

Espirometría y contaminación atmosférica.

Estudio en escolares de la zona metropolitana de la Ciudad de México según el género, la región y la época

BONFIGLIO MUÑOZ BOJALIL,* JESÚS SÁNCHEZ ROBLES,** GUILLERMO DÍAZ MEJÍA***

RESUMEN

Antecedentes: los efectos de la contaminación atmosférica sobre el aparato respiratorio es un tema de gran preocupación. La mayor parte de los estudios que relacionan los contaminantes con la función pulmonar – estimada por medio de la espirometría– utilizan la técnica estadística de la regresión lineal. Este estudio se basa en la correlación canónica, pues relaciona un juego de variables espirométricas con un conjunto de variables de contaminantes. **Material y métodos:** se estudiaron 307 escolares (144 niños, 47%, y 163 niñas, 53%) de las cinco regiones de la zona metropolitana de la Ciudad de México en seis épocas diferentes (tres en 1995 y otras tres en 1996) y se obtuvieron de cada escolar y en cada época 12 variables espirométricas, para correlacionarlas con 20 variables de contaminantes. Los contaminantes fueron: ozono (O_3), bióxido de nitrógeno (NO_2), bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y partículas respirables con diámetro aerodinámico menor a $10 \mu m$ (PM_{10}), medidos el día en que se realizó el estudio espirométrico (tiempo 0), y a las 24, 48 y 72 horas previas a dicho estudio. Las variables estadísticas independientes o explicativas son las concentraciones máximas de los contaminantes y las variables estadísticas dependientes o respuesta son las espirométricas. La fuerza de la asociación se basó en el primer coeficiente de correlación canónica, considerado cuando su valor absoluto fue 0.3 o mayor para el caso de las regiones y 0.28 o mayor para el caso de las épocas. Los resultados se establecieron de acuerdo con el valor del coeficiente, de mayor a menor. Se presenta lo que ocurrió al incrementar uno o más contaminantes, conscientes de que se acompañaron de descensos en otros que, al aumentar, provocan efectos opuestos. Es más, la disminución de uno o más contaminantes permite que el que está en exceso ejerza su acción. **Resultados:** los dos contaminantes que estuvieron por arriba de la norma mientras duró el estudio fueron: O_3 y PM_{10} . A) Niños. En la región 1, al aumentar $PM_{10,48}$, $PM_{10,0}$, $PM_{10,24}$ y $NO_{2,72}$ disminuyeron FEF_{25} ,



ABSTRACT

Background: The effects of air pollution on the respiratory system is a topic of large concern. Most of the studies dealing with the relationship between air pollution and pulmonary function—estimated through spirometry—have been performed by applying linear regression analysis. This study is based on canonical correlation, in order to relate a set of spirometric variables to a set of pollutant variables. **Material and methods:** 307 schoolchildren (144 boys, 47%, and 163 girls, 53%) from the five regions of the metropolitan area of Mexico City were studied in six different seasons, three in 1995 and three in 1996. Twelve spirometric variables were measured on every child every season in order to be related to 20 pollution variables including the daily maximum concentrations of O_3 , NO_2 , SO_2 , CO and PM_{10} measured the day of the spirometry (time 0), 24, 48 and 72 hours before. The statistical independent or explanatory variables are the pollution variables and the statistical dependent or response variables are those of spirometry. The strength of the association was based on the first canonical correlation coefficient and considered when its absolute value was greater than or equal to 0.3 in the case of the analysis by region and greater than or equal to 0.28 in the case of the analysis by seasons. The results will be presented from the highest canonical correlation coefficient to the lowest one. It will be described what happened when one or more pollutants increase considering that other pollutants decrease and that the converse produced the opposite effect. Further, the decrease of one or more pollutants allows the pollutant with exceeding concentration to produce the strongest effect. **Results:** O_3 and PM_{10} exceeded the standard during the study. A) Boys. In region 1 when $PM_{10,48}$, $PM_{10,0}$, $PM_{10,24}$ and $NO_{2,72}$ increase FEF_{25} , PIF, FEF_{200} , FEF_{max50} and ET decrease; in region 5 when $NO_{2,0}$ increases ET and MTT increase and FIF_{max50} and IVC decrease; in season 1 when $O_{3,48}$, $NO_{2,48}$ and $NO_{2,72}$ increase FVC, FEV_1 , FEF_{200} , PEF, FEF_{max50} and FEF_{25}



* Universidad Autónoma Metropolitana—Xochimilco y Escuela Nacional de Antropología e Historia.

** Universidad Autónoma Metropolitana—Xochimilco.

*** Comisión Institucional de Cuadros Básicos, IMSS.

Correspondencia: Dr. Bonfiglio Muñoz. UAM—Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, CP 04960. Fax: 57 24 5218. E-mail: brmunoz@cueyatll.uam.mx

Recibido: agosto, 1999. **Aceptado:** septiembre, 1999.

FIP, FEF₂₀₀, FEF_{max50} y TE; en la región 5, al aumentar NO₂ aumentaron TE y TTM y disminuyeron FIF_{max50} y CVI. En la época 1, al incrementar O₃48, NO₂48 y NO₂72, disminuyeron CVF, VEF₁, FEF₂₀₀, FEP, FEF_{max50} y FEF₂₅; en la época 2, al aumentar O₃72 y O₃0 disminuyeron VEF₁, CVF, FEF₂₀₀, FEP, FIP y FEF_{max50}; en la época 3, al aumentar O₃48 disminuyó FIP; en la época 4, al aumentar O₃72 y O₃48 disminuyó CVI pero aumentó FEP; en la época 5, al aumentar SO₂72 y SO₂48 aumentó CVI; en la época 6, al aumentar O₃0 aumentaron TE y CVI pero disminuyeron FIP y FIF_{max50}. B) Niñas. En la región 1, al incrementar NO₂72 disminuyeron FIP, FEP, FEF₇₅ y FEF₂₀₀ con incremento en TE; en la región 2, al aumentar NO₂24, NO₂48 y NO₂72 disminuyó FIP; en la región 3, al aumentar O₃24 y O₃48 aumentó TE; en la región 4, al aumentar SO₂48 y NO₂24 disminuyó TE; en la región 5, al aumentar NO₂24 y SO₂48 disminuyeron FIP, FIF_{max50} y FEP. En la época 1, al aumentar NO₂48 aumentaron TE, TTM y CVF con disminución de FEF₇₅; en la época 2, al aumentar O₃24, NO₂72, O₃0, O₃72 y O₃48 disminuyeron CVF, VEF₁, FEF₂₀₀ y FEP; en la época 3 no se correlacionaron los juegos de variables; en la época 4, al aumentar O₃48 disminuyeron FEP, FEF₂₀₀, VEF₁ y CVF; en la época 5, al aumentar O₃0 y O₃48 disminuyeron CVI, TE, FEP, CVF y FIP; en la época 6, al aumentar NO₂72, NO₂24, NO₂0 y NO₂48 disminuyeron TE y CVF (véase glosario de términos para explicación de las siglas de las variables espirométricas, los contaminantes y las épocas del estudio). **Conclusiones:** la mezcla de contaminantes afecta de modo diferente a los niños y a las niñas. La acción de las PM₁₀, de los NO₂ y de los SO₂ es mayor cuando se observa lo que ocurre en la regiones, mientras que el O₃ parece tenerla más en las épocas. Los contaminantes actúan en conjunto y no solos, y tal parece que los retrasos son más importantes que lo que ocurre con las concentraciones del mismo día del estudio espirométrico. No se observó que alguno de los contaminantes fuese el único de las acciones, así como tampoco se apreció que sea una sola variable espirométrica la que dé la respuesta.

