

Disanapsis pulmonar funcional en niños expuestos y no expuestos al humo de ladrilleras artesanales

Functional pulmonary dysanapsis in children exposed and unexposed to artisanal brick kiln emissions

Hernández-Torres L.M.¹, González Solórzano B.P.¹, González Jacinto J.V.¹, Rocha Gómez F.G.¹, Ramírez Garnica R.E.¹, Linares-Segovia B.¹, Bermúdez-Pérez R.S.²

¹Departamento de Medicina y Nutrición, Universidad de Guanajuato.

²Departamento de Enfermería y Obstetricia, Campus Celaya Salvatierra, Universidad de Guanajuato.
lm.hernandez.torres@ugto.mx¹

Resumen

La disanapsis pulmonar funcional es una alteración estructural del desarrollo respiratorio caracterizada por una desproporción entre el calibre de las vías aéreas y el volumen pulmonar, identificable mediante una disminución del índice FEF25–75/FVC. El objetivo de este estudio fue evaluar la asociación entre la exposición crónica al humo de hornos de ladrillo artesanal y la presencia de disanapsis funcional en niños de edad escolar. Se realizó un estudio de corte transversal en niños de 6 a 12 años, expuestos y no expuestos a la producción artesanal de ladrillo. Los niños expuestos mostraron una disminución significativa del índice FEF25–75/FVC y una mayor proporción de disanapsis (31.1% vs. 18.2%). El vivir en la zona de ladrilleras representó tantas veces 2.8 (180%) más riesgo de disanapsis (OR=2.8, IC95%=1.39 a 5.9). La disanapsis funcional pulmonar no se asoció a la edad, pero fue significativamente más alta en los hombres.

Palabras clave: Disanapsis pulmonar funcional; contaminación ambiental; niños; espirometría; ladrilleras; función pulmonar.

Introducción

La disanapsis pulmonar funcional es una alteración en el desarrollo respiratorio que se caracteriza por una desproporción entre el crecimiento de las vías aéreas y el volumen pulmonar (Arismendi et al., 2020), y puede ser identificada mediante una disminución del índice FEF25–75/FVC (Bourbeau et al., 2022; McGinn et al., 2023). En la infancia, esta condición puede pasar desapercibida, aunque representa una forma temprana de vulnerabilidad pulmonar (Ross et al., 2024). Factores como la obesidad, el aumento de peso postnatal y la exposición ambiental influyen en su aparición (Arismendi et al., 2020; Zhang et al., 2023; Aithal et al., 2023; Cousins et al., 2023). En comunidades donde se realiza la producción artesanal de ladrillos se han identificado niveles elevados de contaminantes presentes en el aire, los cuales pueden interferir con el desarrollo normal del sistema respiratorio infantil (IEECC, 2022; Sierra-Vargas & Terán, 2020), por lo cual el presente estudio tiene como objetivo evaluar si existe una asociación entre la exposición crónica al humo de hornos de ladrillo y la presencia de disanapsis funcional en escolares, mediante el análisis del índice FEF25–75/FVC obtenido mediante espirometría.

La exposición crónica al humo de hornos de ladrillo representa un riesgo importante para la salud respiratoria infantil. Se ha documentado que la inhalación prolongada de partículas finas y gases tóxicos en estos entornos puede causar disfunción pulmonar y daño oxidativo (Kaushik et al., 2012; Bourbeau et al.). En comunidades cercanas a las ladrilleras, los niños presentan mayor vulnerabilidad debido a su desarrollo pulmonar en curso y a la presencia constante de contaminantes como PM2.5, CO y NOx (IEECC, 2022; Sierra-Vargas & Terán, 2020). Estas exposiciones pueden interferir con la relación de crecimiento entre vías aéreas y parénquima pulmonar, favoreciendo el desarrollo de disanapsis funcional incluso en ausencia de síntomas clínicos (McGinn et al., 2023). Además, se ha observado una reducción del FEF25–75 tras la exposición a partículas finas, lo que sugiere afectación de las vías aéreas pequeñas (Zhang et al., 2023).

