

Evaluación de la calidad del aire interior y exterior en un jardín de niños de la Ciudad de México

Marlene Cortez-Lugo, Ing. Amb.,⁽¹⁾ Adriana Mercado-García, M.C., M.S.P.,⁽²⁾
Mauricio Hernández-Avila, M.C., Dr. Sc.,⁽²⁾ Fernando Meneses-González, M.C., M. Sc.,⁽²⁾
Eduardo Palazuelos-Rendón, M.C.⁽³⁾

Cortez-Lugo M, Mercado-García A, Hernández-Avila M, Meneses-González F, Palazuelos-Rendón E.
Evaluación de la calidad del aire interior y exterior en un jardín de niños de la Ciudad de México.
Salud Publica Mex 1998;40:415-420.

Cortez-Lugo M, Mercado-García A, Hernández-Avila M, Meneses-González F, Palazuelos-Rendón E.
Evaluation of indoor and outdoor air quality of a nursery school in Mexico City.
Salud Publica Mex 1998;40:415-420.

Resumen

Objetivo. Evaluar las diferencias en los niveles de ozono (O₃) y bióxido de nitrógeno (NO₂) en el interior y el exterior de una escuela en el suroeste de la Ciudad de México. **Material y métodos.** Se midieron diariamente estos contaminantes dentro y fuera del salón, de enero a abril de 1990, mediante monitoreo manual. **Resultados.** El NO₂ adentro y afuera no sobrepasó la norma mexicana (0.21 ppm). El coeficiente de correlación entre las concentraciones máximas de NO₂ de la estación de monitoreo local de la ciudad y el exterior del salón fue de 0.82 (p < 0.001). En relación con el O₃, la concentración máxima fuera del salón fue de 0.29 ppm, y adentro, de 0.17 ppm (se colocaron en promedio por debajo de 0.06 ppm); entre el interior y el exterior del salón hubo una correlación de 0.72 y se observó que, por cada 1.7 ppm en el exterior, hay 1.0 ppm en el interior (p < 0.05). **Conclusiones.** Las mayores concentraciones de O₃ en el exterior se presentaron entre las 11:00 y las 14:00 horas, por lo que se recomienda tener el descanso previamente a este horario.

Palabras clave: ozono; dióxido de nitrógeno; monitoreo del ambiente; exposición a riesgos ambientales

Abstract

Objective. To evaluate the differences between indoor and outdoor ozone (O₃) and nitrogen dioxide (NO₂) levels at a school located in southwest Mexico City. **Material and methods.** Indoor and outdoor O₃ and NO₂ levels were measured daily between January and April 1990 by manual monitoring. **Results.** Indoor and outdoor concentrations of nitrogen dioxide did not surpass the Mexican standard (0.21 ppm). The correlation coefficient between maximum NO₂ concentrations measured by the city's local monitoring station and those measured outside the classroom was 0.82 (p < 0.001). Regarding ozone, its maximum outdoor concentration was 0.29 ppm and indoor concentrations were on average below 0.06 ppm (maximum = 0.17 ppm). The indoor/outdoor correlation coefficient was 0.72, and for every 1.7 ppm outside, there was 1.0 ppm inside (p < 0.05). **Conclusions.** Since the highest outdoors O₃ concentrations were observed between 11:00 and 14:00 hrs, it is recommendable to have recess before this time.

Key words: ozone; nitrogen dioxide; environmental monitoring; environmental exposure

(1) Centro de Investigación en Salud Poblacional (CISP), Instituto Nacional de Salud Pública (INSP), México; American British Cowdray Hospital, México.

(2) CISP, INSP, México.

(3) Secretaría del Medio Ambiente, Departamento del Distrito Federal, México.

Fecha de recibido: 7 de noviembre de 1997 • Fecha de aprobado: 20 de mayo de 1998

Solicitud de sobretiros: Ing. Marlene Cortez Lugo. Artificios 32, colonia Las Américas, Deleg. Alvaro Obregón, 01120 México, D.F., México.