Palabras clave: contaminación atmosférica, espirometría, zona metropolitana de la Ciudad de México.

decrease; in season 2 when O₃72 and O₃0 increase FEV₁, FVC, FEF₂₀₀, PEF, PIF and FEF_{max50} decrease; in season 3 when O₃48 increases PIF decreases; in season 4 when O₃72 and O₃48 increase IVC decreases but PEF increases; in season 5 when SO₂72 and SO₂48 increase IVC increases also; in season 6 when O₃0 increases ET and IVC increase and PIF and FIF_{max50} decrease. B) Girls. In region 1 when NO₂72 increases PIF, PEF, FEF₇₅ and FEF₂₀₀ decrease and ET increases; in region 2 when NO₂24, NO₂48 and NO₂72 increase PIF decreases; in region 3 when O₃24 and O₃48 increase ET increases; in region 4 when SO₂48 and NO₂24 increase ET decreases; in region 5 when NO₂24 and SO₂48 increase PIF, FIF_{max50} and PEF decrease; In season 1 when NO₂48 increases ET, MTT and FVC increase and FEF₇₅ decreases; in season 2 when O₃24, NO₂72, O₃0, O₃72 and O₃48 increase FVC, FEV₁, FEF₂₀₀ and PEF decrease; in season 3 there were not significant correlation between both sets of variables; in season 4 when O₃48 increases PEF, FEF₂₀₀, FEV₁ and FVC decrease; in season 5 when O₃0 and O₃48 increase IVC, ET, PEF, FVC and PIF decreases; in season 6 when NO₂72, NO₂24, NO₂0 and NO₂48 increase ET but FVC decrease. **Conclusions:** The mix of pollutants affects boys different from girls. The effect of PM₁₀, NO₂ and SO₂ is stronger when the region is considered and that of O₃ appears to be more related to the season. Pollutants affect together and not individually and also the effect of their current concentration does not appear to be stronger than those of the previous days. Neither a single pollutant affects pulmonary function by itself nor a single spirometric variable responds alone.

Key words: air pollution, spirometry, metropolitan area of Mexico City.

INTRODUCCIÓN

Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud respiratoria son un tema que preocupa a muchos investigadores y a la sociedad en general. En todo el mundo se ha hecho un gran esfuerzo para estudiar a los niños, ya que no están expuestos a la contaminación por motivos de trabajo ni porque fumen o tengan el hábito tabáquico arraigado. Sin embargo, existen sesgos al seleccionar la población que se estudia, ya que, por lo general, se escogen niños bien nutridos y sin problemas

de crecimiento. La espirometría, como parte de las pruebas de la función pulmonar, es una herramienta de trabajo útil, pues permite valorar la relación entre las concentraciones de contaminantes atmosféricos y los valores obtenidos en las pruebas espirométricas. Los estudios para definir los efectos van del resultado que uno de los contaminantes pueda tener en las pruebas de función pulmonar,¹⁻¹⁰ a la observación de lo que producen dos o más contaminantes en los valores espirométricos,¹¹⁻¹⁶ ya sea el mismo día del estudio o en momentos anteriores al análisis.

En este estudio se reúnen varios contaminantes y sus valores días previos al análisis y se relacionan con diversas variables espirométricas obtenidas en niños de la zona metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), para valorar los efectos que pueden tener los contaminantes de acuerdo con el género, la época en que se estudió a los niños y la región en que vivían y estudiaban.

MATERIAL Y MÉTODOS

La ZMCM es la región más contaminada de la República Mexicana. De acuerdo con la Red Automática de Monitoreo Ambiental (RAMA) está dividida en cinco regiones: noreste, noroeste, centro, sudeste y sudoeste. En cada región se localiza una estación de medición de los contaminantes atmosféricos y de las condiciones ambientales (monitores) que se denominan: Xalostoc, Tlalnepantla, Merced, Cerro de la Estrella y Pedregal, respectivamente con la orientación mencionada (figura 1). A cada estación se le conoce por las siglas XAL, TLA, MER, CES y PED, pero en el texto se describirán como región 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente. En la ZMCM se asientan alrededor de 20 millones de individuos, más un número indeterminado de población flotante.

En cada una de las cinco regiones de la ZMCM se ubicaron los planteles de educación primaria, públicos o privados, localizados a no más de 1 km de una de las estaciones de medición de contaminantes. De dichos planteles educativos se eligieron al azar a uno público y a otro privado. Después de cumplir con los requisitos de forma, se procedió a elegir a los escolares (de uno y otro sexo), que tuvieran ocho años, sin importar el grado que estuvieran cursando; se establecieron los márgenes de ± 6 meses en las cercanías del cumpleaños de cada escolar, para considerarlo elegible para ser estudiado. Como se indicó en la introducción, se eligió a los niños, pues ellos no están expuestos a la contaminación laboral y no tienen hábito tabáquico. Los responsables de cada niño firmaron una carta de consentimiento informado. Los escolares que por algún motivo no asistieron los días en que se programaron los estudios se excluyeron y no fueron remplazados. Se estudiaron los niños que asistían al turno matutino, de las 8:30 a las 12:00 h de cada día laborable, en grupos de tres a cinco, para un total de 10 por día. En la primera ocasión se estudiaron 469 escolares, pero sólo 307 (65% de la muestra original) se estudiaron en cinco

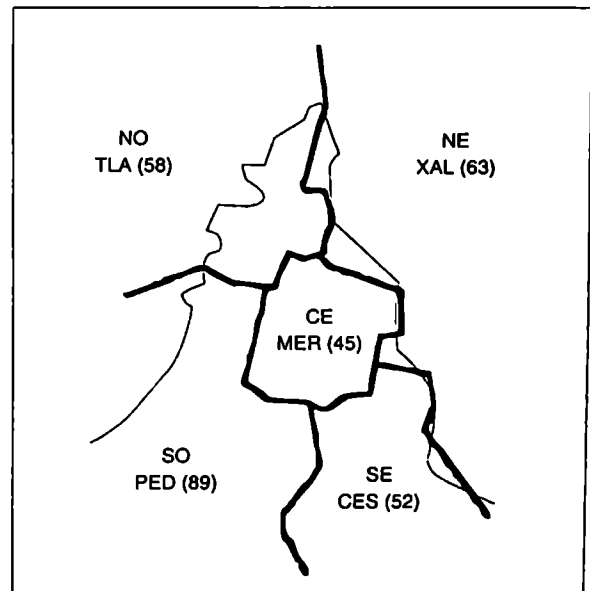


Figura 1. Regiones de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

ocasiones más (144 niños, 47%, y 163 niñas, 53%). El estudio se inició en 1995: del 28 de febrero al 3 de marzo (época 1), del 5 al 23 de junio (época 2), del 18 de octubre al 19 de noviembre (época 3); y terminó en 1996: del 28 de enero al 8 de marzo (época 4), del 3 de septiembre al 10 de octubre (época 5) y del 14 de noviembre al 4 de diciembre (época 6). El total de escolares y su procedencia se muestran en la figura 1.

De todos los contaminantes que se pueden medir, se eligieron cinco, por considerarlos como representativos o centinelas de la calidad del aire: ozono (O_3), bióxido de nitrógeno (NO_2), bióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y partículas respirables con diámetro aerodinámico menor a $10 \mu m$ (PM_{10}). La norma mexicana vigente en 1995-1996 era de 0.110 partes por millón (ppm) para el O_3 , de 0.21 ppm para el NO_2 , de 0.13 ppm para el SO_2 , de 13 ppm para el CO y de $150 \mu g/m^3$ para las PM_{10} ¹⁷. Las concentraciones de cada contaminante se obtuvieron de las bases de datos de la RAMA, tanto del día del estudio espirométrico (tiempo 0) como a las 24, 48 y 72 horas previas al estudio (tiempos -24, -48 y -72), para observar el efecto de los retrasos en el tiempo sobre los valores espirométricos.

A cada escolar y en cada ocasión se le tomaron de 3 a 8 trazos espirométricos y, junto con el niño, se observaban en la pantalla de una computadora para valorar

el esfuerzo y la cooperación. Los trazos espirométricos se obtuvieron con un sensor unido a la computadora (Spirometrics, Auburn, ME, EEUU), con programación interna para calibrar volúmenes y flujos y valorar cada trazo espirométrico. Para el análisis subsiguiente se consideraron 12 variables: capacidad vital espiratoria forzada (CVF), volumen espiratorio forzado del primer segundo (VEF_1), flujo espiratorio forzado de los primeros 200 a los 1,200 mL de la espiración (FEF_{200}), flujo espiratorio forzado del 25 al 75% del inicio de la CVF (FEF_{25}), flujo espiratorio forzado del 75 al 85% del inicio de la CVF (FEF_{75}), flujo espiratorio pico (FEP), flujo espiratorio máximo al 50% de la CVF (FEF_{max50}), capacidad vital inspiratoria forzada (CVI), flujo inspiratorio pico (FIP), flujo inspiratorio máximo al 50% de la CVI (FIF_{max50}), tiempo promedio de tránsito espiratorio (TTM) y tiempo de espiración (TE). Todas las mediciones espirométricas se corrigieron para condiciones BTPS; se usaron litros (L) como unidades para los volúmenes, para los flujos litros/segundo (L/s) y para los tiempos segundos (s). Los trazos que tuvieron la CVF y el VEF_1 más grandes fueron los que se eligieron para el análisis que siguió.^{18,19} En las respectivas épocas de estudio, a cada escolar se le dio una boquilla de cartón prensado, desechable, y diferente para cada ocasión. Para tener seguridad y confianza, en uno de cada diez niños se obtuvo una nueva espirometría, con una repetición del 99%, que consideramos satisfactoria. Mientras realizaban el esfuerzo espirométrico, los niños permanecieron de pie, sin pinza nasal. En total se obtuvieron más de 7,000 espirometrías, de las cuales se consideraron susceptibles de análisis 1,842 trazos. La obtención de las espirometrías se realizó con técnicos capacitados y equipo calibrado.

