2001, restringiendo la circulación de los autos más contaminantes, instrumentando límites máximos permisibles más estrictos y con el programa de renovación de convertidores catalíticos (Anexo 4).

El comportamiento que presenta el CO en la ZMVM de 1990 a 2001, muestra una disminución gradual (Figura 14). El análisis efectuado para este período, indicó *tendencia homogéneamente decreciente*, con un cambio promedio de 49%. Al evaluar esta tendencia durante el período de gestión del PICCA, se obtuvo un cambio promedio de 46%, mientras que en el período de gestión de 1995 a 2001 el cambio promedio fue de 15% (Tabla 20).

Estos resultados indican que durante la gestión del PICCA se logró un abatimiento importante de la magnitud de las concentraciones máximas diarias de CO y que durante la gestión del PROAIRE 1995-2000, se lograron controlar e inclusive continuar disminuyendo sus niveles.

Figura 14. Comportamiento del Percentil 90 anual de CO en la ZMVM (1990–2001).

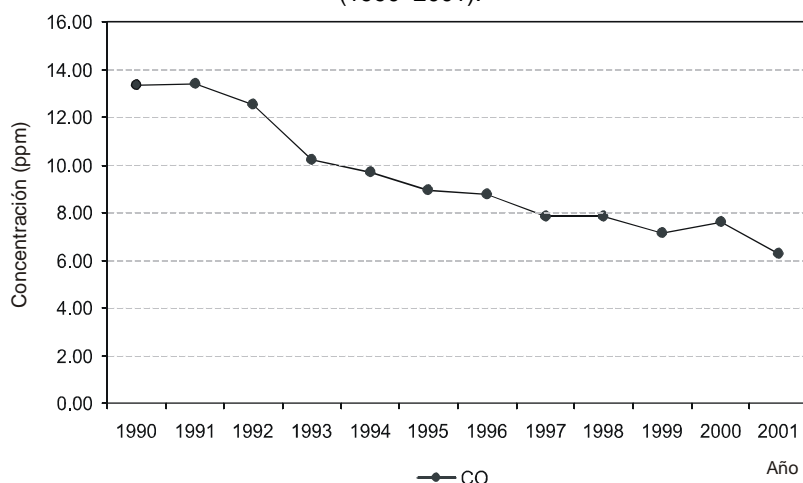


Tabla 20. Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para CO.

	CO
Periodo 1990 a 2001	
Homogeneidad	Sí
Tendencia	Sí
Porcentaje de cambio	-49
Periodo 1990 a 1995	
Homogeneidad	Sí
Tendencia	Sí
Porcentaje de cambio	-46
Periodo 1995 a 2001	
Homogeneidad	Sí
Tendencia	Sí
Porcentaje de cambio	-15

