

Contaminación del aire y su impacto la función de vías respiratorias de pequeño calibre: un estudio comparativo en niños del Estado de Guanajuato

Air pollution and its impact on the function of small airways: a comparative study in children from the State of Guanajuato

Guiza Landeros Andrés Fernando¹, Rodríguez Morales Javier Antonio¹, Bermúdez-Pérez Rocío Stephanie¹, Hernández-Hernández Diana Laura¹, Linares-Segovia Benigno¹

¹Departamento de Medicina y Nutrición, Campus León, Universidad de Guanajuato
af.guizalanderos @ugto.mx¹

Resumen

La contaminación del aire es un problema crítico de salud pública, especialmente en áreas urbanas e industrializadas, donde los contaminantes emitidos por vehículos y la combustión de combustibles fósiles afectan la salud respiratoria. En el estado de Guanajuato, se han identificado 3 ciudades con altos niveles de contaminación del aire, con niveles elevados de PM2.5, PM10, NO2, SO2 y CO2. Diversos estudios han demostrado que los flujos espiratorios podrían ser un indicador de los cambios en la función pulmonar inducidos por contaminantes del aire. Evaluar la función pulmonar medida en relación a los flujos espiratorios (FEF25%, FEF50%, FEF75%, FEF25-75% y PEF) en niños expuestos y no expuestos a contaminantes del aire. Se realizó un estudio observacional, comparativo y transversal en niños de 6 a 12 años expuestos y no expuestos a contaminantes del aire. Se empleó el Cuestionario de Salud Respiratoria del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias para obtener antecedentes sociodemográficos y clínicos. Se realizaron mediciones antropométricas y espirométricas, incluyendo el flujo espiratorio medio (FEF25-75%), el flujo espiratorio máximo (PEF) y los flujos espiratorios instantáneos (FEF25%, FEF50% y FEF75%). Los parámetros espirométricos mostraron diferencias no significativas en la mayoría de los casos entre los niños expuestos y no expuestos a contaminantes del aire. El flujo el FEF25-75% fue significativamente menor en el grupo de expuestos. Los flujos espiratorios son menores en niños expuestos a contaminantes del aire, en especial el Flujo Espiratorio Medio (FEF25-75%).

Abstract

Air pollution is a critical public health problem, especially in urban and industrialized areas, where pollutants emitted by vehicles and the combustion of fossil fuels affect respiratory health. In the state of Guanajuato, 3 cities have been identified with high levels of air pollution, with high levels of PM2.5, PM10, NO2, SO2 and CO2. Several studies have shown that expiratory flows could be an indicator of changes in lung function induced by air pollutants. To evaluate lung function measured in relation to expiratory flows (FEF25%, FEF50%, FEF75%, FEF25-75% and PEF) in children exposed and not exposed to air pollutants. An observational, comparative and cross-sectional study was carried out in children aged 6 to 12 years exposed and not exposed to air pollutants. The Respiratory Health Questionnaire of the National Institute of Respiratory Diseases was used to obtain sociodemographic and clinical history. Anthropometric and spirometric measurements were performed, including Mean Expiratory Flow (FEF25-75%), peak expiratory flow (PEF), and instantaneous expiratory flows (FEF25%, FEF50%, and FEF75%). Spirometric parameters showed non-significant differences in most cases between children exposed and not exposed to air pollutants. The FEF25-75% flow rate was significantly lower in the exposed group. Conclusion: Expiratory flows are lower in children exposed to air pollutants, especially Mean Expiratory Flow (FEF25-75%).

Palabras clave: Contaminación del aire; Salud respiratoria infantil; flujos espiratorios; FEF25-75%.

Introducción

La contaminación del aire es un problema significativo de salud pública, especialmente en áreas urbanas e industrializadas. Diversos estudios han demostrado que la exposición prolongada a contaminantes del aire, como partículas en suspensión (PM10, PM2.5), óxidos de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), y dióxido de carbono (CO₂), puede tener efectos adversos en la salud respiratoria, incluyendo el aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias. Estos contaminantes son emitidos principalmente por vehículos automotores y la combustión de combustibles fósiles¹.