De cada escolar y en cada época en que fue estudiado se obtuvieron los datos de peso corporal en kg con el mínimo de ropa posible, en una balanza sin resortes, y de estatura en cm de pie y sin zapatos, con el estadiómetro de la balanza. La edad se obtuvo del acta de nacimiento, en la primera época, en años y meses corregidos por un factor de 0.08333; la edad de inicio fue cercana a los ocho años y al terminar fue de cerca de once, pues la insistencia de algunos de los responsables de los escolares obligó a que se estudiaran a niños de menos y de más de los ocho años previstos, lo cual no fue inconveniente para proseguir con el estudio y no se reflejó en los promedios.

Se exploró la cavidad oronasal y la faríngea, así como el tórax, y se les preguntó en cada ocasión acerca

de padecimientos respiratorios agudos; con estos datos se consideró al grupo estudiado como sano pleuropulmonar. A cada escolar incluido o no en el análisis se le entregó en cada época un informe individual.

Se generó una base de datos con las variables espirométricas y de concentración máxima de los contaminantes. Después de obtener las medidas de tendencia central y de dispersión, se buscó la asociación entre las variables espirométricas y las de los contaminantes con la correlación canónica; con esta técnica estadística se intenta identificar y cuantificar las asociaciones entre dos series o juegos de variables; el análisis de correlación canónica ofrece la posibilidad de relacionar – correlacionar– o evaluar el efecto de un conjunto de contaminantes (que en términos estadísticos corresponden a las variables independientes o explicativas), sobre las variables respiratorias (las cuales en términos estadísticos corresponden a las variables dependientes o respuesta), de tal forma que se determina la correlación conjunta entre ambos juegos de variables. En este caso, al aplicar el análisis de correlación canónica, el objetivo fue determinar en forma subsecuente qué subconjuntos de contaminantes estaban más asociados a qué subconjuntos de variables respiratorias; esto es, qué pares subsecuentes de subconjuntos de contaminantes y de variables respiratorias estaban más relacionados; esto último se logró por medio de las llamadas funciones canónicas, con las cuales se determinan cuáles son los contaminantes y las variables respiratorias que tienen una correlación conjunta y que se evalúan por el coeficiente de correlación, de 0 a 1.²⁰⁻²² Para valorar la fuerza de la asociación conjunta se eligió de manera arbitraria la asociación con un coeficiente igual o mayor de 0.3 en el primer coeficiente de correlación canónico para la regiones, y de 0.28 o mayor para el caso de las épocas.

Se considera poco útil expresar toda la ecuación de la correlación canónica, pues la ecuación general es como la siguiente:

$$b_1Y_1 + b_2Y_2 + \dots + b_qY_q = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_pX_p$$

Lo que se destaca es la asociación y su fuerza, medida por el coeficiente de correlación, entre las variables de contaminantes –y sus retrasos– con las variables espirométricas, tanto en los niños como en las niñas por separado, de acuerdo con: 1) la región en que se localizan los planteles escolares y 2) la época en que fueron estudiados. No se hallaron diferencias significativas estadísticamente entre los valores espiro-

métricos de los escolares de los planteles públicos y privados, por lo que serán considerados sin importar el tipo de plantel. Para permitir la observación de los efectos de los contaminantes y sus retrasos, se controlaron el peso, la edad y la estatura. Para valorar el punto 1, los resultados espirométricos de los escolares fueron considerados sin importar la época en que se estudiaron, y para valorar el punto 2 se consideraron como si vivieran en una "gran aldea", sin importar la región donde estudiaban.

El estudio no pretendió ofrecer ecuaciones de predicción de valores espirométricos, como tampoco profundizar en el crecimiento y desarrollo de los niños, por lo cual sólo se muestran los promedios de los valores espirométricos y de las concentraciones de contaminantes sin datos de dispersión. El estudio fue de tipo panel, longitudinal de menos de cinco años de duración, y se analizó lo que ocurrió con la cohorte, lo que hizo innecesario relacionar los resultados espirométricos con los valores de predicción.

RESULTADOS

Niños

En el cuadro 1 se muestran los promedios de los datos antropométricos y espirométricos obtenidos en los niños, de acuerdo con la región estudiada y la época.

En el cuadro 1 se aprecia que los niños de la región 5 (PED) tuvieron los promedios más altos en la CVF, el VEF₁, el FEF₂₀₀, el FEF, el FIF_{max50}, el FIP, el TTM

y el TE, mientras que los de la región 4 (CES) manifestaron la menor CVI. También se nota que la tendencia de los datos es a incrementarse de la época 1 a la 6, aunque en la época 2 aumentaron la CVF y el VEF₁, pero disminuyeron el FEF₂₅, el FEF₇₅, el FEF_{max50}, el FIF_{max50} y el FIP.

En el cuadro 2 se exponen los promedios de las concentraciones de contaminantes del día del estudio (0) y 24 (24), 48 (48) y 72 (72) horas antes del estudio espirométrico, de acuerdo con la región y la época.

En el mismo cuadro se aprecia que el ozono (O₃) y las partículas menores de 10 µm de diámetro aerodinámico (PM₁₀) estuvieron por arriba de la norma en las cinco regiones a lo largo del estudio. El O₃ estuvo más concentrado en la región 5 (PED) y las PM₁₀ más concentradas en las regiones 1 (XAL) y 4 (CES). Por el contrario, el O₃ estuvo menos concentrado en la región 1 (XAL) y las PM₁₀ menos concentradas en las regiones 5 (PED) y 3 (MER), aunque siempre por arriba de la norma.

En el cuadro 2 se observa también que el O₃ y las PM₁₀ estuvieron por arriba de la norma en todas las épocas que duró el estudio, aunque el O₃ estuvo aún más concentrado en la época 1 y las PM₁₀ en la época 4. Los otros contaminantes se encontraron por debajo de la norma vigente en las épocas del estudio.

En el cuadro 3 se presentan los resultados de la correlación canónica entre las variables espirométricas y las concentraciones de contaminantes el día del estudio (0) y 24 (24), 48 (48) y 72 (72) horas antes del

Cuadro 1. Niños. Promedios de los datos antropométricos y espirométricos de acuerdo con la región y la época

	Región					Época					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Edad (años y meses)	8.09	8.11	8.1	8.1	8.11	8.01	8.04	8.08	8.11	9.07	9.09
Peso (kg)	31.41	31	29.32	30.05	33.14	27.75	28.97	31.2	32.1	33.9	35.8
Talla (cm)	129.9	131	130.7	130.4	132.4	126.3	128.3	130.2	132.1	134	136
CVF (L)	1.81	1.91	1.88	1.81	2.06	1.92	2.07	1.77	1.89	2	1.89
VEF ₁ (L)	1.69	1.79	1.71	1.71	1.85	1.7	1.78	1.68	1.77	1.88	1.8
FEF ₂₀₀ (L/s)	2.54	2.71	2.68	2.49	2.94	2.47	2.59	2.51	2.84	3.08	2.82
FEF ₂₅ (L/s)	2.28	2.35	2.23	2.24	2.28	2.1	2	2.25	2.41	2.51	2.4
FEF ₇₅ (L/s)	1.51	1.15	1.02	1.16	1.06	1.03	0.91	1.12	1.16	1.2	1.18
FEP (L/s)	3.15	3.38	3.23	3.21	3.65	3.15	3.21	3.17	3.58	3.77	3.52
FEF _{max50} (L/s)	2.49	2.59	2.49	2.44	2.54	2.34	2.28	2.45	2.65	2.71	2.64
CVI (L)	2.14	2.1	2.15	2	2.07	1.71	1.83	2.16	2.3	2.29	2.23
FIF _{max50} (L/s)	2.07	2.14	2.29	2.17	2.32	1.87	1.77	2.19	2.45	2.56	2.45
FIP (L/s)	2.34	2.51	2.68	2.51	2.69	2.13	2.1	2.38	2.73	3.07	2.96
TTM (s)	0.43	0.43	0.45	0.427	0.494	0.5	0.566	0.423	0.412	0.42	0.41
TE (s)	1.54	1.55	1.68	1.45	1.74	1.84	1.98	1.45	1.5	1.51	1.41

