VOLUMEN 48
XXXI Verano De la Ciencia
ISSN 2395-9797
www.jovenesenlaciencia.ugto.mx

Parámetros cardiopulmonares en adolescentes expuestos a la contaminación por producción artesanal de ladrillo

Cardiopulmonary parameters in adolescents exposed to pollution from artisanal brick production

Adriana Sofía Cuaya Sierra[1] Rocio Stephanie Bermúdez Pérez[2], Lucy Vania Galindo Pacheco [3], Juliana Valentina González Jacinto [4] Alejandro Hernández González[5], Miriam Natalia Martínez Gomez[6], Benigno Linares Segovia [7].
[1] Departamento de Enfermería y Obstetricia, Campus Celaya-Salvatierra,
[2] Departamento de Medicina y Nutrición, Campus León, Universidad de Guanajuato.
as.cuayasierra@ugto.mx

Resumen

Introducción. La producción artesanal de ladrillo emplea tecnologías de combustión ineficientes que liberan material particulado fino (PM2.5, PM10), gases de combustión y metales pesados, con niveles que en comunidades de Puebla, Jalisco y Guanajuato superan los límites de la NOM025-SSA1-2021 y las guías de la OMS. Los adolescentes son especialmente vulnerables por encontrarse en pleno desarrollo cardiopulmonar. ***Objetivo.*** Determinar la alteración de los parámetros cardiopulmonares en adolescentes expuestos a la contaminación por producción artesanal de ladrillo. ***Métodos***. Estudio observacional, transversal, analítico y prospectivo en 35 adolescentes de 13 a 15 años de la Telesecundaria 961 de "Ladrilleras del Refugio", León, Guanajuato, seleccionados por muestreo no probabilístico por conveniencia. Se aplicaron cuestionarios, somatometría, signos vitales y espirometría forzada (VEF1, CVF, VEF1/FVC, PEF). El análisis estadístico se realizó con EPI INFO 7, Excel, NCSS y SPSS, mediante estadística descriptiva, prueba t de Student, chi-cuadrada y correlación de Pearson. ***Resultados***. Se analizaron 35 adolescentes (57.1% hombres, 42.8% mujeres). El 31.4% presentó obesidad y 17.1% sobrepeso. No se encontró correlación significativa entre el IMC y las variables espirométricas ($p>0.05$ en todos los casos), pero sí una correlación positiva y significativa entre el IMC y las variables cardiovasculares: TAS, TAD y TAM ($R=0.49–0.56$; $p=0.001$) y FC ($R=0.43$; $p=0.009$). El 17.1% de los adolescentes presentó alteración de la tensión arterial. ***Conclusión.*** Los adolescentes expuestos al humo de ladrillera presentan un perfil de riesgo cardiopulmonar complejo: el daño pulmonar ocurre de forma independiente del estado nutricional, mientras que el riesgo cardiovascular depende críticamente del IMC, evidenciando una doble carga de enfermedad (contaminación ambiental y obesidad) que requiere abordaje de salud pública integral.

Palabras clave: PM2.5; salud cardiopulmonar; adolescentes; ladrilleras artesanales; espirometría.

Introducción

La producción artesanal de ladrillo es una actividad muy extendida en México que, por el uso de tecnologías ineficientes como el "horno de campana" y la quema de combustibles de baja calidad (neumáticos, plásticos, aceites residuales), genera una combustión incompleta con emisiones de material particulado fino (PM2.5, PM10), gases de combustión (CO, NOx, SOx), compuestos orgánicos persistentes y metales pesados. En comunidades ladrilleras de Puebla, Jalisco y Guanajuato se han registrado niveles de estos contaminantes por encima de los límites permisibles de la NOM-025-SSA1-2021 [1] y de las guías de calidad del aire de la OMS.[2]