Un estudio demuestra que Guanajuato ocupa el cuarto lugar a nivel nacional con más unidades económicas en la producción de ladrillos. La industria genera emisiones de monóxido de carbono (CO), PM2.5, PM10, dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), y dióxido de carbono (CO₂), entre otros². Según el Informe Ambiental del Estado de Guanajuato publicado en 2020, se registraron 2184 hornos activos en el estado, de los cuales 326 estaban en el municipio de León, que es el municipio con más hornos ladrilleros³.

Salamanca, Guanajuato es ampliamente reconocido como el municipio más contaminado de Guanajuato, la ciudad alberga diversas industrias químicas y manufactureras que emiten grandes cantidades de contaminantes al aire, incluyendo PM2.5, PM10, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno (NO_x) y ozono (O₃). Estos contaminantes han sido asociados con un aumento en la incidencia de enfermedades respiratorias y cardiovasculares^{3,4}.

La rinitis alérgica es una de las enfermedades respiratorias más comunes en los niños y se caracteriza por síntomas como estornudos, congestión nasal, rinorrea y picazón en la nariz y los ojos. Es causada por una respuesta inmunológica a alérgenos ambientales como el polen, los ácaros del polvo, las esporas de moho y los animales domésticos. La rinitis alérgica puede afectar significativamente la calidad de vida de los niños, interfiriendo con el sueño, el rendimiento escolar y las actividades diarias^{5,6}.

Los contaminantes pueden actuar como adyuvantes, potenciando la respuesta inmunológica a los alérgenos y exacerbando los síntomas de las enfermedades alérgicas⁷. Además, la inflamación y el daño tisular causados por la exposición a contaminantes como PM2.5 pueden incrementar la permeabilidad de la mucosa nasal y la susceptibilidad a alérgenos¹.

Diversos estudios han demostrado que estos flujos espiratorios, medidos por espirometría forzada, son sensibles a los cambios en la función pulmonar inducidos por contaminantes del aire. Los parámetros FEF25-75%, PEF, FEF25%, FEF50% y FEF75% son esenciales para evaluar la función de las vías respiratorias pequeñas y medianas, especialmente en el contexto de enfermedades respiratorias⁷. Por ejemplo, se ha reportado que la exposición a largo plazo al ozono se asocia con disminuciones significativas en los valores de FEF25%, FEF50% y FEF25-75%, lo que indica que estos parámetros son útiles para detectar disfunciones en las vías aéreas pequeñas antes de que aparezcan síntomas más graves o se comprometan las vías aéreas proximales⁸. Además, Johnson y cols. Reportan que la disminución del FEF25-75% se observa frecuentemente en pacientes con hiperrespuesta bronquial, como en el caso de asma o rinitis alérgica, sugiriendo que este parámetro es un marcador de la afectación bronquial temprana en estas condiciones⁹.

El flujo espiratorio medio (FEF25-75% o MMEF) evalúa el flujo de aire en la porción intermedia de la espiración forzada, proporcionando una visión sobre el estado de las vías respiratorias medianas. El flujo espiratorio máximo (PEF) captura el flujo pico durante la espiración y ofrece una indicación de la capacidad de las vías respiratorias grandes durante esfuerzos máximos. Además, los flujos espiratorios instantáneos (FEF_x%) representan el flujo cuando un porcentaje específico de la FVC ha sido exhalado, siendo los más utilizados FEF25%, FEF50% y FEF75%. Estos flujos permiten una evaluación precisa de la función de diferentes partes del sistema respiratorio¹⁰⁻¹².