Cuadro 2. Niños. Promedios de las concentraciones de contaminantes de acuerdo con la región y la época

	Región					Época					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
CO0	7.923	6.224	6.497	7.635	4.953	7.092	4.199	4.802	8.099	6.472	7.089
CO24	7.251	6.306	6.12	7.168	4.453	6.689	4.167	4.659	7.62	5.69	6.331
CO48	7.069	5.718	5.622	6.59	4.224	6.58	4.145	4.211	6.38	5.521	6.258
CO72	7.939	5.268	4.823	6.617	4.163	6.288	3.811	4.641	6.261	4.761	7.532
O ₃ 0	0.114	0.128	0.133	0.147	0.184	0.174	0.154	0.118	0.152	0.154	0.146
O ₃ 24	0.108	0.124	0.121	0.137	0.177	0.158	0.144	0.137	0.143	0.142	0.13
O ₃ 48	0.099	0.117	0.132	0.142	0.171	0.165	0.138	0.128	0.14	0.128	0.138
O ₃ 72	0.096	0.124	0.138	0.13	0.164	0.152	0.136	0.125	0.143	0.134	0.125
PM ₁₀ 0	284.172	152.428	112.503	182.185	107.815	129.428	138.406	179.016	221.99	120	187.713
PM ₁₀ 24	253.599	142.175	104.462	179.517	97.095	124.158	118.59	151.724	210.342	120.07	170.353
PM ₁₀ 48	233.209	129.309	94.922	162.138	92.975	127.51	117.615	132.951	184.78	98.141	166.624
PM ₁₀ 72	276.506	130.132	118.393	164.139	96.074	112.18	125.36	150.488	241.401	98.951	176.848
NO ₂ 0	0.1	0.101	0.098	0.105	0.086	0.082	0.054	0.093	0.151	0.07	0.124
NO ₂ 24	0.083	0.091	0.099	0.102	0.082	0.073	0.048	0.092	0.145	0.072	0.1
NO ₂ 48	0.068	0.083	0.085	0.09	0.075	0.071	0.043	0.081	0.111	0.063	0.101
NO ₂ 72	0.07	0.091	0.084	0.095	0.075	0.083	0.051	0.08	0.1	0.067	0.102
SO ₂ 0	0.076	0.062	0.052	0.024	0.031	0.05	0.03	0.052	0.037	0.035	0.075
SO ₂ 24	0.057	0.066	0.042	0.027	0.031	0.047	0.027	0.035	0.038	0.039	0.067
SO ₂ 48	0.044	0.076	0.041	0.025	0.027	0.041	0.029	0.032	0.047	0.028	0.056
SO ₂ 72	0.044	0.055	0.043	0.026	0.024	0.037	0.028	0.033	0.043	0.027	0.043

Cuadro 3. Niños. Correlación canónica (primer coeficiente) de acuerdo con la región

	Variables espirométricas					Contaminantes					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
CVF	-0.209	-0.024	-0.138	-0.134	-0.284	CO0	-0.108	-0.088	0.254	-0.458	-0.033
VEF ₁	-0.293	-0.008	-0.23	-0.101	-0.023	CO24	-0.028	-0.057	0.132	-0.267	0.012
FEF ₂₀₀	-0.317	0.021	-0.221	0.015	0.08	CO48	0.081	-0.096	-0.042	-0.006	0.036
FEF ₂₅	-0.35	0.044	-0.149	0.052	0.268	CO72	0.223	-0.142	0.089	-0.242	0.12
FEF ₇₅	-0.297	-0.018	-0.229	-0.013	0.252	O ₃ 0	-0.364	-0.145	-0.011	0.233	0.066
FEP	-0.286	0.012	-0.102	0.072	0.131	O ₃ 24	-0.277	-0.183	-0.266	0.144	0.103
FEF _{max50}	-0.306	0.03	-0.093	0.092	0.162	O ₃ 48	-0.269	-0.224	-0.297	-0.026	0.228
CVI	-0.275	0.147	-0.132	0.175	0.346	O ₃ 72	-0.081	-0.289	-0.351	0.142	0.174
FIF _{max50}	-0.254	0.101	-0.156	0.142	0.414	PM ₁₀ 0	0.34	-0.038	-0.064	0.243	-0.138
FIP	-0.324	0.127	-0.258	0.224	0.38	PM ₁₀ 24	0.34	-0.142	-0.129	0.277	-0.027
TTM	0.285	-0.078	0.106	-0.129	-0.366	PM ₁₀ 48	0.356	-0.184	-0.111	0.365	0.098
TE	0.307	-0.044	0.205	-0.243	-0.403	PM ₁₀ 72	0.285	-0.128	-0.129	0.184	0.105
						NO ₂ 0	0.021	-0.333	0.011	-0.344	-0.342
						NO ₂ 24	0.082	-0.408	-0.165	-0.342	-0.272
						NO ₂ 48	0.177	-0.353	-0.072	-0.137	-0.286
						NO ₂ 72	0.336	-0.28	-0.269	-0.261	-0.093
						SO ₂ 0	0.219	-0.068	0.054	-0.089	-0.058
						SO ₂ 24	0.263	-0.051	0.048	-0.313	-0.036
						SO ₂ 48	0.127	-0.059	0.238	-0.296	0.069
						SO ₂ 72	0.053	0.02	0.12	-0.167	0.204

estudio espirométrico, de acuerdo con la región. También se aprecia que, de acuerdo con los resultados de la primera función canónica, se relacionan los juegos de las variables espirométricas con los juegos de las variables de contaminantes sólo en las regiones 1 y 5.

En la región 1, las variables espirométricas más relacionadas con las de los contaminantes son el FEF₂₅, el FIP, el FEF₂₀₀, el FEF_{max50} y el TE y las de los contaminantes son las PM₁₀48, las PM₁₀0, las PM₁₀24, el NO₂72 y el O₃0. Se mencionan las variables de acuerdo con el orden del coeficiente de correlación, de mayor a menor. Una posible explicación sería que, al aumentar las PM₁₀48, las PM₁₀0, las PM₁₀24, y el NO₂72 disminuyen el FEF₂₅, el FIP, el FEF₂₀₀ y el FEF_{max50} y aumenta el TE, mientras que el O₃0 se encuentra disminuido; por el contrario, al disminuir las PM₁₀48, las PM₁₀0, las PM₁₀24 y el NO₂72 y aumentar el O₃0 sucedería lo contrario en las variables espirométricas.

En la región 5, las variables espirométricas más relacionadas con las variables de los contaminantes fueron el TE, el TTM, el FIF_{max50} y la CVI, y el único contaminante fue el NO₂0. Una posible explicación sería que, al disminuir las concentraciones del NO₂0 disminuyeron el TE y el TTM y aumentaron el FIF_{max50} y la CVI, pero, al aumentar las concentraciones del

NO₂0 se incrementaron el TE y el TTM, y disminuyeron el FIF_{max50} y la CVI.

En el cuadro 4 se muestran los resultados de la correlación canónica entre las variables espirométricas y las concentraciones de los contaminantes el día del estudio (0) y 24 (24), 48 (48) y 72 (72) horas antes del estudio espirométrico, de acuerdo con la época.

En la primera época, cuando disminuyeron el CO0 y el CO48 y aumentaron el O₃48, NO₂48 y NO₂72, disminuyeron la CVF, el VEF₁, el FEF₃₀₀, el FEP, el FEF_{max50}, y el FEF₂₅, mencionados en el orden decreciente de acuerdo con el primer coeficiente de correlación. En la época 2, la disminución en el SO₂0 y el incremento en el O₃72 y el O₃0 se relacionan con disminución del VEF₁, la CVF, el FEF₂₀₀, el FEP, el FIP y el FEF_{max50}.

En la época 3, al disminuir las PM₁₀24, las PM₁₀0, las PM₁₀48 y las PM₁₀72, con incrementos en el O₃48, se correlacionaron con disminuciones en el FIP. En la época 4, la disminución en las PM₁₀72, las PM₁₀0, el SO₂0, las PM₁₀24, el SO₂24 y el NO₂0 y aumentar el O₃72 y el O₃48, se correlacionaron con disminuciones en la CVI y aumentos en el FEP.