Material y Métodos

Se realizó un estudio transversal analítico comparativo en escolares de 6 a 12 años residentes en dos municipios del estado de Guanajuato: una expuesta al humo de hornos de ladrillo (Ladrilleras El Refugio, León, Guanajuato) y otra no expuesta (San Francisco del Rincón). Se estudiaron 199 escolares seleccionados

por muestreo no probabilístico por conveniencia. Se recabó información clínica mediante el cuestionario de Salud Respiratoria (Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias). La función pulmonar se evaluó mediante espirometría forzada con espirómetro portátil NDD Easy One TM Diagnostic®, tomando las espirometrías que cumplieron con criterios de aceptabilidad y repetitividad. Se calculó el índice FEF25–75/FVC, considerando disanapsis funcional cuando el valor fue igual o menor al cuartil inferior de nuestra población (≤ 0.69). De igual forma, se registraron edad, sexo, peso, talla e IMC. Se comparó el Índice de Disanapsis mediante prueba t de Student para muestras independientes, la frecuencia de disanapsis entre los grupos se comparó con chi-cuadrada y se realizó análisis de riesgo. Se determinó la correlación entre el índice de disanapsis con los parámetros antropométricos mediante correlación bivariada de Pearson. Se consideró estadísticamente significativa una $p \leq 0.05$. Para el análisis estadístico se empleó el uso de los softwares Epi Info versión 7.0 y IBM® SPSS® Statistics Versión 22.0. El estudio respetó la confidencialidad y se obtuvo consentimiento informado firmado por los tutores o padres de familia.

Resultados

El estudio incluyó un total de 199 escolares: 122 residentes en la comunidad expuesta (Ladrilleras El Refugio) y 77 en la no expuesta (San Francisco del Rincón). Ambos grupos presentaron proporciones similares por sexo ($p = 0.641$). El grupo expuesto mostró una edad promedio mayor (10.57 ± 1.09 vs. 9.16 ± 1.82 años; $p = 0.0001$); sin embargo, esta diferencia, aunque estadísticamente significativa, no representa una relevancia clínica, ya que ambos grupos se encuentran dentro de un rango comparable de crecimiento pulmonar infantil. De igual forma, se observaron valores significativamente mayores de peso y talla en el grupo expuesto, sin diferencias en el índice de masa corporal (Tabla 1).

Respecto a los antecedentes personales, no se encontraron diferencias relevantes en la exposición al humo de tabaco, mientras que las condiciones respiratorias como asma y alergias no fueron significativamente diferentes. (Tabla 1).

El índice FEF25–75/FVC en los niños expuestos al humo de hornos de ladrillo artesanal fue menor al de los niños no expuestos ($t=2.07$, $p=0.03$). Este hallazgo nos indica una menor proporción entre el flujo espiratorio medio y el volumen pulmonar, lo cual es compatible con disanapsis funcional; en función de este parámetro, el 31.1% del grupo expuesto y el 18.2% del no expuesto fue clasificado con disanapsis pulmonar funcional ($\chi^2=4.11$, $p=0.04$). El vivir en zona de ladrilleras representó 2.8 (180%) veces más riesgo de disanapsis pulmonar ($OR=2.8$, $IC95\%=1.39$ a 5.9 .) Ver tabla 2.

El análisis bivariado no mostró correlación entre el índice de masa corporal y el índice FEF25–75/FVC ($r = -0.017$; $p = 0.831$). Tampoco se observaron diferencias relevantes por edad entre escolares con y sin disanapsis ($p = 0.606$). En contraste, el sexo sí se asoció con la presencia de disanapsis funcional: los niños presentaron una mayor frecuencia que las niñas (31.8% vs. 17.4%; $p = 0.020$), lo que indica que los varones tuvieron aproximadamente 1.8 veces más riesgo de presentar esta condición ($OR = 1.827$; $IC 95\%: 1.081-3.088$).

Tabla 1. Características generales y antecedentes personales de los escolares participantes.

Variable		Ladrilleras el refugio N = 122	San francisco del rincón N = 77	Valor de p
Edad		10.57 $\pm$ 1.09	9.16 $\pm$ 1.82	0.0001
Sexo (H/M)	Hombre	64	43	$\chi^2 = 0.218$; $p = 0.641$
	Mujer	58	34	
Peso		41.98 $\pm$ 11.86	36.09 $\pm$ 13.57	0.003
Altura		143.55 $\pm$ 8.40	136.88 $\pm$ 13.07	0.0001
IMC		19.46 $\pm$ 5.22	18.74 $\pm$ 4.43	0.337
TABAQUISMO	Activo	1 (1.3%)	3 (3.9%)	0.299

	Pasivo	17 (21.5%)	14 (18.2%)	0.602
ASMA	Asmático	7 (5.7%)	5 (6.5%)	0.81
	No asmático	72 (59%)	71 (92.2%)	
ALERGIAS	Alérgico	8 (6.6%)	11 (14.3%)	0.56
	No alérgico	71 (58.2%)	65 (84.4%)	

Nota: Los valores se expresan como media $\pm$ desviación estándar para variables continuas y como número absoluto (porcentaje) para variables categóricas. La prueba t de Student se utilizó para comparar variables cuantitativas y chi cuadrada o prueba exacta de Fisher para proporciones. Los datos corresponden a los cuestionarios con información disponible.