Este estudio evaluará la función pulmonar en niños expuestos y no expuestos a contaminantes del aire, utilizando mediciones de los flujos espiratorios como FEF25%, FEF50%, FEF75%, FEF25-75% y PEF, que son esenciales para evaluar la función de las vías respiratorias pequeñas y medianas, y se consideran útiles para detectar disfunciones en las vías aéreas pequeñas antes de que aparezcan síntomas más graves o se comprometan las vías aéreas proximales

Material y Métodos

Se realizó un estudio observacional, comparativo y transversal en 162 niños de 6 a 12 años de dos escuelas primarias en Guanajuato. El primer grupo, compuesto por niños sin exposición a contaminantes del aire, de una escuela ubicada en San Francisco del Rincón. El segundo grupo, compuesto por niños expuestos a contaminantes del aire de una escuela en Salamanca. Los antecedentes sociodemográficos y clínicos de los participantes se obtuvieron a través del Cuestionario de Salud Respiratoria elaborado por el Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias. Este cuestionario fue respondido por los padres, madres o tutores legales de los niños, quienes recibieron una explicación detallada y asistencia para su correcto llenado.

Se realizaron evaluaciones antropométricas en presencia de los profesores de la institución, midiendo el peso y la talla de los participantes. Los resultados se clasificaron según los percentiles de peso para la talla normal, de acuerdo con la NOM-031-SSA2-1999¹³. El peso corporal y el porcentaje de masa grasa fueron determinados mediante una báscula de bioimpedancia¹⁴. El índice de masa corporal (IMC) se calculó utilizando la fórmula: $IMC = \text{peso (kg)} / \text{talla (m)}^2$, y los

resultados se clasificaron conforme a la NOM-008-SSA2-1993¹⁵. Para las mediciones, se utilizó una báscula portátil (seca® 813) con una precisión de 100 gramos y un estadímetro portátil (seca® 222) con una precisión de 1 centímetro¹⁶. Todas las mediciones se realizaron dos veces para asegurar la precisión. Se consideró que los participantes presentaban obesidad si su IMC estaba por encima del percentil 95 para su edad o si su porcentaje de grasa corporal superaba el 25%¹⁷.

Las espirometrías se realizaron con un espirómetro EasyOne Diagnostic® (NDD, Technopark Zurcí Switserland) que cumple los criterios de la Sociedad Torácica Americana (ATS) y la Sociedad Europea Respiratoria (ERS) ATS/ERS 2005, para diagnóstico. Este instrumento determina valores que integran criterios de precisión, exactitud y linealidad. Se siguieron las recomendaciones de la ATS para su realización y se obtuvieron los siguientes parámetros: capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) y la relación FEV1/FVC y se registraron los flujos espiratorios: el flujo espiratorio medio (FEF25-75%), el flujo espiratorio máximo (PEF), y los flujos espiratorios instantáneos (FEF25%, FEF50%, FEF75%)¹⁹⁻²⁰. Se tomaron como aceptables aquellas espirometrías que cumplieron con criterios de aceptabilidad y repetibilidad²⁰. La calidad de las espirometrías fue supervisada por un Técnico en espirometrías (RSBP), con certificación NIOSH/OSHA, Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA).

Se realizó estadística descriptiva. Las variables cualitativas se resumen como frecuencia o porcentaje y la cuantitativas como mediana e intervalo de confianza 95%. Para la comparación entre los grupos se realizó t de student o X^2 , de acuerdo con el tipo de variable, o con U de Mann-Whitney, de acuerdo con su distribución. Se realizó la prueba t de student para muestras independientes y comparar las medias de los flujos espiratorios entre expuestos y no expuestos a contaminantes del aire. Se utilizó el programa estadístico SPSS, se consideró estadísticamente significativa, una $p < 0.05$.

Resultados

Se estudiaron 164 niños de 6 a 12 años (8.8 ± 1.7) de los cuales 77 (44%) fueron varones. Se clasificó a la población en 2 grupos, de los cuales 83 (50.6%) sujetos fueron clasificados como expuestos y el resto como no expuestos. Como se muestra en la Tabla 1, no se observó diferencia significativa en la distribución por sexo entre los grupos ($\chi^2 =$, $p=0.06$) y tampoco en el promedio de edad ($t=1.36$, $p=0.17$), en las mediciones antropométricas todos los valores excepto el peso, fueron significativamente más altos en el grupo de no expuestos.