Las actividades antropogénicas desarrolladas —para mejorar la calidad de vida pero frecuentemente sin armonía con la naturaleza— han modificado la composición del suelo, el agua y el aire, en un contexto de crecimiento poblacional acelerado que superó los 7,300 millones de habitantes en 2015.[3] Un contaminante crítico de la producción ladrillera son las partículas de 2.5 micras (PM2.5), capaces de adsorber otros residuos tóxicos en su superficie, junto con gases de combustión (CO, CO2, NOx, SOx), compuestos orgánicos

persistentes (dioxinas, furanos, PCB, hexaclorobenceno) e hidrocarburos aromáticos policíclicos.[3,4] En niños de comunidades ladrilleras se han detectado en sangre metales pesados como plomo, arsénico, mercurio, cadmio, cromo, níquel, vanadio, zinc y cobre.[3]

Los niños y adolescentes constituyen uno de los grupos de mayor riesgo ante la mala calidad del aire por encontrarse en etapas críticas de crecimiento.[3] La evidencia asocia la exposición a partículas finas con mayor mortalidad cardiovascular, patrones espirométricos obstructivos y restrictivos, alteración de la tensión arterial y disfunción autonómica reflejada en la variabilidad de la frecuencia cardiaca; sin embargo, la mayoría de los estudios se han centrado en población adulta, dejando poca evidencia específica sobre adolescentes que habitan cerca de los hornos.

Mecanismos de daño cardiopulmonar

Por cada incremento de 100 µg/m³ de partículas en el aire, el riesgo de muerte por enfermedad cardiovascular aumenta 9%.[3] La reducción de PM2.5 se asocia con mejoras en la inflamación, la trombosis y el estrés oxidativo, mientras que su presencia promueve fibrosis miocárdica y disfunción vascular sistémica, relacionándose con insuficiencia cardíaca, arritmias, paro cardíaco y eventos cerebrovasculares.[5] El monóxido de carbono emitido por los hornos se combina con la hemoglobina formando carboxihemoglobina, reduciendo el transporte de oxígeno y provocando palpitaciones y asfixia celular.[3,4] Existe correlación positiva lineal entre la edad y las variables espirométricas entre los 7 y 18 años, de modo que la capacidad respiratoria aumenta conforme el adolescente madura.[6] El índice VEF1/FVC es la variable fundamental para determinar la salud bronquial: por cada disminución del 10% en el VEF1, el riesgo de eventos coronarios no fatales aumenta 20% y la mortalidad cardiovascular 28%.[5] La inhalación de humo incrementa además la actividad del sistema nervioso simpático en aproximadamente 20%, contribuyendo al aumento de la tensión arterial en niños,[7] mientras que la exposición al humo —incluso desde la etapa intrauterina— se asocia con menor variabilidad de la frecuencia cardiaca, signo de disfunción autonómica que puede predisponer a arritmias como la fibrilación auricular en la vida adulta.[7].

Material y métodos

Diseño

Estudio observacional, transversal, analítico y prospectivo.

Población y muestreo

Se estudiaron adolescentes de 13 a 15 años, habitantes de la comunidad "Ladrilleras del Refugio", León, Guanajuato, inscritos en la Telesecundaria 961 de dicha comunidad, seleccionados mediante muestreo no probabilístico por conveniencia. Se invitó a 38 adolescentes; 3 fueron excluidos por no completar la maniobra de espirometría forzada, quedando una muestra final de n=35. Se incluyeron hombres y mujeres de 13 a 15 años, inscrito en la Telesecundaria 961, con mediciones de espirometría, presión arterial y frecuencia cardiaca completos y sin diagnóstico previo de enfermedad cardiovascular.

Variables

Independientes—Exposición a contaminación, edad, sexo, IMC y estado nutricional (percentiles). Dependientes — espirometría: VEF1, CVF, relación VEF1/FVC y PEF, cardiovasculares: tensión arterial sistólica (TAS), diastólica (TAD) y media (TAM), y frecuencia cardiaca (FC).