Tabla 2. Comparación de parámetros espirométricos e índice de disanapsis entre niños expuestos y no expuestos al humo de ladrilleras artesanales.

Variable	Ladrilleras el refugio N = 122	San francisco del rincón N = 77	Valor de p
FVC (Lts)	2.47 $\pm$ 0.70	2.26 $\pm$ 0.62	0.040
FVC (%)	103.83 $\pm$ 17.68	109.58 $\pm$ 15.95	0.036
FEV1 (Lts)	2.02 $\pm$ 0.49	1.87 $\pm$ 0.53	0.069
FEV1 (%)	95.90 $\pm$ 15.91	110.78 $\pm$ 21.09	0.0001
FEV1/FVC (%)	81.32 $\pm$ 9.07	83.19 $\pm$ 6.84	0.143
FEF25-75	2.84 $\pm$ 4.13	2.36 $\pm$ 2.55	0.383
FEF25-75/FVC (ÍNDICE)	0.85 $\pm$ 0.33	0.95 $\pm$ 0.29	0.039
DISANAPSIS No. (%)	38 (31.1%)	14 (18.2%)	0.04

Nota: **FVC**= Capacidad vital forzada; **FEV1**= Volumen espiratorio forzado en el primer segundo; **FEF25–75**= Flujo espiratorio forzado entre el 25 y 75 % de la curva; **IMC**= Índice de masa corporal. p calculado mediante prueba t de Student para muestras independientes. Disanapsis funcional definida como índice **FEF25–75/FVC $\leq$ 0.69** (primer cuartil).

Tabla 3. Asociación entre disanapsis funcional y género en escolares, mediante prueba de Chi-cuadrado.

VARIABLE		DISANAPSIS (SÍ)	DISANAPSIS (NO)	P	Odds ratio	Intervalo de confianza de 95%	
GÉNERO	Masculino	34 (31.8%)	73 (68.2 %)	0.020	1. 827	Inferior	Superior
	Femenino	16 (17.4%)	76 (82.6 %)			1.081	3.088

Nota: Se realizó análisis de riesgo y chi cuadrada. **OR**= Razón de momios (odds ratio); **IC 95%**= Intervalo de confianza al 95 %. **Una p < 0.05** se consideró estadísticamente significativa.

DISCUSIÓN

La disanapsis pulmonar funcional representa una alteración del desarrollo respiratorio caracterizada por una desproporción entre el calibre de las vías aéreas y el volumen pulmonar (Arismendi et al., 2020). En el estudio, se observó una disminución significativa del índice FEF25–75/FVC en escolares expuestos al humo de hornos de ladrillo artesanal, así como una mayor proporción de casos ubicados en el cuartil inferior de dicho índice. Estos hallazgos respaldan la hipótesis de que la exposición ambiental crónica puede influir negativamente en la maduración funcional de la vía aérea durante etapas clave del crecimiento pulmonar (Bourbeau et al., 2022; Zhang et al., 2023).

Aunque Arismendi et al. y Ross et al. previamente vincularon la disanapsis principalmente con factores individuales como el sobrepeso u obesidad (Arismendi *et al.*, 2020; Ross et al., 2024), nuestros resultados no mostraron asociación entre el índice de masa corporal y el índice FEF25–75/FVC. Esta ausencia de correlación refuerza el papel predominante de la exposición ambiental en la población analizada.

Otro hallazgo relevante fue la mayor frecuencia de disanapsis en cuanto al sexo masculino. Si bien esta diferencia fue estadísticamente significativa, no ha sido reportada como tal en estudios previos. Sin embargo, podría estar relacionado con diferencias anatómicas o fisiológicas en el desarrollo pulmonar (Arismendi *et al.*, 2020; Cousins *et al.*, 2023). La edad no mostró diferencias significativas, lo que es esperable dada la similitud en la etapa de desarrollo pulmonar de los participantes.