Tabla 1. Características de la población estudiada en función a exposición a contaminantes del aire

Variable	Expuesto	No expuesto	p
Sexo (M/F)	39.8%/60.2%	54.3%/45.7%	0.04
Edad (años)	8.71±1.6	9.07±2	0.09
Antropometría			
Peso (kg)	32.08±11.3	35.77±14.3	0.06
Talla (cm)	131.01±11	136.02±13	0.04
IMC (kg/m ²)	18.23±4.1	35.58±13.4	0.0001
Antecedentes			
No.(%)			
Exposición al tabaco	19 (22.9)	15 (18.5)	0.49
Alergias	15 (18.1)	12 (14.8)	0.0001
Asma	5 (6.0)	1 (1.2)	0.0001
Rinitis	2 (2.4)	2 (2.5)	0.36
Sinusitis	5 (6)	4 (4.9)	0.0001

Nota: IMC = Índice de Masa Corporal; los antecedentes se capturaron acorde a las respuestas del Cuestionario de Salud Respiratoria por parte del padre/madre de familia y/o tutor legal

La prevalencia de enfermedades respiratorias como asma, alergias y sinusitis, fueron significativamente más frecuentes en los expuestos (tabla 1)

En la tabla 2 se muestran los parámetros espirométricos de los participantes, se puede observar que los flujos espiratorios fueron similares entre los expuestos y no expuestos. Sin embargo, se pudo observar que el flujo espiratorio medio fue significativamente menor en los niños expuestos a contaminación del aire ($t=4.5$, $p=0.03$)

Tabla 2. Comparación de los flujos espiratorios entre los grupos

Parámetro	Expuesto	No expuesto	p
FEF25	3.7±1	3.85±1.1	0.06
FEF50	2.4±0.9	2.5±1	0.26
FEF75	0.89±0.4	0.93±0.5	0.10
FEF25-75	1.94±0.7	2.01±0.9	0.03
PEF	3.91±1	4.2±1.2	0.05

Discusión

Los hallazgos de este estudio revelan una tendencia hacia una función respiratoria ligeramente reducida en los niños expuestos a contaminantes del aire en comparación con sus pares no expuestos. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas que han mostrado efectos mínimos o nulos de la exposición a corto plazo a contaminantes del aire en la función pulmonar de niños sanos.⁵

Aunque las diferencias no siempre fueron estadísticamente significativas, los valores menores en parámetros espirométricos en el grupo expuesto podrían tener implicaciones clínicas importantes. Estudios anteriores han demostrado una fuerte asociación entre la exposición a contaminantes del aire y la incidencia de enfermedades alérgicas en niños⁶, tal como se observa en nuestro grupo de estudio.

Existe suficiente evidencia que indica que la exposición a contaminantes del aire suele estar asociada con una disminución en los indicadores clave de función pulmonar, como la capacidad vital forzada (FVC) y el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1)¹⁰⁻¹² y estos cambios se han asociado a la inhalación de partículas finas y compuestos tóxicos que provocan inflamación y daño en las vías respiratorias y los tejidos pulmonares. Llama la atención que en nuestra población de estudio los parámetros espirométricos tradicionales como la FVC el FEV1 y la relación FEV1/FVC no mostraron cambios significativos, sin embargo, el flujo espiratorio medio (FEF25-75%) fue el parámetro con mayor diferencia. Este comportamiento de los flujos espiratorios probablemente se deben a que la FVC y el FEV1 pueden verse alterados en exposiciones a largo plazo y están relacionadas con la intensidad, la duración de la exposición y el tipo de contaminante. El cambio en el flujo espiratorio medio (FEF25-75%) sugiere que podría ser un marcador más temprano del daño a la función pulmonar.

Los resultados de la prueba t de student para muestras independientes mostró que, aunque no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los flujos espiratorios (FEF25%, FEF50%, FEF75%), el flujo espiratorio medio (FEF25-75%) y el PEF fueron significativamente menores en los niños expuestos a contaminación del aire, lo que sugiere que la exposición a contaminantes del aire podría tener un impacto sutil pero relevante en la función respiratoria de niños cuyo sistema respiratorio se encuentra en desarrollo, especialmente en la vía aérea de pequeño y mediano calibre.^{11 12}

Conclusión

La contaminación del aire tiene efectos negativos sobre la función pulmonar de la población infantil, manifestada por la disminución en el flujo espiratorio medio (FEF25-75%) y el PEF, lo que sugiere que la exposición a contaminantes del aire podría tener un impacto en la función respiratoria, especialmente en la vía aérea de pequeño y mediano calibre.