Los problemas derivados de la contaminación del aire, agua, suelo y alimentos son ampliamente conocidos en la actualidad. Una gran parte de esos problemas son el resultado del rápido proceso de desarrollo e industrialización propio de las grandes ciudades, no obstante que se han puesto en marcha programas paralelos de protección al ambiente y a la salud de las poblaciones.¹

El comportamiento fisicoquímico de los contaminantes desempeña un papel crucial en la contaminación atmosférica; las sustancias emitidas se dispersan en el aire, donde pueden interactuar químicamente con los componentes naturales de la atmósfera y con los materiales de la superficie.

La Ciudad de México, con 22 millones de residentes, está localizada a 2 240 msnm, de tal manera que su atmósfera sólo contiene 77% de oxígeno, en comparación con el que existe en las localidades situadas al nivel del mar.

Por otra parte, está rodeada por montañas de más de 3 000 m de altura, lo que limita la circulación del viento en un nivel superficial e incrementa la concentración de contaminantes; a ello se aúna la existencia de un clima subtropical, con una estación de lluvias de mayo a octubre y secas durante el resto del año. La altitud de la Ciudad de México contribuye a una ineficiente combustión de los vehículos de motor, lo que aumenta las emisiones de precursores de ozono.

Como resultado de las condiciones prevalecientes, en la Ciudad de México los niveles de distintos contaminantes han ido en aumento. Así, en el caso del ozono (O_3) las concentraciones máximas han rebasado la norma (0.11 ppm por hora) en más de 300% y se han mantenido por arriba de ésta, durante varias horas al día, en los últimos cinco años.^{2,3}

Se han realizado evaluaciones de impacto en la salud de residentes de la Ciudad de México^{4,5} por la exposición al ambiente exterior con diversos niveles de ozono.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar las diferencias en las concentraciones de O_3 y bióxido de nitrógeno (NO_2) en interiores y exteriores de una escuela localizada en la zona suroeste de la Ciudad de México a través de una medición microambiental.

Una de las limitantes en la generación de modelos de exposición ambiental, en particular de O_3 , es la medición de exposición intramuros y extramuros.

La evaluación de las diferentes concentraciones de O_3 y sus precursores, tanto en interiores como en exteriores, se ha documentado en otras ciudades, no así para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Material y métodos

Esta investigación se llevó a cabo en una escuela ubicada en la zona suroeste de la Ciudad de México, y forma parte de un estudio para evaluar los efectos sobre la salud por la exposición a ozono.⁴ Se realizaron mediciones diarias de O_3 tanto en el interior como en el exterior del salón de clases de un jardín de niños, de enero a abril de 1990, de lunes a viernes exceptuando los días festivos.

El periodo de muestreo fue de cinco horas, dentro del horario de clases. El análisis se complementó con el procesamiento de datos de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), Estación Pedregal, que es la más cercana a la escuela.

La determinación de las concentraciones de O_3 en el interior y el exterior del salón de clases se realizó con el método de yoduro de potasio neutro, cuyo principio es la absorción del ozono en una solución de yoduro de potasio neutro para su posterior análisis espectrofotométrico.⁶

La medición de bióxido de nitrógeno en el interior y el exterior del salón de clases se realizó conforme al método modificado de Christie,⁷ que consiste en la absorción del bióxido de nitrógeno en una solución de arsenito de sodio/hidróxido de sodio, formando nitrito de sodio; la concentración de nitrito se mide colorimétricamente, previa adición de una solución de sulfanilamida/ácido fosfórico y clorhidrato de Tn-(1-naftil)-etildiamina.

Para comparar las mediciones del exterior, tanto de O_3 como de NO_2 , se obtuvieron las concentraciones de estos contaminantes de la Estación Pedregal de la RAMA; los analizadores que se utilizaron fueron: equipo Beckman, modelo 952A $NO/NO_2/NO_x$ Analyzer y equipo Thermo Electron Co., modelo 49 U.V. Photometric O_3 Analyzer. El analizador de NO_2 utiliza el método de detección de quimioluminiscencia, y el analizador de O_3 utiliza el método de fotometría de luz ultravioleta.

Las concentraciones de NO_2 y O_3 , determinadas por métodos analíticos, fueron previamente normalizadas con los analizadores automáticos respectivos, a fin de establecer una función que describiera los resultados del método analítico en relación con las lecturas del equipo automático.