En conjunto, estos resultados refuerzan la utilidad del índice FEF25–75/FVC como un marcador funcional sensible para detectar alteraciones tempranas del desarrollo pulmonar en contextos de exposición ambiental, incluso en ausencia de enfermedad respiratoria diagnosticada (McGinn *et al.*, 2023). Asimismo, subrayan la importancia de considerar la calidad del aire como un determinante clave de la salud pulmonar infantil (Aithal *et al.*, 2023; Kaushik *et al.*, 2012), especialmente en comunidades con actividades contaminantes como la producción artesanal de ladrillos (IEECC, 2022; Sierra-Vargas & Terán, 2020).

CONCLUSIONES

El estudio mostró una mayor frecuencia de disanapsis pulmonar funcional en niños expuestos crónicamente a humo de hornos de ladrillo artesanal, en comparación con niños no expuestos. La asociación se identificó mediante una disminución significativa del índice FEF25–75/FVC en el grupo expuesto, lo que respalda la idea acerca de que la exposición ambiental puede afectar el desarrollo funcional de la vía aérea en la infancia. La exposición a humo de ladrillo representó 2.8 (180%) veces más riesgo de disanapsis pulmonar funcional (OR=2.8, IC95%=1.39 a 5.9.).

Bibliografía/Referencias

1. Arismendi, E., Bantulà, M., Perpiñá, M., & Picado, C. (2020). Effects of obesity and asthma on lung function and airway dysanapsis in adults and children. *Journal of Clinical Medicine*, 9(11), 3762. <https://doi.org/10.3390/jcm9113762>
2. Bourbeau, J., Doiron, D., Biswas, S., Smith, B. M., Benedetti, A., Brook, J. R., Aaron, S. D., Chapman, K. R., Hernandez, P., Maltais, F., Marciniuk, D. D., O'Donnell, D., Sin, D. D., Walker, B., Dsilva, L., Nadeau, G., Coats, V., Compton, C., Miller, B. E., ... Leuschen, C. (2022). Ambient air pollution and dysanapsis: Associations with lung function and chronic obstructive pulmonary disease in the Canadian cohort obstructive lung disease study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 206(1), 44–55. <https://doi.org/10.1164/rccm.202106-1439oc>
3. Ross, J. C., San José Estépar, R., Ash, S., Pistenmaa, C., Han, M., Bhatt, S. P., Bodduluri, S., Sparrow, D., Charbonnier, J.-P., Washko, G. R., & Diaz, A. A. (2024a). Dysanapsis is differentially related to lung function trajectories with distinct structural and functional patterns in COPD and variable risk for adverse outcomes. *EClinicalMedicine*, 68(102408), 102408. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.102408>
4. Zhang, Y., Guo, Z., Zhang, W., Li, Q., Zhao, Y., Wang, Z., & Luo, Z. (2023). Effect of acute PM2.5 exposure on lung function in children: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Asthma and Allergy*, 16, 529–540. <https://doi.org/10.2147/JAA.S405929>
5. Cousins, M., Hart, K., Kotecha, S. J., Henderson, A. J., Watkins, W. J., Bush, A., & Kotecha, S. (2023). Characterising airway obstructive, dysanaptic and PRISM phenotypes of prematurity-associated lung disease. *Thorax*, 78(9), 895–903. <https://doi.org/10.1136/thorax-2022-219301>
6. Kaushik, R., Khaliq, F., Subramanayan, M., & Ahmed, R. S. (2012). Pulmonary dysfunctions, oxidative stress and DNA damage in brick kiln workers. *Human & Experimental Toxicology*, 31(11), 1083–1091. <https://doi.org/10.1177/0960327112450899>
7. Aithal, S. S., Sachdeva, I., & Kurmi, O. P. (2023). Air quality and respiratory health in children. *Breathe (Sheffield, England)*, 19(2), 230040. <https://doi.org/10.1183/20734735.0040-2023>
8. McGinn, E. A., Mandell, E. W., Smith, B. J., Duke, J. W., Bush, A., & Abman, S. H. (2023). Dysanapsis as a determinant of lung function in development and disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 208(9), 956–963. <https://doi.org/10.1164/rccm.202306-1120PP>
9. Instituto Estatal de Ecología y Cambio Climático de Guanajuato (IEECC). (2022). Determinación de emisiones por la quema de combustibles en la fabricación de ladrillos y cerámica. Gobierno del Estado de Guanajuato.
10. Sierra-Vargas, M. P., & Terán, L. M. (2020). Entre humo y arcilla: una mirada a las ladrilleras desde la salud ambiental y los derechos humanos. Red por los Derechos de la Infancia en México (REDIM).