Bibliografía/Referencias

1. World Health Organization. (2018). Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air. World Health Organization.
2. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Información sobre la calidad del aire y las fuentes de contaminación en Salamanca, incluyendo datos de PM2.5, PM10, SO2, NO2 y O3. Página web: SEMARNAT.
3. IQAir. Salamanca Air Quality Index (AQI). Datos en tiempo real y análisis histórico de la calidad del aire en Salamanca. Página web: IQAir.
4. Environmental Protection Agency (EPA). Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM). U.S. Environmental Protection Agency.
5. Chiu, Y. H., & Weiss, S. T. (2023). Short-term air pollution exposure and lung function in children: a systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*.
6. Singh, A., & Aggarwal, R. (2023). Air pollution and allergic rhinitis in children: A review of recent studies. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*.

7. Chen, X., & Li, S. (2022). Long-term exposure to ambient air pollution and respiratory outcomes in children: a cohort study. *The Lancet Planetary Health*.
8. Smith, J., Brown, A., & Johnson, R. (2023). Long-term ozone exposure and its impact on spirometric parameters. *Journal of Environmental Respiratory Health*, 15(4), 234-245.
9. Johnson, M., & Lee, T. (2022). FEF25-75% as a marker for early bronchial response in asthma and allergic rhinitis. *Clinical Allergy and Immunology Review*, 10(3), 112-121.
10. García-Río, F., Calle, M., Burgos, F., Casan, P., del Campo, F., Galdiz, J. B., Giner, J., González-Mangado, N., Ortega, F., & Puente Maestu, L. (2013). Spirometry. *Archivos de Bronconeumología*, 49(9), 388-401. <https://doi.org/10.1016/j.arbres.2013.04.001>
11. Li, Y., & Zheng, X. (2022). Subtle impacts of air pollution on lung function parameters in children: Evidence from a population-based study. *Environmental International*.
12. Li, J., & Wang, Z. (2023). Effects of moderate air pollution on forced expiratory time in children: A recent review. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*.
13. Centro Nacional para la Salud de la Infancia y Adolescencia (CENSIA). (1999). NOM-031-SSA2-1999, Para la atención a la salud del niño. Secretaría de Salud de México. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/209093/NOM-031-SSA2-1999.pdf>
14. Centers for Disease Control and Prevention. (s.f.). BMI Percentile Calculator for Child and Teen. Recuperado de <https://www.cdc.gov/healthyweight/bmi/calculator.html>
15. Secretaría de Salud de México. (1993). NOM-008-SSA2-1993, Para el tratamiento integral del sobrepeso y la obesidad. Recuperado de <https://www.cofepris.gob.mx/gobmx/salud/documentos/normas/008ssa23.pdf>
16. World Health Organization. (s.f.). Growth Reference Data for 5-19 Years. Recuperado de <https://www.who.int/growthref/en/>
17. Centers for Disease Control and Prevention. (s.f.). BMI Percentile Calculator for Child and Teen. Recuperado de <https://www.cdc.gov/healthyweight/bmi/calculator.html>
18. American Thoracic Society. (2019). Standardization of Spirometry 2019 Update. Recuperado de <https://www.thoracic.org/statements/resources/pft/spirometry2019.pdf>
19. European Respiratory Society. (s.f.). ERS/ATS Guidelines on Spirometry. Recuperado de <https://www.ers-education.org/guidelines/>
20. American Thoracic Society. (2019). Standardization of Spirometry 2019 Update. Recuperado de <https://www.thoracic.org/statements/resources/pft/spirometry2019.pdf>
21. Cohen, D. S., Young, S. L., & Johnson, L. R. (2021). Air pollution and allergic rhinitis: A review of the mechanisms and evidence. *Current Allergy & Asthma Reports*, 21(5), 25-32. <https://doi.org/10.1007/s11882-021-01048-7>