Procedimiento

Se tomaron medidas antropométricas: peso y talla, valorados dentro de los percentiles como peso para la talla normal, de acuerdo con la NOM-047-SSA2-2015; también se calculó el índice de masa corporal (IMC) con la fórmula: IMC = peso (kg)/talla (m)², clasificados de acuerdo con la NOM-008-SSA2-1993, mediante una báscula portátil (seca® 813) con precisión de 100 gramos y estadímetro portátil (seca® 222) con precisión de 1 centímetro. Para la circunferencia torácica se le pidió al paciente que inhalara y se tomó la medida de circunferencia torácica. Se realizó la toma de signos vitales (tensión arterial con monitor automático de brazo y frecuencia cardiaca), con dos verificaciones por parámetro.

En la espirometría forzada se efectuó el procedimiento en posición de Fowler alta, indicando al participante inhalar al máximo y exhalar de forma rápida y sostenida hasta el vaciamiento pulmonar completo, sin morder la boquilla. Para llevar a cabo la maniobra de espirometría de circuito abierto se usó el flujograma propuesto por Benítez-Pérez y cols. del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.

Las espirometrías se realizaron con un espirómetro EasyOne® 2001-2 (NDD, Technopark Zurcí, Switzerland) que cumple los criterios de la Sociedad Torácica Americana (ATS) y la Sociedad Europea Respiratoria (ERS) ATS/ERS 2005, para diagnóstico. Este instrumento determinó valores que integran criterios de precisión, exactitud y linealidad. Se siguieron las recomendaciones de la ATS para su realización, obteniendo los siguientes parámetros: capacidad vital forzada (FVC), volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV1) y la relación FEV1/FVC. Se evaluó la calidad de las espirometrías y se incluyeron solo aquellas que cumplieron con criterios de aceptabilidad y repetibilidad.

Análisis estadístico

Los datos se capturaron en EPI INFO 7 y se analizaron empleando los softwares NCSS y SPSS. Las variables cuantitativas se resumieron como medianas e IC95%, o medias y desviación estándar según su distribución; las cualitativas como frecuencias y porcentajes. Se aplicó la prueba t de Student para comparar promedios de edad entre sexos, chi-cuadrada (χ^2) para prevalencias y el coeficiente de correlación de Pearson (R) entre IMC y variables cardiopulmonares, con significancia estadística para p=0.05..

Resultados

Se incluyeron 35 adolescentes de 13 a 15 años (mediana 13, IC 13–14); 20 fueron hombres (57.1%) y 15 mujeres (42.8%), sin diferencia significativa en la edad promedio entre sexos (t=0.16, p=0.87). Como se muestra en la tabla 1, los parámetros antropométricos fueron similares entre hombres y mujeres, al igual que la prevalencia de síntomas respiratorios.

Tabla 1. *Características clínicas de la población de estudio*

Variable	Hombres (n=20)	Mujeres (n=15)	Valor de p
Edad	14 (13-14)	13 (13-15)	0.87
Antropometría			
Peso (kg)	54.35 (48.2-68.2)	65.6 (51.5-75.4)	0.16
Talla (cm)	161.75 (151-166)	155.7 (150.7-158.5)	0.26
IMC (kg/m^2)	22.05 (18.5-28.7)	26 (22.1-32)	0.13
Circunferencia torácica (cm)	83 (74-90)	86 (76-96)	0.46
Antecedentes No. (%)			

Tabaquismo	2 (10)	0 (0)	0.49
Exposición al humo de tabaco	2(10)	0 (0)	0.49
Humo de Leña	8 (40)	4 (26.7)	0.48
Asma	1 (5)	2 (13)	0.56
Bronquiolitis	0	1 (6.7)	0.42
Alergias	0 (0)	2 (13.3)	0.17

Valores expresados en medianas, IC95% y como n (%). Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse un 40% de los hombres y un 26.7% de mujeres refieren exposición al humo de leña y el 10% de los hombres están expuestos al humo de tabaco. Por otro lado, existe como antecedente el tabaquismo activo en 10% de los hombres y antecedente de alergias en 13% de las mujeres. De acuerdo con el IMC, 18 (51.4%) de los participantes fueron clasificados con estado nutricio normal, 6 de ellos (17.1%) fueron clasificados con sobrepeso y 11 (31.4%) fueron clasificados con obesidad.