En la época 5, los aumentos en el SO₂72 y en el SO₂48 se relacionaron con incrementos en la CVI. En

Cuadro 4. Niños. Correlación canónica (primer coeficiente) de acuerdo con la época

	Variable espirométricas						Contaminantes						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
CVF	0.843	-0.661	0.013	-0.263	0.173	0.008	CO0	-0.445	-0.062	-0.012	0.228	0.299	-0.067
VEF ₁	0.705	-0.709	0.019	-0.211	0.142	-0.09	CO24	-0.144	-0.208	0.052	0.327	0.259	0.014
FEF ₂₀₀	0.502	-0.576	0.025	-0.258	0.236	-0.166	CO48	-0.288	-0.2	-0.04	0.062	0.095	-0.171
FEF ₂₅	0.314	-0.251	0.075	-0.03	0.078	-0.138	CO72	-0.038	-0.16	-0.26	0.258	0.048	-0.177
FEF ₇₅	0.075	-0.154	0.067	0.051	-0.07	-0.154	O ₃ 0	0.085	0.282	0.002	-0.227	0.179	0.298
FEP	0.409	-0.571	-0.002	-0.399	0.25	-0.288	O ₃ 24	0.155	0.246	0.224	-0.265	0.022	0.112
FEF _{max50}	0.324	-0.318	0.053	0.028	0.04	-0.148	O ₃ 48	0.29	0.194	0.362	-0.439	0.169	0.191
CVI	0.254	-0.016	0.137	0.333	0.471	0.323	O ₃ 72	-0.258	0.283	0.32	-0.456	0.075	-0.214
FIF _{max50}	0.234	-0.218	-0.152	-0.128	-0.022	-0.348	PM ₁₀ 0	-0.044	-0.028	-0.594	0.661	0.101	-0.174
FIP	0.294	-0.355	-0.561	-0.125	-0.106	-0.398	PM ₁₀ 24	0.058	0.067	-0.606	0.5	0.238	-0.298
TTM	0.138	-0.12	-0.091	-0.196	0.05	0.251	PM ₁₀ 48	0.206	0.059	-0.555	0.445	0.196	-0.414
TE	0.166	-0.03	-0.01	-0.089	0.164	0.73	PM ₁₀ 72	-0.061	0.012	-0.323	0.688	0.004	-0.396
							NO ₂ 0	0.115	0.096	0.121	0.364	0.027	-0.166
							NO ₂ 24	0.277	-0.077	0.188	0.158	0.137	-0.27
							NO ₂ 48	0.289	0.107	-0.042	-0.112	0.21	-0.225
							NO ₂ 72	0.285	0.178	-0.004	-0.051	-0.039	-0.33
							SO ₂ 0	-0.031	-0.314	-0.275	0.554	0.164	-0.351
							SO ₂ 24	-0.015	-0.204	-0.191	0.39	0.151	-0.369
							SO ₂ 48	0.132	-0.053	0.025	0.132	0.305	-0.577
							SO ₂ 72	0.094	0.038	0.047	0.223	0.315	-0.547

la época 6, al disminuir el SO₂48, el SO₂72, las PM₁₀48, las PM₁₀72, el SO₂24 y el SO₂0 y aumentar el O₃0, se correlacionaron con aumentos en el TE y la CVI y disminuciones en el FIP y en el FIF_{max50}.

Niñas

En el cuadro 5 se presentan los promedios de los datos antropométricos y espirométricos obtenidos de las niñas, de acuerdo con la región estudiada y la época. También se aprecia que, de acuerdo con los promedios, las edades son muy semejantes en las cinco regiones; que el peso más bajo se encontró en la región 5; que en las niñas de la región 2 los promedios más altos correspondieron a la talla, la CVF, el VEF₁, el FEF₂₅, el FEF₇₅, el FEP y el FEF_{max50}; aunque la CVI, el FIF_{max50} y el FIP tuvieron promedios más altos en la región 3, así como que en la región 5 los promedios del TTM y del TE fueron los más grandes.

En el mismo cuadro se observa que los promedios aumentaron de la primera a la sexta épocas. En la época 2 disminuyeron los promedios del FEF₂₅, el FEF₇₅, el FIF_{max50} y el FIP, pero aumentaron los del TTM y los del TE en esa misma época; en la época 3 disminuyeron los promedios de la CVF y el VEF₁.

En el cuadro 6 se muestran los promedios de las concentraciones de contaminantes, en el día del estudio (0) y 24 (24), 48 (48) y 72 (72) horas antes del estudio espirométrico, de acuerdo con la región y la época.

El comportamiento de los contaminantes, la región y la época fue muy semejante a lo que se observa en el cuadro 2, pues el ozono y las partículas estuvieron por arriba de la norma.

En el cuadro 7 se exponen los resultados de la correlación canónica entre las variables espirométricas y las concentraciones de contaminantes el día del estudio (0) y 24 (24), 48 (48) y 72 (72) horas antes del estudio espirométrico, de acuerdo con la región.

En los datos del cuadro 7 se puede apreciar que en la región 1, si disminuyó el NO₂72 y aumentó el O₃0, aumentaron el FIP, el FEP, el FEF₇₅, el FEF₂₅ y el FEF₂₀₀, pero disminuyó el TE; o sea que al aumentar el NO₂72 y disminuir el O₃0 se presentó el efecto opuesto en las variables espirométricas, pues disminuyó el FIP, el FEP, el FEF₇₅, el FEF₂₅ y el FEF₂₀₀, pero aumentó el TE. En la región 2, al aumentar el NO₂24, el NO₂48 y el NO₂72 disminuyó el FIP; en el mismo cuadro se aprecia que disminuyeron los contaminantes y aumentó el FIP. En la región 3, al aumentar el O₃24 y el O₃48 y al disminuir el SO₂72, aumentó el TE. En la región 4, al aumentar las PM₁₀48, las PM₁₀0, las PM₁₀24 y al disminuir el SO₂48 y el NO₂24, disminuyó el TE. En la región 5, al aumentar el NO₂24 y el SO₂48 disminuyeron el FIP, el FIF_{max50} y el FEP.

En el cuadro 8 se muestran los resultados de la correlación canónica entre las variables espirométricas y las concentraciones de contaminantes el día del estudio (0) y 24 (24), 48 (48) y 72 (72) horas antes del estudio espirométrico, de acuerdo con la época.

Cuadro 5. Niñas. Promedios de las concentraciones de contaminantes de acuerdo con la región y la época

	Región					Época					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
Edad	8.1	8.11	8.1	8.11	8.11	8.01	8.04	8.08	8.11	9.06	9.09
Peso	30.27	32.28	31.84	30.59	27.58	26.65	27.89	29.72	30.87	32.92	34.92
Talla	128.94	132.43	131.85	129.95	129.09	125.29	126.83	129.05	131.36	133.9	135.7
CVF	1.62	1.88	1.85	1.73	1.83	1.76	1.85	1.65	1.72	1.88	1.83
VEF ₁	1.52	1.76	1.69	1.62	1.66	1.6	1.61	1.56	1.62	1.78	1.74
FEF ₂₀₀	2.11	2.75	2.58	2.36	2.52	2.24	2.27	2.2	2.44	2.87	2.7
FEF ₂₅	2.04	2.38	2.25	2.18	2.13	2.04	1.94	2.1	2.23	2.43	2.41
FEF ₇₅	1.06	1.16	1.06	1.13	0.99	1	0.91	1.1	1.11	1.16	1.19
FEP	2.79	3.42	3.21	3	3.32	2.89	2.93	2.85	3.2	3.59	3.39
FEF _{max50}	2.21	2.62	2.53	2.4	2.38	2.28	2.27	2.28	2.41	2.68	2.64
CVI	1.87	1.98	2	1.75	1.95	1.54	1.68	2.02	2.06	2.06	2.14
FIF _{max50}	1.99	2.24	2.27	1.97	2.18	1.8	1.68	2.1	2.27	2.54	2.35
FIP	2.24	2.59	2.63	2.23	2.49	2.03	1.93	2.31	2.56	2.92	2.82
TTM	0.424	0.418	0.439	0.415	0.463	0.457	0.52	0.412	0.411	0.401	0.399
TE	1.51	1.56	1.75	1.44	1.75	1.74	2.02	1.47	1.49	1.48	1.45