El paso inicial consistió en la ejecución de muestreos simultáneos, induciendo una muestra de aire ambiente, tomada en un punto común hacia ambos sistemas (analítico y automático), garantizando así que tuviera la misma composición.

Para el caso del O_3 , estas muestras se tomaron durante periodos de 10 minutos hasta contar con, al

menos, cinco mediciones para garantizar la validez estadística de la comparación. En el caso del NO_2 los periodos de muestreo fueron de una hora. Las muestras obtenidas por los métodos manuales se analizaron mediante las técnicas analíticas correspondientes, y las concentraciones resultantes se relacionaron con las concentraciones promedio de las lecturas que registraron los analizadores automáticos durante los periodos respectivos.

Los resultados de los muestreos entre los analizadores automáticos y los métodos manuales fueron sometidos a un análisis de regresión lineal simple, donde: la variable dependiente fue la concentración determinada con el método manual (CM); la variable independiente, la concentración obtenida con el analizador automático (CA); el α , el intercepto, y el coeficiente β , la unidad de cambio en la variable dependiente por cada cambio unitario en la variable independiente. Así, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$\text{CM} = \alpha + \beta \text{CA}$$

Se compararon las concentraciones promedio horarias y las concentraciones máximas de ozono en 24 horas, así como las concentraciones promedio horarias de NO_2 del interior y exterior del salón de clases, y entre el exterior del salón de clases y la RAMA Estación Pedregal. Asimismo, se hizo un análisis comparativo entre las mediciones máximas por día de O_3 del interior y exterior de la escuela, y entre el exterior de la escuela y la Estación Pedregal.

De este modo, se observó el comportamiento diario de las concentraciones máximas de ambos contaminantes.

Se analizaron los datos de O_3 y NO_2 para obtener el coeficiente de correlación entre el interior y el exterior del salón de clases, y entre la estación de la RAMA y el exterior del salón de clases. Por último, se obtuvo un análisis de regresión lineal entre las concentraciones de O_3 del interior y el exterior del sitio de estudio para establecer la asociación que existe entre ellos.

Resultados

Bióxido de nitrógeno

El intercepto y el coeficiente obtenidos mediante el análisis de regresión lineal simple, que se utilizaron para la normalización de los datos resultantes del método manual para el NO_2 , fueron: $\alpha = 0.016$ y $\beta = 0.59$; el modelo ajustó de manera adecuada ($r = 0.84$)

Durante el periodo de estudio las concentraciones máximas de NO_2 entre el interior y el exterior del

salón de clases mostraron un comportamiento similar, aunque en el interior las concentraciones fueron menores; la medición máxima se registró entre las 11:00 y las 12:00 horas, con 0.125 ppm en el interior y 0.147 ppm en el exterior.

Las concentraciones máximas registradas en la estación de la RAMA y el exterior de la escuela rebasaron la norma entre las 9:00 y las 11:00 horas (0.148 ppm).

Las concentraciones promedio del comportamiento horario de NO_2 aumentaron entre las 9:00 y las 10:00 horas, llegando a su pico máximo (0.07 ppm) entre las 10:00 y las 11:00 horas, para descender posteriormente. Las concentraciones promedio en el exterior son mayores que en el interior y mantuvieron el mismo comportamiento.

Se observó que las concentraciones promedio de NO_2 registradas en la estación de la RAMA y el exterior de la escuela, tuvieron niveles similares. Las concentraciones promedio de NO_2 obtenidas de la estación de la RAMA no rebasaron la norma (0.21 ppm promedio horario) (figura 1).

Se encontró un mejor coeficiente de correlación ($r = 0.82$; $p < 0.001$) entre los niveles máximos de NO_2 , de la estación de la RAMA y el exterior del salón de clases, en comparación con los niveles promedio ($r = 0.42$; $p < 0.001$); ambos fueron altamente significativos.