BIÓXIDO DE AZUFRE

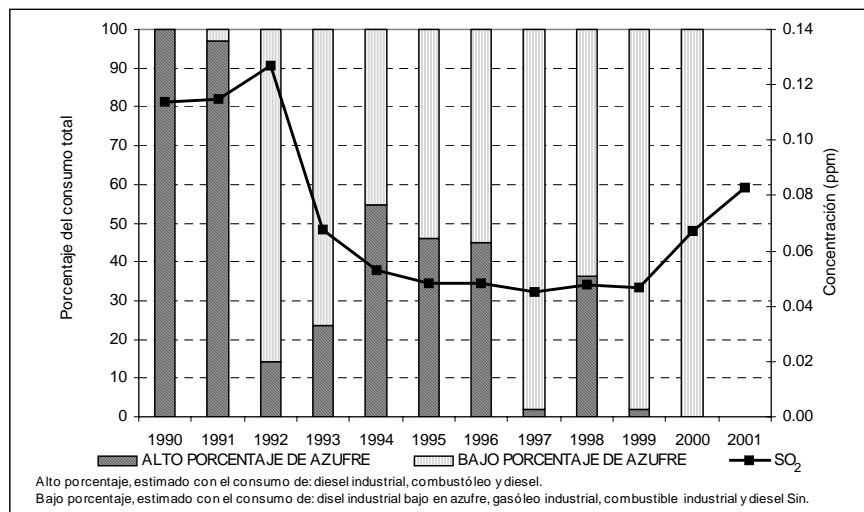
El SO_2 es un gas incoloro, que en altas concentraciones tiene un olor irritante característico, así mismo, es uno de los principales precursores de la precipitación ácida, debido a que al reaccionar con el agua produce ácidos como el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el cual en solución acuosa se separa en ion sulfato (SO_4^{2-}) y H^+ , este último es precursor de la lluvia ácida (UNAM-C.C.H. Deterioro Ambiental, disponible en Internet). En el Capítulo 1 se mencionó que en la ZMVM las fuentes de emisión de este contaminante son las puntuales y móviles, sobre todo por el contenido de azufre de los combustibles que consumen. En las puntuales destacan por sus emisiones anuales las industrias del vestido, química y mineral no metálica, y en las móviles destacan los autos particulares, los taxis, los vehículos tipo Pick-up y vehículos a diesel de 3 o más toneladas. Entre las acciones implementadas para reducir los niveles de este contaminante en la atmósfera, destaca la mejora paulatina que tuvo el diesel al disminuir su contenido de azufre, así como la salida del mercado de combustibles industriales más contaminantes, como el combustóleo que se prohibió su venta en el año 1992 (Anexo 4).

Como se observa en la Figura 15, la magnitud de las concentraciones máximas diarias de SO_2 registradas en 2000 y 2001, aumentaron considerablemente. No obstante, el análisis de homogeneidad para el período de 1995 a 2001, indica que este comportamiento no es homogéneo en toda la ZMVM (Tabla 21). Este comportamiento se asocia con la presencia de eventos extraordinarios de contaminación por SO_2 en el norte de la ZMVM y que su magnitud provoca un sesgo en los análisis de tendencia (Tabla 22).

Por otro lado, el análisis del período 1990–1995, mostró *tendencia homogéneamente decreciente*, con un cambio promedio de 78%. Lo anterior, a pesar del aumento de SO_2 registrado en 1992.

En la Figura 15 se observa la relación inversa que tiene el suministro actual de combustibles con bajo contenido de azufre y los niveles de SO_2 presentes en la atmósfera de la ZMVM; sin embargo, los resultados de este análisis indican que la presencia de SO_2 en algunas regiones es preocupante, por lo que deben instrumentarse acciones de vigilancia para evitar el consumo de combustibles contaminantes o certificar de mejor manera la calidad de los combustibles que se distribuyen en la ZMVM.

Figura 15. Comportamiento del Percentil 90 anual de SO₂ y consumo de combustibles con contenido de azufre (1990–2001)



Fuente: PEMEX GAS Y PETROQUIMICA BÁSICA, PEMEX REFINACIÓN
Solo se contaba con información de combustibles hasta el año 2000, para esta publicación.

Tabla 21. Análisis de Mann Kendall de homogeneidad por período en la ZMVM para SO₂.

SO ₂	
Periodo 1990 a 2001	
Homogeneidad	No
Tendencia	
Porcentaje de cambio	
Periodo 1990 a 1995	
Homogeneidad	Sí
Tendencia	Sí
Porcentaje de cambio	-78
Periodo 1995 a 2001	
Homogeneidad	No
Tendencia	
Porcentaje de cambio	

Tabla 22. Eventos extraordinarios de SO₂ registrados en la ZMVM (2000–2001), concentración horaria en ppm.

Año	Estación	Zona	# EVENTOS	MÍNIMO	MÁXIMO
2000	TLA	NO	2	0.208	0.400
	XAL	NE	1	—	0.131
2001	TLA	NO	27	0.204	0.499
	XAL	NE	2	0.233	0.241
	ATI	NO	2	0.270	0.373
	EAC	NO	3	0.240	0.481
	TLI	NO	2	0.278	0.386
	LPR	NE	2	0.273	0.273
	LLA	NE	2	0.305	0.424
	AZC	NO	1	—	0.289