Cuadro 6. Niñas. Promedios de las concentraciones de contaminantes de acuerdo con la región y la época

	Región					Época					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6
CO0	7.524	7.075	6.389	8.001	4.616	7.598	4.295	5.017	8.395	7.313	6.909
CO24	7.122	6.543	5.996	6.989	4.813	7.215	4.228	4.747	7.926	6.202	6.86
CO48	6.814	5.518	6.316	6.438	4.205	6.458	4.053	4.629	6.63	5.485	6.238
CO72	7.696	5.418	4.981	6.394	4.147	6.293	4.149	4.725	6.154	5.479	7.329
O ₃ 0	0.115	0.122	0.138	0.151	0.181	0.165	0.149	0.109	0.15	0.135	0.133
O ₃ 24	0.105	0.119	0.13	0.142	0.176	0.161	0.136	0.112	0.144	0.128	0.115
O ₃ 48	0.097	0.118	0.133	0.143	0.166	0.156	0.135	0.101	0.141	0.121	0.125
O ₃ 72	0.097	0.119	0.133	0.13	0.165	0.155	0.128	0.097	0.121	0.129	0.135
PM ₁₀ 0	276.775	151.07	113.18	174.537	112.52	142.198	148.6	190.61	230.95	112.552	180.32
PM ₁₀ 24	257.491	137.65	119.22	171.464	104.38	139.261	134.91	166.47	222.23	116.613	172.32
PM ₁₀ 48	241.257	131.06	105.73	144.795	95.721	132.362	115	142.46	209.75	96.712	171.62
PM ₁₀ 72	271.976	133.29	124.07	165.405	89.398	131.041	133.45	153.42	239.56	104.564	182.26
NO ₂ 0	0.094	0.114	0.095	0.106	0.081	0.091	0.055	0.088	0.166	0.069	0.111
NO ₂ 24	0.082	0.095	0.095	0.104	0.079	0.078	0.051	0.084	0.149	0.072	0.102
NO ₂ 48	0.069	0.088	0.084	0.093	0.073	0.076	0.045	0.081	0.118	0.064	0.095
NO ₂ 72	0.071	0.092	0.086	0.094	0.07	0.079	0.057	0.078	0.1	0.068	0.109
SO ₂ 0	0.077	0.049	0.045	0.026	0.032	0.044	0.031	0.05	0.037	0.036	0.084
SO ₂ 24	0.059	0.05	0.039	0.027	0.031	0.036	0.028	0.04	0.036	0.037	0.077
SO ₂ 48	0.045	0.054	0.036	0.025	0.029	0.039	0.028	0.033	0.041	0.029	0.06
SO ₂ 72	0.045	0.051	0.04	0.025	0.026	0.041	0.027	0.033	0.044	0.033	0.05

Cuadro 7. Niñas. Correlación canónica (primer coeficiente) de acuerdo con la región

	Variables espirométricas					Contaminantes					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
CV	0.13	0.089	-0.212	-0.285	-0.031	CO0	0.055	0.049	0.235	-0.214	-0.044
VEF ₁	0.278	0.11	-0.051	-0.175	-0.169	CO24	0.01	-0.097	0.095	-0.238	-0.109
FEF ₂₀₀	0.303	0.166	0.016	-0.109	-0.249	CO48	-0.182	-0.085	0.02	-0.019	0.154
FEF ₂₅	0.307	0.133	0.106	0.028	-0.299	CO72	-0.232	-0.122	0.176	-0.097	0.149
FEF ₇₅	0.311	-0.008	0.141	0.063	-0.239	O ₃ 0	0.302	-0.128	-0.22	0.269	0.002
FEP	0.318	0.219	0.028	-0.09	-0.301	O ₃ 24	0.186	-0.127	-0.472	0.201	0.093
FEF _{max50}	0.265	0.139	0.042	-0.085	-0.272	O ₃ 48	0.2	-0.166	-0.452	0.142	0.051
CVI	0.176	0.199	0.151	0.042	-0.188	O ₃ 72	0.04	-0.295	-0.261	0.067	0.052
FIF _{max50}	0.296	0.213	0.115	0.227	-0.33	PM ₁₀ 0	-0.233	0.125	-0.017	0.453	0.013
FIP	0.351	0.315	0.207	0.245	-0.466	PM ₁₀ 24	-0.232	-0.021	-0.17	0.399	-0.119
TTM	-0.242	-0.071	-0.224	-0.29	0.218	PM ₁₀ 48	-0.223	-0.022	-0.114	0.457	-0.117
TE	-0.393	-0.004	-0.443	-0.324	0.288	PM ₁₀ 72	-0.223	-0.012	-0.078	0.287	0.129
						NO ₂ 0	-0.046	-0.176	-0.021	-0.209	-0.175
						NO ₂ 24	-0.111	-0.372	0.015	-0.302	-0.316
						NO ₂ 48	-0.166	-0.351	0.027	-0.176	-0.152
						NO ₂ 72	-0.332	-0.34	-0.016	-0.14	-0.011
						SO ₂ 0	-0.216	-0.14	0.076	-0.231	-0.243
						SO ₂ 24	-0.278	-0.127	0.129	-0.292	-0.276
						SO ₂ 48	-0.131	-0.02	0.272	-0.37	-0.316
						SO ₂ 72	-0.027	-0.022	0.315	-0.263	-0.092

Cuadro 8. Niñas. Correlación canónica (primer coeficiente) de acuerdo con la época

	Variables espirométricas						Contaminantes						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
CVF	-0.327	-0.626	0.753	0.345	0.331	-0.399	CO	-0.02	0.051	0.015	0.381	0.164	0.17
VEF ₁	-0.106	-0.563	0.765	0.355	0.237	-0.28	CO ₂₄	0.248	-0.145	0.029	0.337	-0.02	0.094
FEF ₂₀₀	-0.063	-0.466	0.478	0.386	0.263	-0.176	CO ₄₈	0.261	-0.106	-0.074	0.074	0.167	-0.091
FEF ₇₅	0.101	-0.175	0.38	0.251	-0.01	-0.079	CO ₇₂	0.239	0.037	-0.137	0.163	0.367	0.029
FEF ₂₅	0.353	0.034	0.392	0.118	-0.127	0.072	O ₃	0.143	0.346	0.019	-0.221	-0.394	0.03
FEP	-0.175	-0.425	0.435	0.462	0.336	-0.102	O ₃ 24	0.082	0.396	-0.178	-0.289	-0.317	0.038
FEF _{max50}	-0.048	-0.238	0.325	0.177	0.024	-0.133	O ₃ 48	-0.088	0.308	-0.252	-0.323	-0.226	0.155
CVI	-0.054	0.033	0.24	-0.05	0.467	-0.214	O ₃ 72	-0.011	0.327	0.149	0.009	-0.243	0.114
FIF _{max50}	-0.005	-0.127	0.291	0.285	0.213	-0.031	PM ₁₀ 0	0.319	0.069	-0.211	0.226	0.33	-0.129
FIP	0.047	-0.248	0.384	0.136	0.308	-0.117	PM ₁₀ 24	0.035	0.04	-0.169	0.126	0.233	-0.126
TTM	-0.35	-0.182	0.134	-0.013	0.2	-0.236	PM ₁₀ 48	0.01	0.043	-0.15	0.051	0.258	-0.165
TE	-0.368	-0.185	0.091	0.105	0.458	-0.7	PM ₁₀ 72	-0.039	0.073	-0.278	0.289	0.49	-0.068
							NO ₂ 0	0.198	0.164	-0.048	0.082	0.228	0.353
							NO ₂ 24	0.203	0.169	-0.184	0.251	-0.071	0.428
							NO ₂ 48	-0.341	0.269	-0.214	0.003	0.127	0.341
							NO ₂ 72	-0.099	0.39	-0.191	0.179	0.369	0.766
							SO ₂ 0	0.117	-0.264	-0.11	0.416	0.343	0.027
							SO ₂ 24	-0.027	-0.07	0.088	0.443	0.152	0.019
							SO ₂ 48	0.19	-0.149	0.055	0.24	0.256	0.134
							SO ₂ 72	-0.184	0	-0.015	0.178	0.467	0.165

En la época 1, al aumentar las PM₁₀0 y disminuir el NO₂48 disminuyeron el TE, el TTM y la CVF, pero aumentó el FEF₇₅; o sea que al aumentar el NO₂48 y disminuir las PM₁₀0 aumentaron el TE, el TTM y la CVF, pero disminuyó el FEF₇₅. En la época 2, al aumentar el O₃24, el NO₂72, el O₃0, el O₃72 y el O₃48, disminuyeron la CVF, el VEF₁, el FEF₂₀₀ y el FEP. En la época 3 no se apreciaron correlaciones entre las variables espirométricas y las concentraciones de los contaminantes, en el primer coeficiente.