Ozono

El intercepto y el coeficiente obtenidos mediante el análisis de regresión lineal simple, que se utilizaron para la normalización de los datos resultantes del método manual para O_3 , fueron: $\alpha = 0.02$ y $\beta = 1.48$; si-

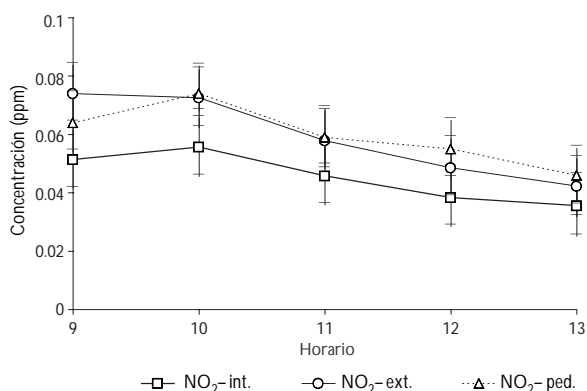


FIGURA 1. BIÓXIDO DE NITRÓGENO: CONCENTRACIONES PROMEDIO HORARIAS EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL SALÓN DE CLASES Y EN LA ESTACIÓN PEDREGAL. MÉXICO, ENERO-ABRIL, 1990

milarmenre, el modelo ajustó de manera adecuada ($r=0.98$).

Las concentraciones máximas de O_3 sobrepasaron la norma (0.11 ppm promedio horario) durante el periodo de muestreo, tanto en el interior como en el exterior del lugar de estudio.

Se detectó una mayor concentración entre las 12:00 y las 14:00 horas, y se registró una concentración máxima de 0.17 ppm en el interior y de 0.29 ppm en el exterior. Las concentraciones fueron más altas en el exterior que en el interior a lo largo del periodo de estudio.

El comportamiento de las concentraciones promedio de O_3 registradas en el exterior del salón de clases sobrepasaron la norma después de las 10:00 horas, y las cifras más altas se presentaron entre las 12:00 y las 13:00 horas; las concentraciones en el interior no rebasaron la norma.

El comportamiento entre las concentraciones promedio del interior y el exterior fue similar.

Las concentraciones promedio de O_3 registradas en la Estación Pedregal y en el exterior del lugar de estudio tuvieron una correlación muy alta; los niveles sobrepasaron la norma entre las 11:00 y las 14:00 horas. Las concentraciones máximas diarias en el exterior del salón de clases y la Estación Pedregal mantuvieron niveles muy similares durante todo el periodo de estudio (figura 2).

Al comparar los niveles máximos de O_3 y de NO_2 se observa que el primero tiende a aumentar a medida que el segundo disminuye, debido a que el NO_2 es un precursor del O_3 (figura 3).

El coeficiente de correlación entre las mediciones máximas de O_3 en el exterior del salón de clases y la

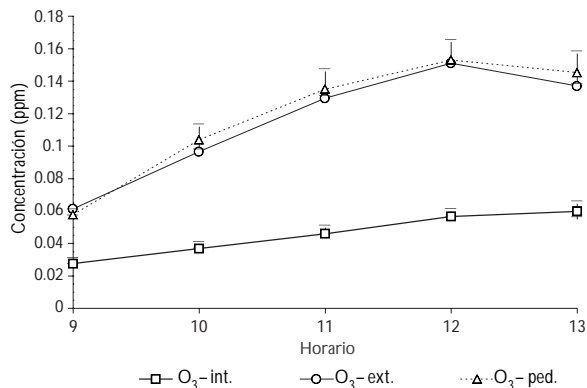


FIGURA 2. OZONO: CONCENTRACIONES PROMEDIO HORARIAS EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL SALÓN DE CLASES Y EN LA ESTACIÓN PEDREGAL. MÉXICO, ENERO-ABRIL, 1990

Estación Pedregal fue altamente significativo ($r=0.97$, $p<0.001$), al igual que la correlación entre las mediciones promedio de O_3 del exterior del salón de clases y la Estación Pedregal ($r=0.99$, $p<0.001$).

La correlación entre las concentraciones de O_3 en el interior y el exterior del salón de clases fue significativa ($r=0.72$, $p<0.001$) con una β de 0.043, mostrando una ligera sobrestimación de las mediciones en el exterior del salón de clases. Se observó una dispersión de los datos en la medida en que los niveles de O_3 eran mayores (figura 4).