Como se muestra en la tabla 2, no se observaron diferencias significativas entre hombres y mujeres con respecto a los parámetros espirométricos, tampoco en los parámetros cardiovasculares.

En total, 6 adolescentes (17.1%) fueron clasificados con alteración de la tensión arterial, sin diferencia significativa entre sexos (χ^2=0.15, p=0.69): predominó la tensión arterial elevada (11.4% de los casos), seguida de hipertensión etapa 1 (5.7%); no se registraron casos de hipertensión etapa 2, con frecuencias similares entre hombres y mujeres (χ^2=0.15, p=0.92). Cuatro adolescentes con sobrepeso u obesidad (23.5%) presentaron alteración de la presión arterial (χ^2=0.94, p=0.33)

Tabla 2. *Parámetros de la espirometría forzada y cardiovasculares en la población de estudio.*

Variable	Todos (n=35)	Hombres (n=20)	Mujeres (n=15)	Valor de p
FVC (L)	3.452 ± 0.788	3.670 ± 0.944	3.161 ± 0.375	0.057
FVC (%)	97.811± 13.497	98.577 ± 14.561	96.789 ± 12.357	0.704
FEV1 (L)	2.862 ± 0.607	2.992 ± 0.742	2.688 ± 0.303	0.146
FEV1 (%)	92.285 ± 12.252	92.041± 13.611	92.611 ± 10.628	0.894
FEV1/FVC%	83.427 ± 8.020	81.951 ± 8.418	85.394 ± 7.266	0.214
PEF	6.114 ± 1.067	6.331 ± 1.271	5.824 ± 0.644	0.168
TAS_PROM	109.31 ± 11.63	106.90 ± 12.07	112.53 ± 10.56	0.159
TAD_PROM	70.11 ± 10.34	86.12 ± 10.81	72.76 ± 9.38	0.193
TAM	83.18 ± 10.28	81.85 ± 10.63	86.02 ± 9.39	0.160
FC_PROM	82.24 ± 12.95	81.72 ± 13.17	82.93 ± 13.06	0.789

Nota: índice (%) = Porcentaje del predicho en relación a la ecuación de Pérez Padilla y cols. Los valores se expresan como medias ± desviación estándar y como número (porcentaje) para los datos cuantitativos. Fuente: elaboración propia.

En nuestra serie no se observó correlación entre el IMC y los parámetros espirométricos (FVC, FEV1, FEV1/FVC), tanto en sus valores absolutos, como en los porcentajes del predicho. En cambio, se identificó

una correlación positiva y altamente significativa entre el IMC y los parámetros cardiovasculares (TAS, TAD y TAM (tabla 3)

Tabla 3. *Correlación del IMC con variables espirométricas y cardiovasculares*

Variable	R	P
FVC	0.05	0.76
FCV%	0.24	0.16
FEV1	0.05	0.74
FEV%	0.24	0.16
FEV1/FVC%	-0.02	0.89
TAS_PROM	0.49**	0.001
TAD_PROM	0.56**	0.001
TAM	0.56**	0.001
FC_PROM	0.43**	0.009

*** Correlación estadísticamente significativa (p<0.05) Fuente: elaboración propia*

Discusión

Los hallazgos de este estudio revelan una ausencia de correlación entre el IMC y los parámetros espirométricos (FVC, FEV1, FEV1/FVC), esto sugiere que, en poblaciones expuestas crónicamente a humo derivado de la combustión de ladrillo artesanal, el daño pulmonar es provocado directamente por la toxicidad del aire (PM2.5, CO, NO2) y no por la composición corporal del individuo. La literatura señala que la residencia en el ladrillar constituye el riesgo más determinante para la función pulmonar (OR=6.9), ya que las partículas finas penetran hasta los alvéolos e inducen inflamación y remodelación epitelial independientemente del peso del adolescente.[8] En contraste, se identificó una correlación positiva y altamente significativa entre el IMC y los parámetros cardiovasculares (TAS, TAD y TAM con r=0.49–0.56, p=0.001; FC con r=0.43, p=0.009).