En la época 4, al aumentar el SO₂24, el SO₂0, el CO0 y el CO24 y disminuir el O₃48, aumentaron el FEP, el FEF₂₀₀, el VEF₁ y la CVF; pero al aumentar el O₃48 y disminuir el SO₂24, el SO₂0, el CO0 y el CO24, disminuyeron el FEP, el FEF₂₀₀, el VEF₁ y la CVF. En la época 5, al aumentar las PM₁₀72, el SO₂72, el NO₂72, el CO72, el NO₂0 y las PM₁₀0 y disminuir el O₃0 y el O₃24, aumentaron la CVI, el TE, el FEP, la CVF y el FIP; pero al aumentar el O₃0 y el O₃24 y disminuir las PM₁₀72, el SO₂72, el NO₂72, el CO72, el SO₂0 y las PM₁₀0, disminuyeron la CVI, el TE, el FEP, la CVF y el FIP. En la época 6, al aumentar el NO₂72, el NO₂24, el NO₂0 y el NO₂48, disminuyeron el TE y la CVF.

DISCUSIÓN

En la mayor parte de los estudios dirigidos a establecer los efectos de la contaminación en la salud, en particular sobre las funciones respiratorias, se aplica, por lo general, el análisis de la regresión lineal, en el cual la variable dependiente es alguna de las características respiratorias;¹⁻¹⁶ de esta forma se mide el grado de intensidad de la relación entre el conjunto de contaminantes y la variable respiratoria seleccionada y se obtiene la ecuación de regresión, que incluye el coeficiente de regresión para cada contaminante; representa el cambio producido en la variable respiratoria seleccionada debido al incremento en una unidad en cada contaminante en forma simultánea con el resto de los contaminantes. Esta forma de análisis es muy válida, pero algunos aspectos quedan sin resolverse en la práctica. Uno de estos aspectos es que los sujetos, por lo general, no están expuestos a un solo contaminante; además es razonable considerar que cada contaminante puede tener efectos sobre más de una variable respiratoria y que una de éstas puede ser afectada por más de un contaminante, todo esto aunado a que el impacto sobre una de las variables respiratorias también puede reflejarse sobre otras (esto es, hay estructu-

ra de covariación entre las variables respiratorias). Por lo tanto, el análisis de regresión sólo permite explicar cómo un conjunto de contaminantes afectan a una sola variable respiratoria a la vez, pero no permite observar cómo se afectan simultáneamente las variables respiratorias.

Mediante el análisis de correlación canónica,²⁰⁻²² además de evaluar la intensidad de la relación entre el conjunto de contaminantes y el grupo de variables respiratorias, se obtienen —en forma parecida a la regresión— coeficientes para los contaminantes y coeficientes, o cargas canónicas, para las variables respiratorias, los cuales se conocen como funciones canónicas. Los coeficientes de los contaminantes representan el grado de asociación de cada contaminante con el conjunto de variables respiratorias y los coeficientes de éstas representan el grado de relación de cada variable respiratoria con el conjunto de contaminantes, con la salvedad de que estos coeficientes, en ambos casos, consideran simultáneamente el efecto de todos los contaminantes y de todas las variables respiratorias, respectivamente. También se establece, mediante la correlación canónica, cuál grupo o subconjunto de contaminantes está más asociado a cuál subconjunto de variables respiratorias; puede ocurrir que exista un subconjunto de contaminantes que tenga fuerte asociación con un subconjunto de variables respiratorias, pero que también exista otro subconjunto diferente de contaminantes que tenga fuerte relación con otro subconjunto diferente de variables respiratorias. De esta forma se pueden obtener pares subsecuentes de subconjuntos de contaminantes y de variables respiratorias con diferente grado de asociación, correspondiendo a la primera función canónica (carga canónica, coeficiente) el par de subconjuntos de contaminantes y de variables respiratorias que tienen la asociación más fuerte; la segunda función canónica corresponde al par de subconjuntos de contaminantes y de variables respiratorias que tienen la asociación más fuerte después del par de subconjuntos previos y así para las sucesivas restantes funciones canónicas. Así, el objetivo del análisis de la correlación canónica es obtener subsecuentes funciones canónicas para establecer cuáles contaminantes están más correlacionados con cuáles variables respiratorias y el grado de asociación de cada contaminante y cada variable respiratoria.

Otra posibilidad para analizar los efectos de la contaminación sobre la función pulmonar es comparar los valores de las variables respiratorias obtenidas en nuestros sujetos de estudio con valores de referencia.²³

En este estudio no se consideró el análisis de las variables respiratorias con valores de referencia, pues esto implica que se hubiesen obtenido en sujetos con características semejantes a los nuestros. Son varias las razones para no utilizar valores de referencia, entre las que destacan las condiciones en que se encuentran los sujetos en estudio, pues las características fisiográficas, climatológicas y de contaminación de la Ciudad de México no se encuentran en ninguna otra localidad. Por otra parte, es posible que los sujetos en estudio tengan características físicas semejantes a otros grupos de sujetos de nuestro país, pero estos últimos no están expuestos a la contaminación como los sujetos en estudio; se acepta que las características morfológicas y funcionales son diferentes debidas al género, por lo cual el análisis de los datos se hizo por separado para niños y niñas.

En lo referente a los resultados que se presentaron, se observa que en los datos antropométricos y de espirometrías no hay consistencia en cuanto a las regiones, pues en algunos casos se incrementan y en otros disminuyen. En los datos de las épocas se observa una tendencia a aumentar con disminuciones en alguna de las etapas. Los contaminantes que estuvieron por arriba de la norma mientras duró el estudio fueron las PM_{10} y el O_3 .

En los niños, las correlaciones canónicas de mayor fuerza en el primer coeficiente se observaron en las regiones 1 y 5, aunque los cambios no se aprecian en los promedios espirométricos; los contaminantes que más se relacionaron fueron las PM_{10} y el NO_2 con retrasos y el O_3 entró en juego después. Se afectan más los tiempos y las variables inspiratorias. En cuanto a las épocas, resultan más correlacionadas las variables espirométricas y los contaminantes; de modo sorprendente, el CO está relacionado, así como las PM_{10} , el O_3 , el NO_2 y el SO_2 , con retrasos respecto al día del estudio espirométrico.

En las niñas, las correlaciones canónicas de mayor fuerza se observaron en las cinco regiones, así como en las seis épocas, lo cual no es notable en los promedios de los datos antropométricos y de espirometrías. En la región 1 disminuyeron diversas variables espiratorias y sólo una inspiratoria; en la región 2 sólo se relacionó una variable inspiratoria, mientras que en las regiones 3 a 5 el TE resultó más relacionado con los contaminantes, a pesar de que en los promedios no fue clara esta situación. Algo semejante ocurrió con las épocas, pues casi no hubo coincidencia entre los cambios observados en los promedios con las correlaciones. Los

contaminantes más relacionados fueron el NO₂, el SO₂, las PM₁₀ y el O₃.

Parecería entonces que representa más peligro para la salud respiratoria de los niños y niñas la época del año que la región en donde viven, aunque a las niñas parece afectarles también la región en donde estudian. También resalta que los contaminantes parecen actuar más sobre la función pulmonar en las 24 a 72 horas previas, que el propio día del estudio espirométrico. De esto se desprende la importancia de observar los efectos de los contaminantes antes de las 72 horas previas, aunque los cambios que pudieran presentarse en las variables estudiadas podrían deberse a algunas otras circunstancias y no necesariamente a los contaminantes; de hecho existe una contradicción pues algunos indican que incluso se corre cierto riesgo al considerar las 48 ó 72 horas previas; a nuestro parecer, dicho peligro es mucho menor que con tiempos más prolongados.

En el estudio se evaluaron las concentraciones máximas de los contaminantes y sólo las PM₁₀ y el O₃ se encontraron por arriba de la norma, por lo cual podría esperarse que sólo esos dos contaminantes fueran los relacionables, pero parecen tener igual o más impacto sobre las variables respiratorias los otros contaminantes que estaban por debajo de la norma, como el NO₂, el SO₂ y el CO. De este último no se encuentran descritas relaciones con las variables espirométricas y no es fácil encontrar alguna explicación plausible sobre los efectos que se encontraron.