Al analizar las concentraciones de O_3 máximas, mínimas y promedio horario en el interior del salón

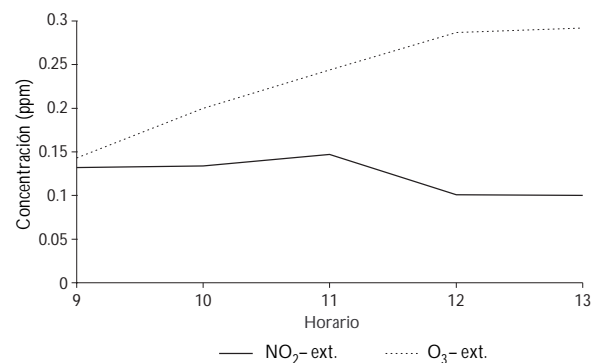


FIGURA 3. CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE OZONO Y BIÓXIDO DE NITRÓGENO EN EL EXTERIOR DEL SALÓN DE CLASES. MÉXICO, ENERO-ABRIL, 1990

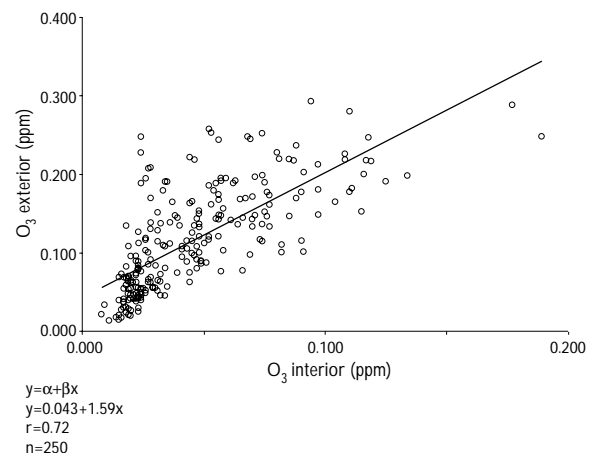


FIGURA 4. COMPORTAMIENTO DEL OZONO EN EL INTERIOR Y EXTERIOR DEL SALÓN DE CLASES. MÉXICO, ENERO-ABRIL, 1990

de clases, se observó que los niveles promedio se mantuvieron por debajo de la norma durante el horario de estudio, y sólo la rebasaron los niveles máximos entre las 12:00 y las 14:00 horas.

En el exterior se observó un paulatino incremento de los niveles de O_3 durante el horario de estudio, que rebasó la norma entre las 11:00 y las 14:00 horas, mientras que las concentraciones máximas se mantuvieron por arriba de la misma.

La razón interior/exterior del O_3 fue mayor entre las 9:00 y las 10:00 horas y disminuyó progresivamente (figura 5).

En la regresión lineal entre el interior y el exterior se observó que existe una asociación entre ambas mediciones; es decir, por cada 1.7 ppm en el exterior hay 1.0 ppm en el interior, lo cual es estadísticamente significativo.

Discusión

A pesar de que ha transcurrido bastante tiempo desde que se llevó a cabo esta investigación, cabe destacar que el comportamiento del O_3 y del NO_2 notificado ha sido similar durante los últimos años, de tal manera que los resultados encontrados en este estudio no distan mucho de lo que se ha encontrado en trabajos más recientes. Por otro lado, existen pocos estudios realizados en escuelas que demuestren la relación interior/exterior de las concentraciones de O_3 .

El resultado de la razón interior/exterior del O_3 indica que los niveles son más bajos en el interior que en el exterior del salón de clases, por lo que es recomendable permanecer en el interior el mayor tiempo posible, de modo que se reduzca el riesgo de exponerse a altas concentraciones del contaminante.