La exposición a contaminantes de ladrilleras induce estrés oxidativo e inflamación sistémica,[9] y un IMC elevado ya representa por sí mismo un estado proinflamatorio; al combinarse ambos factores se exacerba la respuesta del sistema nervioso autónomo, lo que explicaría la tensión arterial alterada como mecanismo de compensación hemodinámica frente a la toxicidad ambiental. Este patrón sugiere que el sobrepeso y la obesidad actúan como factores de vulnerabilidad sinérgica: la exposición al humo incrementa la actividad simpática en aproximadamente 20%, elevando la presión arterial, y en adolescentes con un estado proinflamatorio basal el material particulado exacerba el estrés oxidativo y la disfunción vascular, lo que es consistente con la prevalencia de alteración tensional (17.1%) hallada en la muestra y con estudios que vinculan la contaminación con un incremento de 9% en el riesgo cardiovascular por cada aumento de partículas en el aire.

Conclusión

Los adolescentes expuestos a la producción artesanal de ladrillo presentan un perfil de riesgo cardiopulmonar complejo. La función respiratoria se afecta de manera uniforme por la exposición ambiental, siendo el daño pulmonar independiente del estado nutricional. En cambio, la salud cardiovascular muestra una dependencia crítica del IMC, donde la obesidad potencia significativamente la hipertensión inducida por los contaminantes. Estos hallazgos subrayan la necesidad de programas de salud pública que no solo mitiguen las emisiones

tóxicas, sino que también aborden la doble carga de enfermedad (contaminación y obesidad) para prevenir daños cardiovasculares irreversibles en esta población joven.

Bibliografía/Referencias

Secretaría de Salud. (2021, 27 de octubre). NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Valores límite permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM10 y PM2.5 en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Diario Oficial de la Federación.

Organización Mundial de la Salud. (2021). Directrices globales de la OMS sobre la calidad del aire: material particulado (PM2.5 y PM10), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono. OMS.

Antonio, J., Carranza, Q., Cantú, C., Rocío, G., & Martínez, G. (2021). Entre humo y arcilla: contaminación ambiental y sobrevivencia humana en la producción artesanal de ladrillos.

Berumen-Rodríguez, A. A., Pérez-Vázquez, F. J., Díaz-Barriga, F., Márquez-Mireles, L. E., & Flores-Ramírez, R. (2020). Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México. *Salud Pública de México,* 63(1), 100–108. https://doi.org/10.21149/11282.

Visseren, F., Mach, F., Smulders, Y. M., Carballo, D., Koskinas, K. C., Bäck, M., et al. (2021). 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *European Heart Journal*, 3227–3337. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484.

Zaina, F., Akhtar, A., Muqtadir, J., Wahab, A., & Fatima, G. (2025). Use of Spirometry for Diagnosis and Management of Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Cureus. https://doi.org/10.7759/cureus.97998.

Raghuveer, G., White, D. A., Hayman, L. L., Woo, J. G., Villafane, J., Celermajer, D., et al. (2016). Cardiovascular Consequences of Childhood Secondhand Tobacco Smoke Exposure. Circulation, 134(16), e336–e359. https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000443.

Linares Segovia, B., Bermúdez Pérez, R. S., Monroy-Torres, R., Jiménez Garza, O. A., Amador Licona, N., Guízar-Mendoza, J. M., et al. (2026). Allergic Diseases and Impaired Lung Function in Children Exposed and Unexposed to Artisanal Brick Production. Children, 13(6). https://doi.org/10.3390/children13060734.

Pedroza Carrillo, P. K., Salazar-Gómez, A., Jimenez Alcala, A. M., Nilo Olmos, D. del R., Perez Perez, B., Rocha Villa, V. G., et al. (2025). Human exposure to pollutant emissions from brick kilns and their association with ocular health and neurotoxic symptoms: a pilot study in the Refugio Brickmaking Area, León, Mexico. *Frontiers in Psychiatry,* 16. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2025.1554101