En conclusión: la mezcla de contaminantes afecta el aparato respiratorio de niñas y niños, pero los efectos son más significativos en relación con las concentraciones encontradas en los días previos al estudio. Asimismo, a los niños los afectan más las PM₁₀ y el SO₂, mientras que a las niñas las afectan más el SO₂ y el NO₂.

GLOSARIO

Espirometría:

CVF: capacidad vital espiratoria forzada (litros).
 VEF₁: volumen espiratorio forzado del primer segundo (litros).
 FEF₂₀₀: flujo espiratorio forzado de los primeros 200 a los 1,200 mL de la espiración (litros/segundos).
 FEF₂₅: flujo espiratorio forzado del 25 al 75% del inicio de la CVF (litros/segundos).
 FEF₇₅: flujo espiratorio forzado del 75 al 85% del inicio de la CVF (litros/segundos).
 FEP: flujo espiratorio pico (litros/segundos).
 FEF_{max50}: flujo espiratorio máximo al 50% de la CVF (litros/segundos).

CVI: capacidad vital inspiratoria forzada (litros).

FIP: flujo inspiratorio pico (litros/segundos).

FIF_{max50}: flujo inspiratorio máximo al 50% de la CVI (litros/segundos).

TTM: tiempo promedio de tránsito espiratorio (segundos).

TE: tiempo de espiración (segundos).

Épocas:

- 1: del 28 de febrero al 3 de marzo de 1995.
- 2: del 5 al 23 de junio de 1995.
- 3: del 18 de octubre al 19 de noviembre de 1995.
- 4: del 28 de enero al 8 de marzo de 1996.
- 5: del 3 de septiembre al 10 de octubre de 1996.
- 6: del 14 de noviembre al 4 de diciembre de 1996.

Contaminantes:

Ozono (O₃), bióxido de nitrógeno (NO₂), bióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y partículas respirables con diámetro aerodinámico menor a 10 µm (PM₁₀).

O₃0: concentración máxima de O₃ el día del estudio espirométrico.

O₃24: concentración máxima de O₃ 24 h previas al día del estudio espirométrico.

O₃48: concentración máxima de O₃ 48 h previas al día del estudio espirométrico.

O₃72: concentración máxima de O₃ 72 h previas al día del estudio espirométrico.

NO₂0: concentración máxima de NO₂ el día del estudio espirométrico.

NO₂24: concentración máxima de NO₂ 24 h previas al día del estudio espirométrico.

NO₂48: concentración máxima de NO₂ 48 h previas al día del estudio espirométrico.

NO₂72: concentración máxima de NO₂ 72 h previas al día del estudio espirométrico.

PM₁₀0: concentración máxima de PM₁₀ el día del estudio espirométrico.

PM₁₀24: concentración máxima de PM₁₀ 24 h previas al día del estudio espirométrico.

PM₁₀48: concentración máxima de PM₁₀ 48 h previas al día del estudio espirométrico.

PM₁₀72: concentración máxima de PM₁₀ 72 h previas al día del estudio espirométrico.

SO₂0: concentración máxima de SO₂ el día del estudio espirométrico.

SO₂24: concentración máxima de SO₂ 24 h previas al día del estudio espirométrico.

SO₂48: concentración máxima de SO₂ 48 h previas al día del estudio espirométrico.

SO₂72: concentración máxima de SO₂ 72 h previas al día del estudio espirométrico.

CO0: concentración máxima de CO el día del estudio espirométrico.

CO24: concentración máxima de CO 24 h previas al día del estudio espirométrico.

CO48: concentración máxima de CO 48 h previas al día del estudio espirométrico.

CO72: concentración máxima de CO 72 h previas al día del estudio espirométrico.

Norma mexicana vigente en 1995-1996: 0.110 partes por

millón (ppm) para el O₃, 0.21 ppm para el NO₂, 0.13 ppm para el SO₂, 13 ppm para el CO y 150 µg/m³ para las PM₁₀.

REFERENCIAS

- Spektor DM, Lippmann M, Lioy PJ, Thurston GD, Citak K, James DJ, *et al.* Effects of ambient ozone on respiratory function in active normal children. *Am Rev Respir Dis* 1988;137:313-20.
- Goren AL, Hellman S, Brenner S, Egoz N, Rishpon S. Prevalence of respiratory conditions among schoolchildren exposed to different levels of air pollutants in the Haifa Bay area, Israel. *Environ Health Perspect* 1990;89:225-31.
- Higgins IT, D'Arcy JB, Gibbons DI, Avol EL, Gross KB. Effects of exposure to ambient ozone on ventilatory lung function in children. *Am Rev Respir Dis* 1990;141(5):1136-46.
- Berry M, Lioy PJ, Gelperin K, Buckler G, Klotz J. Accumulated exposure to ozone and measurement of health effects in children and counselors at two summer camps. *Environ Res* 1991;54:135-50.
- Spektor DM, Hofmeister VA, Artaxo P, *et al.* Effects of heavy industrial pollution on respiratory function in the children of Cubatao, Brazil: A preliminary report. *Environ Health Perspect* 1991;94:51-54.
- Castillejos M, Gold DR, Dockery D, Tosteson T, Baum T, Speizer FE. Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in Mexico City schoolchildren. *Am Rev Respir Dis* 1992;145(2):276-82.
- Castillejos M, Gold DR, Damokosh AI, *et al.* Acute effects of ozone on the pulmonary function of exercising schoolchildren from Mexico City. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152(5):1501-7.
- Kinney PL, Thurston GD, Raizenne M. The effects of ambient ozone on lung function in children: A reanalysis of six summer camp studies. *Environ Health Perspect* 1996;104:170-4.
- Scarlett JF, Abbott KJ, Peacock JL, Strachan DP, Anderson HR. Acute effects of summer air pollution on respiratory function in primary schoolchildren in southern England. *Thorax* 1996;51(11):1109-14.
- Ulmer C, Kopp M, Lhorst G, Frischer T, Forster J, Kuehr J. Effects of ambient ozone exposure during the spring and summer of 1994 on pulmonary function of schoolchildren. *Pediatr Pulmonol* 1997;23(5):344-53.
- Dodge R, Solomon P, Moyers J, Hayes C. A longitudinal study of children exposed to sulfur oxides. *Am J Epidemiol* 1985;121(5):720-36.
- Raizenne ME, Burnett RT, Stern B, Franklin CA, Spengler JD. Acute lung function responses to ambient acid aerosol exposure in children. *Environ Health Perspect* 1989;79:179-85.
- Spektor DM, Thurston GD, Mao J, He D, Hayes C, Lippmann M. Effects of single- and multiday ozone exposures on respiratory function in active normal children. *Environ Res* 1991;55(2):107-22.
- Stern B, Raizenne ME, Burnett RT, Jones L, Karney J, Franklin CA. Air pollution and childhood respiratory health: Exposure to sulfate and ozone in 10 Canadian rural communities. *Environ Res* 1994;66:125-42.
- Studnicka MJ, Frischer T, Meinert R, *et al.* Acidic particles and lung function in children. A summer camp study in the Austrian Alps. *Am J Respir Crit Care Med* 1995;151(2):423-30.
- Linn WS, Shamoo DA, Anderson KR, *et al.* Short-term air pollution exposures and responses in Los Angeles area schoolchildren. *J Exp Anal Environ Epidemiol* 1996;6(4): 449-72.
- Muñoz BB. Índices de la contaminación ambiental. *Neumol Cir Torax* 1997;56:48-57.
- American Thoracic Society. Standardization of spirometry. *Respiratory Care* 1987;32:1039-60.
- Taussig LM, Chernick V, Wood R, Farrell P, Mellins RB. Standardization of lung function testing in children. *J Pediatrics* 1980;97(4):668-76.
- Johnson RA, Wichern DW. Canonical correlation analysis. In: *Applied multivariate statistical analysis*. USA: Prentice Hall, 1992:459-92.
- Gnanadesikan R. Development of multivariate dependencies. In: *Methods for statistical data analysis of multivariate observations*. USA: John Wiley & Sons, 1997:62-80.
- Bascom R, Bromberg PA, Costa D A, *et al.* Health effects of outdoor air pollution. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;153:3-50.
- Quanjer PH, Stocks J, Polgar G, Wise M, Karlberg J, Borsboom G. Compilation of reference values for lung function measurements in children. *Eur Respir J* 1989;2 (suppl 4):184s-261s.