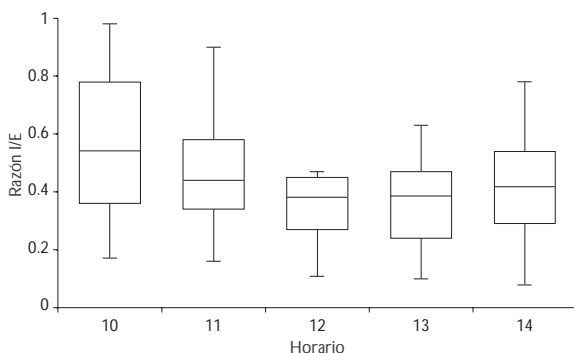


FIGURA 5. COMPORTAMIENTO DE LA RAZÓN INTERIOR/EXTERIOR DEL OZONO EN EL SALÓN DE CLASES. MÉXICO, ENERO-ABRIL, 1990

Como se mencionó ya, las concentraciones más altas de O_3 en el exterior durante el periodo de estudio se presentaron entre las 11:00 y las 14:00 horas, excediendo la norma. Esa condición representa un riesgo para la salud de la población expuesta, ya que durante ese intervalo se ubica el receso de los prescolares, por lo que sería recomendable que el descanso fuera previo a este horario.

Se observó que en los muestreos realizados en el interior del salón de clases, cuando la puerta o las ventanas permanecían abiertas, las concentraciones de ozono se elevaban. Por lo tanto, es conveniente que las ventanas y puertas se mantengan cerradas al menos durante las horas en que las concentraciones de O_3 están por arriba de la norma.

Las concentraciones de O_3 en interiores pueden haberse modificado por la presencia de elementos a los cuales dicho contaminante es sumamente reactivo, como materiales plásticos, metales y telas, de tal manera que se han obtenido datos más reproducibles usando colectores de muestreos fabricados exclusivamente con teflón o con vidrio.⁸

Para reducir los efectos nocivos a la salud asociados con las altas concentraciones de O_3 , debe evitarse en lo posible salir a exteriores cuando se presentan situaciones de contingencia. Por lo anterior, es importante evitar hacer ejercicio al aire libre durante las horas en que dichas concentraciones son mayores.

Es conveniente realizar estudios para evaluar tiempos más prolongados de exposición a estos contaminantes del aire intra y extramuros y realizar mediciones que indiquen una relación más certera entre las concentraciones de los contaminantes y sus posibles efectos sobre la salud.

Los estudios epidemiológicos enfocados a la depuración ambiental por contaminantes del aire son sumamente importantes como indicadores de riesgo para las poblaciones sujetas a la contaminación, así como auxiliares para prevenir su exposición y consecuencias pero, sobre todo, para establecer las normas de calidad de aire que correspondan a las características propias de cada país. Lo anterior facilitaría la planeación y la toma de decisiones para el diseño de estrategias y actividades dirigidas a proteger la salud y a controlar las fuentes de contaminación.

Referencias

1. Romieu I, Weitzenfeld H, Finkelman J. Urban air pollution in Latin America and the Caribbean. *J Air Waste Manage Assoc* 1991;41:1166-1171.
2. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. La contaminación atmosférica en la Ciudad de México. Boletín Informativo del DDF 1988.

3. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Reporte anual sobre la calidad del aire en la Ciudad de México. Boletín Informativo del DDF 1991.
4. Romieu I, Cortez-Lugo M, Ruiz-Velasco S, Sánchez S, Meneses F, Hernández M. Air pollution and school absenteeism among children in Mexico City. *Am J Epidemiol* 1992;136(12):1524-1531.
5. Castillejos M, Gold D, Dockery D, Tosteson T, Baum T, Speizer PE. Effects of ambient ozone on respiratory function and symptoms in school children in Mexico City. *Am Rev Resp Dis* 1992;145:276-282.
6. Método equivalente para la determinación de ozono en la atmósfera No. P&CAM 154. Método de yoduro de potasio neutro. Métodos de laboratorio para la determinación de contaminantes atmosféricos. México, D.F.: UAM-Azcapotzalco, 1984:87-94.
7. Método equivalente para la determinación de bióxido de nitrógeno en la atmósfera. EPA. Método del arsenito de sodio, modificación de la técnica de Chirstie. Métodos de laboratorio para la determinación de contaminantes atmosféricos. México, D.F.: UAM-Azcapotzalco, 1984:41-46.
8. Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Oxidantes Fotoquímicos. México, D.F.: OPS-OMS, Criterios de Salud Ambiental, núm. 7, 1980:1-83.